UNIVERSIDAD JUÁREZ AUTÓNOMA DE TABASCO

DIVISIÓN ACADÉMICA DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

“EVALUACIÓN DE LA VULNERABILIDAD DEL AGUA DEL SISTEMA FLUVIAL DE JALPA DE MÉNDEZ MEDIANTE LOS PROCEDIMIENTOS DE LA NOM-001-SEMARNAT-2021”

TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

INGENIERO QUÍMICO

PRESENTAN:

GISELLE DEL CARMEN TORRES LEÓN

YESSICA RODRÍGUEZ RODRÍGUEZ

BAJO LA DIRECCIÓN DE:

DRA. YOLANDA CORDOVA BAUTISTA

EN CODIRECCIÓN DE:

DR. GASTÓN ALEJANDRO PRIEGO HERNÁNDEZ

CUNDUACÁN, TABASCO, A MAYO 2025

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. México.

Declaración de Autoría y Originalidad

En la Ciudad de Villahermosa, Tabasco, el día 10 del mes abril del año 2025, el que suscribe **Giselle del Carmen Torres León y Yessica Rodríguez Rodríguez** alumnas del programa de Ingeniería Química con número de matrícula **182D22033 y 182D22048**, adscritos a la **División Académica de Ingeniería y Arquitectura**, de la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, como autores de la Tesis presentada para la obtención del título de **Ingeniero Químico** y titulada **"Evaluación de la vulnerabilidad del agua del sistema fluvial de Jalpa de Méndez mediante los procedimientos de la NOM-001-SEMARNAT-2021"** dirigida por **Dra. Yolanda Córdova Bautista**.

DECLARO QUE:

La Tesis es una obra original que no infringe los derechos de propiedad intelectual ni los derechos de propiedad industrial u otros, de acuerdo con el ordenamiento jurídico vigente, en particular, la LEY FEDERAL DEL DERECHO DE AUTOR (Decreto por el que se reforman y adicionan diversas disposiciones de la Ley Federal del Derecho de Autor del 01 de Julio de 2020 regularizando y aclarando y armonizando las disposiciones legales vigentes sobre la materia), en particular, las disposiciones referidas al derecho de cita. Del mismo modo, asumo frente a la Universidad cualquier responsabilidad que pudiera derivarse de la autoría o falta de originalidad o contenido de la Tesis presentada de conformidad con el ordenamiento jurídico vigente Villahermosa, Tabasco a 10 de abril 2025.

Yessica Rodríguez Rodríguez

Nombre y Firma

Giselle del Carmen Torres León

Nombre y Firma

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. México

EVALUACIÓN DE LA VULNERABILIDAD DEL AGUA DEL SISTEMA FLUVIAL DE JALPA DE MÉNDEZ MEDIANTE LOS PROCEDIMIENTOS DE LA NOM-001-SEMARNAT-2021

INFORME DE ORIGINALIDAD

13%
ÍNDICE DE SIMILITUD

FUENTES PRIMARIAS

1	www.lexology.com Internet	340 palabras — 1%
2	hdl.handle.net Internet	178 palabras — 1%
3	documents.tips Internet	169 palabras — 1%
4	ri.uaemex.mx Internet	153 palabras — < 1%
5	tesis.ipn.mx Internet	139 palabras — < 1%
6	www.coursehero.com Internet	128 palabras — < 1%
7	docplayer.es Internet	114 palabras — < 1%
8	repositorio.unicach.mx Internet	114 palabras — < 1%
9	eprints.uanl.mx Internet	105 palabras — < 1%
10	dof.gob.mx Internet	

DIVISIÓN ACADÉMICA DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
UJAT
COORDINACIÓN DE ESTUDIOS TERMINALES

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco.
México.

DIRECCIÓN

OFICIO: DAIA/DIR/CD/0405/2025
FECHA: 07 de abril de 2025.
ASUNTO: Autorización de Impresión definitiva.

C. GISELLE DEL CARMEN TORRES LEÓN
C. YESSICA RODRÍGUEZ RODRÍGUEZ
PASANTES DE LA LICENCIATURA EN
INGENIERÍA QUÍMICA
P R E S E N T E.

En virtud de haber elaborado el trabajo recepcional para obtener el Título de Licenciatura en INGENIERÍA QUÍMICA, bajo la modalidad de "Tesis", el cual ha sido dirigido por la DRA. YOLANDA CÓRDOVA BAUTISTA y por el DR. GASTON ALEJANDRO PRIEGO HERNÁNDEZ, titulado:

"Evaluación de la vulnerabilidad del agua del sistema fluvial de Jalpa de Méndez mediante los procedimientos de la NOM-001-SEMARNAT-2021"

Tengo a bien autorizarles la **IMPRESIÓN DEFINITIVA** de dicho trabajo, continuando con los trámites correspondientes para su examen profesional.

Asimismo, les informo que en el artículo 113, del Capítulo IV, de nuestro Reglamento de Titulación vigente, a la letra dice:

"Una vez emitido el oficio de autorización de impresión del Trabajo Recepcional por la Dirección de la División Académica correspondiente, el egresado tendrá un plazo máximo de seis meses para efectos de presentar el Examen Profesional. En caso contrario, podrá optar por la misma u otra modalidad que señale el presente Reglamento, llevando a cabo los trámites correspondientes".

Sin otro particular por el momento, me despido deseándoles éxito en su carrera profesional.

ATENTAMENTE

DRA. DORA MARÍA FRÍAS MÁRQUEZ
DIRECTORA

DIVISIÓN ACADÉMICA DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA UJAT

DIRECCIÓN

C.c.p. Archivo-INGENIERÍA QUÍMICA-274
DRA'DMFM/M.C.´LHC

Carretera Cunduacán-Jalpa de Méndez, km. 1, Col. La Esmeralda
C.P.86690 Cunduacán, Tabasco
Tel. (993) 358.15.00 Ext. 6752
direccion.daia@ujat.mx

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. México.

DIRECCIÓN

MEMORANDO

PARA: **DRA. DORA MARÍA FRÍAS MÁRQUEZ**
DIRECTORA DE LA DAIA.
DE: **COMISIÓN REVISORA DE TRABAJO RECEPCIONAL**
FECHA: 02 DE ABRIL DE 2025
ASUNTO: ACEPTACIÓN DE IMPRESIÓN DEFINITIVA DE TRABAJO RECEPCIONAL
CCP: ARCHIVO.
MEM/CET/274/ID274/2025

PRESENTE.

En cumplimiento a lo estipulado en el Art. 112 del Reglamento de Titulación aplicable, y después de revisar el Trabajo Recepcional denominado:

"Evaluación de la vulnerabilidad del agua del sistema fluvial de Jalpa de Méndez mediante los procedimientos de la NOM-001-SEMARNAT-2021"

Desarrollado por las C. GISELLE DEL CARMEN TORRES LEÓN y YESSICA RODRÍGUEZ RODRÍGUEZ de la Licenciatura en INGENIERÍA QUÍMICA bajo la modalidad de **"Tesis"**, le comunicamos que aceptamos la impresión final de dicho trabajo, ya que el mismo ha cumplido con los requisitos necesarios.

