



**UNIVERSIDAD JUÁREZ AUTÓNOMA DE TABASCO**  
División Académica de Ciencias Biológicas  
“Estudio en la duda. Acción en la fe”



---

---

**“DIAGNÓSTICO DE LOS SISTEMAS DE TRATAMIENTO DE AGUA  
RESIDUAL DEL CORREDOR PARRILLA EN EL MUNICIPIO  
DE CENTRO, TABASCO”**

**Trabajo recepcional, en la modalidad de:**

Tesis de Maestría

**Para obtener el grado de:**

Maestría en Ingeniería, Tecnología y  
Gestión Ambiental

**Presenta:**

Gisell Aguilar Pérez

**Directores:**

Dra. Liliana Pampillón González  
Dr. Gaspar López Ocaña



**UNIVERSIDAD JUÁREZ  
AUTÓNOMA DE TABASCO**

"ESTUDIO EN LA DUDA. ACCIÓN EN LA FE"



**DIVISIÓN ACADÉMICA DE CIENCIAS BIOLÓGICAS  
DIRECCIÓN**

Villahermosa, Tab., a 21 de Noviembre de 2022

**ASUNTO:** Autorización de Modalidad de Titulación

**C. LIC. MARIBEL VALENCIA THOMPSON  
JEFE DEL DEPTO. DE CERTIFICACIÓN Y TITULACION  
DIRECCIÓN DE SERVICIOS ESCOLARES  
PRESENTE**

Por este conducto y de acuerdo a la solicitud correspondiente por parte del interesado, informo a usted, que en base al reglamento de titulación vigente en esta Universidad, ésta Dirección a mi cargo, autoriza a la **C. GISELL AGUILAR PÉREZ** egresada de la Maestría en **INGENIERÍA, TECNOLOGÍA Y GESTIÓN AMBIENTAL** de la División Académica de **CIENCIAS BIOLÓGICAS** la opción de titularse bajo la modalidad de Tesis de Maestría denominado: **"DIAGNÓSTICO DE LOS SISTEMAS DE TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL DEL CORREDOR PARRILLA EN EL MUNICIPIO DE CENTRO, TABASCO"**.

Sin otro particular, aprovecho la ocasión para saludarle afectuosamente.

A T E N T A M E N T E

**DR. ARTURO GARRIDO MORA  
DIRECTOR DE LA DIVISIÓN ACADÉMICA  
DE CIENCIAS BIOLÓGICAS**



C.c.p. - Expediente Alumno de la División Académica  
C.c.p.- Interesado



UNIVERSIDAD JUÁREZ  
AUTÓNOMA DE TABASCO

"ESTUDIO EN LA DUDA. ACCIÓN EN LA FE"



DIVISIÓN ACADÉMICA DE CIENCIAS BIOLÓGICAS  
DIRECCIÓN

NOVIEMBRE 21 DE 2023

**C. GISELL AGUILAR PÉREZ**  
**PAS. DE LA MAESTRIA EN INGENIERÍA, TECNOLOGÍA Y**  
**GESTIÓN AMBIENTAL**  
**P R E S E N T E**

En virtud de haber cumplido con lo establecido en los Arts. 80 al 85 del Cap. III del Reglamento de titulación de esta Universidad, tengo a bien comunicarle que se le autoriza la impresión de su Trabajo Recepcional, en la Modalidad de Tesis de Maestría en Ingeniería, Tecnología y Gestión Ambiental titulado: **"DIAGNÓSTICO DE LOS SISTEMAS DE TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL DEL CORREDOR PARRILLA EN EL MUNICIPIO DE CENTRO, TABASCO"**, asesorado por la Dra. Liliana Pampillón González y Dr. Gaspar López Ocaña, sobre el cual sustentará su Examen de Grado, cuyo jurado integrado por el Dr. Raúl German Bautista Margulis, Dra. Rocío López Vidal, Dra. Liliana Pampillón González, Dr. Gaspar López Ocaña y Dr. Arturo Valdés Manzanilla.

Por lo cual puede proceder a concluir con los trámites finales para fijar la fecha de examen.

Sin otro particular, me es grato enviarle un cordial saludo.

**A T E N T A M E N T E**  
**ESTUDIO EN LA DUDA. ACCIÓN EN LA FE**

**DR. ARTURO GARRIDO MORA**  
**DIRECTOR**



C.c.p.- Expediente del Alumno.  
C.c.p.- Archivo

## CARTA AUTORIZACIÓN

El que suscribe, autoriza por medio del presente escrito a la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco para que utilice tanto física como digitalmente el Trabajo Recepcional en la modalidad de Tesis de Maestría denominado: **“DIAGNÓSTICO DE LOS SISTEMAS DE TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL DEL CORREDOR PARRILLA EN EL MUNICIPIO DE CENTRO, TABASCO”**, de la cual soy autor y titular de los Derechos de Autor.

La finalidad del uso por parte de la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco el Trabajo Recepcional antes mencionada, será única y exclusivamente para difusión, educación y sin fines de lucro, autorización que se hace de manera enunciativa más no limitativa para subirla a la Red Abierta de Bibliotecas Digitales (RABID) y a cualquier otra red académica con las que la Universidad tenga relación institucional.

Por lo antes manifestado, libero a la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco de cualquier reclamación legal que pudiera ejercer respecto al uso y manipulación de la tesis mencionada y para los fines estipulados en éste documento.

Se firma la presente autorización en la ciudad de Villahermosa, Tabasco el día 21 de noviembre del dos mil veintitrés

**AUTORIZO**



---

**GISSELL AGUILAR PÉREZ**



UNIVERSIDAD JUÁREZ  
AUTÓNOMA DE TABASCO

"ESTUDIO EN LA DUDA. ACCIÓN EN LA FE"



División Académica  
de Ciencias Biológicas.

Jefatura de Posgrado.



Villahermosa, Tabasco a 31 de octubre de 2023

### C. GISELL AGUILAR PÉREZ

EGRESADA DE LA MAESTRÍA EN INGENIERÍA,  
TECNOLOGÍA Y GESTIÓN AMBIENTAL  
PRESENTE

En cumplimiento de los lineamientos de la Universidad, y por instrucciones de la Dirección de Posgrado, se implementó la revisión de los documentos recepcionales (tesis), a través de la plataforma Turnitin iThenticate para evitar el plagio e incrementar la calidad en los procesos académicos y de investigación en esta División Académica. Esta revisión se realizó en correspondencia con el Código de Ética de la Universidad, el Reglamento General de Estudios de Posgrado, el Código Institucional de Ética para la Investigación y con los requerimientos para los posgrados registrados en el SNP-CONAHCyT.

Por este conducto, hago de su conocimiento las observaciones y el reporte de originalidad de su documento de tesis. Con el objetivo de fortalecer y enriquecer el programa de posgrado, el responsable del programa realizó la revisión del documento en la plataforma iThenticate, obteniendo el reporte de originalidad, el índice de similitud y emitió las siguientes sugerencias y recomendaciones para dar seguimiento en el documento de tesis del proyecto de investigación: **"Diagnóstico de los sistemas de tratamiento de agua residual del corredor Parrilla en el Municipio de Centro, Tabasco"**.

#### OBSERVACIONES:

1. **El índice de similitud obtenido fue de 11%**, el cual no excede el máximo de 20% establecido en los Lineamientos para el Uso y Manejo del Software Antiplagio de la UJAT (2022).
2. Las coincidencias detectadas en su mayoría corresponden con citas en la sección de antecedentes, elementos conceptuales, fórmulas y normas oficiales en la sección del método aplicado en esta investigación. Sin embargo, dichas secciones cuentan con una cita dentro del texto que reconoce la autoría principal.
3. Se adjunta el informe de originalidad de la tesis obtenido a través de la herramienta Turnitin iThenticate.

C.c.p. ARCHIVO :

KM. 0.5 CARR. VILLAHERMOSA-CÁRDENAS ENTRONQUE A BOSQUES DE SALOYA

Tel. (993) 358-1500 Ext. 6407. Correo e: [posgrado.dacbiol@ujat.mx](mailto:posgrado.dacbiol@ujat.mx)

Usar papel reciclado economiza energía, evita contaminación y despilfarro de agua y ayuda a conservar los bosques



UNIVERSIDAD JUÁREZ  
AUTÓNOMA DE TABASCO

"ESTUDIO EN LA DUDA. ACCIÓN EN LA FE"



División Académica  
de Ciencias Biológicas.

Jefatura de Posgrado.



- Finalmente, se le solicita a la C. GISELL AGUILAR PÉREZ, revisar las observaciones, y atenderlas en su documento de tesis, si corresponde. Posteriormente, integrar en la versión final del documento de tesis, este oficio y el informe de originalidad con el porcentaje de similitud de Turnitin iThenticate.

Sin otro particular al cual referirme, aproveché la oportunidad para enviarle un cordial saludo.

ATENTAMENTE  
"ESTUDIO EN LA DUDA. ACCIÓN EN LA FE"

DR. ARTURO GARRIDO MORA  
DIRECTOR DACBIOL

U.J.A.T.  
DIVISIÓN ACADÉMICA  
DE CIENCIAS BIOLÓGICAS



DIRECCIÓN

C.C.P. Dra. Liliana Pampillon González. Directora de Tesis.  
Dr. Gaspar López Ocaña. Codirector de Tesis.

C.c.p. ARCHIVO :

KM. 0.5 CARR. VILLAHERMOSA-CÁRDENAS ENTRONQUE A BOSQUES DE SALOYA  
Tel. (993) 358-1500 Ext. 6407. Correo e: [posgrado.dacbiol@ujat.mx](mailto:posgrado.dacbiol@ujat.mx)



# Diagnóstico de los sistemas de tratamiento de agua residual del corredor Parrilla en el Municipio de Centro, Tabasco

## INFORME DE ORIGINALIDAD

11%

ÍNDICE DE SIMILITUD

### FUENTES PRIMARIAS

|   |  |                    |
|---|--|--------------------|
| 1 | <a href="http://sinat.semarnat.gob.mx">sinat.semarnat.gob.mx</a><br>Internet | 305 palabras – 2%  |
| 2 | <a href="http://docplayer.es">docplayer.es</a><br>Internet                   | 203 palabras – 2%  |
| 3 | <a href="http://tesis.ipn.mx">tesis.ipn.mx</a><br>Internet                   | 126 palabras – 1%  |
| 4 | <a href="http://hdl.handle.net">hdl.handle.net</a><br>Internet               | 120 palabras – 1%  |
| 5 | <a href="http://ciba.org.mx">ciba.org.mx</a><br>Internet                     | 87 palabras – 1%   |
| 6 | <a href="http://www.scielo.org.mx">www.scielo.org.mx</a><br>Internet         | 65 palabras – 1%   |
| 7 | <a href="http://ru.iiec.unam.mx">ru.iiec.unam.mx</a><br>Internet             | 57 palabras – < 1% |
| 8 | <a href="http://aldeser.org">aldeser.org</a><br>Internet                     | 50 palabras – < 1% |
| 9 | <a href="http://pcientificas.ujat.mx">pcientificas.ujat.mx</a><br>Internet   | 43 palabras – < 1% |



## **DEDICATORIA Y AGRADECIMIENTOS**

Le agradezco a Dios por haberme acompañado y guiado a lo largo de la maestría, por ser mi fortaleza en los momentos difíciles y por brindarme sabiduría, aprendizaje y felicidad.

A mi hijo Luis Fabrizio por ser la razón más importante de mi vida para quererme superar como madre y profesionista, gracias por tu compañía en las noches desvelos, por tu paciencia, por tu presencia y por ser tú la fuente más pura de inspiración y motivación, de otra manera no hubiera culminado con el mismo éxito. Te amo hijo y cada logro siempre va a dedicado a ti.

A mi madre Leticia por ser mi apoyo incondicional en todo momento, por los valores y principios que me han inculcado en el transcurso de mi vida, por haberme brindado una educación de excelencia. Gracias por creer en mí, por ayudarme, por amarme, y por todos los sacrificios que hacen por mí.

A mi abuelita Canutita que siempre estas presentes en cada logro, en cada etapa y en cada decisión, besos hasta el cielo.

A mis compañeros de maestría Néstor, Ricardo y Omar por haber hecho más ameno el tiempo de estudio.

A mis amigos del laboratorio Néstor, Nancy, Yaneth y Erika por los buenos momentos vividos, por sus enseñanzas y por su apoyo.

Agradezco a la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco especialmente a la División Académica de Ciencias Biológicas, Laboratorio de Tecnología del Agua, por aceptarme como estudiante de posgrado.

A la Dra. Liliana Pampillón González y al Dr. Gaspar López Ocaña por haber confiado en mí, y darme la oportunidad de realizar este proyecto y así culminar uno de mis propósitos de vida.

A mi comité sinodal, Dr. Liliana Pampillón González, Dr. Gaspar López Ocaña, Dr. Raúl German Bautista Margulis, Dr. Arturo Valdez Manzanilla y Dra. Rocío López Vidal por sus correcciones, observaciones y consejos.

Al Consejo Nacional de Humanidades, Ciencias y Tecnologías por otorgarme la beca de estudio durante el periodo de estudio septiembre 2021- septiembre 2023.



## ÍNDICE

|   |    |
|---|----|
| 1. RESUMEN.....   | 15 |
| 2. INTRODUCCIÓN.....  | 16 |
| 3. JUSTIFICACIÓN.....   | 17 |
| 4. ANTECEDENTES.....  | 18 |
| 4.1. Ámbito internacional.....  | 18 |
| 4.2. Ámbito Nacional.....   | 19 |
| 4.3. Ámbito Regional.....   | 20 |
| 5. HIPOTESIS.....   | 22 |
| 5.1. Hipótesis 1.....   | 22 |
| 5.2. Hipótesis 0.....   | 22 |
| 6. OBJETIVOS.....   | 22 |
| 6.1. Objetivo general.....  | 22 |
| 6.2. Objetivos específicos.....   | 22 |
| 7. ÁREA DE ESTUDIO.....   | 23 |
| 7.1. Descripción del proceso de la planta Paraíso-San Manuel.....               | 24 |
| 7.2. Descripción del proceso de la planta 27 de Octubre.....                    | 24 |
| 7.3. Descripción del proceso de la planta El Encanto.....                       | 24 |
| 8. MATERIALES Y MÉTODOS.....  | 25 |
| 8.1. Actividades de campo.....  | 25 |
| 8.1.1. Toma de muestra.....   | 25 |
| 8.1.2. Evaluación física de las unidades del sistema.....                       | 25 |
| 8.1.3. Aforo de las aguas residuales.....                                       | 25 |
| 8.1.4. Sitios de muestro y obtención de muestra.....                            | 26 |
| 8.1.5. Evaluación del equipo de bombeo.....                                     | 28 |
| 8.2. Actividades de laboratorio.....  | 29 |
| 8.3. Análisis de parámetros de control de procesos del sistema.....             | 29 |
| 8.4. Actividades de gabinete.....   | 29 |
| 8.4.1. Población y gasto del proyecto.....                                      | 30 |
| 8.4.2. Eficiencia requerida del sistema.....                                    | 30 |
| 8.4.3. Análisis de resultados.....  | 30 |
| 9. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....  | 32 |
| 9.1. Características de la calidad del agua de las PTAR.....                    | 32 |
| 9.1.1. Gasto de diseño de las PTAR (Q teórico actual).....                      | 32 |
| 9.1.2. Gastos de operación de las PTAR.....                                     | 32 |
| 9.2. Calidad del agua en los cárcamos concentradores.....                       | 33 |
| 9.3. Diagnóstico de la infraestructura existente y eficiencias de las PTAR..... | 33 |
| 9.3.1. Gestión ambiental y estatus de las PTAR.....                             | 33 |
| Plano del sistema de tratamiento.....   | 34 |
| Plano del sistema de tratamiento.....   | 36 |
| Plano del sistema de tratamiento.....   | 39 |
| 9.4. Estado actual de la infraestructura existente.....                         | 41 |
| 9.5. Eficiencia de remoción en las PTAR.....                                    | 43 |



|  |    |
|--|----|
| 9.6. Calidad del agua de las unidades muestreadas de la PTAR 27 de octubre. ....   | 44 |
| 9.6.1. Temperatura .....   | 44 |
| 9.6.2. Turbiedad .....   | 45 |
| 9.6.3. Color .....   | 45 |
| 9.6.4. Oxígeno Disuelto (OD) .....   | 46 |
| 9.6.5. Potencial de Hidrógeno (pH) .....   | 47 |
| 9.6.6. Conductividad Eléctrica (CE) .....  | 47 |
| 9.6.7. Sólidos Disueltos Totales (SDT) .....   | 48 |
| 9.6.8. Potencial Oxido Reducción (ORP) .....   | 48 |
| 9.7. Ingeniería básica de la optimización de las PTAR .....  | 49 |
| 9.7.1. Propuesta de optimización de la PTAR 27 de Octubre .....  | 49 |
| 9.7.2. Propuesta de la PTAR Corredor Parrilla .....  | 50 |
| 9.8. Datos de proyecto .....   | 51 |
| 10. CONCLUSIÓN .....   | 53 |
| 11. REFERENCIAS .....  | 54 |
| 12. ANEXO 1 .....  | 57 |
| 12.1. Ingeniería básica de la alternativa seleccionada en la optimización del<br>proceso del sistema de tratamiento actual de la PTAR 27 Octubre. ....               | 57 |
| 12.2. Ingeniería básica de la alternativa seleccionada en la optimización del<br>proceso del sistema de tratamiento actual de la PTAR del Corredor Parrilla II. .... | 69 |
| 12.3. Planos de PTAR actuales y de Proyecto .....  | 84 |
| 12.4. Memoria fotográfica. ....  | 89 |



## INDICE DE TABLA

|  |    |
|--|----|
| Tabla 1. Valores promedio de calidad del agua en los cárcamos concentradores. ....                       | 33 |
| Tabla 2. Datos generales de la PTAR “Paraíso- San Manuel”, Parrilla II. ....                             | 33 |
| Tabla 3. Datos de operación de la PTAR “Paraíso-San Manuel”, Parrilla II. ....                           | 33 |
| Tabla 4. Requisitos y trámites ambientales que la PTAR debe cumplir. ....                                | 34 |
| Tabla 5. Cumplimiento de los requisitos y trámites ambientales de la PTAR Paraíso-San Manuel. ....       | 35 |
| Tabla 6. Cumplimiento de procesos de la PTAR Paraíso- San Manuel, Parrilla II. ....                      | 35 |
| Tabla 7. Datos generales de la PTAR “27 de Octubre”, Parrilla II. ....                                   | 36 |
| Tabla 8. Datos operación de la PTAR 27 de Octubre, Parrilla II. ....                                     | 36 |
| Tabla 9. Requisitos y trámites ambientales que la planta de tratamiento debe cumplir. ....               | 37 |
| Tabla 10. Cumplimiento de los requisitos y trámites ambientales de la PTAR 27 de Octubre. ....           | 37 |
| Tabla 11. Cumplimiento de procesos de la PTAR 27 de Octubre. ....  | 38 |
| Tabla 12. Datos generales de la PTAR “El Encanto”, Parrilla II. ....                                     | 39 |
| Tabla 13. Datos operación de la PTAR “El Encanto”, Parrilla. ....  | 39 |
| Tabla 14. Requisitos y trámites ambientales que la planta de tratamiento debe cumplir. ....              | 39 |
| Tabla 15. Cumplimiento de los requisitos y trámites ambientales de la PTAR El Encanto. ....              | 40 |
| Tabla 16. Cumplimiento de procesos de la PTAR 27 de Octubre. ....  | 41 |
| Tabla 17. Descripción de las unidades físicas de la planta 27 de Octubre. ....                           | 42 |
| Tabla 18. Valores promedio de calidad del agua de influente y efluente de la PTAR 27 de Octubre. ....    | 44 |
| Tabla 19. Valores promedio de eficiencia de remoción (%) de las PTAR con propuesta de optimización. .... | 49 |
| Tabla 20. Recomendaciones para la operación de la PTAR 27 de Octubre. ....                               | 49 |
| Tabla 21. Procesos y operaciones unitarias en los sistemas propuestos. ....                              | 51 |
| Tabla 23. Datos de proyecto de la PTAR 27 de Octubre. ....   | 51 |
| Tabla 24. Datos del proyecto de la PTAR Parrilla II. ....  | 52 |
| Tabla 25. Proyección poblacional del Fraccionamiento 27 de Octubre, Parrilla II, Centro, Tabasco. ....   | 58 |
| Tabla 26. Datos del proyecto PTAR 27 de Octubre. Fuente: CONAGUA 2022. ....                              | 59 |
| Tabla 27. Gastos de diseño PTAR 27 de Octubre. Fuente: CONAGUA 2022. ....                                | 59 |
| Tabla 28. Concentración de entrada al sistema. Fuente: Metcalf et al., 1996. ....                        | 59 |
| Tabla 29. Eficiencia requerida del sistema. Fuente: NOM.001-SEMARNAT-2021. ....                          | 59 |
| Tabla 30. Parámetros de entrada. Fuente: Metcalf et al., 1996. ....                                      | 60 |



|  |    |
|--|----|
| Tabla 31. Parámetros requeridos del sistema. Fuente: CONAGUA, 2021. ....                             | 60 |
| Tabla 32. Criterio de diseño del cárcamo concentrador. Fuente: CONAGUA 2007. ....                    | 60 |
| Tabla 33. Área y volumen de sedimentos del cárcamo. Fuente: CONAGUA, 2007. ....                      | 61 |
| Tabla 34. Diámetro de la tubería de succión. Fuente: CONAGUA, 2007. ....                             | 61 |
| Tabla 35. Diámetro de tubería de descarga. Fuente: CONAGUA, 2007. ....                               | 61 |
| Tabla 36. Dimensión final del cárcamo. Fuente: CONAGUA, 2007. ....                                   | 61 |
| Tabla 37. Potencia de bombeo del cárcamo. Fuente: CONAGUA, 2007. ....                                | 62 |
| Tabla 38. Tiempo de bombeo del cárcamo. Fuente: CONAGUA, 2007. ....                                  | 62 |
| Tabla 39. Criterio de diseño de las unidades de pretratamiento. CONAGUA, 2007. ....                  | 62 |
| Tabla 40. Diseño de rejilla, CONAGUA, 2007. ....   | 63 |
| Tabla 41. Ajuste del canal. Fuente: CONAGUA, 2007. ....  | 63 |
| Tabla 42. Cálculo del material de rejilla. Fuente: CONAGUA, 2007. ....                               | 63 |
| Tabla 43. Pendiente del canal y velocidad. Fuente: CONAGUA, 2007. ....                               | 63 |
| Tabla 44. Diseño del desarenador hidráulico. Fuente: CONAGUA, 2007. ....                             | 63 |
| Tabla 45. Diseño del tanque de flotación. Fuente: CONAGUA, 2007. ....                                | 64 |
| Tabla 46. Cálculo de la batería de interconexión. Fuente: CONAGUA, 2007. ....                        | 64 |
| Tabla 47. Diseños de cámaras de sedimentación de un tanque Imhoff. Fuente:<br>CONAGUA, 2013. ....    | 65 |
| Tabla 48. Diseño de las cámaras del tanque Imhoff. Fuente: CONAGUA, 2013. ....                       | 65 |
| Tabla 49. Diseño del área de la sección cónica. Fuente: CONAGUA, 2013. ....                          | 65 |
| Tabla 50. Capacidad de almacenamiento de los lodos. Fuente: CONAGUA, 2013. ....                      | 66 |
| Tabla 51. Diseño del área de ventilación. Fuente: CONAGUA, 2013. ....                                | 66 |
| Tabla 52. Cálculo del humedal artificial de tipo Ciénega. Fuente: CONAGUA, 2013. ...                 | 66 |
| Tabla 53. Parámetros para el diseño de la Ciénega. Fuente: CONAGUA, 2013. ....                       | 67 |
| Tabla 54. Dimensión de la Ciénega. Fuente: CONAGUA, 2013. ....                                       | 67 |
| Tabla 55. Diseño de las cámaras de sedimentación del lecho de secado. Fuente:<br>CONAGUA, 2013. .... | 68 |
| Tabla 56. Población actual de las localidades de Parrilla. ....                                      | 70 |
| Tabla 57. Proyección poblacional de la localidad Parrilla, Centro, Tabasco. ....                     | 70 |
| Tabla 58. Datos del proyecto PTAR Parrilla II. Fuente: CONAGUA 2022. ....                            | 71 |
| Tabla 59. Gastos de diseño PTAR Parrilla II. Fuente: CONAGUA 2022. ....                              | 71 |
| Tabla 60. Concentración de entrada al sistema. Fuente: Metcalf et al., 1996. ....                    | 71 |
| Tabla 61. Eficiencia requerida del sistema. Fuente: NOM.001-SEMARNAT-2021. ....                      | 71 |
| Tabla 62. Parámetros de entrada. Fuente: Metcalf et al., 1996. ....                                  | 72 |
| Tabla 63. Parámetros requeridos del sistema. Fuente: CONAGUA, 2021. ....                             | 72 |
| Tabla 64. Criterio de diseño del cárcamo concentrador. Fuente: CONAGUA 2007. ....                    | 72 |
| Tabla 65. Área y volumen de sedimentos del cárcamo. Fuente: CONAGUA, 2007. ....                      | 73 |



|  |    |
|--|----|
| Tabla 66. Diámetro de la tubería de succión. Fuente: CONAGUA, 2007. ....   | 73 |
| Tabla 67. Diámetro de tubería de descarga. Fuente: CONAGUA, 2007. ....   | 73 |
| Tabla 68. Dimensión final del cárcamo. Fuente: CONAGUA, 2007. ....   | 73 |
| Tabla 69. Potencia de bombeo del cárcamo. Fuente: CONAGUA, 2007. ....  | 74 |
| Tabla 70. Tiempo de bombeo del cárcamo. Fuente: CONAGUA, 2007. ....  | 74 |
| Tabla 71. Criterio de diseño de pretratamiento. CONAGUA, 2007. ....  | 74 |
| Tabla 72. Diseño de rejilla, CONAGUA, 2007. ....   | 75 |
| Tabla 73. Ajuste del canal. Fuente: CONAGUA, 2007. ....  | 75 |
| Tabla 74. Cálculo del material de rejilla. Fuente: CONAGUA, 2007. ....   | 75 |
| Tabla 75. Pendiente del canal y velocidad. Fuente: CONAGUA, 2007. ....   | 75 |
| Tabla 76. Diseño del desarenador hidráulico. Fuente: CONAGUA, 2007. ....   | 76 |
| Tabla 77. Dimensiones sugeridas y límites de aplicación para vertedores rectangulares con contracciones laterales. Fuente: CONAGUA, 2007. .... | 76 |
| Tabla 78. Ajuste del vertedor. Fuente: CONAGUA, 2007. ....   | 76 |
| Tabla 79. Criterio de diseño de lagunas aireadas. Fuente: CONAGUA 2013. ....   | 77 |
| Tabla 80. Dimensiones de la laguna aireada. Fuente: CONAGUA,2013. ....   | 77 |
| Tabla 81. Volumen dimensionado de la laguna aireada. Fuente: CONAGUA,2013. ....  | 77 |
| Tabla 82. Cálculo de los equipos de aireación. Fuente: CONAGUA, 2013. ....   | 78 |
| Tabla 83. Cálculo de la carga orgánica. ....   | 78 |
| Tabla 84. Criterio de diseño de la laguna facultativa. Fuente: CONAGUA, 2013. ....   | 78 |
| Tabla 85. Dimensiones de la laguna facultativa. Fuente: CONAGUA: 2013. ....  | 78 |
| Tabla 86. Corte transversal del segundo tanque de la laguna facultativa. Fuente: CONAGUA, 2013. ....   | 79 |
| Tabla 87. Volumen dimensionado de la laguna facultativa. Fuente: CONAGUA, 2013. ....   | 79 |
| Tabla 88. Corrección longitudinal y volumétrica de la laguna. Fuente: CONAGUA, 2013. ....  | 79 |
| Tabla 89. Volumen dimensionado de la laguna facultativa. Fuente: CONAGUA, 2013. ....   | 79 |
| Tabla 90. Cálculo de la carga orgánica. ....   | 79 |
| Tabla 91. Cálculo de las tuberías de la caja de entrada. Fuente: CONAGUA, 2013. ....   | 80 |
| Tabla 92. Cálculo de la tubería de cambio de nivel. Fuente: CONAGUA,2013. ....   | 80 |
| Tabla 93. Cálculo de la tubería de la caja de salida. Fuente: CONAGUA,2013. ....   | 80 |
| Tabla 94. Cálculo de la longitud de las tuberías. Fuente: CONAGUA, 2013. ....  | 80 |
| Tabla 95. Afines al proyecto (evaporación, precipitación e infiltración). Fuente: CONAGUA, 2022. ....  | 81 |
| Tabla 96. Temperatura del agua de las lagunas. Fuente: CONAGUA, 2022. ....   | 82 |