COMISIÓN REVISORA

DR. MIGUEL ÁNGEL HERNÁNDEZ RIVERA
Revisor

DR. JOSÉ DE LOS SANTOS LÓPEZ LÁZARO
Revisor

DR. JUAN GABRIEL ÁLVAREZ RAMÍREZ
Revisor

DRA. MARCIA EUGENIA OJEDA MORALES
Revisor

M.C. YURIDIA EVELIN HERNÁNDEZ CARDEÑO
Revisor

DRA. YOLANDA CÓRDOVA BAUTISTA
Director de Trabajo Recepcional

DR. GASTON ALEJANDRO PRIEGO HERNÁNDEZ
Co-Director de Trabajo Recepcional

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. México.

Carretera Cunduacán-Jalpa de Méndez, km. 1, Col. La Esmeralda
C.P.86690 Cunduacán, Tabasco
Tel. (993) 358.15.00 Ext. 6752
direccion.daia@ujat.mx

Carta de Cesión de Derechos

Villahermosa, Tabasco a 10 de abril de 2025

Por medio de la presente manifestamos haber colaborado como AUTORES en la producción, creación y/o realización de la obra denominada "**Evaluación de la vulnerabilidad del agua del sistema fluvial de Jalpa de Méndez mediante los procedimientos de la NOM-001-SEMARNAT-2021**".

Con fundamento en el artículo 83 de la Ley Federal del Derecho de Autor y toda vez que, la creación y/o realización de la obra antes mencionada se realizó bajo la comisión de la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco; entendemos y aceptamos el alcance del artículo en mención, de que tenemos el derecho al reconocimiento como autores de la obra, y la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco mantendrá en un 100% la titularidad de los derechos patrimoniales por un período de 20 años sobre la obra en la que colaboramos, por lo anterior, cedemos el derecho patrimonial exclusivo en favor de la Universidad.

COLABORADORES

Yessica Rodríguez Rodríguez

Giselle del Carmen Torres León

Dra. Yolanda Córdova Bautista

Dr. Gastón Alejandro Priego Hernández

TESTIGOS

Elsy Ochoa Jimenez

Leonarda Lozada García

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. México.

DEDICATORIA

Primeramente, dedico este trabajo a Dios por darme la fuerza de seguir adelante en mi vida profesional y permitir concluir esta importante etapa en mi vida.

A mis padres Freddy y Gregoria, por su gran amor y esfuerzo incondicional ya que sin ellos no sería la persona que soy hoy y que sé que cuando llegue el momento, les devolveré multiplicado todo lo que ellos me regalaron. Estoy infinitamente agradecida con Dios por tenerlos a ustedes como padres.

A mis hermanos Andreina, Freddy y Lupita, que son un gran motor que tendré en mi vida para seguir adelante ya que ellos me han motivado por mucho tiempo a ir por el camino correcto y me han ayudado a levantarme en momentos difíciles.

A mis abuelos, que igualmente son una pieza importante en mi vida para seguir adelante. Especialmente a mi abuelita Baudilia, porque, aunque no este físicamente presente conmigo, sé que está orgullosa de mi desde donde esta.

A la Dra. Yolanda por el gran apoyo emocional y profesional que nos brindó durante el desarrollo de este trabajo.

A la maestra Anabel, por ese apoyo incondicional que nos brindó en el desarrollo de mi carrera profesional y por la confianza y amistad que tuvo conmigo.

A mi gran compañera de tesis, Yessica, por la paciencia y apoyo que tuvo conmigo ya que sin ella no hubiera logrado muchas cosas que me hicieron crecer como persona. Estoy muy agradecida por haber trabajado con una persona como ella.

A mis mejores amigos, Daniela, Yulidiana, Fernando y Gerardo, porque ellos fueron una pieza importante de motivación y apoyo en mi vida personal y profesional. Igualmente, a mis amigos de la universidad, por esa bonita motivación y amistad que me brindaron durante la carrera.

Finalmente, a mis mascotas Monchi, Moli, Paco y Perlita porque ellos son una gran motivación para mí de seguir adelante y trabajar duro.

Giselle del Carmen Torres León

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. México.

DEDICATORIA

A Dios por brindarme una gran familia de valiosas mujeres, la cual me siento muy orgullosa de formar parte.

A mi madre América, a mi abuela Rosita y mi tía María Victoria, que son mi motivo para seguir adelante y mi gran tesoro. Gracias por jamás dejarme sola, apoyarme en todo momento y confiar en cada paso importante de mi vida, también les agradezco por enseñarme que el respeto, seguridad y dedicación son la clave del éxito. Este es solo un pequeño logro de mi parte dedicado para todas ustedes y me siento muy bendecida que puedan ver en la profesionista que me he convertido.

A mi hermanita, Guadalupe Cristell por ser mi mejor amiga y mi mayor orgullo en todo momento. Gracias por siempre estar para mí, por ser mi compañera de travesuras y protegerme siempre. Sabes bien que mi amor por ti es grande y aunque no te lo diga seguido, quiero que sepas que estaré presente en lo que necesites, espero y confío ciegamente que muy pronto estaré viendo los frutos de todo tu esfuerzo y dedicación que realizas a nivel personal y profesional.

A una persona muy especial, Jonathan Domínguez por ser alguien maravilloso que me ofrece su apoyo y tiempo para escucharme, estar pendiente de mí y brindar sus consejos en los momentos cuando más los necesito. Siempre estaré agradecida contigo y me siento muy feliz que formes parte de mi vida, estoy segura de que vas a cumplir todos tus sueños y espero estar presente en cada etapa de tu vida. Le pido a Dios que te mantengas a salvo y nunca olvides lo orgullosa que estoy de ti.

A mi compañera de tesis, Giselle gracias por brindarme tu amistad y lograr concluir este proyecto juntas, espero y deseo de todo corazón que la vida te recompense de una manera maravillosa, recuerda que eres una mujer fuerte y valiente.

A mis mascotas, Ha-ri y Cleo por sus noches de desvelo para avanzar en este proyecto, por ser mi felicidad hecha en cuatro patitas que quiero mucho.

Yessica Rodríguez Rodríguez

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. México

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco por ser nuestra casa de estudios durante estos años, estar orgullosa de ser Juchimán y permitirnos conocer todas las personas que aportaron con un granito de arena su sabiduría para el crecimiento de un profesional.

A nuestros asesores Dra. Yolanda Córdova y Dr. Gastón por motivarnos y apoyarnos en cada momento para realizar este proyecto de investigación, también por estar presentes y ser pacientes en cada momento de revisión o duda presentada, les agradecemos por brindarnos esta oportunidad de investigación que es importante para nuestro desarrollo profesional. Agradecer de igual manera a las personas del Ejido Úrsulo Galván, por la paciencia y el tiempo que se tomaron en acompañarnos en este proyecto.

A la Mtra. Anabel González por ser una persona muy alegre, respetuosa y amable la cual nos concedió su cálida amistad, su apoyo incondicional y sus valiosos consejos desde el comienzo de este trabajo.