## ÍNDICE DE FIGURAS

|   |    |
|---|----|
| Figura 1. Localización de las Plantas de Tratamiento de Agua Residuales, Parrilla II, Centro, Tab. Fuente: Google Earth, 2023. ....               | 23 |
| Figura 2. Graduación de la descarga al volumen de control que es el cárcamo. ....   | 25 |
| Figura 3. Diagrama de proceso de las PTAR Paraíso San Manuel. ....  | 27 |
| Figura 4. Diagrama de proceso de las PTAR 27 de Octubre. ....   | 27 |
| Figura 5. Diagrama de proceso de las PTAR El Encanto. ....  | 28 |
| Figura 6. Gastos de operación en las PTAR del corredor Parrilla II en Centro, Tabasco. ....   | 32 |
| Figura 7. Gráfico del cumplimiento de los requisitos y trámites ambientales de la PTAR Paraíso-San Manuel. ....                                   | 35 |
| Figura 8. Gráfico del cumplimiento de los procesos de la PTAR Paraíso- San Manuel. ....   | 36 |
| Figura 9. Gráfico del cumplimiento de los datos de operación de la PTAR 27 de Octubre. ....   | 38 |
| Figura 10. Gráfico del cumplimiento de los procesos de la PTAR 27 de Octubre. ....  | 38 |
| Figura 11. Gráfico del cumplimiento de los datos de operación de la PTAR El Encanto. ....   | 40 |
| Figura 12. Gráfico del cumplimiento de los procesos de la PTAR El Encanto. ....   | 41 |
| Figura 13. Cárcamo recolector de agua residual. ....  | 42 |
| Figura 14. Tanque Imhoff de aguas primarias. ....   | 42 |
| Figura 15. Lecho de Secado. ....  | 43 |
| Figura 16. Ciénega. ....  | 43 |
| Figura 17. Valores medianos ( $Q_1$ , $Q_3$ ) de la variable temperatura. Letras diferentes indican diferencias estadísticas significativas. .... | 45 |
| Figura 18. Valores medianos ( $Q_1$ , $Q_3$ ) de la variable turbiedad. Letras diferentes indican diferencias estadísticas significativas. ....   | 45 |
| Figura 19. Valores medianos ( $Q_1$ , $Q_3$ ) de la variable color. Letras diferentes indican diferencias estadísticas significativas. ....       | 46 |
| Figura 20. Valores medianos ( $Q_1$ , $Q_3$ ) de la variable OD. Letras diferentes indican diferencias estadísticas significativas. ....          | 46 |
| Figura 21. Valores medianos ( $Q_1$ , $Q_3$ ) de la variable pH. Letras diferentes indican diferencias estadísticas significativas. ....          | 47 |
| Figura 22. Valores medianos ( $Q_1$ , $Q_3$ ) de la variable CE. Letras diferentes indican diferencias estadísticas significativas. ....          | 47 |
| Figura 21. Valores medianos ( $Q_1$ , $Q_3$ ) de la variable SDT. Letras diferentes indican diferencias estadísticas significativas. ....         | 48 |



|   |    |
|---|----|
| Figura 24. Valores medianos (Q1, Q3) de la variable ORP. Letras diferentes indican diferencias estadísticas significativas..... | 48 |
| Figura 23. Modelos para la proyección de poblacional.....   | 57 |
| Figura 26. Gráfica de la proyección poblacional del fraccionamiento 27 de Octubre, Parrilla II.....                             | 58 |
| Figura 25. Modelos para la proyección de poblacional.....   | 69 |
| Figura 28. Gráfica de la proyección poblacional en el Corredor Parrilla.....  | 70 |
| Figura 29. Distribución actual de la planta 27 de Octubre. ....   | 84 |
| Figura 30. Distribución de la Planta con modificaciones (Vista en planta). ....   | 85 |
| Figura 31. Distribución actual de la planta Paraíso- San Manuel. ....   | 86 |
| Figura 32. Propuesta de la PTAR Paraíso-San Manuel- Laguna Aireada facultativa (Vista planta). ....                             | 87 |
| Figura 33. Propuesta de la PTAR Paraíso-San Manuel- Laguna Aireada facultativa (Vista transversal). ....                        | 88 |
| Figura 34. Caracterización volmetrica de las secciones de la planta. ....   | 89 |
| Figura 35. Muestras de las PTAR. ....   | 89 |
| Figura 36. Toma de muestra del cárcamo la PTAR Paraíso- San Manuel. ....  | 89 |
| Figura 37. Toma de muestra del cárcamo PTAR 27 de Octubre. ....   | 89 |
| Figura 38. Análisis de metales pesados.....   | 89 |
| Figura 39. Caracterización de parámetros de control.....  | 89 |
| Figura 40. Caractrización de turbiedad. ....  | 89 |
| Figura 41. Caracterización fisicoquímica en campo.....  | 90 |
| Figura 42. pH y temperatura. ....   | 90 |
| Figura 43. Analisis de turbiedad. ....  | 90 |
| Figura 44. Verificación de resultados. ....   | 90 |
| Figura 45. Caracterización de color. ....   | 90 |
| Figura 46. Equipos de laboratorio. ....   | 90 |
| Figura 47. Levantamiento físico de la ciénega de la PTAR El Encanto.....  | 90 |
| Figura 48 Cárcamo PTAR El Encanto.....  | 90 |
| Figura 49. Lodos activados PTAR Paraíso-San Manuel.....   | 90 |
| Figura 50. Ciénega PTAR 27 de Octubre. ....   | 91 |
| Figura 51. Digestor aerobio PTAR Paraíso-San Manuel.....  | 91 |
| Figura 52. Lecho de secado PTAR 27 de Octubre.....  | 91 |
| Figura 53. Cácamo PTAR 27 de Octubre. ....  | 91 |
| Figura 54. Tanque Imhoff PTAR 27 de Octubre. ....   | 91 |
| Figura 55. Cácamo PTAR El Encanto.....  | 91 |



## 1. RESUMEN

El agua es el recurso imprescindible para la vida. Su extracción, manejo, tratamiento y disposición final continúa siendo un desafío sobre todo en países en desarrollo. En el sureste de México, la mayoría de los sistemas de tratamiento de aguas residuales han dejado de funcionar, ya sea por falta de inversión para su operación y mantenimiento o por haber llegado al final de su vida útil (López et al., 2022). En este trabajo se evaluaron tres Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) domésticas en el corredor Parrilla II en el municipio del Centro, Tabasco. Dichas plantas de tratamiento de agua cuentan con procesos, como: reactores bioenzimático + lodos activados, Tanques Imhoff + Ciénega y reactores tipo RAFA + Ciénega, respectivamente. Estos sistemas tienen una capacidad operativa conjunta de 46 l/s, lo que beneficia a una población de 13 494 habitantes.

Sin embargo, el caudal generado en la zona oscila entre 21 y 54 l/s de los cuál únicamente son tratados 16 l/s, por lo que su capacidad de operación no es suficiente. Los resultados muestran que la PTAR en operación alcanza 42% en la remoción de DQO, siendo necesaria la optimización del proceso para cumplir con la NOM-001-SEMARNAT-2021 y asegurar que el proceso propuesto no produzca compuestos tóxicos que puedan dañar los cuerpos receptores.

Con base a un riguroso análisis de agua, se determinó que el sistema actual de la PTAR 27 de octubre, presenta una remoción de 42.9% de DQO (influyente  $485.6 \pm 138.1$  mg·L<sup>-1</sup>, efluente  $277.4 \pm 69.9$  mg·L<sup>-1</sup>), -65% de turbidez (influyente  $19.9 \pm 9.4$  UNT, efluente  $32.9 \pm 44.1$  9 UNT), 2.2% de color (influyente  $2283.9 \pm 363.2$  UC, efluente  $2233.2 \pm 431.9$  UC), -65% de SST (influyente  $53.8 \pm 25.4$  mg/L, efluente  $88.8 \pm 119.1$ ), 42.9% de NT (influyente  $41.3 \pm 11.8$ , efluente  $23.6 \pm 5.9$ ), 42.9% de PT (influyente  $7.3 \pm 2.1$ , efluente  $4.2 \pm 1.1$ ) y con un pH promedio de 7.3. Es posible que las PTARS evaluadas puedan cumplir con los límites de la NOM-001-SEMARNAT-2021 si se rehabilitaran las infraestructuras existentes y se modificara el proceso de los sistemas de tratamiento, pudiendo descargar e los cuerpos de agua cercano. Lo anterior, sin comprometer los costos de operación y mantenimiento. Se espera que los resultados de este estudio contribuyan a la toma de decisiones y mejoras de programas y rehabilitación de las diversas PTARs que hay alrededor de nuestro Estado.



## 2. INTRODUCCIÓN

Existen numerosas Plantas de Tratamiento de Agua Residual (PTAR) municipales en todo el país que vierten sus efluentes a cuerpos receptores afectando la calidad de las aguas naturales. La información proporcionada de las PTARS es dispersa e informal, pero se estima que más del 90% de las Plantas de Tratamiento de las Aguas domésticas no cumplen sus efluentes dentro de los Límites Máximos Permisibles (LMP) debido a fallas estructurales, operación y mantenimiento inadecuados, así como el hecho de que las instituciones responsables de llevar a cabo estos controles hacen poco o nada para resolver estas deficiencias. Solo el 57% de las aguas residuales municipales colectadas son tratadas; 54% de las plantas menores a 100 l/s funcionan y 25% lo hacen de manera adecuada (De la Vega, 2012). Como resultado más del 50% de las instalaciones municipales de tratamiento de aguas residuales en México tienen una calificación global deficiente debido a su mal funcionamiento. En ninguna de ellas se toman medidas específicas para eliminar contaminantes emergentes, y la cloración no garantiza la erradicación completa de los microorganismos resistentes, incluido virus y parásitos (UNAM,2018).

Al cierre del año 2019, se tenía registrada en el país 2642 PTARS en operación con capacidades instaladas que sumaban 194 715.32 l/s y con un caudal tratado de 141 479. 04 l/s, lo que permitió una cobertura nacional de tratamiento de aguas residuales municipales del 65.7%. Las comunidades y municipios del estado de Tabasco que se ubican cerca de ríos y cuerpos de agua utilizan estos para descargar sus aguas residuales ocasionando su contaminación a pesar de que algunos de ellos ya cuentan con tratamiento primario y secundario, debido a que las aguas suelen descargarse en cuerpos receptores cerrados que carecen de capacidad de depuración. Las plantas más antiguas de la zona se encuentran en las comunidades cercanas de Balancán, Comalcalco y Centro, construidas entre los años 1972 al 2019. Aunque las plantas de tratamiento son de primera importancia para la población, existe un déficit de ellas, además que hay varias que se encuentran fuera de funcionamiento por factores diversos pero el que se torna como principal causa es la falta de recursos debido a los altos costos de operación y mantenimiento según la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA), que con frecuencias están relacionados al coste de la energía eléctrica.

De acuerdo con la CONAGUA en 2019 en Tabasco había un total de 138 instalaciones de PTAR, 54 de ellas ya no están en operación, mientras que los 84 restantes continúan realizando los procedimientos necesarios para reducir las enormes cantidades de contaminantes. Esta información revela que Centro cuenta con 13 unidades fuera de servicio y 15 operando con normalidad, siendo el municipio con más instalaciones para remover contaminantes del agua, continuando Tacotalpa con 9 fuera de servicio y 7 activas. En tanto Jalapa cuenta con 3 fuera de operación y 7 activas (CONAGUA).



### **3. JUSTIFICACIÓN**

Tabasco dispone de diversos recursos naturales y el agua es uno de los más abundantes del estado, lo cual representa un privilegio frente a otras entidades del país que carecen de este vital líquido. El agua proviene; del volumen anual de agua que descargan los ríos Grijalva, Usumacinta y sus afluentes al Golfo de México, que es alrededor de 125 mil millones de metros cúbicos, esta cifra representa el 35% de escurrimiento acuífero del país (Juan Paz ., 2018); sin embargo, la falta de una política sustentable y de una cultura responsable del agua por parte de la sociedad ha contribuido a la mala gestión de este recurso hídrico.

La escasez de agua potable y las crecientes necesidades de la población hacen que cada vez sea necesario el tratamiento del agua, que permita garantizar el acceso al agua potable. En Tabasco la capacidad instalada de las plantas de tratamiento de aguas residuales (PTAR) municipales es de 3.0 m<sup>3</sup>/s (CONAGUA,2020), capacidad insuficiente para tratar las descargas de una población de más de dos millones de habitantes. Además de lo anterior, se ha encontrado que la mayoría de las instalaciones construida para el saneamiento de aguas residuales municipales presentan problemas de operación, derivado al mal diseño estructural, el inadecuado mantenimiento y la falta de unidades en los sistemas de tratamiento, por consecuencia se obtiene aguas residuales que no cumplen con la normatividad vigente.

La finalidad de este proyecto es realizar una evaluación de tres sistemas de tratamiento de aguas residuales generados por la localidad de Parrilla II en el municipio del Centro, Tabasco, para lo cual se llevaron a cabo determinadas visitas de inspección, con el objetivo de efectuar un análisis de las eficiencias y condiciones de operación basados en los criterios de diseño y análisis de agua correspondiente con miras de generar propuestas de mejora.



#### 4. ANTECEDENTES

En este apartado, se muestra una revisión de los principales trabajos de investigación relacionados al tratamiento de agua en plantas operando en diversos municipios desde el ámbito internacional, nacional y local.

##### 4.1. Ámbito internacional

Chuchón y Aybar (2008), realizaron investigaciones para determinar la capacidad de remoción de Bacteria Coliformes Fecales (BCF) y la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5) de la Planta de Tratamiento de Agua Residual “La Totorá” del departamento de Ayacucho, Perú. El sistema de tratamiento cuenta con seis tanques Imhoff para el tratamiento primario, cuatro filtros percoladores y dos lagunas facultativas para el tratamiento secundario, además de tres lagunas de maduración. Con los resultados obtenidos se concluyó que la capacidad de remoción de BCF fue de 99.98% con un efluente de  $1.29 \times 10^5$  NMP/100 ml en tanto que la remoción de la DBO5 fue de 86.2% con un efluente de 46.35 mg/l considerándose procesos deficientes para cumplir con los estándares permitidos por la Ley General de Agua D.L para aguas de clase III, que establece concentraciones por debajo de  $<10^3$  NMP/100 ml de BCF para una eficiencia de remoción de 99.99% y 15 mg/l para DBO5 para alcanzar una remoción de 95.5947%.

Urbina, Pabón y Suárez (2006), caracterizaron y cuantificaron el agua residual de la empresa Frigorífico Frigofrontera Ltda, Colombia, para diseñar un sistema de tratamiento que optimizara la infraestructura existente conformada por cribas, sedimentadores y tanques circulares. Determinaron que el sistema que favorecía la remoción de altas concentraciones de DQO Y DBO era la tecnología de lodos activados sin recirculación. Durante los monitoreos se registraron un caudal promedio de 3.19 l/s, conformado por 59% agua de rumen y 41% agua de sangre y concentraciones promedio de DQO de 15232.85 mg/l, DBO de 7547.42 mg/l, temperatura de 28.43°C, pH de 7.72, SS DE 585.86 ml/l-h, SST de 3386.55 mg/l, SSV de 2412.65 mg/l y CFT de  $4 \times 10^7$  UFC/100 ml.

Castillo (2017), evaluó en la planta de tratamiento de aguas residuales de la ciudad de Celendín, Perú, optimizando el proceso con especies *Lemna sp* y *Eichhornia crassipes*, en la remoción de nutrientes del efluente de la PTAR la cual consta de Reactores Anaerobios de Flujo Ascendente (RAFA) y la estabilización de carga bacteriológica con un tratamiento secundario a través de una laguna facultativa. Se evidenció que la eficiencia en la remoción de nutrientes al aplicar tratamiento con *Lemna sp* en el sistema RAFA para nitrógeno total (N) fue de 52%, para nitratos ( $\text{NO}_3^-$ ) de 37%, para fósforo total (P) de 31% y fosfatos ( $\text{PO}_4^{3-}$ ) con 34%; asimismo, al aplicar *Eichhornia crassipes* (PM3) en un sistema de reactores en serie con flujo continuo para el parámetro NT fue de 61%, para nitratos ( $\text{NO}_3^-$ ) de 34%, para PT de 73% y para fosfatos ( $\text{PO}_4^{3-}$ ) de 68%.



Gómez (2019), estudió 3 plantas de tratamiento del Lago San Pablo en Quito, Ecuador, para analizar la eficiencia del uso *lemnáceas*, también conocidas como “lentejas de agua” para la remoción de contaminantes en el agua residual. De acuerdo con los resultados la PTAR San Pablo trabaja sobre el 85%.de eficiencia en remoción de materia orgánica, coliformes fecales, entre otros, la planta de tratamiento de Araque obtuvo porcentajes de remoción del 91% para la DQO. Mientras que la PTAR Cuaraburo obtuvo un porcentaje más bajo con un 82% de remoción en DQO.

Castillo y Cárdenas (2019), determinaron la eficiencia de remoción en un módulo de lodos activados para el tratamiento de agua residual doméstica en la Planta de Tratamiento San Miguel, Perú. Se obtuvo 98 % de remoción de DQO, 98 % de remoción de SDT, y 99% de remoción de turbidez se obtuvo en función de un tiempo de retención hidráulica de 15 horas.

#### 4.2. Ámbito Nacional

Castro et al. (1997), estudiaron el comportamiento de una planta de tratamiento de aguas residuales instaladas en un ingenio azucarero en México que emplea el sistema de lodos activados con la finalidad de estudiar el estado actual de la planta, Se obtuvieron los porcentajes promedio de remoción de 49.5% de DQO en el sedimentador primario, y un 48.3% en el sistema de lodos activados y una eficiencia de remoción del 72.34% en el RALLFA. Se concluyó que el arranque y el manejo eran inadecuados para lograr mantener cierto grado de remoción.

Romero et al. (2009) evaluaron el porcentaje de remoción de la carga orgánica de aguas residuales, en un sistema de tratamiento por humedales artificiales de flujo horizontal y con dos especies vegetales *Phragmites australis* y *Typha dominguensis*. En el agua se analizaron los siguientes parámetros: demanda química de oxígeno (DQO), los iones de nitrógeno (N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, N-NO<sub>2</sub><sup>-</sup> y N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup>) y el fósforo total. Obtuvieron eficiencia de remoción para DQO en la 95.73 %. En Fosforo Total se removió 40.35 %. Para el caso de los nitritos se obtuvo 45.46 % de remoción al final del tratamiento.

Ramírez et al. (2009), evaluó la eficiencia de depuración de agua gris en un humedal artificial de las instalaciones de Centro de Investigación Acuícolas de Cuemanco (CIBAC) de UAM Xochimilco, México. Uso de humedales artificiales con plantas ornamentales. Se utilizó la especie *Zantedeschia aethiopica*. Obtuvieron remoción promedio de DQO: 92 %, N-NH<sub>4</sub>: 85% y P-PO<sub>4</sub>: 80%.

En 2016, se inauguró la PTAR más grande de Latinoamérica en el municipio de Atotonilco, Hidalgo, con una capacidad de 35,000 l/s y un ciclo de vida estimado en 50 años, permite depurar las aguas residuales de 700 mil habitantes. La planta cuenta con 2 procesos de tratamiento debido a la cantidad y característica del agua, el tren de



proceso biológico se conforma por etapas de rejillas, desarenadores, tanques de sedimentación, aireación y desinfección y el tren de proceso fisicoquímico.

Garzón, González y García (2016), evaluaron un humedal artificial de flujo para tratar aguas residuales domésticas provenientes de un pretratamiento con un biofiltro, en Jiutepec, Morelia. El humedal artificial fue plantado principalmente con *Cyperus papyrus* y adicionalmente con plantas ornamentales, trabajando con un tiempo de retención hidráulica (TRH) de 12 días y un gasto de operación de 0.1 m<sup>3</sup>/d. Las eficiencias de remoción alcanzadas para DQO fueron del 64.3% para N-NH<sub>4</sub> + del 73.11%, para P-PO<sub>4</sub> - del 77.51% y para DBO<sub>5</sub> del 96%.

Muñoz y Baumann (2017), evaluaron un sistema de tratamiento de agua residual doméstica, que se instaló en una casa habitación en San Matías Tepetomatitlán, Tlaxcala, México la remoción de coliformes totales (CT), *Escherichia coli* (EC) y demanda química de oxígeno (DQO) del agua residual de un sistema a escala piloto con dos tratamientos: un reactor secuencial por lotes (RSL) de lodos activados y un humedal construido de flujo vertical (HCFV). Los Porcentajes de remoción (PR) promedio fueron de 99.84 % (4.52 unidades log), 99.92 % (4.92 unidades log) y 92.78 % para CT, EC y DQO, respectivamente.

### 4.3. Ámbito Regional

López, Palma y Díaz (2004), realizaron estudios básicos para determinar cuál tipo de tratamiento requerían las aguas residuales del municipio de Tenosique, Tabasco, México. Se concluyó que el mejor sistema para su construcción fue de lagunas anaerobias-facultativas-pulimento trabajando en dos módulos. Dicho sistema consta de pretratamiento (rejilla-desarenador), dos lagunas anaerobias como tratamiento primario y dos lagunas facultativas, una de pulimento y un filtro para retención de algas como tratamiento secundario. Las aguas residuales crudas reportaron un gasto medio de 90.83 l/s, Temperatura de 31.9°C, pH de 7.6-8.6, SST de 284-764.3 mg/l, SSV de 173-298 mg/l, DQO de 475-1560 mg/l y DBO 232-654 mg/l, características que aporta una población de 32,702 habitantes.

Cazan, Méndez y López (2008), propusieron una alternativa para comunidades descentralizadas con reactores anaerobios de flujo ascendente (RAFA), un filtro anaerobio horizontal y un tanque de pulimento con vegetación hidrófita enraizada (humedal), para el tratamiento de las aguas residuales generadas en la comunidad del Poblado Morelos, Macuspana, Tabasco. Dicho sistema operará con 95.44% de eficiencia de remoción de DBO mostrando un agua cruda con un gasto medio de 1.2 l/s, temperatura de 27 a 27.9 °C, grasas y aceites con 186 y 166 mg/l, SST con 260 mg/l y DBO con 284.8 y 300 mg/l, beneficiando a una población de 650 habitantes.



Vázquez y López (2011), realizaron la cuantificación, caracterización fisicoquímica y biológica del agua residual, para conocer el volumen y la calidad de un Tanque Imhoff para el tratamiento de aguas residuales en Centro, Tabasco, donde se concluyó que la PTAR estaba rebasada en su capacidad hidráulica, trataba sólo un 11% del volumen de agua generada y las eficiencias de remoción de los contaminantes eran casi nulas. El mantenimiento preventivo fue el principal responsable de los fenómenos de corto circuito en el sistema disminuyendo la capacidad hidráulica de las unidades y en consecuencia el tiempo de contacto para la degradación de contaminantes en los reactores anaerobios como el Tanque Imhoff y biofiltro.

Silva (2011), evaluó la operación de tres plantas de tratamiento de agua residuales de los municipios de Cunduacán y Paraíso, donde concluyó que ambas PTARS funcionan satisfactoriamente con una eficiencia de remoción (ER) del 88% en DBO5 ( $14 \pm 2$  mg/L en el efluente) y 74% de SST ( $18 \pm 1$  mg/L en el efluente) para la PTAR de Paraíso, mientras que la PTAR de Cunduacán obtuvo una ER de 74%, 43% de NTK y 30% de SST, cumpliendo así con la normatividad aplicable (NOM-001- ECOL-1996).

Estrada (2021), evaluó y propuso dos alternativas para la optimización de una Planta de Tratamiento de Agua residual de un parque industrial en Tabasco para cumplir con la normatividad vigente. El análisis de la síntesis de procesos de la implementación de un tren de tratamiento con cuatro humedales artificiales en series mostraba que se podría lograr una remoción de  $\leq 95\%$  de contaminantes básicos, así como el mejoramiento de la calidad del agua residual.



## **5. HIPOTESIS**

### **5.1. Hipótesis 1**

Los sistemas de tratamiento de aguas residuales correspondiente al corredor Parrilla II, Centro, Tabasco, cumplirán con criterios de descarga establecidos en la NOM-001-SEMARNAT-2021, con un 80% de remoción de DQO.

### **5.2. Hipótesis 0**

Los sistemas de tratamiento de aguas residuales correspondiente al corredor Parrilla II, Centro, Tabasco, no cumplirán con los criterios de descarga establecidos en la NOM-001-SEMARNAT-2021, con una eficiencia de remoción de DQO por debajo del 80%.

## **6. OBJETIVOS**

### **6.1. Objetivo general**

Determinar la eficiencia y estatus de operatividad de las plantas de tratamiento de aguas residuales domesticas del corredor Parrilla en el municipio de Centro, Tabasco, para proponer la optimización y puesta en marcha de los sistemas.

### **6.2. Objetivos específicos**

- Caracterizar volumétrica y fisicoquímicamente el influente y efluente de las plantas de tratamiento del corredor Parrilla de Centro, Tabasco, conforme a la NOM-001-SEMARNAT-2021.
- Realizar el diagnóstico de la infraestructura existente y eficiencia de procesos de las plantas de tratamiento de aguas residuales “El Paraíso-San Manuel, 27 de octubre y El encanto”.
- Generar la memoria de cálculo y planos de ingeniería básica de la optimización propuesta para las plantas Paraíso-San Manuel, 27 de octubre y El encanto.



## 7. ÁREA DE ESTUDIO

Como primera actividad se realizó una inspección preliminar a las tres PTAR localizadas en Parrilla II, con la finalidad de conocer cada una de las unidades del proceso de tratamiento, las condiciones actuales de mantenimiento y de operación. Los puntos de muestreos evaluados fueron los cárcamos concentradores, tanques Imhoff, humedales artificiales y descargas final, se tomaron muestras de los afluentes y efluentes para conocer las características del agua que es descargada al cuerpo receptor. La PTAR Paraíso-San Manuel se ubica en Palomas esq. Canarios s/n, Fraccionamiento El Paraíso km. 15 carretera Vhsa-Teapa, en las coordenadas geográficas 17°52'39.9" Latitud Norte, 92°55'11.2" Longitud Oeste. El tipo de Planta es Reactor Bioenzimatico + Lodos Activados. El cuerpo receptor es el Arroyo Chiflón y se encuentra conectado a humedales. La PTAR 27 de octubre se ubica en Francisco J. Santamaria s/n, Fraccionamiento 27 de Octubre Parrilla II Km 14, carretera Vhsa-Teapa en las coordenadas cartográficas 17°53'07.3" Latitud Norte, 92°54'59.6" Longitud Oeste. El proceso es mediante Tanque Imhoff + Ciénega. El cuerpo receptor de es la laguna El Chiflón. La PTAR El Encanto se localiza en Paseo del encanto s/n, Fracc. El Encanto Parrilla II Km 14, carretera Vhsa-Teapa, en las coordenadas 17°53'37.15" Latitud Norte, 92°55'7.76" Longitud Oeste. El tipo de planta es RAFA + Ciénega.

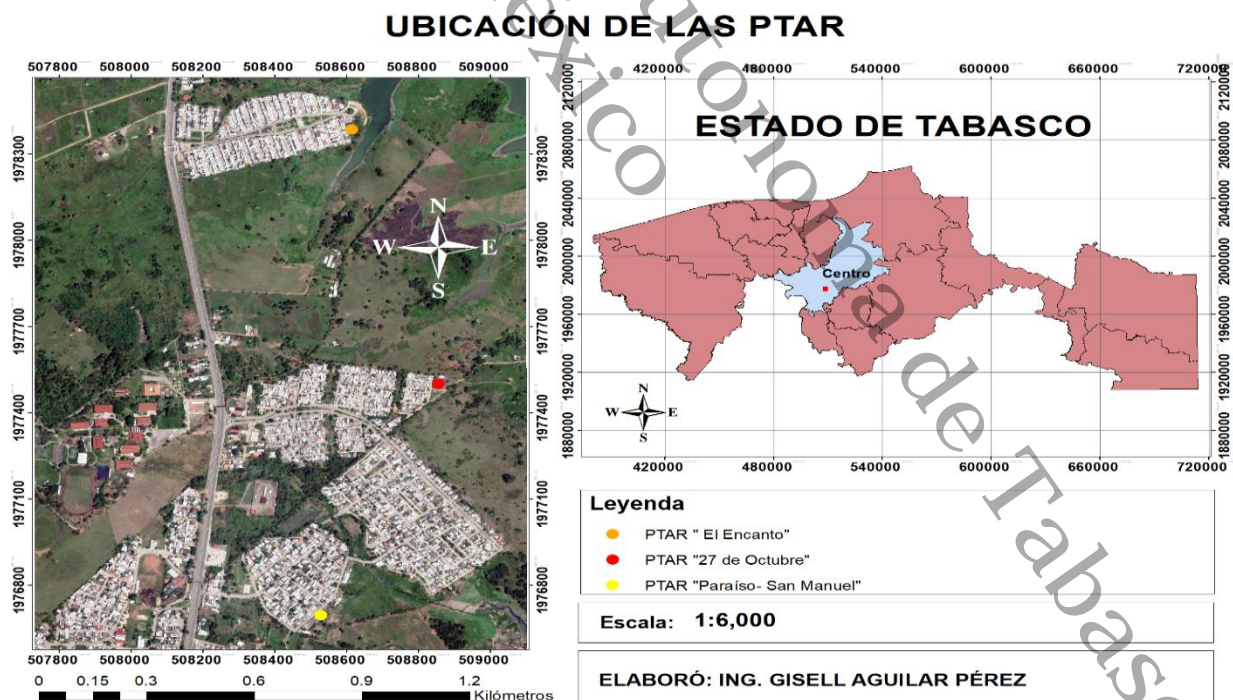


Figura 1. Localización de las Plantas de Tratamiento de Agua Residual, Parrilla II, Centro, Tab. Fuente: Google Earth, 2023.



### **7.1. Descripción del proceso de la planta Paraíso-San Manuel**

El agua residual generada en el fraccionamiento El Paraíso y San Manuel entra a la planta de tratamiento donde pasa un por un proceso de pretratamiento para evitar posibles daños a los equipos e infraestructura, una vez que el agua residual ha sido filtrada ingresa al cárcamo donde es temporalmente almacenada. Después el agua es bombeada a los biorreactores secuenciales SBR, operando de manera discontinua para posteriormente mezclarse con el lodo biológico en el medio aireado. El proceso combina en un solo tanque reacción, aeración y clarificación. El lodo generado es purgado para su posterior recirculación al sistema.

Finalmente, el agua es sometida a procesos químico por medio de la desinfección en el tanque de cloración, el agua es vertida al cuerpo receptor arroyo el Chiflón.

### **7.2. Descripción del proceso de la planta 27 de Octubre**

El proceso inicia con la recepción de las aguas residuales generadas en el fraccionamiento 27 de octubre, Parrilla II, donde son temporalmente almacenadas en el cárcamo el cual cuenta con una rejilla para la retención de residuos sólidos urbanos. Posteriormente el agua es bombeada hacia el tanque Imhoff por una bomba de 7.5 HP, donde los sólidos sedimentables se asientan en la cámara de sedimentación superior y desciende a la cámara de digestión toda la materia decantada y donde se da lugar las reacciones anaerobias, los lodos mineralizados que permanecen en la parte baja de la cámara son retirados periódicamente a un lecho de secado para su posterior tratamiento, secado y disposición final.

Posteriormente, las aguas resultantes pasan por un tratamiento secundario de Lecho de Hidrófitas el cual involucra una mezcla de procesos físicos (filtración, sedimentación y adsorción), químicos (precipitación, adsorción, hidrólisis, irradiación, oxidación y reducción) y biológicos. Finalmente, el agua llega a la unidad de contacto por cloración en donde es mezclada y luego es descargada a una zona de riego que conecta al arroyo el Chiflón.

### **7.3. Descripción del proceso de la planta El Encanto**

El agua residual del fraccionamiento El Encanto es llevada a la planta donde se somete a procesos de tipo físico, químico y biológicos. El agua pasa por la primera etapa del tratamiento preliminar, luego es concentrada temporalmente en el cárcamo para ser bombeada a los Reactores Anaerobios de Flujo Ascendente RAFA donde el agua fluye en sentido ascendente a través del manto de lodo biológico, la eficiencia de proceso es del 60% por lo que para cumplir con la calidad requerida el agua pasa por el sistema de humedal artificial de tipo serpentín para asegurar la depuración y remoción de los contaminantes. Por último, llega a la unidad de cloración para su desinfección posterior descarga al arroyo.



## 8. MATERIALES Y MÉTODOS

### 8.1. Actividades de campo

#### 8.1.1. Toma de muestra

Se realizaron actividades de reconocimiento en campo para identificar el sistema actual, viendo los componentes como son equipos, operaciones y procesos unitarios. Este estudio se efectuó a seis meses (ago-dic 2021). La medición del gasto se realizó durante las campañas de monitoreo de la calidad del agua, en horario de 8:00 a 18:00 horas con intervalos de 2 horas. Durante la fase de evaluación del sistema de tratamiento, se tomaron muestras de agua en el afluente y efluente de las unidades de proceso durante 7 días tomando una muestra simple diaria (12:00 horas), para verificar el comportamiento de estas variables del sistema.

#### 8.1.2. Evaluación física de las unidades del sistema

Dentro del levantamiento en campo se llevaron a cabo la toma de medidas de cada una de las unidades del sistema de tratamiento, incluyendo longitudes, profundidades, alturas, tirantes de agua, diámetros, etc. Esta actividad se realizó debido a la inaccesibilidad de los planos de la planta de tratamiento.

#### 8.1.3. Aforo de las aguas residuales

Como primera actividad fue necesario conocer el gasto de operación actual para lo cual se empleó el método volumétrico: midiendo el tiempo de llenado (t) del cárcamo de volumen conocido (v), donde se colecta la descarga (Briones y García, 2014).

$$Q = V/t \text{ (Ec.1)}$$

Donde:

Q=Caudal (m<sup>3</sup>) y T= Tiempo (s)

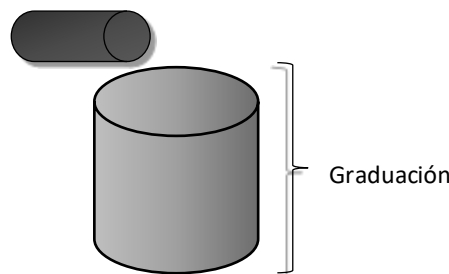


Figura 2. Graduación de la descarga al volumen de control que es el cárcamo.

El primer paso en la evaluación del sistema hidráulico fue calcular el Tiempo de Retención Hidráulica (TRH) de la unidad y posteriormente calcular los caudales del agua a lo largo de las líneas conductoras del sistema. Para evaluar el TRH se tuvieron en cuenta el perfil de velocidad del sistema y las tuberías de entrada y salida. Para calcular el TRH hay que tomar en cuenta las siguientes ecuaciones:



Ecuación de la continuidad, que rige el flujo de entrada a la unidad de tratamiento, es decir, es el cálculo de la velocidad del agua dentro de un sistema de transporte de área conocida como un tubo o un canal (Sotelo, 1994).

$$Q = A * v \quad (Ec. 2)$$

Donde:

A = Área de la sección transversal (m<sup>2</sup>). V = Velocidad en la sección dada (m/s).

Volumen y área de las unidades de tratamiento (tanque Imhoff y ciénega)

$$Vol = A * Ti \quad (Ec. 3)$$

$$A = \pi d^2 / 4 \quad (Ec. 4)$$

Donde:

Vol = volumen de agua contenido en la unidad (m<sup>3</sup>). A = área de la unidad de tratamiento (m<sup>2</sup>). Ti = Tirante o altura de agua que está contenida en la unidad de tratamiento (m). d = diámetro de la unidad de tratamiento (m).

Tiempo de retención hidráulico de la unidad (Metcalf y Eddy, 1996).

$$Vol = Q * TRH \quad (Ec. 5)$$

$$TRH = Vol / Q \quad (Ec. 6)$$

Donde:

Vol. = volumen de agua contenido en la unidad (m<sup>3</sup>). Q = Gasto de agua de entrada a la unidad de tratamiento (m<sup>3</sup>/s). TRH = Tiempo de retención hidráulico (horas).

#### 8.1.4. Sitios de muestro y obtención de muestra

El muestreo de las aguas se realizó de acuerdo con las normas NMX-AA-003-1980 y la NOM-001-SEMARNAT-2021 que establecen los Límites Máximos Permisibles de contaminación para la descarga de aguas y bienes nacionales. Las instalaciones carecen de un control específico sobre cada una de las unidades de tratamiento, por lo tanto, se realizaron evaluaciones generales en la entrada y salida del sistema, lo que hace imposible precisar o identificar que unidades presentan descontrol de proceso.

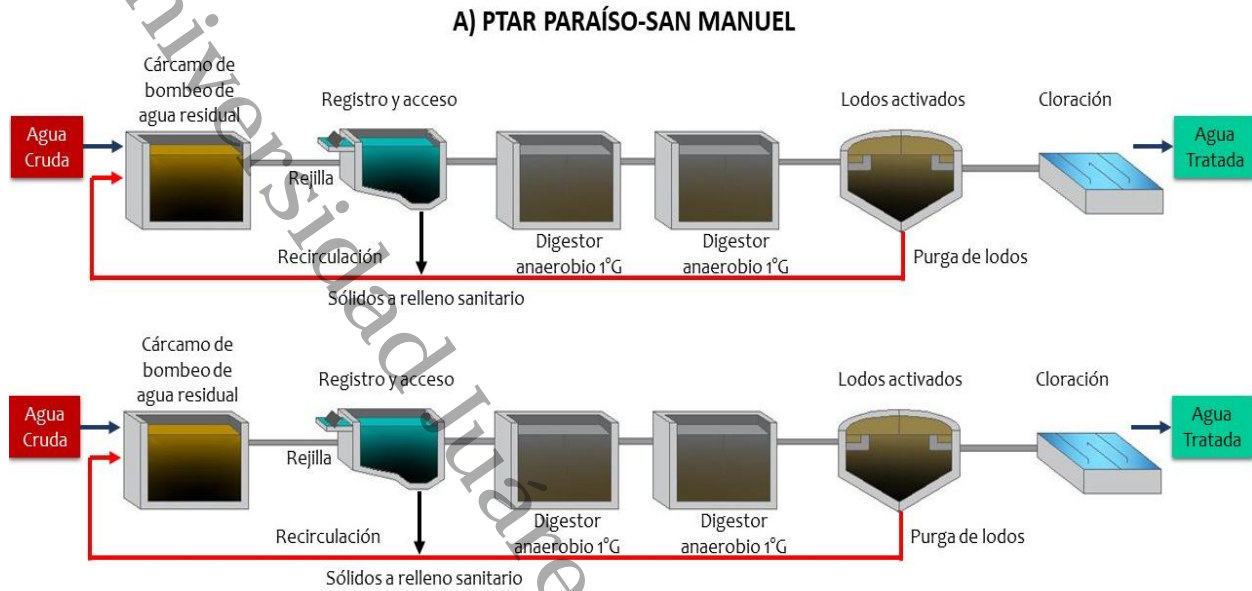


Figura 3. Diagrama de proceso de las PTAR Paraíso San Manuel.

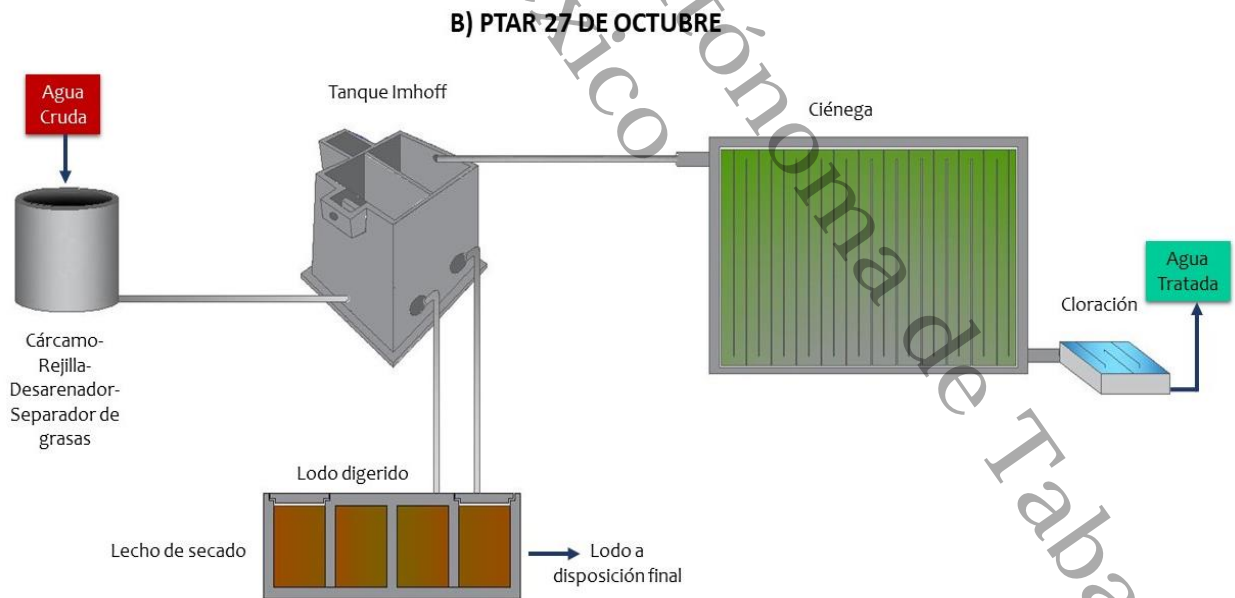


Figura 4. Diagrama de proceso de las PTAR 27 de Octubre.

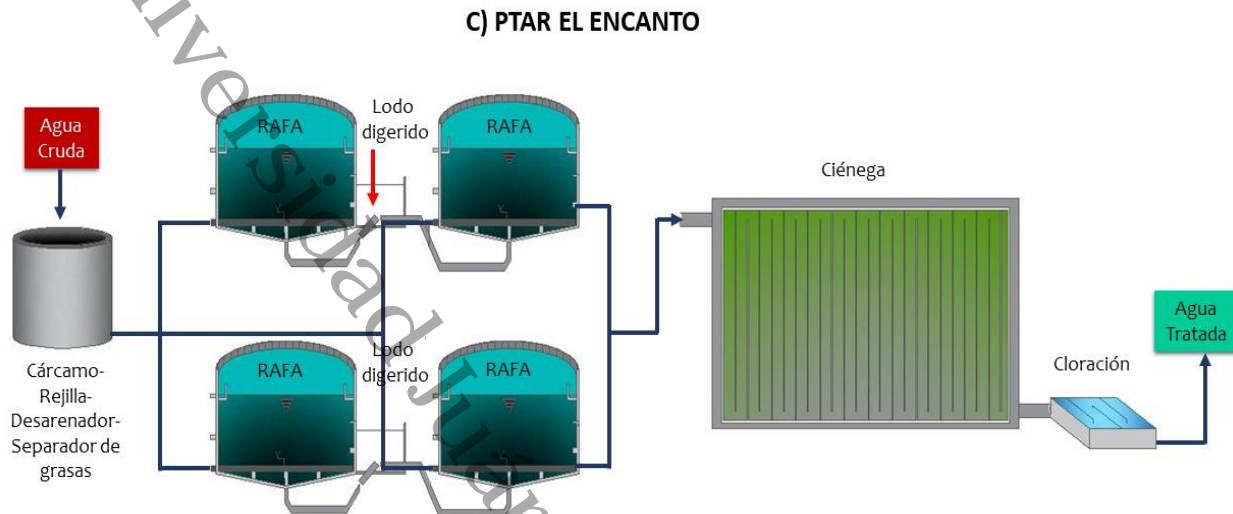


Figura 5. Diagrama de proceso de las PTAR El Encanto.

### 8.1.5. Evaluación del equipo de bombeo

Criterios de evaluación de los cárcamos Paraíso-San Manuel, 27 de octubre y El Encanto. Para calcular la tubería de entrada de bombeo se utilizan las siguientes ecuaciones (Sotelo, 1994; CNA, 1996; Metcalf & Eddy, 1996):

$$Q = (\pi * D^2 / 4) * v \quad (Ec. 7)$$

$$D = (4Q / \pi * v)^{\frac{1}{2}} \quad (Ec. 8)$$

Donde:

Q= Gasto de bombeo en función del área hidráulica (m<sup>3</sup>/s). V= Velocidad de succión de la bomba (1-3) (m/s). D= Diámetro de la tubería de transporte (m).

Por lo regular la tubería funciona como un vertedor circular y para calcular el tirante de dicho canal se emplea la siguiente ecuación (Sotelo, 1994; CNA, 1996; Metcalf y Eddy, 1996):

$$h = (Q / 1.47 * 2 * 3 * \pi * D)^{\frac{1}{1.42}} \quad (Ec. 9)$$

En el diseño del sistema de bombeo se requiere calcular el dimensionamiento con el gasto diario (Sotelo, 1994; CNA, 1996; Metcalf y Eddy, 1996). La operación se evalúa mediante la siguiente ecuación:

$$Q_B = 2 * Q_E \quad (Ec. 10)$$



Donde:

QB= Gasto de bombeo (m<sup>3</sup>/s). QE= Gasto de entrada (m<sup>3</sup>/s).

El tiempo de operación de bombeo se calcula a través de la ecuación:

$$T_B = V / (Q_B - Q_E) \quad (\text{Ec. 11})$$

Donde:

TB= Tiempo de bombeo (min) y V= Volumen de agua (m<sup>3</sup>)

Como especifica la ecuación de continuidad  $Q = A * v$  (Sotelo, 1994), para calcular las potencias de las bombas debe utilizarse el cálculo del diámetro, considerando las pérdidas por distancia, fricción, codos y accesorios para obtener el cálculo de la carga hidráulica total (HT).

$$P = \gamma Q_B (H_T) / 76 * n \quad (\text{Ec. 12})$$

Donde:

QB= Gasto de bombeo (m<sup>3</sup>/s). P= Potencia de la bomba (HP). Y= Peso específico del agua (1000 kg/m<sup>3</sup>). HT= Carga hidráulica total (m)

## 8.2. Actividades de laboratorio

### 8.3. Análisis de parámetros de control de procesos del sistema

La caracterización de los parámetros de control que se establecieron se realizó por los procedimientos analíticos señalados en la normatividad oficial mexicana y en los métodos estandarizados por la EPA. Para reducir los errores experimentales y aplicar las pruebas estadísticas, las pruebas se efectuaron por triplicado. Los métodos usados para la medición de los parámetros fueron: pH (SM 4500 B), temperatura (SM 2550 B), los cuales fueron medidos con el equipo Hanna® HI98129, la turbiedad se determinó por el método SM 2130 B, utilizando el equipo Hanna® HI 98703 con precisión de 0.01 UNT, el color se determinó mediante el método APHA 2120, con el equipo Lamotte® con una precisión de 0.1 UC modelo LTC y la DQO (USEPA 410.4) fue medido con el equipo Hanna® HI839800-01. Los parámetros como DBO, SST, NT y PT se determinaron por los métodos NMX-AA-028-SCFI-2001, SCFI NMX-AA-034-SCFI-2001, NMX-AA-029-SCFI-2001 y NMX-AA-026-SCFI-2001 respectivamente.

## 8.4. Actividades de gabinete

Las actividades del proyecto realizadas son las siguientes:

- Revisión bibliográfica de las plantas de tratamiento de aguas residuales.
- Recopilación y revisión de información histórica sobre la operación de las plantas de tratamiento de agua residuales.



- Recopilación de datos geográficos, demográficos y climatológicos, por medio de información del INEGI, CONAGUA y dependencias del gobierno del estado de Tabasco.
- Implementación de un plan de muestreo y aforo, de acuerdo con los lineamientos establecidos en la NMX-AA-003-1980 “Análisis de agua-muestreo de aguas residuales y residuales tratadas”.
- Revisión de las metodologías de diseños utilizadas, tales como publicaciones, tesis, artículos, inventarios, Manuales CONAGUA, para determinar el método de diseño a utilizar en la planta.
- Realización de la síntesis de procesos del sistema acoplado.

#### 8.4.1. Población y gasto del proyecto

Para evaluar el gasto teórico de las aguas residuales se realizaron estimaciones indirectas de los caudales actuales y cálculos directos de campo. Para el cálculo teórico se utilizó la población actual y los modelos establecidos por la CONAGUA (2019), considerando la capacidad de carga de los fraccionamientos y se realizó el cálculo del gasto con una aportación de 160 l/hab/día estimado a partir de la dotación que realiza el Sistema de Agua y Saneamiento (SAS) de 200 L/hab/día. Para el gasto máximo instantáneo se consideró el coeficiente de Harmon y un coeficiente de seguridad de 1.5 Con respecto con la Demanda Química de Oxígeno fueron determinadas con un factor de carga equivalente a 202.5 gr/hab/día.

#### 8.4.2. Eficiencia requerida del sistema

La eficiencia de proceso está dada en función de la concentración promedio de entrada y salida de una sustancia. Para cualquier sustancia dada se puede aplicar el cálculo de eficiencia requerida y eficiencia de proceso de remoción mediante la siguiente ecuación respectivamente (Metcalf y Eddy, 1996).

$$\eta_p = \frac{CC1 - CC3}{C1} * 100 \quad (Ec. 13)$$

Donde:

$\eta_p$  = eficiencia de proceso (remoción de una sustancia dada) (%).  $C1$  = Concentración de entrada de la sustancia al sistema ( $mg \cdot L^{-1}$ ).  $C3$  = Concentración de salida de la sustancia del sistema ( $mg \cdot L^{-1}$ ).

#### 8.4.3. Análisis de resultados

Una vez obtenidos los resultados de laboratorio, se analizaron los datos para determinar cuánto sobrepasaban los límites máximos permisibles establecidos por la NOM-001-SEMARNAT-2021 de los parámetros medidos. Conforme a los datos



obtenidos del agua residual a tratar, el sitio para la construcción de la planta, la población y los gastos del proyecto se procedió con el desarrollo del diseño de los sistemas de tratamientos de aguas residuales propuestos para la optimización que son las lagunas para la PTAR Paraíso San Manuel y la rehabilitación de la PTAR 27 de Octubre de acuerdo a los criterios de diseño.



## 9. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 9.1. Características de la calidad del agua de las PTAR

#### 9.1.1. Gasto de diseño de las PTAR (Q teórico actual)

#### 9.1.2. Gastos de operación de las PTAR

Durante el periodo de estudio la PTAR Paraíso-San Manuel presentó un comportamiento variable en su operación y se encontró un  $Q_{min}$  de 8 l/s, un  $Q_{med}$  de 17 l/s y un  $Q_{máx}$  de 23 l/s, valores superiores al gasto de diseño que es de 20 l/s (Figura 4). La PTAR 27 de Octubre presentó un comportamiento variable en su operación y se encontró un  $Q_{min}$  de 7 l/s, un  $Q_{med}$  de 13 l/s y un  $Q_{máx}$  de 18 l/s, valores superiores al gasto de diseño que es de 16 l/s (Figura 2) y finalmente la PTAR El Encanto presentó un comportamiento variable en su operación y se encontró un  $Q_{min}$  de 6 l/s, un  $Q_{med}$  de 8 l/s y un  $Q_{máx}$  de 13 l/s, valores similares a las de diseño que es de 20 l/s (Figura 6). Por ello las PTAR puede presentar descontroles de proceso pues disminuyen los tiempos de retención hidráulico de las unidades de proceso en las PTAR (CONAGUA, 2019; Crites y Tchobanoglous, 2000).

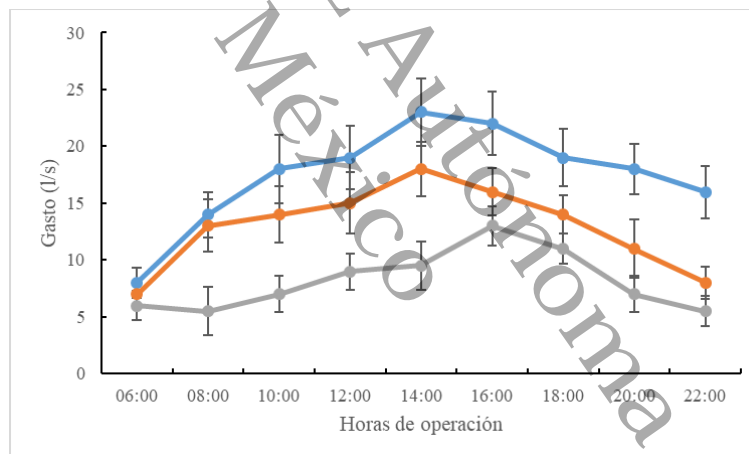


Figura 6. Gastos de operación en las PTAR del corredor Parrilla II en Centro, Tabasco.



## 9.2. Calidad del agua en los cárcamos concentradores

Los comportamientos de las variables de calidad del agua en los cárcamos concentradores se muestran en la Tabla 1. El agua en los cárcamos muestra características de difícil degradación según el criterio de Crites y Tchobanoglous, 2000.

*Tabla 1. Valores promedio de calidad del agua en los cárcamos concentradores.*

| Parámetros | Unidad | Paraíso-San Manuel |       | El Encanto |       | 27 de Octubre |       | LMP           | Ref. |
|------------|--------|--------------------|-------|------------|-------|---------------|-------|---------------|------|
|            |        | Valor              | ±DE   | Valor      | ±DE   | Valor         | ±DE   |               |      |
| Temp.      | °C     | 26.7               | 1.0   | 26.6       | 0.9   | 26.6          | 1.0   | 35            | a    |
| Turbiedad  | UNT    | 15.0               | 3.9   | 22.5       | 6.1   | 19.9          | 9.4   | 15            | b    |
| Color      | UC     | 1323.4             | 197.1 | 1986.6     | 413.5 | 2283.9        | 363.2 | 10            | b    |
| pH         | UpH    | 7.4                | 0.3   | 7.8        | 0.2   | 7.3           | 0.1   | 6 a 9         | a    |
| DQO        | mg/L   | 404.2              | 174.7 | 509.2      | 140.7 | 485.6         | 138.1 | 100           | a    |
| DBO        | mg/L   | 161.7              | 69.9  | 203.7      | 56.3  | 194.2         | 55.3  |               |      |
| SST        | mg/L   | 40.4               | 10.4  | 60.8       | 16.6  | 53.8          | 25.4  | 60 a 84       | a    |
| NT         | mg/L   | 34.4               | 14.9  | 43.3       | 12.0  | 41.3          | 11.8  | 25 a 35       | a    |
| PT         | mg/L   | 6.1                | 2.6   | 7.7        | 2.1   | 7.3           | 2.1   | 15 a 21       | a    |
| DBO/DQO    |        | 0.4                |       | 0.4        |       | 0.4           |       | Dif. Degrada. | c    |

a) NOM-001-SEMARNAT-2021, b) LFDDAMAN, LCA, 2019 y c) Crites y Tchobanoglous, 2000.

## 9.3. Diagnóstico de la infraestructura existente y eficiencias de las PTAR

### 9.3.1. Gestión ambiental y estatus de las PTAR

#### PTAR del fraccionamiento Paraíso- San Manuel

*Tabla 2. Datos generales de la PTAR "Paraíso- San Manuel", Parrilla II.*

|                              |  |                                   |  |                      |   |
|------------------------------|--|-----------------------------------|--|----------------------|---|
| <b>Nombre de la Planta</b>   | Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Paraíso- San Manuel. |                                   |  |                      |   |
| <b>Operador responsable</b>  | Ing. Jybram Enrique Juárez López.                              |                                   |  |                      |   |
| <b>Cargo</b>                 | Operador.  |                                   |  |                      |   |
| <b>Años en su función</b>    | 2 años.  |                                   |  |                      |   |
| <b>Formación profesional</b> |  |                                   |  |                      |   |
| <b>No. Control</b>           |  | <b>Ubicación</b>                  | Parrilla II Km 15, carretera Vhsa-Teapa. |                      |   |
| <b>Proyecto</b>              |  | <b>Tipo de planta</b>             | Reactor bioenzimático – Lodos Activados  |                      |   |
| <b>Fecha de inspección</b>   | 25/09/21   | <b>Finalidad de la inspección</b> |  |                      |   |
| <b>Hora de terminación</b>   |  | <b>Monitoreo</b>                  | x  | <b>Prev/cont</b>     | x |
|                              |  |                                   |  | <b>Investigación</b> | x |

*Tabla 3. Datos de operación de la PTAR "Paraíso-San Manuel", Parrilla II.*

| Resumen de datos de operación                                     |  |
|---|--|
| <b>Descripción del Proceso</b>                                    | Tren de tratamiento que cuenta con sedimentación primaria y tratamiento biológico: rejillas, trampa de grasas, tanque de aireación, tanque sedimentador, sistema de retorno de lodos, clarificador, área de cloración y tubería de desechos donde son purgados los lodos para su posterior traslado al sitio de disposición final. |
| <b>Análisis de parámetros de control de procesos (último año)</b> | No existen registros.  |
| <b>Horario de operación</b>                                       | La planta de tratamiento opera 24 horas. Se realiza el primer bombeo a las 6:00 am, y posterior se realizan bombeos intermitentes.   |



|  |  |
|--|--|
| <b>Plano del sistema de tratamiento</b>                          | No se obtuvo acceso a los planos estructurales y funcionales.  |
| <b>Personal asignado por turnos, especifique cargo y función</b> | Se cuenta con un solo personal asignado por el ayuntamiento del Centro. La función principal del operador es verificar la adecuada operatividad de los equipos, controlar los procesos y monitorear la planta de tratamiento de agua residual. |

*Tabla 4. Requisitos y trámites ambientales que la PTAR debe cumplir.*

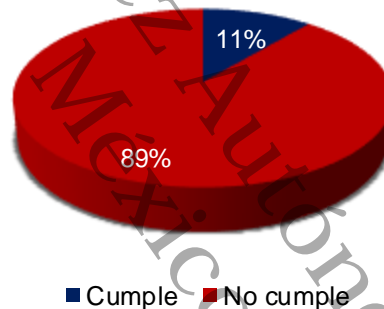
| <b>Requisitos o trámites</b>   | <b>Estatus</b>  |
|--|---|
| <b>Derecho de descarga y tipo</b>  | El sistema de saneamiento de la CEAS autoriza el permiso de descarga de agua residual de uso doméstico tratadas de la planta Paraíso-San Manuel.  |
| <b>Características particulares de descargas (parámetros)</b>  | El agua tratada es vertida a la laguna el Chiflón que conecta con el área de los humedales de Parrilla. En esta misma, descargan sus aguas las plantas de tratamiento de los fraccionamientos 27 de Octubre, El Encanto, las Margaritas, Policía y tránsito, Infonavit Parrilla, Prados del Sol, entre otros. |
| <b>Gasto de diseño y gasto de operación de la planta</b>   | La planta de tratamiento está diseñada para un gasto de 20 LPS. La planta opera discontinuamente por lo que no presenta un flujo continuo, sin embargo, el gasto de operación es en promedio de 17 LPS.   |
| <b>Balance de materia (lodos primarios, lodos secundarios y su disposición) indique cantidades en función de carga de sólidos y de DBO</b>   | No se realiza la determinación del volumen de lodos. Sólo se envían al sitio de disposición final.  |
| <b>Productos químicos aplicados a proceso (volumen y masa /día o mes)</b>  | La planta de tratamiento cuenta con un sistema de cloración que actualmente está en inhabilitado debido a la falta de suministro de insumos y mantenimiento del tanque de cloración.  |
| <b>Tipo de cuerpo receptor al que descarga</b>   | Laguna El Chiflón. Usos múltiples.  |
| <b>Estudio de modelación ambiental para determinar la capacidad de auto depuración del efluente de la planta al cuerpo receptor. Indique la capacidad de amortiguamiento del cuerpo.</b> | No se ha realizado.   |
| <b>Estudio de impacto ambiental, modalidad</b>   | No se ha realizado.   |
| <b>Estudio de riesgo</b>   | No se ha realizado.   |
| <b>Programa de operación y mantenimiento</b>   | No se ha realizado.   |
| <b>Programa de prevención de accidentes</b>  | No se ha realizado. El personal no cuenta con equipo básico de protección personal.   |
| <b>Plan de contingencia ambiental y Sistema auxiliar de emergencias</b>  | No se ha realizado.   |



*Tabla 5. Cumplimiento de los requisitos y trámites ambientales de la PTAR Paraíso-San Manuel.*

| Requisitos/Trámite   | Cumple   | No cumple |
|--|----------|-----------|
| Derecho de descarga  | <b>X</b> |           |
| Gasto de diseño y gasto de operación de la planta  |          | <b>X</b>  |
| Balance de materia (lodos primarios, lodos secundarios y su disposición) en función de carga de sólidos y de DBO             |          | <b>X</b>  |
| Estudio de modelación ambiental para determinar la capacidad de auto depuración del efluente de la planta al cuerpo receptor |          | <b>X</b>  |
| Estudio de impacto ambiental, modalidad  |          | <b>X</b>  |
| Estudio de riesgo  |          | <b>X</b>  |
| Programa de operación y mantenimiento  |          | <b>X</b>  |
| Programa de prevención de accidentes   |          | <b>X</b>  |
| Plan de contingencia ambiental y Sistema auxiliar de emergencias   |          | <b>X</b>  |

**Cumplimiento de los requisitos y trámites ambientales**



*Figura 7. Gráfico del cumplimiento de los requisitos y trámites ambientales de la PTAR Paraíso-San Manuel.*

*Tabla 6. Cumplimiento de procesos de la PTAR Paraíso- San Manuel, Parrilla II.*

| Proceso                          | Cumple   | No cumple |
|----------------------------------|----------|-----------|
| Cárcamo de bombeo                | <b>X</b> |           |
| Pretratamiento                   |          | <b>X</b>  |
| Digestor anaerobio 1ª generación |          | <b>X</b>  |
| Sistema de lodos activados       |          | <b>X</b>  |
| Tanque de cloración              |          | <b>X</b>  |



### Cumplimiento de procesos de la planta

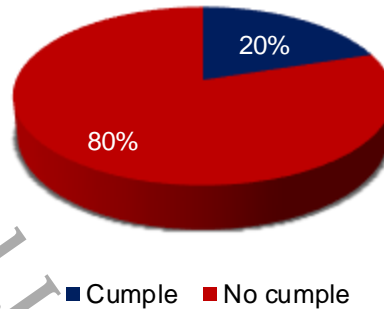


Figura 8. Gráfico del cumplimiento de los procesos de la PTAR Paraíso- San Manuel.