A los laboratorios de Biotecnología, Química general y el laboratorio de Cinética, Catálisis y Reactores, los cuales nos apoyaron con materiales, equipos y reactivos que fueron de mucha ayuda durante el desarrollo del trabajo.

A los revisores por tomarse parte de su valioso tiempo y dedicación para la aceptación de este proyecto de investigación. Apreciamos mucho sus consejos para mejorar poco a poco cada tema desarrollado.

A todos nuestros amigos (Daniela, Selene, Perla Yazmín, Yulidiana, Abel Mario, Jairo, Pedro, Wilber, Omar, Héctor, Daniel, Aaron, Miguel Ángel, Jorge) que nos acompañaron durante esta hermosa etapa de estudiantes y siempre animarnos, nos quedamos con esta linda experiencia de haber tenido buenos amigos y esperamos que también se lleven un bonito recuerdo de nosotras.

Y finalmente, gracias a todos nuestros compañeras y amigos del laboratorio de Biotecnología y a la maestra Irene y Karlita por ese gran apoyo emocional que nos brindaron durante la estancia allí. Son personas increíbles que llegaron a nuestras vidas.

Giselle del Carmen Torres León y Yessica Rodríguez Rodríguez

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. México.

ÍNDICE DE CONTENIDO

RESUMEN 22

Palabras clave 22

ABSTRACT 23

Keywords 23

GLOSARIO 24

CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN 29

1.1 INTRODUCCIÓN 29

1.2 MARCO TEÓRICO 30

1.2.1 GENERALIDADES 30

1.2.2 IMPORTANCIA DE LA CALIDAD DEL AGUA 31

1.2.3 CONTAMINACIÓN POR HIDROCARBUROS 32

1.2.4 PARÁMETROS DE LA CALIDAD DEL AGUA 32

1.2.5 TÉCNICAS PARA ANÁLISIS DE CONTAMINANTES 33

1.3 JUSTIFICACIÓN 35

1.4 PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN 36

1.5 HIPÓTESIS 36

1.6 OBJETIVOS 36

1.6.1 Objetivo general 36

1.6.2 Objetivos específico 36

CAPÍTULO 2. MATERIALES Y MÉTODOS 37

2.1 GENERALIDADES 37

2.2 ZONA DE ESTUDIO 38

2.2.1 Ubicación 38

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. México.

2.3 CARACTERÍSTICAS DE LA ZONA DE ESTUDIO 40
2.3.1 Fisiografía 40
2.3.2 Suelo 40
2.3.3 Clima 41
2.3.4 Hidrografía 41
2.4 MUESTREO 42
2.4.1 diseño de muestreo 42
2.4.2 Características de la unidad de muestra 43
2.4.3. Tamaño de muestra 44
2.4.4 Procedimiento de llenado 44
2.4.5 Transporte y conservación de las muestras 45
2.5 EQUIPOS Y REACTIVOS UTILIZADOS 47
2.6 TÉCNICAS PARA LA DETERMINACIÓN DE ANÁLISIS FISICOQUÍMICOS 50
2.6.1 Turbidez 51
2.6.2 Sólidos sedimentables 54
2.6.3 Temperatura 56
2.6.4 Sólidos y sales disueltas 58
2.6.5 Grasas y aceites 60
2.6.6 Conductividad eléctrica 63
2.6.7 Acidez y alcalinidad 65
2.6.8 Oxígeno disuelto (OD) 70
2.6.9 Demanda Química de Oxígeno (DQO) 71
2.6.10 Cloruros totales 74
2.6.11 Nitrógeno total 77
2.6.12 Fósforo total 82

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. México.

2.6.13 pH 85
2.6.14 Dureza total 87
CAPÍTULO 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN 91
3.1 RESULTADOS OBTENIDOS DE LOS PARÁMETROS ANALIZADOS 91
3.1.1 Turbidez 91
3.1.2 Sólidos sedimentables 93
3.1.3 Temperatura 95
3.1.4 Sólidos y sales disueltas 97
3.1.5 Grasas y aceites 101
3.1.6 Conductividad eléctrica 103
3.1.7 Acidez y alcalinidad 105
3.1.8 Oxígeno disuelto (OD) 108
3.1.9 Demanda Química de Oxígeno (DQO) 109
3.1.10 Cloruros totales 111
3.1.11 Nitrógeno total 113
3.1.12 Fósforo total 115
3.1.13 pH 118
3.1.14 Dureza total 119
3.2 DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS 122
CAPÍTULO 4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 124
4.1 CONCLUSIONES 124
4.2 RECOMENDACIONES 125
REFERENCIAS CITADAS 126
ANEXOS 133

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. México.

ANEXO 1. Determinación de grasas y aceites para la lechuguilla de agua (pistia stratiotes)..... 133

ANEXO 2. Límites máximos permisibles para contaminantes básicos de acuerdo con el tipo de cuerpo receptor establecidos por la NOM-001-SEMARNAT-2021. 136

ANEXO 3. Especificaciones sanitarias físicas y químicas del agua para uso y consumo humano establecidas en la NOM-217-SSA1-2021. 137

ANEXO 4. Límites máximos permisibles para contaminantes básicos en las descargas de aguas residuales establecidos por la NOM-067-ECOL-1994. 138

ANEXO 5. Límites máximos permisibles para contaminantes básicos en las descargas de aguas residuales establecidos por la NOM-069-ECOL-1994. 138

ANEXO 6. Límites máximos permisibles para contaminantes establecidos por la Ley Federal de Derechos. 139

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. México.

ÍNDICE DE TABLAS

pág.

Tabla 2.1. Principales características del suelo a los alrededores del pozo…….....40

Tabla 2.2. Tiempo máximo de conservación de las muestras correspondiente a cada parámetro con base en la norma NOM-001-SEMARNAT-2021…….47

Tabla 2.3. Listado de reactivos (sólidos y líquidos) y marcas utilizadas en el estudio correspondiente a cada parámetro……48

Tabla 2.4. Listado de equipos y marcas de estos utilizados en el estudio correspondiente a cada parámetro……...50

Tabla 2.5. Valores de concentraciones de masa de nitrógeno en la muestra dependiendo el volumen…….....80

Tabla 3.1. Valores de turbidez por punto de muestreo en NTU……...91

Tabla 3.2. Valores de sólidos sedimentables por punto de muestreo en ml/L……...93

Tabla 3.3. Valores de temperatura por punto de muestreo en °C……...95

Tabla 3.4. Valores de concentración de sólidos totales por punto de muestreo en mg/L……..97

Tabla 3.5. Valores de concentración de sólidos totales volátiles por punto de muestreo en mg/L……..98

Tabla 3.6. Valores de concentración de sólidos suspendidos totales volátiles por punto de muestreo en mg/L……100

Tabla 3.7. Valores de concentración de grasas y aceites por punto de muestreo en mg/L……..102

Tabla 3.8. Valores de conductividad eléctrica por punto de muestreo en mS/cm……103

Tabla 3.9. Valores de concentración de acidez por punto de muestreo en mg/L……105

Tabla 3.10. Valores de concentración de alcalinidad por punto de muestreo en mg/L...106

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. México.