### PTAR del fraccionamiento 27 de Octubre

Tabla 7. Datos generales de la PTAR "27 de Octubre", Parrilla II.

|                              |   |                                   |   |                  |   |                      |   |
|------------------------------|---|-----------------------------------|---|------------------|---|----------------------|---|
| <b>Nombre de la Planta</b>   | Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Paraíso- San Manuel |                                   |   |                  |   |                      |   |
| <b>Operador responsable</b>  | C. Armando Pardo Pérez  |                                   |   |                  |   |                      |   |
| <b>Cargo:</b>                | Operador  |                                   |   |                  |   |                      |   |
| <b>Años en su función</b>    | 2 años  |                                   |   |                  |   |                      |   |
| <b>Formación profesional</b> | Secundaria  |                                   |   |                  |   |                      |   |
| <b>No. Control</b>           |   | <b>Ubicación</b>                  | Parrilla II Km 14, carretera Vhsa-Teapa |                  |   |                      |   |
| <b>Proyecto</b>              |   | <b>Tipo de planta</b>             | Tanque Imhoff - Ciénega                 |                  |   |                      |   |
| <b>Fecha de inspección</b>   | 25/09/21  | <b>Finalidad de la inspección</b> |   |                  |   |                      |   |
| <b>Hora de terminación</b>   |   | <b>Monitoreo</b>                  | x                                       | <b>Prev/cont</b> | x | <b>Investigación</b> | x |

Tabla 8. Datos operación de la PTAR 27 de Octubre, Parrilla II.

| Resumen de datos de operación                                      |   |
|--|---|
| <b>Descripción del Proceso</b>                                     | Tren de tratamiento que cuenta con pretratamiento, tratamiento primario, tratamiento secundario y desinfección por cloración. Del mismo modo se cuenta con un módulo de lecho de secado para su posterior transporte a sitios de disposición final. |
| <b>Análisis de parámetros de control de procesos (último año).</b> | No existen registros.   |
| <b>Horario de operación</b>  | La planta de tratamiento opera 10 horas al día, realiza el primer bombeo a las 6:00 am, y posterior realiza bombeos intermitentes, hasta las 4:00 pm.   |
| <b>Plano del sistema de tratamiento</b>                            | No se obtuvo acceso a los planos estructurales y funcionales.   |
| <b>Personal asignado por turnos, especifique cargo y función</b>   | Se cuenta con un solo personal asignado por el ayuntamiento del Centro. La función principal del operador es verificar la adecuada operatividad de los equipos, controlar los procesos y monitorear la planta de tratamiento de agua residual.      |



*Tabla 9. Requisitos y trámites ambientales que la planta de tratamiento debe cumplir.*

| <b>Requisitos o trámites</b>   | <b>Estatus</b>  |
|--|---|
| <b>Derecho de descarga y tipo</b>  | El sistema de saneamiento de la CEAS autoriza el permiso de descarga de agua residual de uso doméstico tratadas de la planta 27 de Octubre.   |
| <b>Características particulares de descargas (parámetros)</b>  | El agua tratada es vertida a la laguna el Chiflón que conecta con el área de los humedales de Parrilla. En esta misma, descargan sus aguas las plantas de tratamiento de los fraccionamientos del Paraíso, San Manuel, El Encanto, las Margaritas, Policía y tránsito, Infonavit Parrilla, Prados del Sol, entre otros. |
| <b>Gasto de diseño y gasto de operación de la planta</b>   | La planta de tratamiento está diseñada para un gasto de 16 LPS. La planta opera discontinuamente por lo que no presenta un flujo continuo, sin embargo, el gasto de operación es en promedio de 13 LPS.   |
| <b>Balance de materia (lodos primarios, lodos secundarios y su disposición) indique cantidades en función de carga de sólidos y de DBO</b>   | No se realiza la determinación del volumen de lodos. Sólo se envían al sistema de lecho de secado.  |
| <b>Productos químicos aplicados a proceso (volumen y masa /día o mes)</b>  | La planta de tratamiento cuenta con un sistema de cloración que actualmente está en inhabilitado debido a la falta de suministro de insumos y mantenimiento del tanque de cloración.  |
| <b>Tipo de cuerpo receptor al que descarga</b>   | Laguna El Chiflón. Usos múltiples.  |
| <b>Estudio de modelación ambiental para determinar la capacidad de auto depuración del efluente de la planta al cuerpo receptor. Indique la capacidad de amortiguamiento del cuerpo.</b> | No se ha realizado.   |
| <b>Estudio de impacto ambiental, modalidad</b>   | No se ha realizado.   |
| <b>Estudio de riesgo</b>   | No se ha realizado.   |
| <b>Programa de operación y mantenimiento</b>   | No se ha realizado.   |
| <b>Programa de prevención de accidentes</b>  | No se ha realizado. El personal no cuenta con equipo básico de protección personal.   |
| <b>Plan de contingencia ambiental y Sistema auxiliar de emergencias</b>  | No se ha realizado.   |

*Tabla 10. Cumplimiento de los requisitos y trámites ambientales de la PTAR 27 de Octubre.*

| <b>Requisitos/Trámite</b>  | <b>Cumple</b> | <b>No cumple</b> |
|--|---------------|------------------|
| Derecho de descarga  | <b>X</b>      |                  |
| Gasto de diseño y gasto de operación de la planta  |               | <b>X</b>         |
| Balance de materia (lodos primarios, lodos secundarios y su disposición) en función de carga de sólidos y de DBO             |               | <b>X</b>         |
| Estudio de modelación ambiental para determinar la capacidad de auto depuración del efluente de la planta al cuerpo receptor |               | <b>X</b>         |
| Estudio de impacto ambiental, modalidad  |               | <b>X</b>         |
| Estudio de riesgo  |               | <b>X</b>         |
| Programa de operación y mantenimiento  |               | <b>X</b>         |



|  |  |          |
|--|--|----------|
| Programa de prevención de accidentes                             |  | <b>X</b> |
| Plan de contingencia ambiental y Sistema auxiliar de emergencias |  | <b>X</b> |

**Cumplimiento de los requisitos y trámites ambientales**

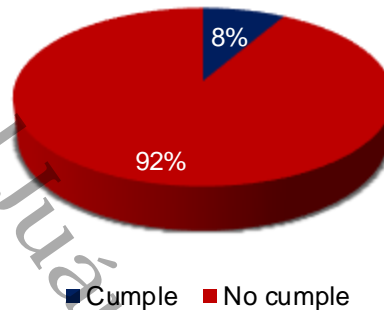


Figura 9. Gráfico del cumplimiento de los datos de operación de la PTAR 27 de Octubre.

Tabla 11. Cumplimiento de procesos de la PTAR 27 de Octubre.

| Proceso             | Cumple   | No cumple |
|---------------------|----------|-----------|
| Cárcamo de bombeo   | <b>x</b> |           |
| Pretratamiento      | <b>x</b> |           |
| Tanque Imhoff       | <b>x</b> |           |
| Ciénega             | <b>x</b> |           |
| Lecho de secado     |          | <b>x</b>  |
| Tanque de cloración |          | <b>x</b>  |

**Cumplimiento de procesos de la planta**

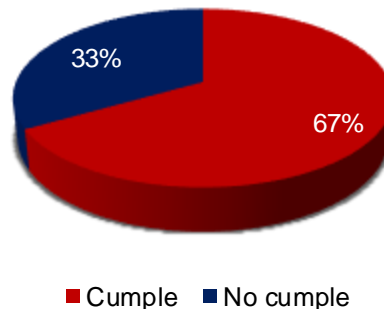


Figura 10. Gráfico del cumplimiento de los procesos de la PTAR 27 de Octubre.



## Planta de tratamiento del fraccionamiento de El Encanto

*Tabla 12. Datos generales de la PTAR "El Encanto", Parrilla II.*

|                              |   |   |   |                  |   |                      |   |
|------------------------------|---|---|---|------------------|---|----------------------|---|
| <b>Nombre de la Planta</b>   | Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Paraíso- San Manuel |   |   |                  |   |                      |   |
| <b>Operador responsable</b>  | C. Humberto de la Cruz Morales                                |   |   |                  |   |                      |   |
| <b>Cargo:</b>                | Operador  |   |   |                  |   |                      |   |
| <b>Años en su función</b>    | 21 años   |   |   |                  |   |                      |   |
| <b>Formación profesional</b> | Secundaria  |   |   |                  |   |                      |   |
| <b>No. Control</b>           | <b>Ubicación</b>  | Parrilla II Km 14, carretera Vhsa-Teapa |   |                  |   |                      |   |
| <b>Proyecto</b>              | <b>Tipo de planta</b>   | RAFA - Ciénega                          |   |                  |   |                      |   |
| <b>Fecha de inspección</b>   | 25/09/21  | <b>Finalidad de la inspección</b>       |   |                  |   |                      |   |
| <b>Hora de terminación</b>   |   | <b>Monitoreo</b>                        | x | <b>Prev/cont</b> | x | <b>Investigación</b> | x |

*Tabla 13. Datos operación de la PTAR "El Encanto", Parrilla*

| <b>Resumen de datos de operación</b>                               |  |
|--|--|
| <b>Descripción del Proceso</b>                                     | Sistema de tratamiento que cuenta con pretratamiento, tratamiento primario, tratamiento secundario y desinfección por cloración. La geometría del RAFA corresponde a un tanque circular hermético complementado por el sedimentador, los vertedores y el sistema de recolección de gas. Adicional a este sistema se encuentra la unidad de humedal artificial en forma de serpentín. |
| <b>Análisis de parámetros de control de procesos (último año).</b> | No existen registros.  |
| <b>Horario de operación</b>  | La planta de tratamiento opera 24 horas, realiza el primer bombeo a las 6:00 am, y posterior realiza bombeos intermitentes.  |
| <b>Plano del sistema de tratamiento</b>                            | No se obtuvo acceso a los planos estructurales y funcionales.  |
| <b>Personal asignado por turnos, especifique cargo y función</b>   | Se cuenta con un solo personal asignado por el ayuntamiento del Centro. La función principal del operador es verificar la adecuada operatividad de los equipos, controlar los procesos y monitorear la planta de tratamiento de agua residual.   |

*Tabla 14. Requisitos y trámites ambientales que la planta de tratamiento debe cumplir.*

| <b>Requisitos o trámites</b>  | <b>Estatus</b>   |
|---|--|
| <b>Derecho de descarga y tipo</b>   | El sistema de saneamiento de la CEAS autoriza el permiso de descarga de agua residual de uso doméstico tratadas de la planta El Encanto.   |
| <b>Características particulares de descargas (parámetros)</b>                   | El agua tratada es vertida a la laguna el Chiflón que conecta con el área de los humedales de Parrilla. En esta misma, descargan sus aguas las plantas de tratamiento de los fraccionamientos del Paraíso, San Manuel, 27 de Octubre, las Margaritas, Policía y tránsito, Infonavit Parrilla, Prados del Sol, entre otros. |
| <b>Gasto de diseño y gasto de operación de la planta</b>                        | La planta de tratamiento está diseñada para un gasto de 10 LPS. La planta tiene un comportamiento variable por lo que no presenta un flujo continuo, sin embargo, el gasto de operación es en promedio de 8 LPS.   |
| <b>Balance de materia (lodos primarios, lodos secundarios y su disposición)</b> | No se realiza la determinación del volumen de lodos.   |

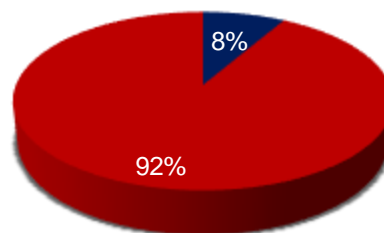


|   |  |
|---|--|
| indique cantidades en función de carga de sólidos y de DBO  |  |
| Productos químicos aplicados a proceso (volumen y masa /día o mes)  | La planta de tratamiento cuenta con un sistema de cloración que actualmente está en inhabilitado debido a la falta de suministro de insumos y mantenimiento del tanque de cloración. |
| Tipo de cuerpo receptor al que descarga   | Laguna El Chiflón. Usos múltiples.   |
| Estudio de modelación ambiental para determinar la capacidad de auto depuración del efluente de la planta al cuerpo receptor. | No se ha realizado.  |
| Estudio de impacto ambiental, modalidad   | No se ha realizado.  |
| Estudio de riesgo   | No se ha realizado.  |
| Programa de operación y mantenimiento   | No se ha realizado.  |
| Programa de prevención de accidentes  | No se ha realizado. El personal no cuenta con equipo básico de protección personal.  |
| Plan de contingencia ambiental y Sistema auxiliar de emergencias  | No se ha realizado.  |

*Tabla 15. Cumplimiento de los requisitos y trámites ambientales de la PTAR El Encanto.*

| Requisitos/Trámite   | Cumple   | No cumple |
|--|----------|-----------|
| Derecho de descarga  | <b>X</b> |           |
| Gasto de diseño y gasto de operación de la planta  |          | <b>X</b>  |
| Balance de materia (lodos primarios, lodos secundarios y su disposición) en función de carga de sólidos y de DBO             |          | <b>X</b>  |
| Estudio de modelación ambiental para determinar la capacidad de auto depuración del efluente de la planta al cuerpo receptor |          | <b>X</b>  |
| Estudio de impacto ambiental, modalidad  |          | <b>X</b>  |
| Estudio de riesgo  |          | <b>X</b>  |
| Programa de operación y mantenimiento  |          | <b>X</b>  |
| Programa de prevención de accidentes   |          | <b>X</b>  |
| Plan de contingencia ambiental y Sistema auxiliar de emergencias   |          | <b>X</b>  |

### Cumplimiento de los requisitos y trámites ambientales



■ Cumple ■ No cumple

*Figura 11. Gráfico del cumplimiento de los datos de operación de la PTAR El Encanto.*



Tabla 16. Cumplimiento de procesos de la PTAR 27 de Octubre.

| Proceso                                    | Cumple | No cumple |
|--|--------|-----------|
| Cárcamo de bombeo                          | x      |           |
| Pretratamiento                             |        | x         |
| Reactor Anaerobio de Flujo Ascendente RAFA |        | x         |
| Ciénega                                    |        | x         |
| Tanque de cloración                        |        | x         |

### Cumplimiento de procesos de la planta

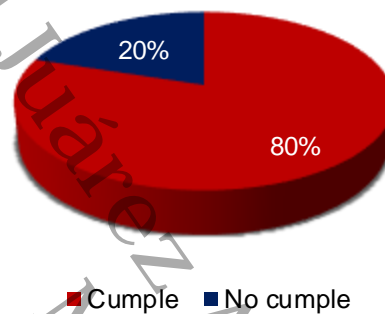




Figura 12. Gráfico del cumplimiento de los procesos de la PTAR El Encanto.

#### 9.4. Estado actual de la infraestructura existente

La planta de tratamiento de El Paraíso-San Manuel consta de dos módulos idénticos de 10 l/s cada uno, no se encuentran en operación según lo reportado por los operadores desde hace 10 años y sólo se encuentra en operación el cárcamo concentrador realizando su descarga directa hacia las lagunas aledañas al área. En el caso de la PTAR El Encanto, la cual se encuentra en un Fraccionamiento, en el cual el fraccionador no opera el sistema dejando el problema al ayuntamiento de Centro, con una infraestructura incompleta al contar con un tren adecuado para el manejo de los lodos residuales, del mismo modo sólo opera el cárcamo mandando a los sistemas lagunares del área el agua sin tratamiento. Finalmente, de las tres plantas evaluadas es la de 27 de Octubre la que se encuentra en operación, pero presenta problemas de operación y mantenimiento.



Tabla 17. Descripción de las unidades físicas de la planta 27 de Octubre.

| Descripción   | Figura de la unidad  |
|---|--|
| <p>Elemento No.1.- De acuerdo con la capacidad y método constructivo, éste se clasifica de tipo convencional mediano. Cuenta con 6 m de altura y 6 m de tirante operativo. Como primera sección de la planta de tratamiento, el cárcamo presenta una rejilla gruesa intermedia de inclinación vertical fabricadas a base de varillas corrugadas de 1/4" de diámetro con claros de 1.5 cm que permite detener sólidos no biodegradables que puedan causar daños mecánicos a los equipos que operan de forma continua en la PTAR. Los sólidos son recuperados mediante herramientas de elaboración propia. Se determinó que cuenta con al menos 45 cm de material de azolve (sedimentos) proveniente de materia orgánica y sólidos suspendidos por lo que es recomendable realizar mantenimiento y limpiezas periódicas, cada semana como mínimo.</p> |  <p data-bbox="834 879 1403 909">Figura 13. Cárcamo recolector de agua residual.</p> |
| <p>Elemento No.2.- El colector principal tiene conexión directa al tanque Imhoff donde ya paso por un desarenador y separador de grasas. La infraestructura presenta una notoria falta de mantenimiento. En esta unidad se encontró con muchos residuos sólidos urbanos y materia flotante.</p>   |  <p data-bbox="850 1463 1386 1493">Figura 14. Tanque Imhoff de aguas primarias.</p> |



Elemento No.3.- Está construido de mampostería de concreto, con profundidad total útil de 50 cm.

Actualmente estaba fuera de operación debido a las válvulas estropeadas que conectan directamente el tanque Imhoff con el lecho de secado.



Figura 15. Lecho de Secado.

Elemento No.4.- Involucra una mezcla de procesos físicos, químicos y biológicos los En la unidad serpentín hubo ausencia de vegetación de plantas hidrófitas que cumplieran con la función de degradar y remover contaminantes.



Figura 16. Ciénega.

### 9.5. Eficiencia de remoción en las PTAR

La planta de tratamiento de El Paraíso-San Manuel consta de dos módulos idénticos de 10 l/s cada uno, no se encuentran en operación según lo reportado por los operadores desde hace 10 años y sólo se encuentra en operación el cárcamo concentrador realizando su descarga directa hacia las lagunas aledañas al área. En el caso de la PTAR El Encanto, la cual se encuentra en un Fraccionamiento, en el cual el fraccionador no opera el sistema dejando el problema al ayuntamiento de Centro, con una infraestructura incompleta al contar con un tren adecuado para el manejo de los lodos residuales, del mismo modo sólo opera el cárcamo mandando a los sistemas lagunares del área el agua sin tratamiento. Finalmente, de las tres plantas evaluadas es



la de 27 de Octubre la que se encuentra en operación, pero presenta problemas de operación y mantenimiento. Este sistema presenta una remoción de 42% de DQO, no permitiendo cumplir con el LMP de 100 mg/L establecido por la NOM-001-SEMARNAT-2021 que fue publicada en marzo de 2022. El sistema como tal presenta azolve de sedimentos provenientes de materia orgánica y sólidos suspendidos que no han sido purgados, lo que disminuye considerablemente el tiempo de retención hidráulica de las unidades ocasionando de fenómeno de corto circuito, por lo que se presentan valores negativos en los parámetros de proceso (Vázquez y López, 2011) que típicamente presentan estas unidades por falta de manteamiento.

El problema para este sistema se resuelve con poca inversión ya que sólo requiere realizar las purgas de lodos del Tanque Imhoff al lecho de secados, realizar el cambio del medio de soporte (grava de canto redondo) de 1" a 2" de Ø, sembrar vegetación macrófita tales como *Pontederia sagittata* y *Saggsiria latifolia*, y sustituir la cloración por un sistema de UV para la desinfección del agua, ya que no es conveniente utilizar la cloración por la presencia de materia orgánica que pudiese formar monocloroaminas, tricloroaminas y trihalometanos los cuales son tóxicos, carcinogénicos y teratogénicos (Reyes-López, 2016).

Tabla 18. Valores promedio de calidad del agua de influente y efluente de la PTAR 27 de Octubre.

| Parámetros  | Unidad | Influente |       | Efluente |       | LMP     | ER (%) |
|-------------|--------|-----------|-------|----------|-------|---------|--------|
|             |        | Valor     | ±DE   | Valor    | ±DE   |         |        |
| Temperatura | °C     | 26.6      | 1.0   | 26.7     | 0.9   | 35      | -0.2   |
| Turbiedad   | UNT    | 19.9      | 9.4   | 32.9     | 44.1  | 15      | -65.0  |
| Color       | UC     | 2283.9    | 363.2 | 2233.2   | 431.9 | 10      | 2.2    |
| pH          | UpH    | 7.3       | 0.1   | 7.6      | 0.1   | 6 a 9   | -3.9   |
| DQO         | mg/L   | 485.6     | 138.1 | 277.4    | 69.9  | 100     | 42.9   |
| DBO         | mg/L   | 194.2     | 55.3  | 111.0    | 27.9  |         | 42.9   |
| SST         | mg/L   | 53.8      | 25.4  | 88.8     | 119.1 | 60 a 84 | -65.0  |
| NT          | mg/L   | 41.3      | 11.8  | 23.6     | 5.9   | 25 a 35 | 42.9   |
| PT          | mg/L   | 7.3       | 2.1   | 4.2      | 1.1   | 15 a 21 | 42.9   |

### 9.6. Calidad del agua de las unidades muestreadas de la PTAR 27 de octubre.

Los resultados de las pruebas de tratabilidad para la única planta en operación se muestran a continuación.

#### 9.6.1. Temperatura

La prueba de Kruskal-Wallis evalúa la hipótesis de que las medianas de la variable temperatura (°C) son iguales en los tres niveles de tratamiento. Encontrándose un valor de P menor o igual a 0.05, esto demuestra que no hay diferencias estadísticas significativas en las medianas de los tratamientos con un nivel de 95% de confianza. El valor mediano más bajo se encuentra en el tratamiento T. Imhoff y L. Hidrófitas con 26.45 (Q<sub>1</sub>=26.0, Q<sub>3</sub>=27.54) °C, seguido del tratamiento Cárcamo con 26.8 (Q<sub>1</sub>=25.85, Q<sub>3</sub>=27.47) °C.

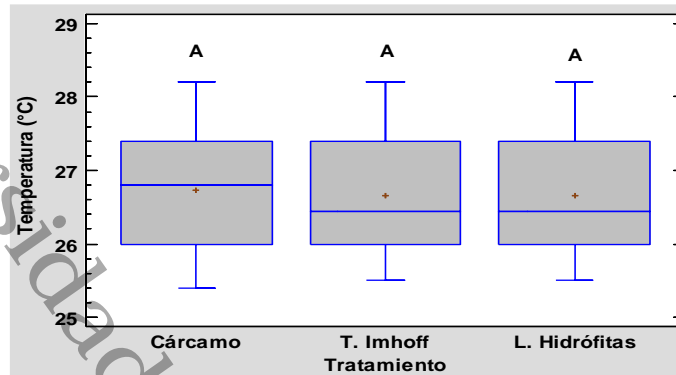


Figura 17. Valores medianos ( $Q_1$ ,  $Q_3$ ) de la variable temperatura. Letras diferentes indican diferencias estadísticas significativas.

### 9.6.2. Turbiedad

La prueba de Kruskal-Wallis evalúa la hipótesis de que las medianas de la variable turbiedad (UNT) son iguales en los tres niveles de tratamiento. Encontrándose un valor de P menor o igual a 0.05, esto demuestra que no hay diferencias estadísticas significativas en las medianas de los tratamientos con un nivel de 95% de confianza. El valor mediano más bajo se encuentra en el tratamiento L. Hidrófitas con 20.8 ( $Q_1=17.09$ ,  $Q_3=34.20$ ) UNT, seguido del tratamiento Cárcamo con 25.85 ( $Q_1=14.20$ ,  $Q_3=38.13$ ) UNT.

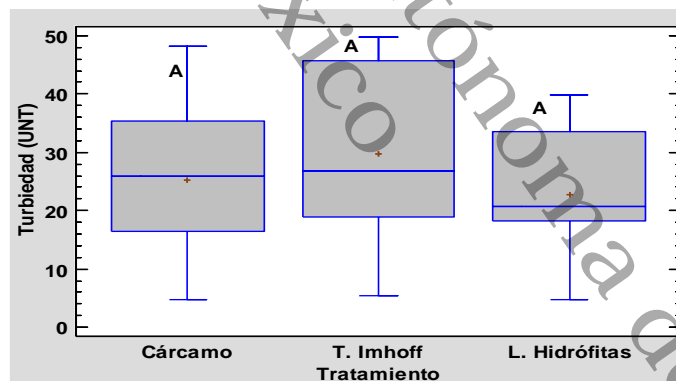


Figura 18. Valores medianos ( $Q_1$ ,  $Q_3$ ) de la variable turbiedad. Letras diferentes indican diferencias estadísticas significativas.

### 9.6.3. Color

La prueba de Kruskal-Wallis evalúa la hipótesis de que las medianas de la variable color (UC) son iguales en los tres niveles de tratamiento. Encontrándose un valor de P menor o igual a 0.02, esto demuestra que no hay diferencias estadísticas significativas en las medianas de los tratamientos con un nivel de 95% de confianza. El valor mediano más bajo se encuentra en el tratamiento L. Hidrófitas con 2240.5 ( $Q_1=1806.75$ ,



Q3=2488.1) UC, seguido del tratamiento T. Imhoff con 2638.5 (Q1=2343.09, Q3=2949.86) UC.

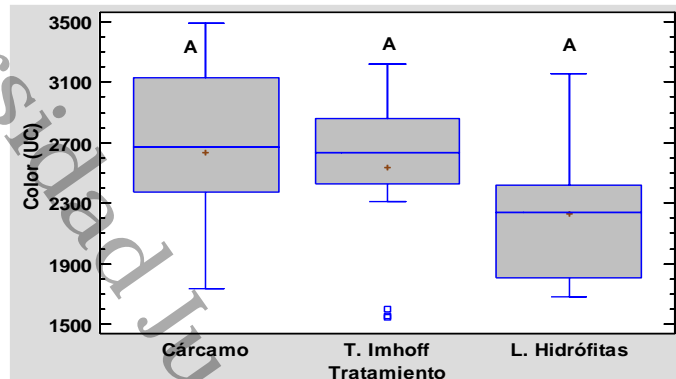


Figura 19. Valores medianos (Q<sub>1</sub>, Q<sub>3</sub>) de la variable color. Letras diferentes indican diferencias estadísticas significativas.

#### 9.6.4. Oxígeno Disuelto (OD)

La prueba de Kruskal-Wallis evalúa la hipótesis de que las medianas de la variable color (mg/L) son iguales en los tres niveles de tratamiento. Encontrándose un valor de P menor o igual a 0.5, esto demuestra que no hay diferencias estadísticas significativas en las medianas de los tratamientos con un nivel de 95% de confianza. El valor mediano más bajo se encuentra en el tratamiento T. Imhoff con 1.175 (Q1=0.962924, Q3=1.68123) mg/L, seguido del tratamiento L. Hidrófitas con 1.215 (Q1=1.04877, Q3=1.66) mg/L.

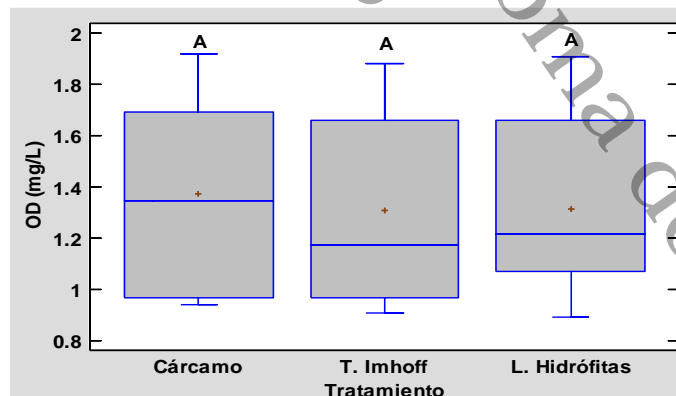


Figura 20. Valores medianos (Q<sub>1</sub>, Q<sub>3</sub>) de la variable OD. Letras diferentes indican diferencias estadísticas significativas.



### 9.6.5. Potencial de Hidrógeno (pH)

La prueba de Kruskal-Wallis evalúa la hipótesis de que las medianas de la variable pH (UpH) son iguales en los tres niveles de tratamiento. Encontrándose un valor de P menor o igual a 0, esto demuestra que no hay diferencias estadísticas significativas en las medianas de los tratamientos con un nivel de 95% de confianza. El valor mediano más bajo se encuentra en el tratamiento Cárcamo con 7.35 (Q1=7.31, Q3=7.43) UpH, seguido del tratamiento T. Imhoff con 7.43 (Q1=7.33, Q3=7.51) UpH.

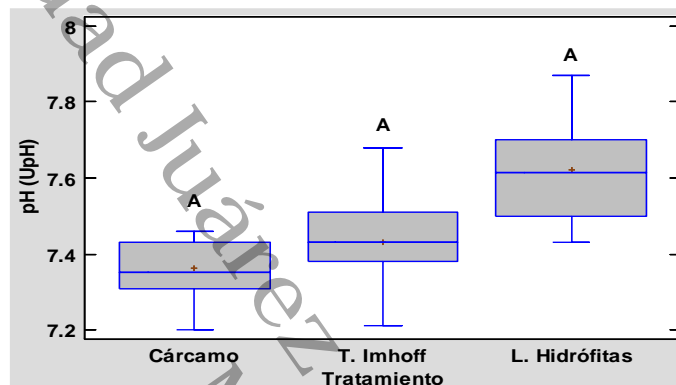


Figura 21. Valores medianos (Q1, Q3) de la variable pH. Letras diferentes indican diferencias estadísticas significativas.

### 9.6.6. Conductividad Eléctrica (CE)

La prueba de Kruskal-Wallis evalúa la hipótesis de que las medianas de la variable CE (uS/cm) son iguales en los tres niveles de tratamiento. Encontrándose un valor de P menor o igual a 0.2, esto demuestra que no hay diferencias estadísticas significativas en las medianas de los tratamientos con un nivel de 95% de confianza. El valor mediano más bajo se encuentra en el tratamiento L. Hidrófitas con 867.5 (Q1=846.877, Q3=962.415) uS/cm, seguido del tratamiento T. Imhoff con 867.5 (Q1=846.877, Q3=962.415) uS/cm.

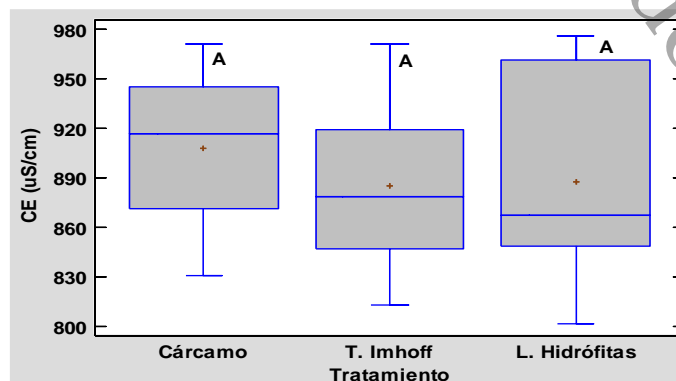


Figura 22. Valores medianos (Q1, Q3) de la variable CE. Letras diferentes indican diferencias estadísticas significativas.



### 9.6.7. Sólidos Disueltos Totales (SDT)

La prueba de Kruskal-Wallis evalúa la hipótesis de que las medianas de la variable SDT (mg/L) son iguales en los tres niveles de tratamiento. Encontrándose un valor de P menor o igual a 0.2, esto demuestra que no hay diferencias estadísticas significativas en las medianas de los tratamientos con un nivel de 95% de confianza. El valor mediano más bajo se encuentra en el tratamiento L. Hidrófitas con 435.5 (Q1=424.17, Q3=480.415) seguido del tratamiento T. Imhoff con 440.5 (Q1=422.0, Q3=459.708) mg/L.

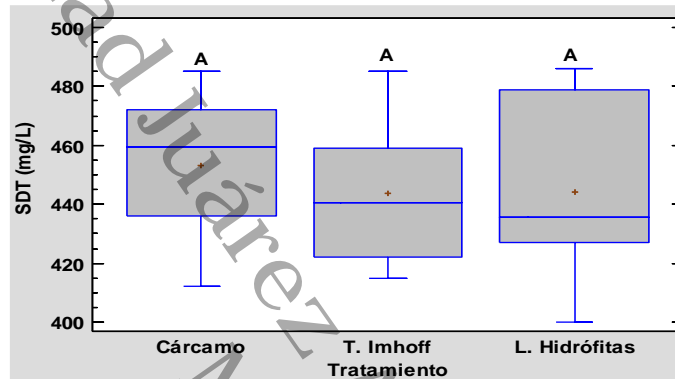


Figura 23. Valores medianos (Q1, Q3) de la variable SDT. Letras diferentes indican diferencias estadísticas significativas.

### 9.6.8. Potencial Oxido Reducción (ORP)

La prueba de Kruskal-Wallis evalúa la hipótesis de que las medianas de la variable ORP (mV) son iguales en los tres niveles de tratamiento. Encontrándose un valor de P menor o igual a 0.8, esto demuestra que no hay diferencias estadísticas significativas en las medianas de los tratamientos con un nivel de 95% de confianza. El valor mediano más bajo se encuentra en el tratamiento T. Imhoff con -216.0 (Q1=-236.415, Q3=-154.877) seguido del tratamiento con 440.5 (Q1=422.0, Q3=459.708) mg/L.

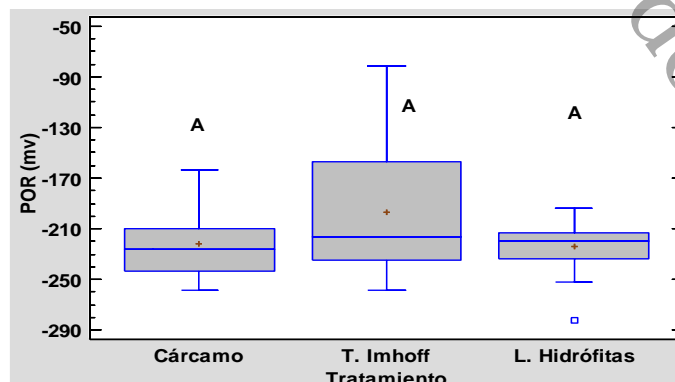


Figura 24. Valores medianos (Q1, Q3) de la variable ORP. Letras diferentes indican diferencias estadísticas significativas.



## 9.7. Ingeniería básica de la optimización de las PTAR

### 9.7.1. Propuesta de optimización de la PTAR 27 de Octubre

Las condiciones actuales muestran que de la capacidad de operación en estas PTAR es de 46 l/s, ha sido rebasada pues se generan de 21 a 54 l/s en la zona. Sin embargo, sólo se tratan parcialmente 16 l/s quedando sin tratamiento hasta 38 l/s. Estos sistemas de tratamiento, aunque se encontraran en óptimas condiciones no podrían cumplir con los nuevos criterios de descarga establecidos en la NOM-001-SEMARNAT-2021. Por lo anterior expuesto es necesario rehabilitar la infraestructura existente y modificar el proceso en la etapa del tratamiento secundario, pues es necesario garantizar que el efluente sea por debajo de 50 mg/L de DQO y menos de 30 mg/L de DBO para evitar la formación de compuestos organoclorados tóxicos, por lo que es necesario implementar un proceso unitario más como un humedal artificial para garantizar bajar la carga orgánica en la última etapa de proceso que es la desinfección y optar por una menos agresiva como es la eliminación de patógenos por UV. Las eficiencias parciales y total del proceso (ETP) en la etapa actual en caso de que estuviera en condiciones ideales de operación y las de la optimización se muestran en la tabla 3 (CONAGUA, 2019b).

Tabla 19. Valores promedio de eficiencia de remoción (%) de las PTAR con propuesta de optimización.

| Paraiso-San Manuel                      |                  |           | 27 de Octubre |                  |            | El Encanto |                  |            |
|---|------------------|-----------|---------------|------------------|------------|------------|------------------|------------|
| Unidad                                  | R DQO (%)        | CE (mg/L) | Unidad        | R DQO (%)        | CE (mg/L)  | Unidad     | R DQO (%)        | CE (mg/L)  |
| <b>Proceso actual en caso de operar</b> |                  |           |               |                  |            |            |                  |            |
| Agua c.                                 | 0                | 700       | Agua cruda    | 0                | 700        | Agua c.    | 0                | 700        |
| Pretrat.                                | 5                | 665       | Pretrat.      | 5                | 665        | Pretrat.   | 5                | 665        |
| Bioenz.                                 | 40               | 399       | T. Imhoff     | 40               | 399        | RAFA       | 50               | 333        |
| LA SBR                                  | 90               | <b>40</b> | Ciénega       | 70               | <b>120</b> | Ciénega    | 70               | <b>100</b> |
| Cloración                               | Form. de Tóxicos |           | Cloración     | Form. de Tóxicos |            | Cloración  | Form. de Tóxicos |            |
| <b>Proceso optimizado</b>               |                  |           |               |                  |            |            |                  |            |
| Agua c.                                 | 0                | 700       | Agua c        | 0                | 700        | Agua c.    | 0                | 700        |
| Pretrat.                                | 5                | 665       | Pretrat.      | 5                | 665        | Pretrat.   | 5                | 665        |
| L.Aireada.                              | 90               | 399       | T. Imhoff     | 40               | 399        | L.Aireada  | 90               | 333        |
| L. Facult.                              | 40               | 40        | Ciénega       | 70               | 120        | L. Facult. | 40               | 100        |
| Desinf-UV                               |                  |           | HAFL          | 90               | <b>12</b>  | Desinf-UV  |                  |            |
|   |                  |           | Desinf- UV    |                  |            |            |                  |            |

Tabla 20. Recomendaciones para la operación de la PTAR 27 de Octubre.

| Modulo  | Recomendaciones  |
|---------|--|
| Cárcamo | -Efectuar el desazolve del cárcamo de manera periódica ya que disminuye considerablemente el tiempo de retención hidráulica de las unidades ocasionando el fenómeno de corto circuito.<br>-Control de las descargas que aportan materia orgánica y azufre, así como limpieza periódica mecánica y química para moderar la corrosión de las bombas e instalaciones complementarias. |



|                 |   |
|-----------------|---|
|                 | <ul style="list-style-type: none"><li>-El lodo extraído debe ser dispuesto de manera correcta de acuerdo con lo establecido a su plan de gestión para los lodos generados.</li><li>-Para purga de lodos, colocar Bomba Sumergible.</li></ul>  |
| Tanque Imhoff   | <ul style="list-style-type: none"><li>-Limpiar cualquier tipo de vegetación que puedan interferir en el funcionamiento de la unidad y la seguridad de los trabajadores.</li><li>-Reparar las válvulas que conectan al lecho de secado</li><li>-Reparar el barandal de seguridad y las escaleras o desmantelar y colocar nuevos.</li><li>-Realizar la purga de lodos del Tanque Imhoff al lecho de secados</li></ul> |
| Lecho de secado | <ul style="list-style-type: none"><li>-Dar mantenimiento y limpieza para garantizar de nuevo su funcionamiento.</li><li>-Aplicar una tecnología para el tratamiento de los lodos generados en el proceso de tratamientos de aguas residuales (de esto depende su destino final).</li><li>-Realizar el cambio del medio de soporte (grava de canto redondo) de 1" a 2" de Ø</li></ul>                                |
| Ciénega         | <ul style="list-style-type: none"><li>-Sembrar vegetación macrófita tales como <i>Pontederia sagittaria</i> y <i>Sagittaria latifolia</i></li><li>-Sustituir la cloración por un sistema de UV para la desinfección del agua para evitar la formación de compuesto organoclorados.</li></ul>  |

### 9.7.2. Propuesta de la PTAR Corredor Parrilla

Los diseños de sistemas de tratamiento de aguas residuales planteados para el corredor Parrilla son considerados como sistemas de tratamientos convencionales y naturales. La optimización propuesta en la primera alternativa para la planta de tratamiento de aguas residuales 27 de Octubre consiste la rehabilitación y adiconamiento al tren de tratamiento de una unidad más de tanque Imhoff. Así mismo se propone cambiar el tanque de cloración por un sistema de desinfección UV para evitar la formación de compuestos organoclorados que afecten al cuerpo receptor. La modificación de la PTAR beneficiará a una población proyectada de 11403 habitantes del fraccionamiento 27 de Octubre para un período económico de 20 años. El adiconamiento del tanque Imhoff permitirá una mayor eficiencia en la remoción de contaminantes y clarificación del agua que implica la disposición de poco espacio. El módulo requiere un área de 36 m<sup>2</sup>, mismo que se ubicará a lado de la caseta de operación.

La segunda alternativa remplazará las PTAREl Paraíso-San Manuel y El Encanto, sistemas que actualmente están fuera de operación, beneficiando a una población proyectada de 65255 habitantes para un período económico de 20 años, contemplando el desarrollo humano de esta localidad. En el sistema de lagunas en 4 etapas encontramos combinado el tratamiento por la primera laguna aireada y en la segunda laguna un sistema natural de tratamiento dispuesto en terreno. El área de construcción de las actuales plantas es de 1 hectárea por lo que no está dentro del área contemplada requerida que es de 6 ha, por consecuente se considerará la reubicación de la planta teniendo en cuenta los criterios básicos para la correcta ubicación. Las localidades del corredor Parrilla beneficiadas son Casas para todos, Las Margaritas, Fracc. Parrilla II, Fracc. El Paraíso, Fracc. San Manuel, Villa los Claustros.



*Tabla 21. Procesos y operaciones unitarias en los sistemas propuestos.*

|                   |                            |
|-------------------|----------------------------|
| Tanque Imhoff     | Laguna Aireada Facultativa |
| Canal y rejilla   | Canal y rejilla            |
| Desarenador       | Desarenador                |
| Tanque Imhoff (2) | Vertedor                   |
| Ciénega           | Cárcamo de bombeo          |
| Desinfección UV.  | Laguna Aireada             |
|                   | Laguna Facultativa         |
|                   | Desinfección UV            |

*Nota: La memoria de cálculo de los trenes de tratamiento propuestos y los planos de las alternativas factibles se presentan en los Anexos.*

### 9.8. Datos de proyecto

*Tabla 22. Datos de proyecto de la PTAR 27 de Octubre.*

| <b>Datos del proyecto</b>          |                       |
|------------------------------------|-----------------------|
| Población de proyecto              | 11403 hab             |
| Q <sub>med</sub>                   | 21.12 l/s             |
| Q <sub>min.</sub>                  | 10.56 l/s             |
| Q <sub>max.ext.</sub>              | 96.62 l/s             |
| Carga química unitaria             | 202.5 gr/hab/día      |
| Carga química total                | 1620 kg/día           |
| Concentración                      | 888 mg/l              |
| <b>Tanque 1 (Imhoff) 2 módulos</b> |                       |
| Tiempo de retención hidráulica     | 4 días                |
| Volumen de las cámaras             | 456.12 m <sup>3</sup> |
| Concentración de entrada           | 816.9 mg/l            |
| Concentración de salida            | 326.76 mg/l           |
| Eficiencia mínima                  | 50%                   |
| Eficiencia máxima                  | 60%                   |
| Tirante                            | 7 m                   |
| <b>Ciénega</b>                     |                       |
| Tiempo de retención hidráulica     | 1 a 5 hr              |
| Volumen de la ciénega              | 380.10 m <sup>3</sup> |
| Concentración de entrada           | 326.76 mg/l           |
| Concentración de salida            | 98.02 mg/l            |
| Eficiencia mínima                  | 60%                   |
| Eficiencia máxima                  | 70%                   |
| Tirante                            | 0.80 m                |
| <b>Datos del sistema</b>           |                       |
| Descarga a cuerpo receptor         | Laguna El Chiflón     |
| Eficiencia total del proceso       | 83.11%                |



Tabla 23. Datos del proyecto de la PTAR Parrilla II.

| <b>Datos del proyecto</b>               |                          |
|---|--------------------------|
| Población de proyecto                   | 65255 hab                |
| Q <sub>med</sub>                        | 120.84 l/s               |
| Q <sub>min.</sub>                       | 60.42 l/s                |
| Q <sub>max.ext.</sub>                   | 391.37 l/s               |
| Carga química unitaria                  | 202.5 gr/hab/día         |
| Carga química total                     | 13214.14 kg/día          |
| Concentración                           | 1265.62 mg/l             |
| <b>Laguna 1 (Anaerobia) 4 módulos</b>   |                          |
| Tiempo de retención hidráulica          | 4 días                   |
| Volumen de la laguna                    | 10,440.80 m <sup>3</sup> |
| Concentración de entrada                | 9,606.53 mg/l            |
| Concentración de salida                 | 3,458.35 mg/l            |
| Eficiencia mínima                       | 53%                      |
| Eficiencia máxima                       | 64%                      |
| Tirante                                 | 6 m                      |
| <b>Laguna 2 (Facultativa) 4 módulos</b> |                          |
| Tiempo de retención hidráulica          | 7 días                   |
| Volumen de la laguna                    | 18,271.40 m <sup>3</sup> |
| Concentración de entrada                | 3,458.35 mg/l            |
| Concentración de salida                 | 691.67 mg/l              |
| Eficiencia mínima                       | 75.91%                   |
| Eficiencia máxima                       | 80%                      |
| Tirante                                 | 2.5 m                    |
| <b>Datos del sistema</b>                |                          |
| Descarga a cuerpo receptor              | Laguna El Chiflón        |
| Eficiencia total del proceso            | 88.15%                   |



## 10. CONCLUSIÓN

El área del corredor parrilla genera un Qmed de entre 21 y 54 l/s de agua residual doméstica, actualmente se trata 16 l/s, y el resto se vierte a cuerpos receptores.

Las PTAR Paraíso-San Manuel, El Encanto y 27 Octubre tienen un 92% de incumplimientos en requisitos y trámites ambientales, en cuanto a la evaluación de los procesos de las planta Paraíso-San Manuel y El Encanto incumplen con un 80%, mientras que la planta 27 de Octubre incumple en un 67%, respectivamente.

La optimización de la PTAR 27 de Octubre es necesaria ya que el Tanque Imhoff-Ciénega logran una remoción de DQO de 42% y con la optimización podrá alcanzar hasta 98%, del mismo modo habría una mejoría en los otros parámetros de control lo que permite cumplir con la NOM-001-SEMARNAT-2021. La propuesta de mejora de la planta consta de un tanque Imhoff adicional al existente y el mantenimiento de cada una de la unidades de procesos. Debido a que las otras PTAR no operan, se requiere de un sistema nuevo que constara de la combinación de lagunas Aireadas y Facultativas en 4 módulos la cual operara a futuro un Qmed de 120.84 l/s con una eficiencia de remoción de hasta el 90%.

Esta tesis permite ofrecer los órganos reguladores en materia de agua en el municipio de Centro un sistema que beneficiará a una población total de 76,658 habitantes para un lapso de 20 años, tratando un Qmed generado de 142 l/s.

Finalmente, si se implementaran estas propuestas, resultarían en un ahorro energético y son los microorganismos y plantas quienes llevan a cabo el proceso de depuración. De no considerar las propuestas, el organismo operador deber analizar la reinversión en los sistemas de lodos activados (SBR) de la PTAR Paraíso-San Manuel pues estos presentan altos costos de operación y en las localidades se cuenta con las condiciones ideales para establecer tecnologías más económicas y sustentables como lagunas de estabilización y humedales artificiales.



## 11. REFERENCIAS

- Almeida Hernández, M. F. (2021). Evaluación de la operación de la planta de tratamiento de aguas residuales de humedales artificiales de la DACBIOL. Universidad Juárez Autónoma de Tabasco.
- Alvarado García, J. C. (2006). Análisis de la situación actual de la administración de las aguas residuales municipales en el estado de Tabasco, México. Universidad Juárez Autónoma de Tabasco.
- Avalos Reyes, M. R. (2005). Aplicación de humedales artificiales para el tratamiento de aguas residuales en Villa Macultepec, Centro, Tabasco. Universidad Juárez Autónoma de Tabasco.
- Baumann, J., Muñoz Nava, H. (2017). Remoción de bacterias coliformes en un sistema de lodos activados y humedal construido. Ecosistemas y recursos agropecuarios.
- Briones Sánchez Gregorio & García Casillas Ignacio. (2014). Aforo del Agua en Canales y Tuberías. Editorial Trillas-Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. 100 p. ISBN: 978-968-24-7488-0. Tercera edición, reimpresso 2014.
- Castillo melgarejo R.E., Cárdenas Mejía, J.C., (2019). Evaluación de la eficiencia de un módulo de lodos activados en el tratamiento de aguas residuales doméstica del distrito de San Miguel. Universidad Nacional de Callao.
- Castro González, A., Enríquez Poy M., Durán-de-Bazúa, C., (2001). Design, Construction, and Starting-up of an Anaerobic Reactor for the Stabilisation, Handling, and Disposal of Excess Biological Sludge Generated in a Wastewater Treatment Plant. ELSEVIER.
- CONAGUA. (2016). Inventario Nacional de Plantas Municipales de Potabilización y de Tratamiento de Aguas Residuales en Operación.
- CONAGUA. (2019a). Inventario Nacional de Plantas Municipales de Potabilización y de Tratamiento de Aguas Residuales en Operación.
- CONAGUA (2019b). Libro 26. Diseño de PTARM: Pretratamiento y tratamiento primario. Libro 28. Diseño de PTARM: Reactores anaerobios de flujo ascendente. Libro 30. Diseño de PTARM: Humedales Artificiales y Libro 33. Diseño de PTARM: Procesos de oxidación bioquímica con biomasa suspendida. Subdirección General de Agua Potable, Drenaje y Saneamiento.
- Crites, R. y Tchobanoglous, G. (2000). Sistemas de manejo de aguas residuales para núcleos pequeños y descentralizados. Colombia: McGraw-Hill.
- De la Vega Salazar, M.Y. (2012). Eficiencia en Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales. Contribución a la gestión y desarrollo Social. INDESOL.
- Ley Federal de Derechos Disposiciones Aplicables en Materia de Aguas Nacionales. (2019).
- López Ocaña, G., Palma Ávalos, S., Díaz Paz, R.C. (n.d.). Sistemas naturales aplicados en el tratamiento de las aguas residuales de Tenosique, Tabasco. 2014, 10.
- López Ocaña, G., Bautista Margulis, R., Méndez Angulo, S., Hernández Barajas, J., Torres Balcázar, C., Padrón López, R., De la Cruz Luna, E. and Ferrer Sánchez, M. (2014). Optimization and evaluation of a domestic wastewater treatment system



- by dual combination of metallic salts and zeolites filtration. *Water Pollution XII*, Wessex Institute of Technology, 182, 245-256.
- López Ocaña, G., Bautista Margulis, R., Valdés Manzanilla, A., Torres Balcázar, C., López Vidal, R., Pérez Sánchez, E., & Pampillón González, L. (2019). Spatial distribution behavior of basic pollutants in a subsurface-flow wetland with *Thalia geniculata*. *Int. J. Environ. Impacts*, 2(2), 145-160.
- Gómez Pérez, A. G. (2017). Las descargas de aguas residuales domésticas y la calidad de los cuerpos de agua de la ciudad de Villahermosa, Tabasco. Universidad Juárez Autónoma de Tabasco.
- Ramírez Carrillo, H.F., Luna Pabello, M.V., Arredondo-Figueroa, J.L. (Ed.). (2009). Evaluación de un humedal artificial de flujo vertical intermitente, para obtener agua de buena calidad para la acuicultura.
- Bedoya Pérez, J.C., Ardila Arias, A.N., Reyes Calle, J. (2014). Evaluación de un humedal artificial de flujo subsuperficial en el tratamiento de las aguas residuales generadas en la Institución Universitaria Colegio Mayor de Antioquia, Colombia. *Revista internacional de contaminación ambiental*.
- Martínez y Carlos A. Aybar Escobar, S. A. C. (2008). Evaluación de la capacidad de remoción de bacterias coliformes fecales y demanda bioquímica de oxígeno de la planta de tratamiento de aguas residuales "La Totorá", Ayacucho, Perú. *Redalyc.org*, 7.
- Metcalf & Eddy. (1996). *Ingeniería de Aguas Residuales, Tratamiento y Reutilización* McGraw-Hill. México.
- Miranda Calderón, C. (2012). Evaluación de la operación del sistema de tratamiento de aguas residuales de biomasa fija de la ciudad de paraíso tabasco. Instituto tecnológico de Villahermosa.
- NOM-001-SEMARNAT-2021. (2022). Que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales. *Diario Oficial de la Federación*.
- Urbina Suárez, N.A., Liliana Pabón, S., Suárez Gévez, J.H. (2009). Tratamiento biológico de aguas residuales de matadero. caso frigorífico la frontera ltda., villa del rosario, norte de Santander. *redalyc.org*, 6.
- Estrada Pérez, N. (2021). Optimización del sistema de tratamiento de aguas residuales de un parque industrial. Universidad Juárez Autónoma de Tabasco.
- Ortiz Alcocer, V. (n.d.). Alternativa del Tratamiento de Aguas Residuales del municipio de Tenosique, Tabasco.
- Reyes-López, M. G. (2016). Uso del cloro en las plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas: desinfección y formación de subproductos. Tesis de Maestro en Ciencias en Gestión Ambiental. Instituto Politécnico Nacional, Centro de Investigación Interdisciplinario para el Desarrollo Integral Regional Unidad Durango.
- Rojas, E. W. C. (2017). Eficiencia de *lemna sp* y *eichhornia crassipes*, en la remoción de nutrientes del efluente de la planta de tratamiento de aguas residuales en Celendín. Universidad Nacional de Cajamarca.



- Romero Aguilar, M., Colin Cruz, A., Sánchez Salinas, E., Ortiz Hernández, M.A. (Ed.). (2009). Tratamiento de aguas residuales por un sistema piloto de humedales artificiales: evaluación de la remoción de la carga orgánica.
- Sánchez, L. E. C. (2020). Cinética de remoción de contaminantes básicos en humedales artificiales de flujo libre y subsuperficial con vegetación *cladium jamaicense*. Universidad Juárez Autónoma de Tabasco.
- SEMARNAT (2015). Estadísticas del Agua en México. México, D.F., México
- Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), 2018. Utilizar aguas residuales para riego incide en las enfermedades crónico-degenerativas. Boletín UNAM-DGCS-439. 20 de julio de 2018.
- Vázquez González, M.B., López Ocaña, G. (2011). Evaluación Técnica de un Tanque Imhoff para el tratamiento de aguas residuales en Centro, Tabasco. U. Tecnociencia 5 (1) 32 - 47.

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco  
México



## 12. ANEXO 1

### 12.1. Ingeniería básica de la alternativa seleccionada en la optimización del proceso del sistema de tratamiento actual de la PTAR 27 Octubre.

Figura 25. Modelos para la proyección de poblacional.

#### Modelos utilizados para la proyección de población

**Método Aritmético (López et al., 2008).**

$$Pf = TCMA * (Tci - Tuc) + Puc$$

$$TCMA = \frac{Inc. Población}{Inc. Años}$$

*Pf*= Población futura

*TCMA*= Tasa de crecimiento media anualizada

*Tci*= Tiempo al inicio del periodo del censo

*Tuc*=Tiempo del último censo

*Puc*= Población del último censo

*Inc. Polbalción*= sumatoria de los incrementos de población/censo

*Inc. Años*= Sumatoria de los incrementos de años/censo

**Método del INEGI**

$$Pf = Puc * TCMA\% + 1^{(Tci-Tuc)}$$

$$TCMA\% = \left( \frac{Puc}{Pci} \right)^{\frac{1}{Tci-Tuc}} - 1$$

*Pf*=Población futura

*Puc*=Población del último censo

*TCMA%*= Porcentaje de la tasa de crecimiento

*Tci*= Tiempo al inicio del periodo del censo

*Tuc*= Tiempgo del último censo

*TCMA%*= Porcentaje de la tasa de crecimiento

*Puc*= Población del últio censo

*Pci*= Población censo inicial

**Método de Malthus**

$$Pf = Puc * (TCMA\% + 1^{\frac{(Tci-Tuc)}{10}})$$

*Pf*= Población futura

*Puc*=Población del último censo

*TCMA%*= Porcentaje de la tasa de crecimiento

*Tci*= Tiempo al inicio del periodo del censo

*Tuc*= Tiempo del último censo

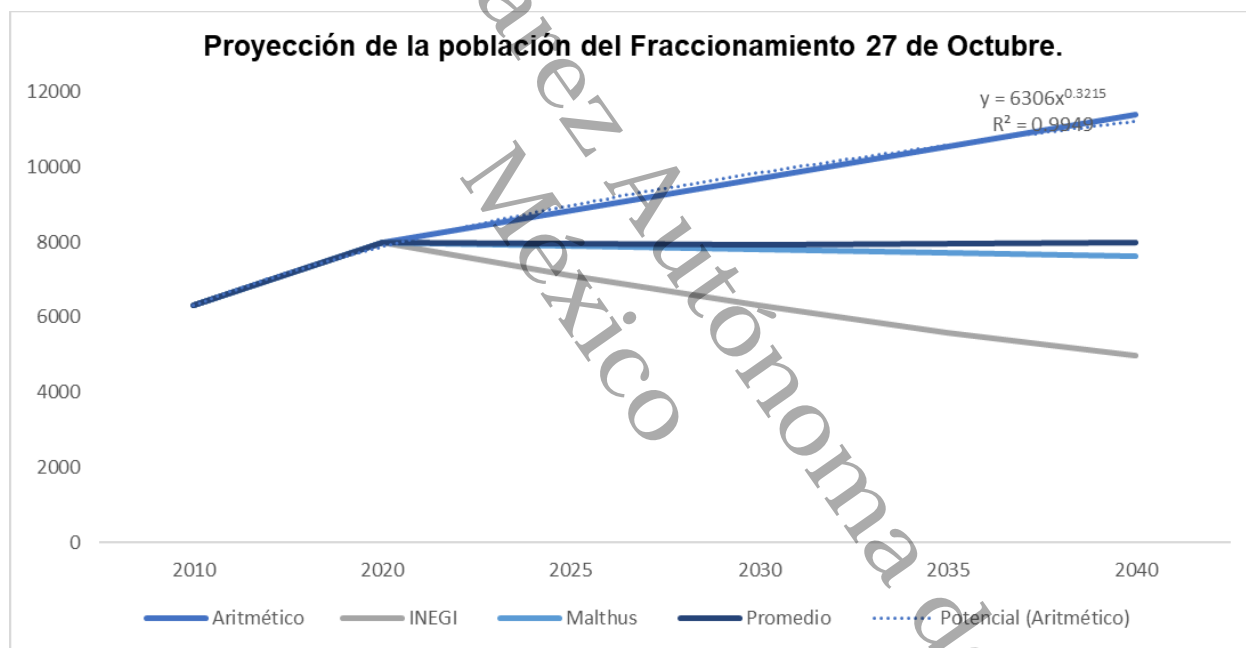


*Tabla 24. Proyección poblacional del Fraccionamiento 27 de Octubre, Parrilla II, Centro, Tabasco.*

| Localidad: Parrilla II, Centro, Tabasco. |            |       |         |          |           |             |              |         |
|--|------------|-------|---------|----------|-----------|-------------|--------------|---------|
| Año                                      | Aritmético | INEGI | Malthus | Promedio | Inc. Años | Inc. Poblac | CMA(hab/año) | TCMA%   |
| 2010                                     | 6303       | 6303  | 6303    | 6303     |           |             | 170          | -0.0236 |
| 2020                                     | 8003       | 8003  | 8003    | 8003     | 10        | 1700        |              |         |
| 2025                                     | 8853       | 7102  | 7908    | 7954     |           |             |              |         |
| 2030                                     | 9703       | 6303  | 7814    | 7940     |           |             |              |         |
| 2035                                     | 10553      | 5594  | 7721    | 7956     |           |             |              |         |
| 2040                                     | 11403      | 4964  | 7630    | 7999     |           |             |              |         |

Población histórica  
 Población proyectada

|                        |       |     |
|------------------------|-------|-----|
| Población actual       | 8003  | Hab |
| Población del proyecto | 11403 | Hab |



*Figura 26. Gráfica de la proyección poblacional del fraccionamiento 27 de Octubre, Parrilla II.*



Tabla 25. Datos del proyecto PTAR 27 de Octubre. Fuente: CONAGUA 2022.