Tabla 3.11. Valores de concentración de oxígeno disuelto (OD) por punto de muestreo en mg/L……..……..……..108

Tabla 3.12. Valores de concentración de la demanda química de oxígeno (DQO) por punto de muestreo en mg/L……..……...……...110

Tabla 3.13. Valores de cloruros totales por punto de muestreo en Cl mg/L…….112

Tabla 3.14. Valores de nitrógeno total por punto de muestreo en mg/L……113

Tabla 3.15. Valores de fósforo total por punto de muestreo en mg/L……....116

Tabla 3.16. Valores de pH por punto de muestreo…….....118

Tabla 3.17. Valores de dureza total por punto de muestreo en mg/L…….....120

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. México.

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1. Datos del pozo exploratorio "Pozol-1"……..…..……38

Figura 2.2. Delimitación del pozo exploratorio "Pozol-1"……39

Figura 2.3. Pozo "Pozol 1"…….…….....39

Figura 2.4. Ubicación de los canales dentro del área de estudio del pozo "Pozol-1"……...42

Figura 2.5. Ubicación de puntos de muestreo……..…….……43

Figura 2.6. Procedimiento de llenado de la muestra……..……..45

Figura 2.7. Procedimiento general del análisis de turbidez: a) Calibración del equipo de medición de turbidez; b) Lavado y llenado de cubetas con la muestra; c) Medición de la muestra con el equipo……..……53

Figura 2.8. Procedimiento general del análisis de sólidos sedimentables: a) Llenado de los conos tipo Imhoff; b) Proceso de sedimentación de la muestra; c) Sedimento o sólidos sedimentables en ml/L……..…….56

Figura 2.9. Procedimiento general *in situ* del análisis de temperatura……..……57

Figura 2.10. Procedimiento general del sólidos y sales disueltas: a) Cápsulas con muestra llevadas a sequedad para el cálculo de ST; b) Peso constante de la cápsula con el residuo de la muestra; c) Calcinación de la muestra en la mufla para el análisis de STV……...60

Figura 2.11. Procedimiento general del análisis de grasas y aceites: a) Pretratamiento de la muestra; b) Adsorción de grasas y aceites en tierra diatomeas; c) Extracción de grasas y aceites en el equipo Soxhlet; d) Peso constante de matraces con muestra……63

Figura 2.12. Procedimiento general del análisis de medición de conductividad: a) Preparación de la muestra; b) Calibración del equipo medidor de conductividad (conductímetro); c) Medición de conductividad en las muestras……..65

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. México

Figura 2.13. Procedimiento general del análisis de medición de acidez: a) Preparación de soluciones valorantes e indicadoras; b) Preparación y pretratamiento de la muestra; c) Valoración de la muestra con la solución de hidróxido de sodio……..68

Figura 2.14. Procedimiento general del análisis de medición de alcalinidad: a) Preparación de soluciones valorantes e indicadoras; b) Preparación y pretratamiento de la muestra; c) Valoración de la muestra con la solución de ácido sulfúrico…….....69

Figura 2.15. Procedimiento general del análisis de medición oxígeno disuelto: a) Calibración del equipo de medición de oxígeno disuelto; b) Medición de concentración de OD en las muestras; c) Lectura de concentración de OD en las muestras……..…..71

Figura 2.16. Procedimiento general del análisis de demanda química de oxígeno (DQO): a) Proceso de reflujo de las muestras; b) Valoración de la muestra con sulfato ferroso amoniacal (FAS); c) Cambio de color en la valoración de la muestra…….……74

Figura 2.17. Procedimiento general del análisis de medición de cloruros totales: a) Proceso de valoración de la muestra con la disolución de nitrato de plata y cromato de potasio como indicador; b) Proceso de cambio de color de amarillo a naranja-rojizo; c) Muestras después del cambio de color al ser valoradas…….....77

Figura 2.18. Procedimiento general del análisis de demanda nitrógeno total: a) Determinación del volumen de la muestra en el matraz Kjeldahl; b) Disolución amortiguadora de boratos con la muestra; c) Digestión de la muestra para obtener un desprendimiento de vapores blancos; d) Vapores desprendidos que oscurecieron la muestra representando la materia orgánica…….....81

Figura 2.19. Procedimiento general del análisis de demanda nitrógeno total: a) Destilado de la muestra en digestión previamente y conectada a una disolución indicadora de ácido bórico; b) Condensado recolectado con la disolución indicadora para su valoración con disolución de ácido sulfúrico; c) Cambio de color verde esmeralda-morado del condensado…….81

Figura 2.20. Procedimiento general del análisis de demanda fósforo total: a) preparación de la muestra por medio de digestión; b) Desarrollo de color en diferentes muestras; c)

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. México.

Presencia de un ligero color azul en la muestra; d) Medición de color a través de las celdas especiales para el equipo de espectrofotómetro UV-Vis……84

Figura 2.21. Procedimiento general del análisis de pH: a) Calibración del equipo de medición de pH; b) Medición del pH de las muestras con el equipo……...87

Figura 2.22. Procedimiento general del análisis de dureza total: a) Preparación de la muestra con indicador negro de eriocromo T; b) Valoración de la muestra con EDTA; c) Cambio de color en la valoración de la muestra…….....90

Figura A1-1. a) Hojas de lechuga de agua (*pistia stratiotes*) cortadas en trozos pequeños. b) Raíz de lechuga de agua (*pistia stratiotes*) cortadas en trozos pequeños……134

Figura A1-2. a) extracción de grasas y aceites de la lechuga de agua en el primer ciclo. b) extracción de grasas y aceites de la lechuga de agua en el ciclo final……..135

Figura A1-3. a) presencia de grasas y aceites en el matraz de extracción de las raíces de la lechuga de agua. b) presencia de grasas y aceites en el matraz de extracción de las hojas de la lechuga de agua……...135

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. México.

ÍNDICE DE DIAGRAMAS

Diagrama 2.1. Procedimiento general para la realización de los análisis fisicoquímicos.37

Diagrama 2.2. Procedimiento general del análisis de turbidez……..……..……...52

Diagrama 2.3. Procedimiento general del análisis de sólidos sedimentables……..…..54

Diagrama 2.4. Procedimiento general del análisis de temperatura……..…….....57

Diagrama 2.5. Procedimiento general del análisis de sólidos y sales disueltas……..…58

Diagrama 2.6. Procedimiento general del análisis de grasas y aceites……..……61

Diagrama 2.7. Procedimiento general del análisis de conductividad eléctrica (CE).....64

Diagrama 2.8. Procedimiento general del análisis de acidez y alcalinidad……...66

Diagrama 2.9. Procedimiento general del análisis de oxígeno disuelto (OD)……...70

Diagrama 2.10. Procedimiento general del análisis de demanda química de oxígeno (DQO)……...72

Diagrama 2.11. Procedimiento general del análisis de cloruros totales……...……75

Diagrama 2.12. Procedimiento general del análisis de Nitrógeno Total Kjeldahl……79

Diagrama 2.13. Procedimiento general del análisis de Fósforo total……..…83

Diagrama 2.14. Procedimiento general del análisis de pH……..……..86

Diagrama 2.15. Procedimiento general del análisis de dureza total……..……..88

Diagrama A1-1. Procedimiento general del análisis de grasas y aceites para la muestra de *pistia stratiotes*……133