| DATOS GENERALES Y DATOS DEL PROYECTO  |       |            |
|---|-------|------------|
| DIAGNOSTICO DE LOS SISTEMAS DE TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL DEL CORREDOR PARRILLA EN EL MUNICIPIO DE CENTRO, TABASCO. |       |            |
| Datos del proyecto  |       | Ecuación   |
| Descripción   | Cant. | Und.       |
| Población actual (P)  | 8000  | hab        |
| Población proyectada  | 11403 | hab        |
| Dotación (Dot.)   | 200   | l/hab/día  |
| Aportación (Ap)   | 160   | l/hab/día  |
| Carga Química Unitaria (CQU)  | 202.5 | gr/hab/día |
| Coef de Harmon (M)  | 3.05  |            |
| Coeficiente de seguridad (Cs)   | 1.5   |            |
| No. De Módulos  | 1     |            |

$$Aport. = 80\% \text{ dotación}$$

$$CQU = CDQO * Q / Pob$$

$$M = 1 + \frac{14}{4 + \sqrt{\frac{Población}{1000}}}$$

Tabla 26. Gastos de diseño PTAR 27 de Octubre. Fuente: CONAGUA 2022

| Gastos de diseño                           | Total |                       | Ecuación                      |
|--|-------|-----------------------|-------------------------------|
| Descripción                                | (L/s) | (m <sup>3</sup> /día) |                               |
| Gasto máximo Inst. (Q <sub>maxinst</sub> ) | 64.41 | 5565.12               | $Q_{maxInst} = MQ_{medio}$    |
| Gasto máximo Ext. (Q <sub>maxext</sub> )   | 96.62 | 8347.69               | $Q_{maxExt} = CsQ_{max Inst}$ |
| Gasto medio (Q <sub>med</sub> )            | 21.12 | 1824.48               | $Q_{medio} = (Ap)(Pob)/86400$ |
| Gasto mínimo (Q <sub>min</sub> )           | 10.56 | 912.24                | $Q_{min} = 0.5Q_{med}$        |

Tabla 27. Concentración de entrada al sistema. Fuente: Metcalf et al., 1996.

| Concentración de entrada al sistema      |         |                     | Ecuación                                      |
|--|---------|---------------------|---|
| Descripción                              | Total   | Und                 |   |
| Carga Química Total (CQT)                | 1620    | kg/día              | $CQT = (CQU)(hab)$                            |
| Flujo volumetrico (FV=Q <sub>med</sub> ) | 1824.48 | m <sup>3</sup> /día | $CDQO = \left(\frac{CQT}{FVol}\right) * 1000$ |
| Concentración DQO (C <sub>DQO</sub> )    | 888     | mg/L                |   |

Tabla 28. Eficiencia requerida del sistema. Fuente: NOM.001-SEMARNAT-2021.

| Eficiencia requerida del sistema<br>NOM-001-SEMARNAT-2021    |       |      | Ecuación                             |
|--|-------|------|--------------------------------------|
| Descripción  | Cant. | Und. |                                      |
| Límite Máx. Permissible DQO (C LMP DQO)                      | 150   | mg/l | $\eta = \frac{C_e - C_s}{C_e} * 100$ |
| Límite Máx. Permissible Solidos Suspendidos Tot. (C LMP SST) | 60    | mg/l |                                      |
| Ef.de Remoción de la DQO ( $\eta$ =ER DQO)                   | 83.11 | %    |                                      |



Tabla 29. Parámetros de entrada. Fuente: Metcalf et al., 1996.

| Parámetros de entrada                          |       |      |
|--|-------|------|
| Descripción                                    | Cant. | Und. |
| Temperatura del ambiente (T Amb)               | 30.3  | °C   |
| Temperatura del agua (T agua)                  | 26.3  | °C   |
| Conc. de la Demanda Química de Oxígeno (C DQO) | 888   | mg/l |
| Conc. De Sólidos Suspendidos Totales (C SST)   | 460   | mg/l |
| Conc. De sólidos Sedimentables (C SSED)        | 60    | mg/l |

Tabla 30. Parámetros requeridos del sistema. Fuente: CONAGUA, 2021.

| Parámetros requeridos del sistema                 |           |           |          |             |
|---|-----------|-----------|----------|-------------|
| Descripción                                       | g/hab/día | g/hab/día | M (kg/d) | Cmax (mg/l) |
| Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO <sub>5</sub> ) | 50 a 120  | 85        | 680      | 373         |
| Demanda Química de Oxígeno (DQO)                  | 110 a 295 | 202.5     | 1620     | 888         |
| Sólidos Suspendidos Totales (SST)                 | 60 a 150  | 105       | 840      | 460         |
| Amoniaco (NH <sub>3</sub> )                       | 5 a 12    | 8.5       | 68       | 37          |
| Nitrógeno orgánico (N org N)                      | 4 a 10    | 7         | 56       | 31          |
| Nitrogeno (NTK)                                   | 9 a 21.7  | 15.4      | 123      | 67          |
| Fosforo Orgánico (P ORG como P)                   | 0.9 a 1.8 | 1.4       | 11       | 6           |
| Fosforo Inorgánico (P INORG como P)               | 1.8 a 2.7 | 2.3       | 18       | 10          |
| Fosforo Total (P TOTAL como P)                    | 2.7 a 4.5 | 3.6       | 29       | 16          |
| Grasas y Aceites (GyA)                            | 10 a 40   | 25        | 200      | 110         |

Tabla 31. Criterio de diseño del cárcamo concentrador. Fuente: CONAGUA 2007.

| CARCAMO CONCENTRADOR                       |        |                     |                                  |  |
|--|--------|---------------------|----------------------------------|--|
| Criterios de diseño                        |        |                     | Ecuación                         |  |
| Descripción                                | Cant.  | Und.                |                                  |  |
| T. Retención Hidráulica (TRH)              | 45     | min                 |                                  |  |
| Gasto máximo ext (Q <sub>maxext</sub> )    | 96.62  | l/seg               |                                  |  |
|  | 5.80   | m <sup>3</sup> /min |                                  |  |
| Volumen cárcamo (Vol. <sub>cárcamo</sub> ) | 260.87 | m <sup>3</sup>      | $V = TRH * Q_{max. Ext.}$        |  |
| Tirante (Ti)                               | 6      | m                   | $A = V_{cárcamo} / T_i$          |  |
| Área (A)                                   | 43.48  | m <sup>2</sup>      | $D = (\sqrt{V / (\pi * h)}) * 2$ |  |
| Dímetro (Ø)                                | 7.44   | m                   |                                  |  |
| Dímetro cárcamo (Ø <sub>cárcamo</sub> )    | 7.4    | m                   | $NA = \pi \theta^2 / 4$          |  |
| N área (NA)                                | 43.01  | m <sup>2</sup>      |                                  |  |
| N volumen (N <sub>vol</sub> )              | 258.05 | m <sup>3</sup>      | $N vol = NA * T_i$               |  |
| N Retención Hidráulica (NTRH)              | 44.51  | min                 | $N TRH = N vol * Q_{max}$        |  |



*Tabla 32. Área y volumen de sedimentos del cárcamo. Fuente: CONAGUA, 2007.*

| Área y volumen de sedimentos               |        |                | Ecuación   |
|--|--------|----------------|--|
| Descripción                                | Cant.  | Und.           |  |
| Sólidos sedimentables (SSED)               | 60     | m <sup>3</sup> | 0.06 m <sup>3</sup> arena/m <sup>3</sup> H <sub>2</sub> O<br><br>V <sub>SSED</sub> = Vol. agua * SSED<br>Ti <sub>Sed</sub> = V <sub>sed</sub> / NA |
| Volumen del agua (Vol. agua)               | 258.05 | m <sup>3</sup> |  |
| Volumen de sedimentos (V <sub>sed</sub> )  | 15.48  | m <sup>3</sup> |  |
| Tirante de sedimentos (Ti <sub>sed</sub> ) | 0.360  | m              |  |

*Tabla 33. Diámetro de la tubería de succión. Fuente: CONAGUA, 2007.*

| Diámetro de succión                |         |                   | Ecuación   |
|------------------------------------|---------|-------------------|--|
| Descripción                        | Cant.   | Und.              |  |
| Velocidad de la bomba (Vel. bomba) | 2.5     | m/s               | Q <sub>b</sub> = 2Q <sub>e</sub><br><br>Dtub = (4 * Q <sub>b</sub> / πvel) <sup>0.5</sup><br><br>A = π(θ * pulg) <sup>2</sup> / 4<br>Nvel = Q <sub>b</sub> / A |
| Gasto de bombeo (Q <sub>b</sub> )  | 0.19    | m <sup>3</sup> /s |  |
| Caudal (Q=AV)                      |         |                   |  |
| Diámetro de tubería (Dtub)         | 0.31371 | m                 |  |
| Diámetro constructivo (Dconst.)    | 12      | in                |  |
| N area (A)                         | 0.073   | m <sup>2</sup>    |  |
| N velocidad                        | 2.65    | m/s               |  |

*Tabla 34. Diámetro de tubería de descarga. Fuente: CONAGUA, 2007.*

| Diámetro de tubería de descarga              |       |                   | Ecuación   |
|--|-------|-------------------|--|
| Descripción                                  | Cant. | Und.              |  |
| Velocidad de descarga (Vel. descarga)        | 0.6   | m/s               | Dtub = (4 * Q <sub>b</sub> / πvel <sub>desc</sub> ) <sup>0.5</sup><br><br>A = π(θ * pulg) <sup>2</sup> / 4<br>Nvel = Q <sub>b</sub> / NA |
| Gasto de bombeo (Q <sub>bombeo</sub> )       | 0.19  | m <sup>3</sup> /s |  |
| Caudal (Q=AV)                                |       |                   |  |
| Diámetro de tubería (D <sub>tub</sub> )      | 0.64  | m                 |  |
| Diámetro constructivo (D <sub>const.</sub> ) | 25    | in                |  |
| NA   | 0.317 | m <sup>2</sup>    |  |
| N velocidad                                  | 0.61  | m/s               |  |

*Tabla 35. Dimensión final del cárcamo. Fuente: CONAGUA, 2007.*

| Dimensionamiento final             |       |      | Ecuación            |
|------------------------------------|-------|------|---------------------|
| Descripción                        | Cant. | Und. |                     |
| Bordo libre (BL)                   | 1.5   | m    | h = Ti + BL + Tised |
| Tirante (Ti)                       | 6     | m    |                     |
| Long. Tubería entrada (Ltub-ent)   | 5.5   | m    |                     |
| Altura Tubería Carcamo (Htub-carc) | 7.86  | m    |                     |
|                                    |       |      |                     |



Tabla 36. Potencia de bombeo del cárcamo. Fuente: CONAGUA, 2007.

| Potencia de bombeo                |       |                   | Ecuación                            |
|-----------------------------------|-------|-------------------|-------------------------------------|
| Descripción                       | Cant. | Und.              |                                     |
| Carga dinámica ( $C_{dinámica}$ ) | 4.5   | m                 | $hf + hc + he + hd + has$           |
| Pérdidas locales ( $P_{loc}$ )    | 5     | m                 |                                     |
| Carga de posición ( $C_p$ )       | 10    | m                 |                                     |
| Altura total ( $H_T$ )            | 20    | m                 |                                     |
| Densidad del agua ( $\gamma$ )    | 1000  | kg/m <sup>3</sup> | $HT = C_{dinámica} + P_{loc} + C_p$ |
| n                                 | 80    | %                 |                                     |
| 1 HP                              | 76    | kg/s              | $P = \gamma Q_b (HT) / 76n$         |
| Potencia                          | 40    | HP                |                                     |

Tabla 37. Tiempo de bombeo del cárcamo. Fuente: CONAGUA, 2007.

| Tiempo de bombeo                  |       |                     | Ecuación  |
|-----------------------------------|-------|---------------------|---|
| Descripción                       | Cant. | Und.                |   |
| Gasto de bombeo ( $Q_{bombeo}$ )  | 11.6  | m <sup>3</sup> /min | $T_b = N_{vol} / (Q_b - Q_{max. ext})$<br>$N_{ar} = 1440 \text{ min} / T_b$<br>$Arranque = N_{ar} / N_{bombas}$<br>$Hop = Arranque * T_b$ |
| Tiempo de bombeo ( $T_b$ )        | 45    | min                 |   |
| Numero de arranques ( $N_{ar}$ )  | 32    |                     |   |
| Arranque/bomba                    | 16    |                     |   |
| Horas de operación/bomba (Hop)    | 12    | horas               |   |
| Numero de bombas ( $N_{bombas}$ ) | 2     |                     |   |

Tabla 38. Criterio de diseño de las unidades de pretratamiento. CONAGUA, 2007.

| PRETRATAMIENTO                           |       |                |  |
|--|-------|----------------|--|
| Criterios de diseño                      |       |                | Ecuación   |
| Descripción                              | Cant. | Und.           |  |
| Gasto Máximo Ext. ( $Q_{maxext}$ )       | 96.62 | l/s            | $Q_d = Q_{max. Ext} / N_{mod}$<br>$A = Q_d / vel$<br>$b = (\text{área del canal} / 1.5)^{1/2}$<br>$a = 1.5 b$<br>$BT = b + b'$ |
| Numero de módulos ( $N_{mod}$ )          | 1     |                |  |
| Gasto de diseño ( $Q_d$ )                | 96.62 | l/s            |  |
| Velocidad (vel.)                         | 0.6   | m/s            |  |
| Área donde atravesará le agua (A)        | 0.161 | m <sup>2</sup> |  |
| Altura del tirante de agua (b)           | 0.33  | m              |  |
| Ancho del canal (a)                      | 0.49  | m              |  |
| Bordo libre (b')                         | 0.3   | m              |  |
| Altura sobresaliente de la rejilla (b'') | 0.1   | m              |  |
| Altura total del canal (BT)              | 0.63  | m              |  |



Tabla 39. Diseño de rejilla, CONAGUA, 2007.

| Rejillas                     |       |      | Ecuación  |
|------------------------------|-------|------|---|
| Descripción                  | Cant. | Und. |   |
| Separación (Sep)             | 0.035 | m    | $Q_{max} = 3.5 \text{ cm}$<br>$N_{sep} = a/sep$<br>$NB = No. sep - 1$<br><br>$Ajsep = \left( \frac{Exc * sep}{N_{sep}} \right) + sep$ |
| No. Separaciones (Nsep)      | 14.04 |      |   |
| No. Barras (NB)              | 13.04 |      |   |
| Excedente (Exc.)             | 0.76  | cm   |   |
| No. Separaciones (Nsep)      | 14    |      |   |
| No. Barras (Nbarras)         | 13    |      |   |
| Ajuste de separación (Ajsep) | 0.04  | m    |   |

Tabla 40. Ajuste del canal. Fuente: CONAGUA, 2007.

| Ajuste del canal                   |       |      | Ecuación   |
|------------------------------------|-------|------|--|
| Descripción                        | Cant. | Und. |  |
| Solera (Se)                        | 0.25  | pulg | $Espesor = 1/4" = 0.25"$<br>$ET = N_{sep} * Se$<br>$Ac = a + ET$ |
| Espesor tot. Agregar al canal (ET) | 0.089 | m    |  |
| Ancho del canal corregido (Ac)     | 0.58  | m    |  |

Tabla 41. Cálculo del material de rejilla. Fuente: CONAGUA, 2007.

| Cálculo del material de rejilla         |       |      | Ecuación  |
|---|-------|------|---|
| Descripción                             | Cant. | Und. |   |
| Angulo (Ang)                            | 45    | °    | $CO = b + b' + b''$<br>$Hip = CO/\text{sen}45$<br>$Ltb = NB * Hip$<br><br>$N_{solera} = Lsol/6$ |
| Cateto Opuesto (CO)                     | 0.73  | m    |   |
| Hipotenusa (Hip)                        | 1.03  | m    |   |
| Longitud total de barras (Ltb)          | 13.38 | m    |   |
| Empotrado (Emp)                         | 1.56  | m    |   |
| Longitud total de solera (Lsol)         | 17.93 | m    |   |
| Numero de solera (N <sub>solera</sub> ) | 2.99  |      |   |

Tabla 42. Pendiente del canal y velocidad. Fuente: CONAGUA, 2007.

| Pendiente de canal y velocidad  |        |                | Ecuación   |
|---------------------------------|--------|----------------|--|
| Descripción                     | Cant.  | Und.           |  |
| Área hidráulica (Ah)            | 0.190  | m <sup>2</sup> | $Ah = b * ancho c$<br>$Pm = b + Ac + b$<br>$Rh = Ah/pm$<br><br>$S = ((VC * n)/(Rh^{\frac{2}{3}}))^2$ |
| Perímetro mojado (Pm)           | 1.24   | m              |  |
| Radio hidráulico (Rh)           | 0.154  | m              |  |
| Velocidad de escurrimiento (VC) | 0.6    | m/s            |  |
| Coefficiente de rugosidad (n)   | 0.013  |                |  |
| Pendiente (S)                   | 0.0007 |                |  |

Tabla 43. Diseño del desarenador hidráulico. Fuente: CONAGUA, 2007.



| Desarenador hidráulico                        |         |                         | Ecuación  |
|---|---------|-------------------------|---|
| Descripción                                   | Cant.   | Und.                    |   |
| Gasto de diseño ( $Q_{diseño}$ )              | 8347.7  | $m^3/d$                 | $Vel. agua = 0.3 m/s$<br>$Vel. sed = 0.024 m/s$<br>$T_{canal} = b$<br>$L_{des} = \left(\frac{V_{agua}}{V_{sed}}\right) (T_c) * C_s$<br>0.06 $m^3$ arena: 1000 $m^3$ agua<br><br>$Vol. A = Qd * Ssed * Dlimp$<br>$AD = L * Ac$<br>$TD = Vol. arena / AD$ |
| Velocidad del agua ( $V_{agua}$ )             | 0.3     | m/s                     |   |
| Vel. De sed. Partículas ( $V_{sed}$ )         | 0.024   | m/s                     |   |
| Tirante de canal ( $T_{canal}$ )              | 0.33    | m                       |   |
| Coef. De sed. En desarenador ( $C_s$ )        | 1.5     |                         |   |
| Longitud desarenador ( $L_{des}$ )            | 6.14    | m                       |   |
| Sol sed 60 m/l ( $S_{sed}$ )                  | 0.00006 | $m^3$ arena/ $m^3$ agua |   |
| Limpieza ( $D_{limp}$ )                       | 3       | día                     |   |
| Volumen de arena ( $Vol. A$ )                 | 1.50    | $m^3$                   |   |
| Área del desarenador ( $AD$ )                 | 3.57    | $m^2$                   |   |
| Tirante del desarenador ( $T_{desarenador}$ ) | 0.42    | m                       |   |
| Pérdida de carga por rejillas al 50%          |         |                         |   |
| Eficiencia de rejilla ( $E_{rejilla}$ )       | 0.8     |                         | $Ht = ((V1^2 - V2^2)/2g)(1/0.7)$<br>$PT = Ht + Tides$   |
| Profundidad total ( $Ht$ )                    | 0.088   | m                       |   |
| Tirante Desarenador Final ( $PT$ )            | 0.510   | m                       |   |

Tabla 44. Diseño del tanque de flotación. Fuente: CONAGUA, 2007.

| Flotación  |             |         | Ecuación  |
|--|-------------|---------|---|
| Descripción                                      | Cant.       | Und.    |   |
| Gasto de diseño ( $Q_{diseño}$ )                 | 8347.7      | $m^3/d$ | $Vol. flot = Qd * TRH$<br><br>$A_{flot} = Vol. flot / T_{diseño}$<br><br>$A = a * b$ $a = 2x$<br>$b = 5x$ |
| C. Grasas y Aceite ( $C_{GyA}$ )                 | 109.6202754 | mg/l    |   |
| Tiempo de Retención Hidráulica ( $TRH$ )         | 0.017       | día     |   |
| Volumen del tanque de flotación ( $Vol. flot$ )  | 141.91      | $m^3$   |   |
| Tirante del diseño ( $T_{diseño}$ )              | 2.0         | m       |   |
| Área del tanque de flotación ( $A_{flotación}$ ) | 70.96       | $m^2$   |   |
| Relación lango ancho ( $b:a$ )                   | 2.5         |         |   |
| Ancho ( $a$ )                                    | 5.3         | m       |   |
| Largo ( $b$ )                                    | 13.3        | m       |   |

Tabla 45. Cálculo de la batería de interconexión. Fuente: CONAGUA, 2007.

| Cálculo para batería de interconexión |       |         | Ecuación  |
|---------------------------------------|-------|---------|---|
| Descripción                           | Cant. | Und.    |   |
| Gasto ( $Q$ )                         | 0.097 | $m^3/s$ | $A = Q/vel$<br>$D_{tub} = (4 * Q / \pi vel)^{0.5}$<br><br>$A = \pi d^2 / 4$<br>$N_{vel} = Q/NA$ |
| Velocidad ( $vel$ )                   | 0.6   | m/s     |   |
| Área ( $A$ )                          | 0.161 | $m^2$   |   |
| Dímetro ( $\Theta$ )                  | 0.45  | m       |   |
| Dímetro ( $\Theta$ )                  | 17.83 | in      |   |
| Dímetro ( $\Theta$ )                  | 10    | in      |   |
| NA                                    | 0.051 | m       |   |
| NV                                    | 1.91  | m/s     |   |



Tabla 46. Diseños de cámaras de sedimentación de un tanque Imhoff. Fuente: CONAGUA, 2013.

| Diseño de las cámaras de sedimentación |        |                                   | Ecuación  |
|--|--------|-----------------------------------|---|
| Descripción                            | Cant.  | Und.                              |   |
| Nó. De módulos                         | 2      |                                   | $A_{sup} = Q_{med} / C_{sup}$ $A_{cam} = A_{sup} / 2$ $b = A_{cam} / a$ |
| Tiempo Retención Hidráulico (TRH)      | 720    | min                               |   |
| Carga superficial (Csup)               | 20     | m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> /d |   |
| Velocidad Horizontal (vHtzl)           | 0.3    | m/min                             |   |
| Gasto medio (Qmed)                     | 912.24 | m <sup>3</sup> /d                 |   |
| Número de cámaras (Ncam)               | 2      |                                   |   |
| Área superficial (Asup)                | 46     | m <sup>2</sup>                    |   |
| Área de una cámara (Acam)              | 23     | m <sup>2</sup>                    |   |
| Ancho de la cámara (a)                 | 3.5    | m                                 |   |
| Longitud de la cámara (b)              | 7      | m                                 |   |

| Datos definitivos |       |                | Ecuación                       |
|-------------------|-------|----------------|--------------------------------|
| Datos             | Cant. | Und.           |                                |
| a                 | 4     | m              | $A = a * b$ $AT = A * N_{cam}$ |
| b                 | 7     | m              |                                |
| A                 | 25    | m <sup>2</sup> |                                |
| AT                | 49    | m <sup>2</sup> |                                |

Tabla 47. Diseño de las cámaras del tanque Imhoff. Fuente: CONAGUA, 2013.

| Diseño de las cámaras                          |        |                | Ecuación   |
|--|--------|----------------|--|
| Descripción                                    | Cant.  | Und.           |  |
| Nuevo valor de carga superficial (N Csup)      | 19     |                | $N C_{sup} = Q_{med} / AT$ $V_{cam} = b / TRH$ $V_{cs} = Q_{med} * TRH$ $V_c = V_{cs} / 2$ $A_{stc} = V_c / b$ $T. \text{ inclinado } \frac{1.5}{1} = \frac{H_2}{1.2}$ |
| Vel. Del agua dentro de la cámara (v.cámara)   | 0.01   | m/min          |  |
| Vol. Cámaras (Vcs)                             | 456.12 | m <sup>3</sup> |  |
| Vol. Para 1 cámara (Vc)                        | 228.06 | m <sup>3</sup> |  |
| Área de la secc. transversal de la cámara (As) | 65.2   | m <sup>2</sup> |  |
| Altura de la cámara de sedimentación (H2)      | 1.8    | m              |  |

Tabla 48. Diseño del área de la sección cónica. Fuente: CONAGUA, 2013.

| Área de la sección cónica       |       |                | Ecuación   |
|---------------------------------|-------|----------------|--|
| Descripción                     | Cant. | Und.           |  |
| Área de la sección cónica (Asc) | 3.2   | m <sup>2</sup> | $A_{sc} = (a * H_2) / 2$ $A_1 = A_{stc} - A_{sc}$ $H_1 = A_1 / a$ $HT = H_1 + H_2$ |
| A1                              | 62.0  | m <sup>2</sup> |  |
| H1                              | 17.7  | m              |  |
| HT                              | 19.5  | m              |  |



| Corroboración                              |       |       | Ecuación                         |
|--|-------|-------|----------------------------------|
| Descripción                                | Cant. | Und.  | $TRH = Vol/Q$<br><br>$v = b/TRH$ |
| Gasto Maximo Instantáneo ( $Q_{maxinst}$ ) | 32.2  | l/s   |                                  |
| Tiempo de Retención Hidráulico TRH         | 1.97  | hr    |                                  |
|  | 118   | min   |                                  |
| Velocidad (v)                              | 0.1   | m/min |                                  |

*Tabla 49. Capacidad de almacenamiento de los lodos. Fuente: CONAGUA, 2013.*

| Capacidad de almacenamiento de los lodos |        |                | Ecuación  |
|--|--------|----------------|---|
| Descripción                              | Cant.  | Und.           | $V_{lodos} = P_{ob} * CAL$<br>$LUT = L - (2 * 0.2)$<br><br>$ASRL = V_{lodos}/LUT$<br><br>$A2 = (H2 * ACL)/2$<br>$A1 = ASRL - A2$<br>$H1 = A1/ACL$ |
| Capacidad de almacenamiento de los lodos | 30     | l/hab          |   |
| Volumen de lodos ( $V_{lodos}$ )         | 240.00 | m <sup>3</sup> |   |
| Longitud Util del tanque (LUT)           | 6.6    | m              |   |
| Ancho de la cámara de lodo (ACL)         | 4      | m              |   |
| Área de la sección requerida para lodos  | 36.36  | m <sup>2</sup> |   |
| H2                                       | 0.88   | m              |   |
| A2                                       | 1.53   | m <sup>2</sup> |   |
| A1                                       | 34.8   | m              |   |
| H1                                       | 10     | m <sup>2</sup> |   |

*Tabla 50. Diseño del área de ventilación. Fuente: CONAGUA, 2013.*

| Área de ventilación                               |       |                |
|---|-------|----------------|
| Descripción                                       | Cant. | Und.           |
| 1.2X10  | 8     | m <sup>2</sup> |
| 0.9X2X10  | 18    | m <sup>2</sup> |
|   | 26.4  | m <sup>2</sup> |
| Temperatura del mes más cálido ( $T_{caluroso}$ ) | 32    | °C             |
| Temperatura del mes más frío ( $T_{frío}$ )       | 22    | °C             |

*Tabla 51. Cálculo del humedal artificial de tipo Ciénega. Fuente: CONAGUA, 2013.*

| CIÉNEGA                    |           |      |
|----------------------------|-----------|------|
| Criterio de diseño CONAGUA |           |      |
| Descripción                | Cant.     | Und. |
| Tiempo de Retención Hid.   | 1 a 5     | hr   |
| Velocidad del agua         | 0.6 a 1.5 | m/s  |
| Separación entre mamparas  | 0.50 a 80 | m    |
| Abertura del paso del agua | 1.5       |      |
| Forma del tanque           | 3 : 1     |      |
| Borde libre                | <30       | cm   |



Tabla 52. Parámetros para el diseño de la Ciénega. Fuente: CONAGUA, 2013.

| Parámetro           | Valor | Und.               |
|---------------------|-------|--------------------|
| Gasto de diseño     | 76.02 | m <sup>3</sup> /hr |
| Velocidad del agua  | 0.60  | m/s                |
| Separación/mamparas | 0.80  | m                  |
| Espesor de mamparas | 0.15  | m                  |
| Bordo libre         | 0.30  | m                  |
| Tiempo de retención | 5     | hr                 |
| Bordo libre         | 0.30  | m                  |
| Tirante de agua     | 0.80  | m                  |

Tabla 53. Dimensión de la Ciénega. Fuente: CONAGUA, 2013.

| Dimensión de la unidad                            |        |                | Ecuación   |
|---|--------|----------------|--|
| Descripción                                       | Cant.  | Und.           |  |
| Volumen del tanque (Vol.)                         | 380.10 | m <sup>3</sup> | $Vol. tanq = Q_{diseño} * TRH$                             |
| Área del tanque (A)                               | 475    | m <sup>2</sup> | $A = Vol. tanq / Tirante$                                  |
| Ancho del tanque (a)                              | 21     | m              | $A = a * b \quad A = 2a^2$                                 |
| Longitud del tanque (b)                           | 32     | m              | $b = 2a$   |
| Número de mampara (Nm)                            | 39     | m              | $Nm = \left( \frac{Long. tanq}{Sep. entre m.} \right) - 1$ |
| Número de espacios (N <sub>espacios</sub> )       | 40     |                | $Nespacio = Nm + 1$  |
| Long. Preliminar del tanque (L <sub>pre</sub> )   | 32     | m              | $Lpre. = Sep. m. * No. espacios$                           |
| <b>Verificación de la velocidad del agua (vv)</b> |        |                |  |
| Área de flujo (A <sub>flujo</sub> )               | 0.64   | m <sup>2</sup> | $\dot{A}flujo = Sep. mamp. * Ti. agua$                     |
| Velocidad del agua (v <sub>agua</sub> )           | 118.78 | m/s            | $v. agua = \frac{Q. diseño}{A. flujo}$                     |
| Grosor total de mampara (Gm)                      | 5.85   | m              | $Gm. = Espesor de mamp. * Nm.$                             |
| Longitud total del tanque (Lt)                    | 37.85  | m              | $Lt = Long. preel. r tanq. + Gm.$                          |
| Abertura del paso del agua (Ab. agua)             | 1.20   | m              | $Ab. agua = 1.5 * Sep. mamp.$                              |
| Longitud de la mampara (L. mamp)                  | 19.80  | m              | $L. mamp = a - Ab. agua$                                   |
| Altura de la mampara (h mamp)                     | 0.90   | m              | $h mamp = Ti + 0.1$  |
| Altura de la estructura (h estruc)                | 1.20   | m              | $h estruc. = Ti + 0.1m + bl$                               |



Tabla 54. Diseño de las cámaras de sedimentación del lecho de secado. Fuente: CONAGUA, 2013.

| LECHO DE SECADO                           |       |                   |  |
|---|-------|-------------------|--|
| Diseño de las cámaras de sedimentación    |       |                   | Ecuación   |
| Descripción                               | Cant. | Und.              |  |
| Número de módulos (Nmod)                  | 4     |                   | $V = \frac{VLD * Tsec}{N mod}$ $Aefec = V/Ti$ $a = \sqrt{A}$ $b = a$ |
| Volumen de lodos (V <sub>lodos</sub> )    | 240   | m <sup>3</sup> /d |  |
| Volumen de lodos digeridos (VLD)          | 24    | m <sup>3</sup> /d |  |
| Tiempo de secado (Tsec)                   | 6.3   | d                 |  |
| Tirante (Ti)                              | 0.6   | m                 |  |
| Volumen (V)                               | 76    | m <sup>3</sup>    |  |
| Area efectiva (Aefec)                     | 126.0 | m <sup>2</sup>    |  |
| a   | 8.50  | m                 |  |
| b   | 20.00 | m                 |  |
| Tirante al centro (Ti <sub>Centro</sub> ) | 0.84  | m                 |  |
| Por norma 6x20                            | 120   | m <sup>2</sup>    |  |

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco.  
 México



## 12.2. Ingeniería básica de la alternativa seleccionada en la optimización del proceso del sistema de tratamiento actual de la PTAR del Corredor Parrilla II.