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. México

ÍNDICE DE GRÁFICAS

Gráfica 3.1. Comportamiento de valores de turbidez por punto de muestreo en NTU…….....92

Gráfica 3.2. Comportamiento de valores de concentración de sólidos sedimentables por punto de muestreo en ml/L…….……...94

Gráfica 3.3. Comportamiento de valores de temperatura por punto de muestreo en °C……..96

Gráfica 3.4. Comportamiento de valores de concentración de sólidos totales (ST) por punto de muestreo en mg/L……...97

Gráfica 3.5. Comportamiento de valores de concentración de sólidos totales volátiles (STV) por punto de muestreo en mg/L……..……...…99

Gráfica 3.6. Comportamiento de valores de concentración de sólidos suspendidos totales (SST) por punto de muestreo en mg/L……100

Gráfica 3.7. Comportamiento de valores de concentración de grasas y aceites por punto de muestreo en mg/L……..…….102

Gráfica 3.8. Comportamiento de valores de conductividad eléctrica por punto de muestreo en mS……104

Gráfica 3.9. Comportamiento de valores de concentración de acidez por punto de muestreo en mg/L……...106

Gráfica 3.10. Comportamiento de valores de concentración de alcalinidad por punto de muestreo en mg/L……..……..107

Gráfica 3.11. Comportamiento de valores de concentración de oxígeno disuelto (OD) por punto de muestreo en mg/L……108

Gráfica 3.12. Comportamiento de valores de concentración de la demanda química de oxígeno (DQO) por punto de muestreo en mg/L……110

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. México.

Gráfica 3.13. Comportamiento de valores de cloruros totales por punto de muestreo en Cl mg/L……..112

Gráfica 3.14. Comportamiento de valores de nitrógeno total por punto de muestreo en mg/L……...114

Gráfica 3.15. Comportamiento de valores de fósforo total dentro de la curva de calibración con un intervalo de trabajo desde 0.3 mg/L hasta 2.0 mg/L…….……...116

Gráfica 3.16. Comportamiento de valores de fósforo total por punto de muestreo en mg/L……..117

Gráfica 3.17. Comportamiento de valores de pH por punto de muestreo……...119

Gráfica 3.18. Comportamiento de valores de concentración de dureza total por punto de muestreo en mg/L…….120

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. México.

“EVALUACIÓN DE LA VULNERABILIDAD DEL AGUA DEL SISTEMA FLUVIAL DE JALPA DE MÉNDEZ MEDIANTE LOS PROCEDIMIENTOS DE LA NOM-001-SEMARNAT-2021”

RESUMEN

En este estudio se evaluó la vulnerabilidad del sistema fluvial ubicado en el Ejido Úrsulo Galván, ante la cercanía de un pozo petrolero exploratorio “Pozol-1”, mediante los procedimientos descritos en la Norma Oficial Mexicana NOM-001-SEMARNAT-2021 y se determinaron los parámetros fisicoquímicos de acuerdo a los procedimientos descritos como Demanda Química de oxígeno (DQO), Acidez y Alcalinidad, Fósforo total, pH, Temperatura, Conductividad eléctrica, Turbidez, Sólidos sedimentables, Oxígeno Disuelto (OD), Dureza total, Sólidos y sales disueltas, Grasas y aceites, Cloruro total y Nitrógeno total para estimar la carga contaminante en promedio diario que existe en cada uno de los puntos de muestreo establecidos así mismo, para tener mayor precisión se realizó cada análisis por triplicado. Los puntos de muestreo fueron distribuidos en siete zonas representativas y se identificaron con los siguientes nombres: S0, S1, S2.1, S2.2, S3, S4 y S5. Los resultados mostraron que el punto de muestreo que supera el límite máximo permisible es el punto S3 “Después del pozo”, siendo un lugar de intersección de puntos de muestreo importantes S2.1 y S2.2 donde se encuentra el quemador del pozo exploratorio, causando asfixia de los organismos acuáticos y restricción de actividad microbiana por crecimiento exponencial de algas y plantas, del mismo modo, los puntos S2.1 y S2.2, muestran un comportamiento similar respecto a los demás parámetros al presentar valores mayores en comparación con los demás puntos de muestreo, pero sin superar los límites máximos permisibles establecidos por la norma y esto se debe a que existe presencia de plantas que realizan fitorremediación.

Palabras clave: *vulnerabilidad, sistema fluvial, pozo petrolero exploratorio, carga contaminante y fitorremediación.*

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. México

ABSTRACT

This study evaluated the vulnerability of the fluvial system located in the Ejido Úrsulo Galván, near the exploratory oil well "Pozol-1," following the procedures described in the Mexican Official Standard NOM-001-SEMARNAT-2021. Physicochemical parameters were determined according to the specified procedures, including Chemical Oxygen Demand (COD), Acidity and Alkalinity, Total phosphorus, pH, Temperature, Electrical conductivity, Turbidity, Settleable solids, Dissolved Oxygen (DO), Total hardness, Dissolved solids and Salts, Fats and oils, Total chloride, and total Nitrogen to estimate the average daily pollutant load present at each of the established sampling points. To ensure greater accuracy, each analysis was performed in triplicate.

The sampling points were distributed across seven representative zones and identified with the following names: S0, S1, S2.1, S2.2, S3, S4, and S5. The results showed that the sampling point exceeding the maximum permissible limit was point S3, “Downstream of the well,” which is an intersection of significant sampling points S2.1 and S2.2, where the well burner is located. This caused suffocation of aquatic organisms and restricted microbial activity due to the exponential growth of algae and plants. Similarly, points S2.1 and S2.2 exhibited comparable behavior across several parameters, showing higher values compared to the other sampling points, though without exceeding the maximum permissible limits established by the standard. This is attributed to the presence of plants performing phytoremediation.

Keywords: *vulnerability, river system, exploratory oil well, contaminant load and phytoremediation.*

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. México.

GLOSARIO

Acidez: cantidad de iones hidronio (H_3O^+) producidos por la disociación de ácidos débiles y fuertes en el agua.

Actividades antropogénicas: actividades realizadas o provenientes de las tareas hechas por el hombre, interactuando con el medio y modificándolo de manera significativa. Actividades como la ganadería, agricultura, deforestación, actividades petroleras e industriales.

Agua: sustancia compuesta por átomos de hidrógeno y oxígeno vital para la vida de los seres vivos y el desarrollo de diferentes actividades en las zonas industriales, ganaderas y agrícolas.

Agua contaminada: agua que presenta cambios en su composición física, química y biológica por causa de sustancias peligrosas (químicos, hidrocarburos o microorganismos) que degradan la calidad de esta hasta quedar inservible o en su caso, volviéndola tóxica para los seres vivos y el medio ambiente.

Alcalinidad: cantidad de iones hidroxilo (OH^-) producidos por la disociación de bases débiles y fuertes en el agua.

Bioincrustaciones: acumulación excesiva de microorganismos, algas y animales en estructuras que tienen contacto con el agua.

Blanco analítico o de reactivos: muestra que no contiene concentración del analito de interés.