Figura 27. Modelos para la proyección de poblacional.

### Modelos utilizados para la proyección de población

**Método Aritmético (López et al., 2008).**

$$Pf = TCMA * (Tci - Tuc) + Puc$$

$$TCMA = \frac{Inc. Población}{Inc. Años}$$

*Pf*= Población futura

*TCMA*= Tasa de crecimiento media anualizada

*Tci*= Tiempo al inicio del periodo del censo

*Tuc*=Tiempo del último censo

*Puc*= Población del último censo

*Inc. Polbalción*= sumatoria de los incrementos de población/censo

*Inc. Años*= Sumatoria de los incrementos de años/censo

**Método del INEGI**

$$Pf = Puc * TCMA\% + 1^{(Tci-Tuc)}$$

$$TCMA\% = \left( \frac{Puc}{Pci} \right)^{\frac{1}{Tci-Tuc}} - 1$$

*Pf*=Población futura

*Puc*=Población del último censo

*TCMA%*= Porcentaje de la tasa de crecimiento

*Tci*= Tiempo al inicio del periodo del censo

*Tuc*= Tiempgo del último censo

*TCMA%*= Porcentaje de la tasa de crecimiento

*Puc*= Población del últio censo

*Pci*= Población censo inicial

**Método de Malthus**

$$Pf = Puc * (TCMA\% + 1^{\frac{Tci-Tuc}{10}})$$

*Pf*= Población futura

*Puc*=Población del último censo

*TCMA%*= Porcentaje de la tasa de crecimiento

*Tci*= Tiempo al inicio del periodo del censo

*Tuc*= Tiempo del último censo



*Tabla 55. Población actual de las localidades de Parrilla.*

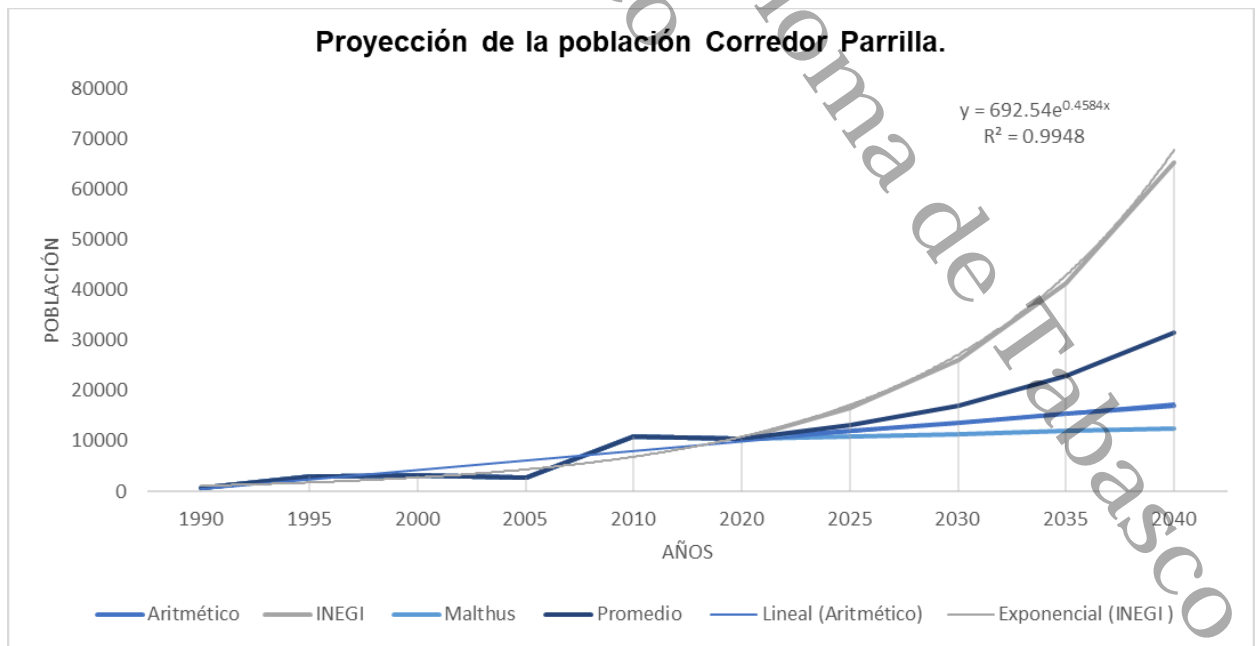
| Localidad              | Población    |
|------------------------|--------------|
| Casa para todos        | 878          |
| Las Margaritas         | 930          |
| Fracc. Parrilla II     | 2252         |
| El Paraíso             | 1471         |
| Fracc. San Manuel      | 1541         |
| Villa los Claustros    | 2583         |
| Otros                  | 772          |
| <b>Población total</b> | <b>10427</b> |

*Tabla 56. Proyección poblacional de la localidad Parrilla, Centro, Tabasco.*

| Localidad: Parrilla II, Centro, Tabasco. |            |       |         |          |           |             |               |       |
|--|------------|-------|---------|----------|-----------|-------------|---------------|-------|
| Año                                      | Aritmético | INEGI | Malthus | Promedio | Inc. Años | Inc. Poblac | TCMA(hab/año) | TCMA% |
| 1990                                     | 666        | 666   | 666     | 666      |           |             | 325.37        | 0.096 |
| 1995                                     | 2921       | 2921  | 2921    | 2921     | 5         | 2255        |               |       |
| 2000                                     | 3168       | 3168  | 3168    | 3168     | 5         | 247         |               |       |
| 2005                                     | 2771       | 2771  | 2771    | 2771     | 5         | -397        |               |       |
| 2010                                     | 10967      | 10967 | 10967   | 10967    | 5         | 8196        |               |       |
| 2020                                     | 10427      | 10427 | 10427   | 10427    | 10        | -540        |               |       |
| 2025                                     | 12054      | 16492 | 10916   | 13154    |           |             |               |       |
| 2030                                     | 13681      | 26085 | 11428   | 17065    |           |             |               |       |
| 2035                                     | 15308      | 41257 | 11964   | 22843    |           |             |               |       |
| 2040                                     | 16934      | 65255 | 12526   | 31572    |           |             |               |       |

Población histórica  
 Población proyectada

|                        |       |     |
|------------------------|-------|-----|
| Población actual       | 10427 | Hab |
| Población del proyecto | 65255 | Hab |



*Figura 28. Gráfica de la proyección poblacional en el Corredor Parrilla.*



*Tabla 57. Datos del proyecto PTAR Parrilla II. Fuente: CONAGUA 2022.*

**DATOS GENERALES Y DATOS DEL PROYECTO**

**DIAGNOSTICO DE LOS SISTEMAS DE TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL DEL CORREDOR PARRILLA EN EL MUNICIPIO DE CENTRO, TABASCO.**

| Datos del proyecto             |       |            | Ecuación   |
|--------------------------------|-------|------------|--|
| Descripción                    | Cant. | Und.       |  |
| Población actual               | 2262  | hab        | $Aport. = 80\% \text{ dotación}$ $CQU = CDQO * Q / Pob$ $M = 1 + \frac{14}{4 + \sqrt{\frac{Población}{1000}}}$ |
| Población de proyecto (Pp)     | 65255 | hab        |  |
| Dotación (Dot.)                | 200   | l/hab/día  |  |
| Aportación (Aport.)            | 160   | l/hab/día  |  |
| Carga Química Unitaria (CQU)   | 202.5 | gr/hab/día |  |
| Coef de Harmon (M)             | 2.16  |            |  |
| Coefficiente de seguridad (Cs) | 1.5   |            |  |
| No. De Módulos                 | 4     |            |  |

*Tabla 58. Gastos de diseño PTAR Parrilla II. Fuente: CONAGUA 2022.*

| Gastos de diseño                           | Total       |          | Módulo                |         |
|--|-------------|----------|-----------------------|---------|
|  | Descripción | (L/seg)  | (m <sup>3</sup> /día) | (L/seg) |
| Gasto máximo Inst. (Q <sub>maxinst</sub> ) | 260.91      | 22543.01 | 65.23                 | 5635.75 |
| Gasto máximo Ext. (Q <sub>maxext</sub> )   | 391.37      | 33814.52 | 97.84                 | 8453.63 |
| Gasto medio (Q <sub>med</sub> )            | 120.84      | 10440.8  | 30.21                 | 2610.20 |
| Gasto mínimo (Q <sub>min</sub> )           | 60.42       | 5220.4   | 15.11                 | 1305.10 |

*Tabla 59. Concentración de entrada al sistema. Fuente: Metcalf et al., 1996.*

| Conc. de entrada al sistema              | Total       |                     | Módulo      |                     |
|--|-------------|---------------------|-------------|---------------------|
|  | Descripción | Cant.               | Und.        | Cant.               |
| Carga Química Total (CQT)                | 13214.14    | kg/día              | 3303.534375 | kg/día              |
| Flujo volumetrico (FV=Q <sub>med</sub> ) | 10440.8     | m <sup>3</sup> /día | 2610.2      | m <sup>3</sup> /día |
| Concentración DQO (C <sub>DQO</sub> )    | 1265.625    | mg/l                | 1265.625    | mg/l                |

*Tabla 60. Eficiencia requerida del sistema. Fuente: NOM.001-SEMARNAT-2021.*

| Eficiencia requerida del sistema                             |       |      | Ecuación                             |
|--|-------|------|--------------------------------------|
| NOM-001-SEMARNAT-2021  |       |      |                                      |
| DESCRIPCIÓN  | Cant. | Und. |                                      |
| Límite Máx. Permissible DQO (C LMP DQO)                      | 150   | mg/l | $\eta = \frac{C_e - C_s}{C_e} * 100$ |
| Límite Máx. Permissible Solidos Suspendidos Tot. (C LMP SST) | 60    | mg/l |                                      |
| Ef. de Remoción de la DQO (η=ER DQO)                         | 88.15 | %    |                                      |



Tabla 61. Parámetros de entrada. Fuente: Metcalf et al., 1996.

| Parámetros de entrada            |          |      |
|----------------------------------|----------|------|
| Descripción                      | Cant.    | Und. |
| Temperatura del ambiente (T Amb) | 30.3     | °C   |
| Temperatura del agua (T agua)    | 26.3     | °C   |
| C DQO                            | 1265.625 | mg/l |
| C SST                            | 656.25   | mg/l |
| C SSED                           | 60       | mg/l |

Tabla 62. Parámetros requeridos del sistema. Fuente: CONAGUA, 2021.

| Parámetros requeridos del sistema    |           |           |            |             |
|--------------------------------------|-----------|-----------|------------|-------------|
| Descripción                          | g/hab/día | g/hab/día | COT (kg/d) | Cmax (mg/l) |
| Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5) | 50 a 120  | 85        | 5546.68    | 531.25      |
| Demanda Química de Oxígeno (DQO)     | 110 a 295 | 202.5     | 13214.14   | 1265.63     |
| Solidos Suspendidos Totales (SST)    | 60 a 150  | 105       | 6851.78    | 656.25      |
| Amoniaco (NH3)                       | 5 a 12    | 8.5       | 554.67     | 53.13       |
| Nitrógeno orgánico (N org N)         | 4 a 10    | 7         | 456.79     | 43.75       |
| Nitrogeno (NTK)                      | 9 a 21.7  | 15.35     | 1001.66    | 95.94       |
| Fosforo Orgánico (P ORG como P)      | 0.9 a 1.8 | 1.35      | 88.09      | 8.44        |
| Fosforo Inorgánico (P INORG como P)  | 1.8 a 2.7 | 2.25      | 146.82     | 14.06       |
| Fosforo Total (P TOTAL como P)       | 2.7 a 4.5 | 3.6       | 234.92     | 22.50       |
| Grasas y Aceites (GyA)               | 10 a 40   | 25        | 1631.38    | 156.25      |

Tabla 63. Criterio de diseño del cárcamo concentrador. Fuente: CONAGUA 2007.

| CÁRCAMO CONCENTRADOR                    |         |                     |   |  |
|---|---------|---------------------|---|--|
| Criterios de diseño                     |         |                     | Ecuación  |  |
| Descripción                             | Cant.   | Und.                |   |  |
| T. Retención Hidráulica (TRH)           | 45      | min                 | $V = TRH * Q_{max. Ext.}$ $A = V_{cárc} / T_i$ $D = (\sqrt{V} / (\pi * h)) * 2$ $A = \pi \theta^2 / 4$ $N vol = NA * T_i$ $N TRH = N vol * Q_{max}$ |  |
| Gasto maximo ext ( $Q_{maxext}$ )       | 391.37  | l/seg               |   |  |
| $Q_E$                                   | 23.48   | m <sup>3</sup> /min |   |  |
| Volumen cárcamo (Vol.cárcamo)           | 1056.70 | m <sup>3</sup>      |   |  |
| Tirante (Ti)                            | 6       | m                   |   |  |
| Área (A)                                | 176.12  | m <sup>2</sup>      |   |  |
| Diametro ( $\theta$ )                   | 14.97   | m                   |   |  |
| Diametro cárcamo ( $\theta_{cárcamo}$ ) | 15.0    | m                   |   |  |
| N área (NA)                             | 176.72  | m <sup>2</sup>      |   |  |
| N volumen ( $N_{vol}$ )                 | 1060.29 | m <sup>3</sup>      |   |  |
| N Retención Hidráulica (NTRH)           | 45.15   | min                 |   |  |



*Tabla 64. Área y volumen de sedimentos del cárcamo. Fuente: CONAGUA, 2007.*

| Área y volumen de sedimentos              |         |                | Ecuación  |
|---|---------|----------------|---|
| Descripción                               | Cant.   | Und.           |   |
| Sólidos sedimentables (SSED)              | 60      | m <sup>3</sup> | 0.06 m <sup>3</sup> arena/m <sup>3</sup> H <sub>2</sub> O |
| Volumen del agua (Vol <sub>agua</sub> )   | 1060.29 | m <sup>3</sup> |   |
| Volumen de sedimentos (V <sub>sed</sub> ) | 63.62   | m <sup>3</sup> | V <sub>SSED</sub> = V <sub>agua</sub> * SSED              |
| Tirante de sedimentos (T <sub>sed</sub> ) | 0.360   | m              | T <sub>iSSED</sub> = V <sub>sed</sub> / NA                |

*Tabla 65. Diámetro de la tubería de succión. Fuente: CONAGUA, 2007.*

| Diámetro de succión                          |         |                   | Ecuación  |
|--|---------|-------------------|---|
| Descripción                                  | Cant.   | Und.              |   |
| Velocidad de la bomba (Vel. bomba)           | 2.5     | m/s               | Q <sub>b</sub> = 2Q <sub>e</sub>                              |
| Gasto de bombeo (Q <sub>b</sub> )            | 0.78    | m <sup>3</sup> /s |   |
| Caudal (Q=AV)                                |         |                   | D <sub>tub</sub> = (4 * Q <sub>b</sub> / πvel) <sup>0.5</sup> |
| Diámetro de tubería (D <sub>tub</sub> )      | 0.63028 | m                 |   |
| Diámetro constructivo (D <sub>const.</sub> ) | 25      | in                | A = π(θ * pulg) <sup>2</sup> / 4                              |
| N area                                       | 0.317   | m <sup>2</sup>    |   |
| N velocidad                                  | 2.46    | m/s               | N <sub>vel</sub> = Q <sub>b</sub> / NA                        |

*Tabla 66. Diámetro de tubería de descarga. Fuente: CONAGUA, 2007.*

| Diámetro de tubería de descarga              |       |                   | Ecuación  |
|--|-------|-------------------|---|
| Descripción                                  | Cant. | Und.              |   |
| Velocidad de descarga (Vel. descarga)        | 0.6   | m/s               | D <sub>tub</sub> = (4 * Q <sub>b</sub> / πvel) <sup>0.5</sup> |
| Gasto de bombeo (Q <sub>b</sub> )            | 0.78  | m <sup>3</sup> /s |   |
| Caudal (Q=AV)                                |       |                   | NA = π(θ * pulg) <sup>2</sup> / 4                             |
| Diámetro de tubería (D <sub>tub</sub> )      | 1.29  | m                 |   |
| Diámetro constructivo (D <sub>const.</sub> ) | 51    | in                | N <sub>vel</sub> = Q <sub>b</sub> / NA                        |
| NA   | 1.318 | m <sup>2</sup>    |   |
| N velocidad                                  | 0.59  | m/s               |   |

*Tabla 67. Dimensión final del cárcamo. Fuente: CONAGUA, 2007.*

| Dimensionamiento final                          |       |      | Ecuación  |
|---|-------|------|---|
| Descripción                                     | Cant. | Und. |   |
| Bordo libre (BL)                                | 1.5   | m    | L <sub>t</sub> = T - 0.50 m<br>h = T <sub>i</sub> + BL + T <sub>sed</sub> |
| Tirante (T <sub>i</sub> )                       | 6     | m    |   |
| Long. Tubería entrada (L <sub>tub-ent</sub> )   | 5.5   | m    |   |
| Altura Tubería Carcamo (H <sub>tub-carc</sub> ) | 7.86  | m    |   |



Tabla 68. Potencia de bombeo del cárcamo. Fuente: CONAGUA, 2007.

| Potencia de bombeo              |       |                   | Ecuación                           |
|---------------------------------|-------|-------------------|------------------------------------|
| Descripción                     | Cant. | Und.              |                                    |
| Carga dinámica ( $C_{din}$ )    | 4.5   | m                 | $hf + hc + he + hd + has$          |
| Pérdidas locales ( $P_{loc}$ )  | 5     | m                 |                                    |
| Carga de posición ( $C_{pos}$ ) | 10    | m                 |                                    |
| Altura total ( $H_{total}$ )    | 20    | m                 |                                    |
| Densidad del agua ( $\gamma$ )  | 1000  | kg/m <sup>3</sup> | $HT = C_{din} + P_{loc} + C_{pos}$ |
| n                               | 80    | %                 |                                    |
| 1 HP                            | 76    | kg/s              | $P = \gamma Q_b (H_{total}) / 76n$ |
| Potencia                        | 80    | HP                |                                    |

Tabla 69. Tiempo de bombeo del cárcamo. Fuente: CONAGUA, 2007.

| Tiempo de bombeo                   |       |                     | Ecuación  |
|------------------------------------|-------|---------------------|---|
| Descripción                        | Cant. | Und.                |   |
| Gasto de bombeo ( $Q_b$ )          | 47.0  | m <sup>3</sup> /min | $T_b = N_{vol} / (Q_b - Q_{m. ext})$<br>$N_{arr} = 1440 \text{ min} / T_b$<br>$Arr = N_{arr} / N_{obombas}$<br>$Hop = Arranque * T_b$ |
| Tiempo de bombeo ( $T_b$ )         | 45    | min                 |   |
| Numero de arranques ( $N_{arr.}$ ) | 32    |                     |   |
| Aranque/bomba                      | 8     |                     |   |
| Horas de operación/bomba ( $Hop$ ) | 6     | horas               |   |
| Numero de bombas ( $N_{bombas}$ )  | 4     |                     |   |

Tabla 70. Criterio de diseño de pretratamiento. CONAGUA, 2007.

| UNIDADES DE PRETRATAMIENTO               |        |                |   |
|--|--------|----------------|---|
| Criterios de diseño                      |        |                | Ecuación  |
| Descripción                              | Cant.  | Und.           |   |
| Gasto Máximo Ext. ( $Q_{maxext}$ )       | 391.37 | l/s            | $Q_{diseño} = Q_{max. Ext} / N_m$<br><br>$A = Q_{diseño} / vel$<br>$b = (A / 1.5)^{1/2}$<br>$a = 1.5 b$<br><br>$BT = b + b''$ |
| Numero de módulos ( $N_{mod}$ )          | 1      |                |   |
| Gasto de diseño ( $Q_{diseño}$ )         | 391.37 | l/s            |   |
| Velocidad (vel.)                         | 0.6    | m/s            |   |
| Área donde atravesará le agua (A)        | 0.652  | m <sup>2</sup> |   |
| Altura del tirante de agua (b)           | 0.66   | m              |   |
| Ancho del canal (a)                      | 0.99   | m              |   |
| Bordo libre (b')                         | 0.3    | m              |   |
| Altura sobresaliente de la rejilla (b'') | 0.1    | m              |   |
| Altura total del canal (BT)              | 0.96   | m              |   |



Tabla 71. Diseño de rejilla, CONAGUA, 2007.

| Rejillas                     |       |      | Ecuación  |
|------------------------------|-------|------|---|
| Descripción                  | Cant. | Und. |   |
| Separación (Sep)             | 0.035 | m    | $Q_{max} = 3.5 \text{ cm}$<br>$N_{sep} = a/sep$<br>$N_{barras} = No. sep - 1$<br><br>$Ajsep = \left( \frac{Exc * sep}{N_{sep}} \right) + sep$ |
| No. Separaciones (Nsep)      | 28.26 |      |   |
| No. Barras (Nbarras)         | 27.26 |      |   |
| Excedente (Exc.)             | 0.26  | cm   |   |
| No. Separaciones (Nsep)      | 28    |      |   |
| No. Barras (Nbarras)         | 27    |      |   |
| Ajuste de separación (Ajsep) | 0.04  | m    |   |

Tabla 72. Ajuste del canal. Fuente: CONAGUA, 2007.

| Ajuste del canal                   |       |      | Ecuación   |
|------------------------------------|-------|------|--|
| Descripción                        | Cant. | Und. |  |
| Solera (Se)                        | 0.25  | pulg | $Espesor = 1/4" = 0.25"$<br><br>$ET = N_{sep} * Se$<br>$Ac = a + ET$ |
| Espesor tot. Agregar al canal (ET) | 0.179 | m    |  |
| Ancho del canal corregido (Ac)     | 1.17  | m    |  |
|                                    |       |      |  |

Tabla 73. Cálculo del material de rejilla. Fuente: CONAGUA, 2007.

| Cálculo del material de rejilla         |       |      | Ecuación  |
|---|-------|------|---|
| Descripción                             | Cant. | Und. |   |
| Angulo (Ang)                            | 45    | °    | $CO = b + b' + b''$<br>$Hip = CO / \text{sen}45$<br>$Ltb = Nbarras * Hip$ |
| Cateto Opuesto (CO)                     | 1.06  | m    |   |
| Hipotenusa (Hip)                        | 1.50  | m    |   |
| Longitud total de barras (Ltb)          | 40.85 | m    |   |
| Empotrado (Emp)                         | 2.74  | m    |   |
| Longitud total de solera (Lsol)         | 52.30 |      |   |
| Numero de solera (N <sub>solera</sub> ) | 8.72  |      |   |

Tabla 74. Pendiente del canal y velocidad. Fuente: CONAGUA, 2007.

| Pendiente de canal y velocidad  |        |                | Ecuación   |
|---------------------------------|--------|----------------|--|
| Descripción                     | Cant.  | Und.           |  |
| Área hidráulica (Ah)            | 0.771  | m <sup>2</sup> | $Ah = b * ancho c$<br>$Pm = b + Ac + b$<br>$Rh = Ah/Pm$<br><br>$S = ((VC * n) / (Rh^{2/3}))^2$ |
| Perimetro mojado (Pm)           | 2.49   | m              |  |
| Radio hidráulico (Rh)           | 0.310  | m              |  |
| Velocidad de escurrimiento (VC) | 0.6    | m/s            |  |
| Coefficiente de rugosidad (n)   | 0.013  |                |  |
| Pendiente (S)                   | 0.0003 |                |  |



Tabla 75. Diseño del desarenador hidráulico. Fuente: CONAGUA, 2007.

| Desarenador hidráulico                        |         |                      | Ecuación   |
|---|---------|----------------------|--|
| Descripción                                   | Cant.   | Und.                 |  |
| Gasto de diseño ( $Q_{diseño}$ )              | 33814.5 | $m^3/d$              | $Vel. agua = 0.3 m/s$<br>$Vel. agua = 0.024 m/s$<br>$T_{canal} = b$<br>$L_{des} = \left(\frac{V_{agua}}{V_{sed}}\right)(T_{canal}) * Cs$<br>0.06 m <sup>3</sup> arena: 1000 m <sup>3</sup> agua<br>$Vol. arena = Q * Ssed * Dlimp$<br>$AD = L * Ac$<br>$T_{desarenador} = Vol. arena / AD$ |
| Velocidad del agua ( $V_{agua}$ )             | 0.3     | m/s                  |  |
| Vel. De sed. Partículas ( $V_{sed}$ )         | 0.024   | m/s                  |  |
| Tirante de canal ( $T_{canal}$ )              | 0.66    | m                    |  |
| Coef. De sed. En desarenador ( $Cs$ )         | 1.5     |                      |  |
| Longitud desarenador ( $L_{des}$ )            | 12.36   | m                    |  |
| Sol sed 60 m/l ( $Ssed$ )                     | 0.00006 | $m^3 arena/m^3 agua$ |  |
| Limpieza ( $Dlimp$ )                          | 3       | día                  |  |
| Volumen de arena ( $Vol. Arena$ )             | 6.09    | $m^3$                |  |
| Área del desarenador ( $AD$ )                 | 14.45   | $m^2$                |  |
| Tirante del desarenador ( $T_{desarenador}$ ) | 0.42    | m                    |  |

| Perdida de carga por rejillas al 50%    |       |   | Ecuación   |
|---|-------|---|--|
|   |       |   |  |
| Eficiencia de rejilla ( $E_{rejilla}$ ) | 0.8   |   | $Ht = ((V1^2 - V2^2)/2g)(1/0.7)$<br>$PT = Ht + PD$ |
| Profundidad total ( $Ht$ )              | 0.088 | m |  |
| Tirante Desarenador Final ( $PT$ )      | 0.509 | m |  |

Tabla 76. Dimensiones sugeridas y límites de aplicación para vertedores rectangulares con contracciones laterales. Fuente: CONAGUA, 2007.

| Vertedor  |        |        |        |        |        |
|-----------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Hmax (cm) | L (cm) | B (cm) | E (cm) | C (cm) | D (cm) |
| 30.5      | 30.5   | 121.5  | 91.5   | 45.5   | 45.5   |
| 38        | 45.5   | 151.5  | 99     | 53     | 45.5   |
| 38        | 61     | 183    | 106.5  | 61     | 53     |
| 45.5      | 91.5   | 213.5  | 122    | 76     | 61     |
| 45.5      | 122    | 274    | 122    | 76     | 61     |
| 45.5      | 183    | 351    | 137    | 84     | 76     |

Tabla 77. Ajuste del vertedor. Fuente: CONAGUA, 2007.

| Ajuste del Vertedor |       |       |       |       |       |
|---------------------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Hmax (m)            | L (m) | B (m) | E (m) | C (m) | D (m) |
| 0.48                | 0.8   | 1.17  | 2.11  | 0.20  | 1.45  |

| Descripción                                   | Cant.      | Und. |
|---|------------|------|
| Esp.de vertedores pared gruesa ( $e < 0.66$ ) | 0.31856095 | m    |



Tabla 78. Criterio de diseño de lagunas aireadas. Fuente: CONAGUA 2013.

| LAGUNAS AIREADAS                      |           |                     |                                   |
|---------------------------------------|-----------|---------------------|-----------------------------------|
| Criterios de diseño                   |           |                     | Ecuación                          |
| Descripción                           | Cant.     | Und.                |                                   |
| No. De módulos                        | 3         |                     |                                   |
| Tirante (Ti)                          | 6         | m                   |                                   |
| Tiempo de Retención Hidráulica (TRH)  | 4         | d                   |                                   |
| Volumen diario (Vd=Q <sub>med</sub> ) | 2,610.20  | m <sup>3</sup> /día |                                   |
| Volumen de la laguna (VL)             | 10,440.80 | m <sup>3</sup>      | $VL = Vd * TRH$                   |
| Área de la laguna (AL)                | 1,740.13  | m <sup>2</sup>      | $AL = VL/Ti$                      |
| Longitud (Lm)                         | 41.71     | m                   | $Lm = a = b = (AL)^{\frac{1}{2}}$ |

Tabla 79. Dimensiones de la laguna aireada. Fuente: CONAGUA,2013

| Dimensión Laguna Aireada                    |       |      | Ecuación                        |
|---|-------|------|---------------------------------|
| Descripción                                 | Cant. | Und. |                                 |
| Altura del centro del tirante al fondo (Hc) | 3     | m    | $Hc = Ti/2$                     |
| Numero de Bordos (corte long) (NB)          | 2     |      |                                 |
| Pendiente taludes internos (P)              | 2.5:1 |      |                                 |
| Longitud del fondo de la laguna (Lf)        | 26.71 | m    | $Lf = Lm - (Hc * P * NB)$       |
| Bordo libre (BL)                            | 0.9   | m    |                                 |
| Centro del tirante-H. bordos (CB)           | 3.9   | m    | $CB = \frac{Ti}{2} + 0.9$       |
| Long. Del centro de la corona al bordo (Lc) | 6     | m    | $Lc = Hc + Hc$                  |
| Long. De centro a centro de corona (Lcc)    | 67.21 | m    | $Lcc = Lm + (CB * P * NB) + Lc$ |
| Longitud de la superficie del agua (Ls)     | 56.7  | m    | $Ls = Lm + (Hc * P * NB)$       |

Tabla 80. Volumen dimensionado de la laguna aireada. Fuente: CONAGUA,2013.

| Volumen dimensionado                    |          |                | Ecuación                               |
|---|----------|----------------|--|
| Descripción                             | Cant.    | Und.           |  |
| Long.de la superficie de la laguna (A1) | 3216.58  | m <sup>2</sup> | $Ls^2$                                 |
| Long. Del fondo de la laguna (A2)       | 713.69   | m <sup>2</sup> | $Lf^2$                                 |
| Volumen dimensionado (Vdimen)           | 11790.80 | m <sup>3</sup> | $V = \frac{A1 + A2}{2} * Ti$           |
| <b>Comprobación</b>                     |          |                | $TRH = Vdimen / Vd$                    |
| Tiempo de Retención Hidráulica (TRH)    | 4.52     | día            | $\%dim = \frac{VL - Vdimen}{VL} * 100$ |
| Porcentaje de dimensión de vol.         | -12.9    | %              |  |