Calidad del agua: condición en la que se encuentra el agua y que se relaciona con sus características físicas, químicas y biológicas dependiendo si está en estado natural o si sufre modificaciones o alteraciones hechas por el hombre.

Carga contaminante: cantidad de una o varias sustancias liberadas al ambiente durante un intervalo de tiempo, afectando de forma negativa y se puede presentar de manera directa o indirecta.

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. México.

Cloruros totales: es un electrolito cargado negativamente, generalmente se encuentra en mayor cantidad en aguas naturales, residuales y residuales tratadas.

Conductividad: capacidad de un medio o solución acuosa de conducir corriente eléctrica. Está relacionada con la presencia de sales, por ello, entre mayor sea la concentración de sales disueltas en un medio mayor será su conductividad.

Demanda química de oxígeno (DQO): es una medida de la cantidad de oxígeno molecular u oxígeno disuelto consumido necesario para realizar la descomposición de la materia orgánica presente en el agua.

Desviación estándar: indica la dispersión alrededor de la media de los datos obtenidos.

Dureza total: concentración total de cationes divalentes (calcio y magnesio) en el agua, expresadas como carbonato de calcio.

Ecosistema: sistema biológico en el cual los seres vivos y el medio físico se relacionan entre sí, es decir, diferentes tipos de seres y microorganismos vivos interactuando en un mismo medio.

Eutrofización: exceso de nutrientes inorgánicos en un ecosistema acuático obtenidos por actividades antropogénicas, especialmente Nitrógeno (N) y Fósforo (P), provocando un crecimiento descontrolado de plantas y algas que cubren por completo la superficie del agua e impide el proceso de la fotosíntesis.

Factor de riesgo: son aquellas situaciones que limitan la calidad de vida de una persona, estos involucran enfermedades como malformaciones congénitas, cáncer, entre otras, así como falta de servicios básicos como acceso al agua segura, contaminación del aire y del suelo, saneamiento básico insatisfecho y presencia de metales como plomo y mercurio.

Fósforo total: nutriente esencial para los organismos vivos, en cantidades aceptables, mantiene un suelo fértil y mejor rendimiento de los cultivos.

Grasas y aceites: sustancias orgánicas de naturaleza lipídica que están compuestos principalmente por ácidos grasos de origen vegetal y animal que, al ser inmiscibles con el agua, permanecen en la superficie del medio acuoso.

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. México.

Hipoxia: condición de deficiencia de un suministro adecuado de oxígeno en un cuerpo de agua.

Lago: es un cuerpo de agua y se alimenta por las corrientes de los ríos y arroyos. La mayoría de los lagos son de agua dulce, pero también existen casos en los que se presentan lagos de agua salada.

Laguna: es un cuerpo de agua que está presente en las costas, por lo general son poco profundas y saladas.

Límite permisible: intervalo de valores permitido para un parámetro en el cual los valores de las concentraciones de estos nos pueden ser excedidos ya que, si esto ocurre, se considera como un contaminante o de actividad peligrosa.

Medio ambiente: entorno natural en el cual interactúan y se desarrolla la vida de los organismos vivos.

Muestra: porción idealmente representativa tomada de un cuerpo de agua definido, de manera intermitente o continua, con el propósito de examinar diversas características definidas.

Muestreo: acción que consiste en tomar un volumen considerado como representativo de un cuerpo de agua a fin de examinar diversas características definidas.

Nitrógeno total: nutriente esencial para los organismos vivos, especialmente para plantas acuáticas y algas en cantidades moderadas.

Norma mexicana: son una serie de lineamientos descritos con la finalidad de asegurar el cumplimiento de las medidas de calidad, sanidad y armonización de productos y servicios en México.

Organismos patógenos: son agentes infecciosos que provocan daños a la salud y cuerpo del ser humano. Estos organismos pueden estar presentes en el agua, aire y suelo. Los agentes patógenos más comunes son los hongos, bacterias, protozoos y virus.

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. México.

Oxígeno disuelto (OD): medida de la concentración de oxígeno que se encuentra disuelto en el agua.

Parámetro: valor que es utilizado para describir las características físicas, químicas o biológicas del agua.

Parámetros fisicoquímicos: parámetros medidos en la calidad del agua distinguidos por poseer características físicas y químicas en su proceso de análisis. Los más usuales son: DQO, acidez y alcalinidad, fósforo total, pH, temperatura, conductividad, turbidez, sólidos sedimentables, OD, dureza total, sólidos y sales disueltas, grasas y aceites, cloruro total, nitrógeno total y metales.

Peso constante: técnica de laboratorio que indica que una muestra ha perdido casi o totalmente su humedad.

Petróleo crudo: es aquel combustible fósil compuesto de hidrocarburos que sale directamente de un pozo petrolero.

Petróleo refinado: es aquel petróleo crudo que se le da un tratamiento con la finalidad de obtener la parte explotable**.**

pH: medida de la concentración del ion hidrógeno o del nivel de alcalinidad o acidez presente en una sustancia o medio acuoso.

Pozo exploratorio: primer pozo que se perfora con la finalidad de confirmar la existencia de petróleo o gas en zonas, donde el área de presencia de hidrocarburos se considera adecuada a través de la etapa exploratoria.

Precisión: grado de concordancia entre los valores obtenidos cuando el procedimiento fue realizado repetidamente para diferentes alícuotas.

Pretratamiento: proceso en el cual se modifica una muestra con base en las especificaciones del procedimiento a realizar, los pretratamientos más comunes son adaptación de pH y eliminación de materia orgánica.

Sistema fluvial: conjunto de corrientes de agua que fluyen a una cuenca hidrológica definida, los cuales puede ser un rio o el mar.

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. México.

Sólidos sedimentables: son partículas de mayor tamaño que se encuentran disueltas en el agua y con el transcurso del tiempo tienden a asentarse en el fondo, un aumento de sólidos sedimentables puede provocar depósitos de cal y corrosión.

Sólidos y sales disueltas: concentración de todos los minerales, metales, sales, materia orgánica o inorgánica presentes en el agua.

Temperatura: es una magnitud presente en la tierra y esta es importante para la adaptación de los organismos vivos en el ambiente.

Turbidez: es una medida para conocer el grado de transparencia del agua, cuanto mayor sea la cantidad de sólidos y partículas suspendidas, mayor será la turbiedad y menor será la absorción de luz en la muestra**.**

Valoración/titulación: técnica de forma analítica para determinar la concentración de una disolución ácida o base, añadiendo de forma controlada una solución de concentración conocida a otra solución que se desconoce su concentración hasta que la reacción sea neutralizada.

Vulnerabilidad del agua: riesgo que tienen los cuerpos de agua de contaminarse con algún tipo de sustancia peligrosa en la cual su concentración sobrepasa los límites máximos recomendados para la calidad del agua.

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. México.

CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN

1.1 INTRODUCCIÓN

El agua es el recurso hídrico más importante para la vida, correspondiendo un 2.5 % de agua dulce equivalente del total de agua disponible en el planeta, puesto que se encuentra distribuido en ríos, lagunas, glaciares, acuíferos y mantos de hielo del mundo (SEMARNAT, 2013). Sin embargo, la calidad de este recurso puede ser vulnerable debido a diferentes factores, que van desde actividades agropecuarias realizadas por el ser humano hasta las actividades de las grandes industrias del petróleo, siendo este último el principal responsable de los grandes impactos ambientales dando como resultado un cambio en las propiedades físicas y químicas, alteraciones en el ecosistema y cadena alimenticia como resultado de la eutrofización e intoxicación.

En cuanto a la contaminación del agua por hidrocarburo, puede presentarse por derrames accidentales de buques petroleros u operaciones de exploración, extracción y refinación de petróleo (Mesa et al., 2019), por tanto, existe gran repercusión en las actividades diarias de los pescadores, seguridad alimentaria y negocios que dependen de ello (Vasquez et al., 2022).

Así pues, Tabasco es una de las principales unidades económicas de Extracción de Petróleo y Gas, teniendo una mayor producción bruta total, de acuerdo con datos del censo económico 2019 (INEGI, 2020). No obstante, los accidentes por derrames de petróleo en la entidad son cada vez más recurrentes afectando la calidad del agua, flora y fauna a sus alrededores.

Uno de estos daños tiene lugar en el Ejido Úrsulo Galván del municipio de Jalpa de Méndez, perteneciente al estado de Tabasco, donde se manifiesta el impacto ambiental de un cuerpo de agua que ha recibido carga contaminante de un pozo de exploración petrolero inactivo “Pozol 1”, así como los impactos en la flora y fauna a sus alrededores. Así pues, es importante regular las cargas de contaminantes que pueden deteriorar la calidad en cuerpos de agua a través de Normas Oficiales Mexicanas en materia de agua, usando los procedimientos descritos en la Norma Oficial Mexicana (NOM-001-SEMARNAT-2021), que establece los límites permisibles de contaminantes en las

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. México

descargas de aguas residuales en cuerpos receptores propiedad de la nación, a través de una lista con normas de referencias para los procedimientos de parámetros físicos y químicos.

De manera que, la inquietud por realizar este trabajo en el Ejido Úrsulo Galván, Jalpa de Méndez, es debido a que la zona es conocida por su gran labor en la preservación y conservación de manglares desde hace más de dos décadas y no se conoce la calidad del cuerpo de agua en el área. Se estima que, puede ser afectada la labor desarrollada por años, recibiendo así un apoyo académico por parte de la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco (UJAT), División Académica de Ingeniería y Arquitectura (DAIA) de la unidad Chontalpa para conocer la cantidad de carga contaminante que ha sido generada por este pozo de exploración petrolero inactivo que se encuentra dentro del cuerpo de agua. Como resultado, en esta investigación se determinaron las propiedades físicas y químicas, así como la calidad presente en el cuerpo de agua, que pueden ser un factor de riesgo para la salud y medio ambiente, además se establecieron recomendaciones para mitigar el impacto ambiental de la carga contaminante.

1.2 MARCO TEÓRICO

1.2.1 GENERALIDADES

México dispone con alrededor de dos millones de kilómetros cuadrados de superficie terrestre en los cuales se albergan 320 cuencas hidrográficas y 50 ríos principales, incluyendo lagos y lagunas, riachuelos, arroyos y humedales (CONABIO, 2022). En el caso particular de Tabasco, que se encuentra en la zona trópico húmedo en el sureste y es el lugar más húmedo de México, es uno de los estados más ricos en este recurso natural ya que se ubica en las cuencas hidrológicas más caudalosas del país, Grijalva-Usumacinta y Coatzacoalcos (López-Jiménez, 2019).

Por otra parte, el agua es un recurso natural indispensable que da sustento a la vida y permite el desarrollo de distintas actividades en los sectores agrícolas, ganaderos e industriales. En consecuencia, las actividades antropogénicas derivadas en estos sectores han perturbado diversos ecosistemas y han impactado directamente los recursos hídricos, causando daños a largo plazo principalmente a la salud como

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco México.

problemas neurológicos, respiratorios, irritación cutánea y ocular, daños al ambiente como muerte de organismos y eutrofización (CONAGUA, 2019).

1.2.2 IMPORTANCIA DE LA CALIDAD DEL AGUA

De acuerdo con la OMS (Organización Mundial de la Salud), la calidad del agua se define como la naturaleza en la que se encuentra el agua a partir de las características químicas, físicas y biológicas, dependiendo si esta se encuentra en su estado original o después de las modificaciones o alteraciones realizadas por el hombre. La calidad del agua se encuentra relacionado con que el agua es de calidad cuando es usada para cualquier necesidad o propósito humano, principalmente para el consumo, sin ocasionar daños a la salud o al medio ambiente (Addisie, 2022).

1.2.2.1 Clasificación de la calidad del agua

Las actividades agrícolas, domésticas, industriales y las alteraciones humanas incluyen diferentes tipos de contaminantes, por ello, la calidad del agua se clasifica en cuatro tipos principales: potable, palatable, infectada y contaminada (Summers, 2020).

1. Agua potable: Es el tipo de agua al que se le realiza un tratamiento de purificación para que sea segura de beber, tenga un agradable sabor y sea utilizada para actividades domésticas.
2. Agua palatable: Este tipo de agua tiene presencia de sustancias químicas que no ocasionan o representan una amenaza para la salud y es estéticamente agradable para el paladar.
3. Agua infectada: Este tipo de agua presenta contaminación de organismos patógenos.
4. Agua contaminada: Aquel tipo de agua que posee sustancias químicas, físicas, biológicas o radiológicas no deseadas, por lo tanto, no es seguro beberla ni tampoco para usos domésticos.

Cuando se realiza la implementación de políticas para la protección y asignación de fuentes de agua para las actividades humanas, es necesario y como requisito, realizar una evaluación de la calidad del agua. A menudo, se implementa el uso de normas oficiales como estrategia para controlar la contaminación en los sistemas de agua frente

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. México.

a la creciente urbanización y la actividad antropogénica sobre los diferentes recursos hídricos (Kachround et al., 2019).

1.2.3 CONTAMINACIÓN POR HIDROCARBUROS

La calidad del agua puede estar en riesgo a causa de diversos contaminantes, uno de ellos es el hidrocarburo afectando de manera importante. La contaminación por petróleo crudo o petróleo refinado (gasolina, combustóleo y otros productos obtenidos por el procesamiento del petróleo), puede generarse de manera adrede o accidentalmente a través de distintas fuentes.

Estas secuelas dependen de factores como: el tipo de petróleo (sea crudo o refinado), cantidad, época del año, condiciones atmosféricas, temperatura media del agua y corrientes oceánicas (FCEA, 2007). La circulación de este contaminante en el medio acuático depende de lo hidrosoluble que sea y la viabilidad de combinarse con partículas finas, por lo que unos contaminantes transiten largas distancias y otras fácilmente se combinen (IAEA, 2023).

Todo esto origina distintos problemas fisiológicos y/o bioquímicos en los organismos afectados, provocando alteraciones genéticas y cambios en las relaciones entre los componentes de los ecosistemas (MITECO, 2023).