*Tabla 81. Cálculo de los equipos de aireación. Fuente: CONAGUA, 2013.*

| Cálculo de equipo de aireación             |           |                   | Ecuación                              |
|--|-----------|-------------------|---------------------------------------|
| Descripción                                | Cant.     | Und.              | $HP = Q_{med} * 86400 * TRH * H_{pm}$ |
| Potencia mínima del equipo (Hp)            | 0.0035    | HP/m <sup>3</sup> |                                       |
| Volumen (V)                                | 10,440.80 | m <sup>3</sup>    |                                       |
| Gasto medio (Qmed)                         | 0.03      | m <sup>3</sup> /s |                                       |
| Tiempo de Retención Hidráulica (TRH)       | 4         | día               |                                       |
| Potencia(HP)                               | 36.54     | HP                |                                       |
| Eficiencia mín. En el sistema de aireación | 70        | %                 |                                       |

*Tabla 82. Cálculo de la carga orgánica.*

| Carga Orgánica                              |            |        |
|---|------------|--------|
| Descripción                                 | Cant.      | Und.   |
| Carga Orgánica de entrada en tanque 1       | 13214.14   | kg/día |
| Carga Orgánica de salida en tanque 1        | 3964.24125 | kg/día |
| Carga Orgánica retenida en tanque 1 (COTT1) | 9249.90    | kg/día |

*Tabla 83. Criterio de diseño de la laguna facultativa. Fuente: CONAGUA, 2013.*

| LAGUNAS FACULTATIVA                   |           |                   |   |
|---------------------------------------|-----------|-------------------|---|
| Criterio de diseño                    |           |                   | Ecuación  |
| Descripción                           | Cant.     | Und.              | $VL = Vd * TRH$<br>$AL = VL / Ti$<br>$Lm = AL / Lair$ |
| No. De módulos                        | 3         |                   |   |
| Tirante (Ti)                          | 2.5       | m                 |   |
| Tiempo de Retención Hidráulica (TRH)  | 7         | d                 |   |
| Volumen diario (Vd=Q <sub>med</sub> ) | 2,610.20  | m <sup>3</sup> /d |   |
| Volumen de la Laguna (VL)             | 18,271.40 | m <sup>3</sup>    |   |
| Área de la laguna (AL)                | 7308.6    | m <sup>2</sup>    |   |
| Long. a la mitad del tirante (Lm)     | 175.20    | m                 |   |

*Tabla 84. Dimensiones de la laguna facultativa. Fuente: CONAGUA, 2013.*

| Dimensión Laguna Facultativa                |        |      | Ecuación   |
|---|--------|------|--|
| Descripción                                 | Cant.  | Und. | $Hc = Ti / 2$<br>$Lf = Lm - (Hc * Pend * NB)$<br>$CB = \frac{Ti}{2} + 0.9$<br>$Lc = Hc + Hc$<br>$Lcc = Lm + (CB * P * NB) + Lc$<br>$Ls = Lm + (Hc * P * NB)$ |
| Altura del centro del tirante al fondo (Hc) | 1.25   | m    |  |
| Numero de Bordos (corte long) (NB)          | 2      |      |  |
| Pendiente taludes internos (P)              | 2.5:1  |      |  |
| Long. Del fondo de la laguna (Lf)           | 168.95 | m    |  |
| Bordo libre (BL)                            | 0.9    | m    |  |
| Centro del tirante-H. bordos (CB)           | 2.15   | m    |  |
| Long. Del centro de la corona al bordo (Lc) | 2.5    | m    |  |
| Long. De centro a centro de corona (Lcc)    | 188.5  | m    |  |
| Longitud de la superficie del agua (Ls)     | 181.5  | m    |  |



*Tabla 85. Corte transversal del segundo tanque de la laguna facultativa. Fuente: CONAGUA, 2013.*

| Corte transversal del segundo tanque           |       |      | Ecuación   |
|--|-------|------|--|
| Descripción                                    | Cant. | Und. |  |
| Long. transversal de c-c de corona (LTcc)      | 67.2  | m    | $CT(1a.lag) = CT(2a.lag)$<br>$LTf = LTCC - (CB + BL * P * NB)$<br>$LTm = LTCC - (Lc * P * NB) - Lc$<br>$LTs = LTCC - (Hc * P * NB) - Lc$ |
| Long. Trans. De la laguna en el fondo (LTf)    | 48    | m    |  |
| Long. Transversal a la mitad del tirante (LTm) | 53    | m    |  |
| Long. Trans. En la sup. De la laguna (LTs)     | 58    | m    |  |

*Tabla 86. Volumen dimensionado de la laguna facultativa. Fuente: CONAGUA, 2013.*

| Volumen dimensionado                    |          |                | Ecuación  |
|---|----------|----------------|---|
| Descripción                             | Cant.    | Und.           |   |
| Long.de la superficie de la laguna (A1) | 10608.6  | m <sup>2</sup> | $A1 = Long.sup * LTs$<br>$A2 = Lf * LTf$<br>$V = \left(\frac{A1 + A2}{2}\right) * Ti$ |
| Long. Del fondo de la laguna (A2)       | 8061.6   | m <sup>2</sup> |   |
| Volumen dimensionado (Vdimen)           | 23337.71 | m <sup>3</sup> |   |
| Comprobación                            |          |                |   |
| Tiempo de Retención Hidráulica (TRH)    | 8.9      | d              | $TRH = Vdimen / Vd$<br>$\%dime = \frac{VL - Vdimen}{VL * 100}$                        |
| Porcentaje de dimensión de vol.         | -27.7    | %              |   |

*Tabla 87. Corrección longitudinal y volumétrica de la laguna. Fuente: CONAGUA, 2013.*

| Corrección longitudinal de la segunda laguna |          |                   | Ecuación  |
|--|----------|-------------------|---|
| Descripción                                  | Cant.    | Und.              |   |
| No. De módulos                               | 3        |                   | $VL = Vd * TRH$<br>$AL = VL / Ti$<br>$L = AL / LTm$<br>$Lf = L - (Hc * P * NB)$<br>$Lcc = L + (Ti * P * NB) + Lc$<br>$Ls = L + (Hc * P * NB)$ |
| Tiempo de Retención Hidráulica (TRH)         | 7        | d                 |   |
| Volumen diario (Vd)                          | 2610.20  | m <sup>3</sup> /d |   |
| Tirante (Ti)                                 | 2.5      | m                 |   |
| Volumen de la Laguna (VL)                    | 18271.40 | m <sup>3</sup>    |   |
| Área de la laguna (AL)                       | 7308.56  | m <sup>2</sup>    |   |
| Longitud (Lm)                                | 139.04   | m                 |   |
| Longitud en el fondo de la laguna (Lf)       | 132.79   | m                 |   |
| Long. De centro a centro de corona (Lcc)     | 154.04   | m                 |   |
| Longitud de la superficie del agua (Ls)      | 145.29   | m                 |   |

*Tabla 88. Volumen dimensionado de la laguna facultativa. Fuente: CONAGUA, 2013.*

| Volumen dimensionado                    |          |                | Ecuación  |
|---|----------|----------------|---|
| Descripción                             | Cant.    | Und.           |   |
| Long.de la superficie de la laguna (A1) | 8494.29  | m              | $A1 = Long.sup * LTs$<br>$A2 = Lf * LTf$<br>$Vdime = \left(\frac{A1 + A2}{2Ti}\right)$<br>$TRH = Vdimen / Vd$ |
| Long. Del fondo de la laguna (A2)       | 6336.0   | m              |   |
| Volumen dimensionado (Vdimen)           | 16414.30 | m <sup>3</sup> |   |
| Tiempo de Retención Hidráulica (TRH)    | 6.3      | d              |   |

*Tabla 89. Cálculo de la carga orgánica.*

| Carga Orgánica                        |         |        |
|---------------------------------------|---------|--------|
| Descripción                           | Cant.   | Und.   |
| Carga Orgánica de entrada en tanque 2 | 3964.24 | kg/día |



*Tabla 90. Cálculo de las tuberías de la caja de entrada. Fuente: CONAGUA, 2013.*

| <b>TUBERÍA Y CAMBIOS DE NIVEL</b>     |              |                       |
|---------------------------------------|--------------|-----------------------|
| <b>Tubería de la caja de entrada</b>  |              |                       |
| <b>Descripción</b>                    | <b>Cant.</b> | <b>Und.</b>           |
| Gasto de bombeo ( $Q_B$ )             | 0.78         | m <sup>3</sup> /s     |
| Velocidad de la bomba (Vel. bomba)    | 2.5          | m/s                   |
| Gasto ( $Q=AV$ )                      |              |                       |
| Diametro ( $\Theta$ )                 | 1.33702      | m                     |
| Gasto medio ( $Q_{med}$ )             | 2610.20      | (m <sup>3</sup> /día) |
| Velocidad de descarga (Vel. descarga) | 1.8          | m/s                   |
| Diametro ( $\Theta$ )                 | 1.337020621  | m                     |

*Tabla 91. Cálculo de la tubería de cambio de nivel. Fuente: CONAGUA, 2013.*

| <b>Tubería de cambio de nivel</b> |              |                     |
|-----------------------------------|--------------|---------------------|
| <b>Descripción</b>                | <b>Cant.</b> | <b>Und.</b>         |
| Gasto medio ( $Q_{med}$ )         | 0.03         | (m <sup>3</sup> /s) |
| Velocidad (v)                     | 0.6          | m/s                 |
| Diametro ( $\Theta$ )             | 0.15         | m                   |

*Tabla 92. Cálculo de la tubería de la caja de salida. Fuente: CONAGUA, 2013.*

| <b>Tubería de la caja de salida</b>   |              |                       |
|---------------------------------------|--------------|-----------------------|
| <b>Descripción</b>                    | <b>Cant.</b> | <b>Und.</b>           |
| Gasto de bombeo ( $Q_B$ )             | 0.03         | m <sup>3</sup> /s     |
| Velocidad de la bomba (Vel. bomba)    | 2.5          | m/s                   |
| Gasto ( $Q=AV$ )                      |              |                       |
| Diametro ( $\Theta$ )                 | 0.63028      | m                     |
| Gasto medio ( $Q_{med}$ )             | 2610.20      | (m <sup>3</sup> /día) |
| Velocidad de descarga (Vel. descarga) | 0.6          | m/s                   |
| Diametro ( $\Theta$ )                 | 0.15         | m                     |

*Tabla 93. Cálculo de la longitud de las tuberías. Fuente: CONAGUA, 2013.*

| <b>Longitud de la tuberías</b>                  |              |             |
|---|--------------|-------------|
| <b>Descripción</b>                              | <b>Cant.</b> | <b>Und.</b> |
| Long. Tubería caja de entrada ( $L_e$ )         | 13.61        | m           |
| Long. Tubería caja de cambio de nivel ( $L_n$ ) | 35.41        | m           |
| Long. Tubería caja de salida-vertido ( $L_v$ )  | 34.878       | m           |



*Tabla 94. Afines al proyecto (evaporación, precipitación e infiltración). Fuente: CONAGUA, 2022.*

| <b>AFINES AL PROYECTO (PRECIPITACIÓN, EVAPORACIÓN E INFILTRACIÓN)</b> |              |                   |
|---|--------------|-------------------|
| <b>Tanque 1-Aireado</b>   |              |                   |
| <b>Nivel máximo (Diciembre)</b>                                       |              |                   |
| <b>Tubería de la caja de entrada</b>                                  |              |                   |
| <b>Descripción</b>  | <b>Cant.</b> | <b>Und.</b>       |
| Evaporación (Ev)  | 7.06         | m <sup>3</sup> /d |
| Precipitación (PP)  | 5.74         | m <sup>3</sup> /d |
| Infiltración (Inf)  | 0.54         | m <sup>3</sup> /d |
| Vol.Real aprox (VRA)  | 2,608.34     | m <sup>3</sup>    |
| Vol. Real aprox. Del tanque (VRAT)                                    | 10433.38     | m <sup>3</sup>    |
| <b>Nivel mínimo (Mayo)</b>  |              |                   |
| <b>Tubería de la caja de entrada</b>                                  |              |                   |
| <b>Descripción</b>  | <b>Cant.</b> | <b>Und.</b>       |
| Evaporación (Ev)  | 17.73        | m <sup>3</sup> /d |
| Precipitación (PP)  | 5.83         | m <sup>3</sup> /d |
| Infiltración (Inf)  | 0.54         | m <sup>3</sup> /d |
| Vol.Real aprox (VRA)  | 2,597.76     | m <sup>3</sup>    |
| Vol. Real aprox. Del tanque (VRAT)                                    | 10391.05     | m <sup>3</sup>    |
| <b>Concentración</b>  |              |                   |
| <b>Descripción</b>  | <b>Cant.</b> | <b>Und.</b>       |
| Conc. Real aprox. A nivel min.  | 0.0051       | mg/L              |
| Conc. Real aprox. A nivel max.  | 0.0051       | mg/L              |
| <b>Tanque 2-Facultativo</b>   |              |                   |
| <b>Nivel máximo (Diciembre)</b>                                       |              |                   |
| <b>Tubería de la caja de entrada</b>                                  |              |                   |
| <b>Descripción</b>  | <b>Cant.</b> | <b>Und.</b>       |
| Evaporación (Ev)  | 23.29        | m <sup>3</sup> /d |
| Precipitación (PP)  | 18.94        | m <sup>3</sup> /d |
| Infiltración (Inf)  | 1.77         | m <sup>3</sup> /d |
| Vol.Real aprox (VRA)  | 2,604.08     | m <sup>3</sup>    |
| Vol. Real aprox. Del tanque (VRAT)                                    | 18228.57     | m <sup>3</sup>    |



| Nivel mínimo (Mayo)                |          |                   |
|------------------------------------|----------|-------------------|
| Tubería de la caja de entrada      |          |                   |
| Descripción                        | Cant.    | Und.              |
| Evaporación (Ev)                   | 58.46    | m <sup>3</sup> /d |
| Precipitación (PP)                 | 19.21    | m <sup>3</sup> /d |
| Infiltración (Inf)                 | 1.77     | m <sup>3</sup> /d |
| Vol. Real aprox (VRA)              | 2,569.18 | m <sup>3</sup>    |
| Vol. Real aprox. Del tanque (VRAT) | 17984.26 | m <sup>3</sup>    |

Tabla 95. Temperatura del agua de las lagunas. Fuente: CONAGUA, 2022.

**TEMPERATURA DEL AGUA DE LAS LAGUNAS**

| Tanque 1                      |          |                |
|-------------------------------|----------|----------------|
| Aireado (Invierno)            |          |                |
| Tubería de la caja de entrada |          |                |
| Descripción                   | Cant.    | Und.           |
| Temp. De las lagunas (TL)     | 21.91    | °C             |
| Temp. Del ambiente (Ta)       | 24.4     | °C             |
| Temp. Influyente (Ti)         | 20.42    | °C             |
| factor (f)                    | 0.483    |                |
| Área superficial (A)          | 3216.58  | m <sup>2</sup> |
| Gasto (Q=VRA)                 | 2,608.34 | m <sup>3</sup> |

| Aireado (Verano)              |          |                |
|-------------------------------|----------|----------------|
| Tubería de la caja de entrada |          |                |
| Descripción                   | Cant.    | Und.           |
| Temp. De las lagunas (TL)     | 28.07    | °C             |
| Temp. Del ambiente (Ta)       | 30.56    | °C             |
| Temp. Influyente (Ti)         | 26.58    | °C             |
| factor (f)                    | 0.483    |                |
| Área superficial (A)          | 3216.58  | m <sup>2</sup> |
| Gasto (Q=VRA)                 | 2,597.76 | m <sup>3</sup> |

| Constante de remoción para la temperatura |       |      |
|---|-------|------|
| Descripción                               | Cant. | Und. |
| KT <sub>1</sub> (Invierno)                | 0.390 |      |
| KT <sub>2</sub> (Verano)                  | 0.645 |      |



| <b>Tanque 2</b>                      |              |                |
|--------------------------------------|--------------|----------------|
| <b>Facultativo(Invierno)</b>         |              |                |
| <b>Tubería de la caja de entrada</b> |              |                |
| <b>Descripción</b>                   | <b>Cant.</b> | <b>Und.</b>    |
| Temp. De las lagunas (TL)            | 23.06        | °C             |
| Temp. Del ambiente (Ta)              | 24.4         | °C             |
| Temp. Influyente (Ti)                | 20.42        | °C             |
| factor (f)                           | 0.483        |                |
| Área superficial (A)                 | 10608.61     | m <sup>2</sup> |
| Gasto (Q=VRA)                        | 2,604.08     | m <sup>3</sup> |

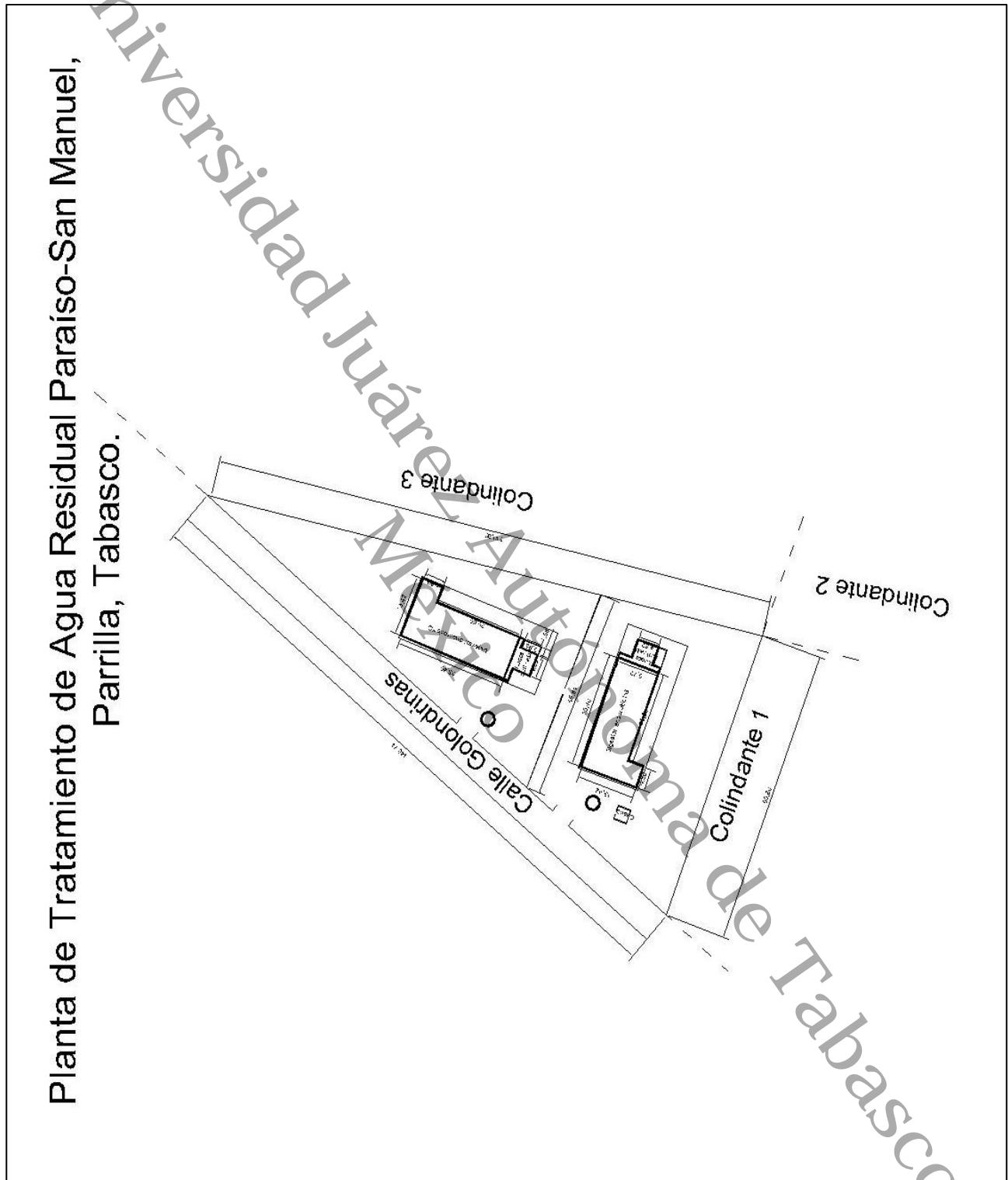
| <b>Facultativo(Verano)</b>           |              |                |
|--------------------------------------|--------------|----------------|
| <b>Tubería de la caja de entrada</b> |              |                |
| <b>Descripción</b>                   | <b>Cant.</b> | <b>Und.</b>    |
| Temp. De las lagunas (TL)            | 29.23        | °C             |
| Temp. Del ambiente (Ta)              | 30.56        | °C             |
| Temp. Influyente (Ti)                | 26.58        | °C             |
| factor (f)                           | 0.483        |                |
| Área superficial (A)                 | 10608.61     | m <sup>2</sup> |
| Gasto (Q=VRA)                        | 2,569.18     | m <sup>3</sup> |

| <b>Constante de remoción para la temperatura</b> |              |             |
|--|--------------|-------------|
| <b>Descripción</b>                               | <b>Cant.</b> | <b>Und.</b> |
| KT <sub>1</sub> (Invierno)                       | 0.422        |             |
| KT <sub>2</sub> (Verano)                         | 0.698        |             |







. Figura 31. Distribución actual de la planta Paraíso- San Manuel.

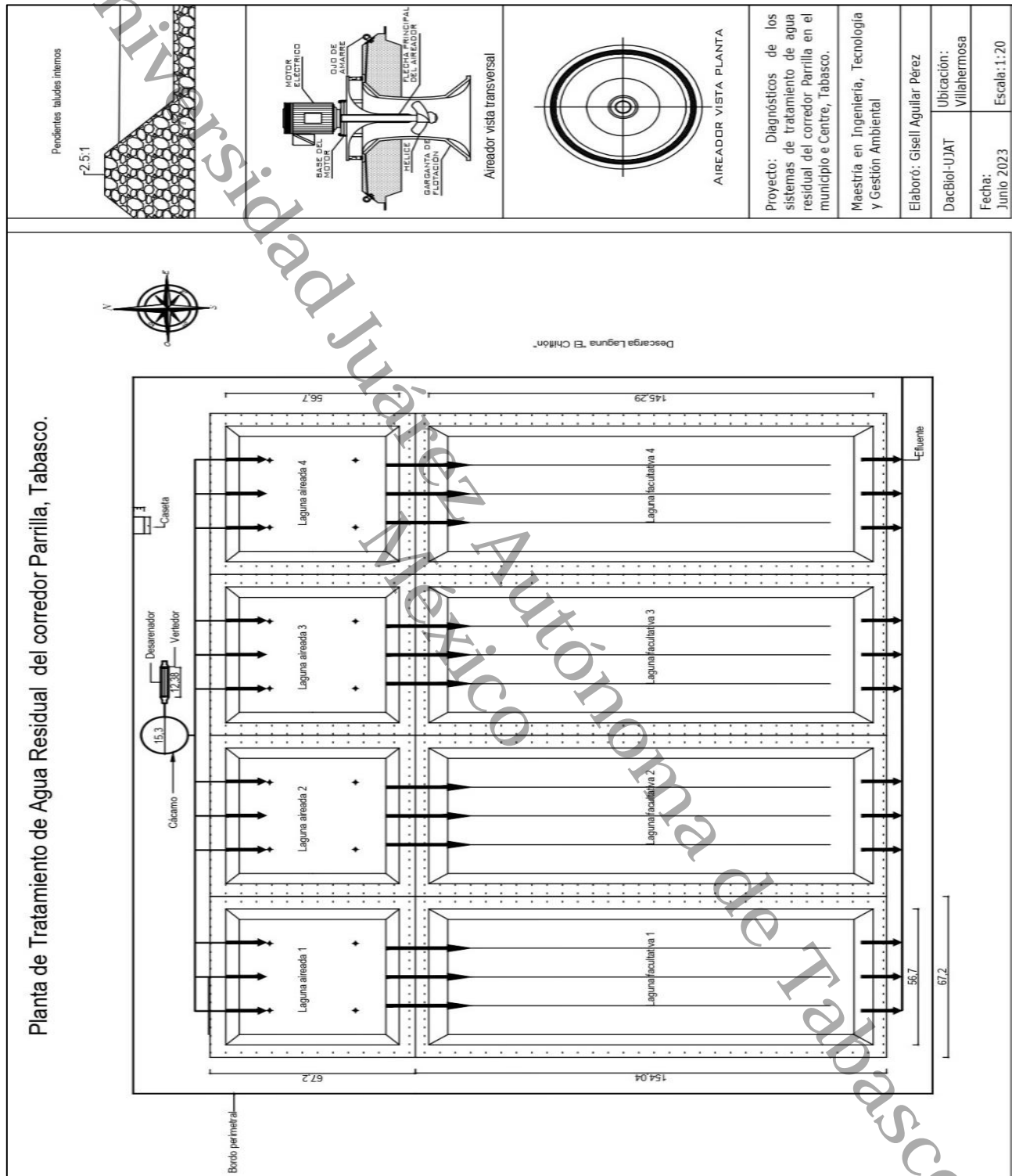


Figura 32. Propuesta de la PTAR Paraíso-San Manuel- Laguna Aireada facultativa (Vista planta).

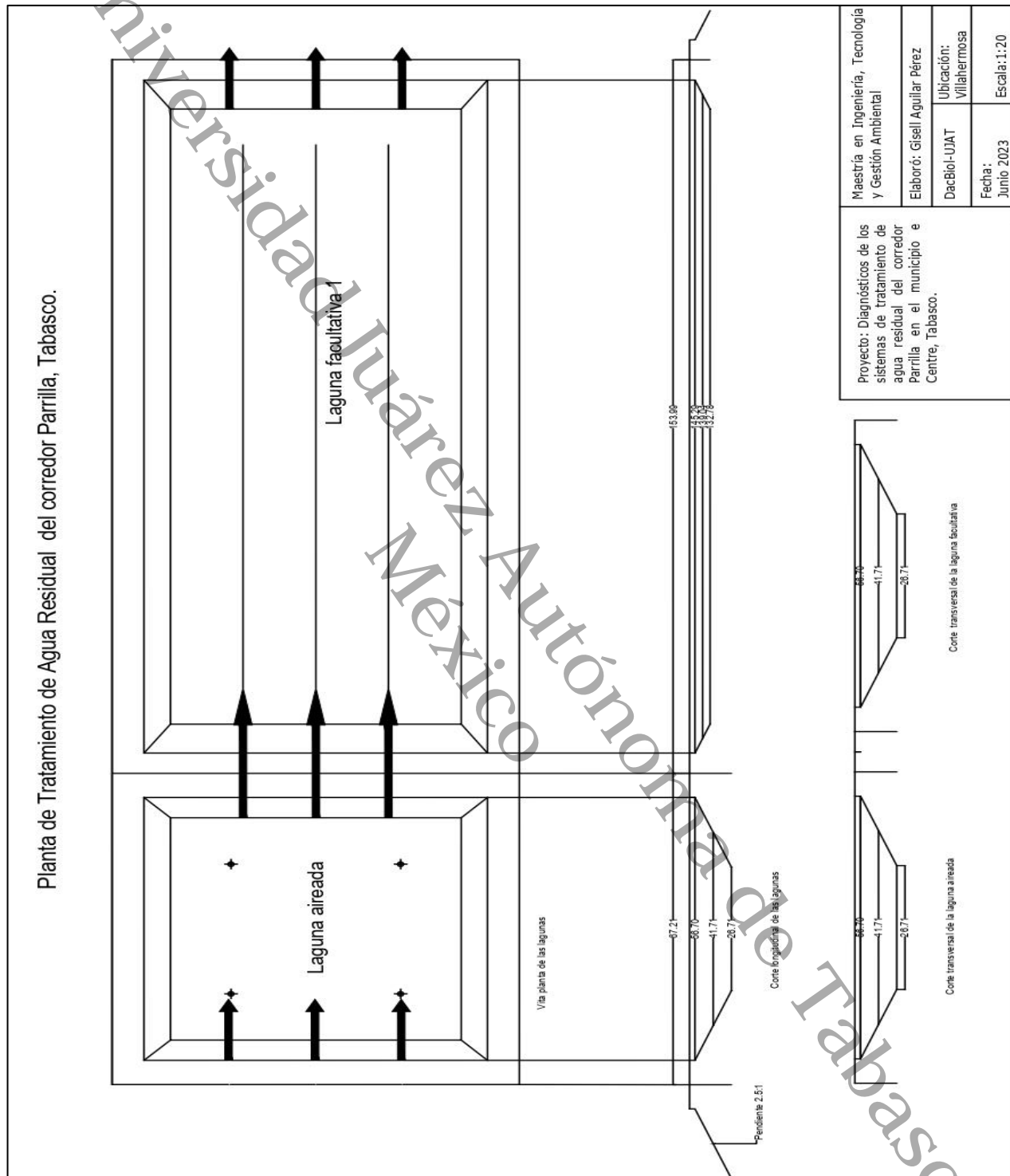


Figura 33. Propuesta de la PTAR Paraíso-San Manuel- Laguna Aireada facultativa (Vista transversal).



## 12.4. Memoria fotográfica.

### Caracterización volumétrica



Figura 34. Caracterización volumétrica de las secciones de la planta.

### Toma de muestra



Figura 35. Muestras de las PTAR.



Figura 36. Toma de muestra del cárcamo la PTAR Paraíso-San Manuel.



Figura 37. Toma de muestra del cárcamo PTAR 27 de Octubre.



Figura 38. Análisis de metales pesados.



Figura 39. Caracterización de parámetros de control.



Figura 40. Caracterización de turbiedad.



### Caracterización fisicoquímica.



Figura 41. Caracterización fisicoquímica en campo.



Figura 42. pH y temperatura.



Figura 43. Analisis de turbiedad.



Figura 44. Verificación de resultados.



Figura 45. Caracterización de color.



Figura 46. Equipos de laboratorio.

### Levantamiento de campo



Figura 47. Levantamiento físico de la ciénega de la PTAR El Encanto.



Figura 48 Cárcamo PTAR El Encanto.



Figura 49. Lodos activados PTAR Paraíso-San Manuel.



Figura 50. Ciénega PTAR 27 de Octubre.



Figura 51. Digestor aerobio PTAR Paraíso-San Manuel.



Figura 52. Lecho de secado PTAR 27 de Octubre.



Figura 53. Cárcamo PTAR 27 de Octubre.



Figura 54. Tanque Imhoff PTAR 27 de Octubre.



Figura 55. Cárcamo PTAR El Encanto.