1.2.4 PARÁMETROS DE LA CALIDAD DEL AGUA

Existen tres tipos de parámetros de calidad del agua: químicos, físicos y biológicos. A continuación, se muestra los diferentes parámetros relacionados con cada clasificación (Summers, 2020).

Químicos: Estos se relacionan con el pH, acidez, alcalinidad, cloruros, cloro residual, sulfatos, nitrógenos, fósforos, dureza, oxígeno disuelto (OD), demanda bioquímica de oxígeno (DBO), demanda química de oxígeno (DQO), hierro y manganeso, cobre y zinc, sustancias orgánicas e inorgánicas tóxicas y sustancias radioactivas.

Físicos: Incluyen la turbiedad, temperatura, color, sabor y olor, sólidos y sales, grasas y aceites y conductividad eléctrica (CE).

Biológicos: Se relacionan con bacterias, algas, virus y protozoos.

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. México.

1.2.5 TÉCNICAS PARA ANÁLISIS DE CONTAMINANTES

La NOM-001-SEMARNAT-2021, establece los límites permisibles de los contaminantes presentes en las descargas de aguas, teniendo como fin proteger, preservar y mejorar la calidad de las aguas y bienes nacionales (SEMARNAT, 2022). Esta norma tiene como apoyo referencias normativas mexicanas (NMX-AA), para analizar de manera física y química cada uno de los contaminantes, necesarias para una adecuada aplicación de la Norma Oficial Mexicana. Los análisis realizados se encuentran en forma de lista a continuación:

- Norma mexicana NMX-AA-004-SCFI-2013, Análisis de agua - Medición de sólidos sedimentables en aguas naturales, residuales y residuales tratadas - Método de prueba (cancela a la NMX-AA-004-SCFI-2000).
- Norma mexicana NMX-AA-005-SCFI-2013, Análisis de agua - Medición de grasas y aceites recuperables en aguas naturales, residuales y residuales tratadas - Método de prueba (cancela a la NMX-AA-005-SCFI-2000).
- Norma mexicana NMX-AA-007-SCFI-2013, Análisis de agua - Medición de temperatura en aguas naturales, residuales y residuales tratadas - Método de prueba (cancela a la NMX-AA-007-SCFI-2000).
- Norma mexicana NMX-AA-008-SCFI-2016, Análisis de agua - Medición del pH en aguas naturales, residuales y residuales tratadas - Método de prueba (cancela a la NMX-AA-008-SCFI-2011).
- Norma mexicana NMX-AA-012-SCFI-2001, Análisis de agua - Determinación de oxígeno disuelto en aguas naturales, residuales y residuales tratadas – Método de prueba (cancela a la NMX-AA-012-SCFI-1980).
- Norma mexicana NMX-AA-026-SCFI-2010, Análisis de agua - Medición de nitrógeno total Kjeldahl en aguas naturales, residuales y residuales tratadas - Método de prueba (cancela a la NMX-AA-026-SCFI-2001).
- Norma mexicana NMX-AA-029-SCFI-2001, Análisis de agua - Determinación de fósforo total en aguas naturales, residuales y residuales tratadas - Método de prueba (cancela a la NMX-AA-029-SCFI-1981).

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. México.

- Norma mexicana NMX-AA-030/1-SCFI-2012, Análisis de agua - Medición de la demanda química de oxígeno en aguas naturales, residuales y residuales tratadas - Método de prueba - Parte 1 - Método de reflujo abierto (cancela a la NMX-AA-030-SCFI-2001).
- Norma mexicana NMX-AA-034-SCFI-2015, Análisis de agua - Medición de sólidos y sales disueltas en aguas naturales, residuales y residuales tratadas - Método de prueba (cancela a la NMX-AA-034-SCFI-2001).
- Norma mexicana NMX-AA-036-SCFI-2001, Análisis de agua - Determinación de acidez y alcalinidad en aguas naturales, residuales y residuales tratadas -Método de prueba (cancela a la NMX-AA-036-SCFI-1980).
- Norma mexicana NMX-AA-038-SCFI-2001, Análisis de agua - Determinación de turbiedad en aguas naturales, residuales y residuales tratadas - Método de prueba (cancela a la NMX-AA-038-SCFI-1981).
- Norma mexicana NMX-AA-072-SCFI-2001, Análisis de agua - Determinación de dureza total en aguas naturales, residuales y residuales tratadas - Método de prueba (cancela a la NMX-AA-072-SCFI-1981)
- Norma mexicana NMX-AA-073-SCFI-2001, Análisis de agua - Determinación de cloruros totales en aguas naturales, residuales y residuales tratadas - Método de prueba (cancela a la NMX-AA-073-SCFI-1981)
- Norma mexicana NMX-AA-093-SCFI-2018, Análisis de agua - Medición de la conductividad eléctrica en aguas naturales, residuales y residuales tratadas - Método de prueba (cancela a la NMX-AA-093-SCFI-2000)

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. México.

1.3 JUSTIFICACIÓN

En las últimas décadas, la actividad petrolera en México ha aumentado considerablemente, principalmente en el sureste mexicano, esto debido a la exploración de nuevos yacimientos en esa zona. Puesto que Tabasco es uno de los estados con mayor producción de petróleo en tierra (On Shore) con 380.945 mbd (miles de barriles diarios). De acuerdo con estadísticas del Sistema de Información Energética (SIE, 2022), se han desencadenado diferentes situaciones de impacto ambiental relacionados con derrames de petróleo, contaminación de cuerpos fluviales de agua y comunidad vegetal.

El gran aumento de la población, la contaminación por exploraciones de nuevos yacimientos de petróleo y el cambio climático impactan drásticamente sobre los recursos de agua fluvial. Ante esto, es necesario realizar los procedimientos correspondientes para evaluar la vulnerabilidad del agua en aquellos sitios donde existe una situación de impacto ambiental (derrame de hidrocarburos, contaminación de cuerpos de agua, etc.). En México, los procedimientos principales utilizados para la evaluación de la calidad de agua son las marcadas en las normas oficiales mexicanas (NOM) y las normas mexicanas (NMX).

En Tabasco se encuentran un sin número de sitios con diferentes niveles de impacto ambiental, por lo que, ante la problemática que persiste en el ejido Úrsulo Galván, Jalpa de Méndez, Tabasco de un canal fluvial que ha recibido carga contaminante de un pozo petrolero inactivo y en el cual se perciben efectos negativos en la zona, es necesario determinar la calidad de agua utilizando el procedimiento que indica la norma oficial mexicana NOM-001-SEMARNAT-2021 (SEMARNAT, 2022), la cual establece los límites permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en cuerpos receptores propiedad de la nación.

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. México.

1.4 PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN

¿Cuál es la vulnerabilidad del sistema fluvial del ejido Úrsulo Galván, Jalpa de Méndez a través de los criterios establecidos por la NOM-001-SEMARNAT-2021 para decretar los factores de riesgo para la salud y medio ambiente?

1.5 HIPÓTESIS

La magnitud de los parámetros establecidos por la NOM-001-SEMARNAT-2021 superan los límites máximos posibles en las aguas del sistema fluvial del ejido Úrsulo Galván, Jalpa de Méndez, Tabasco.

1.6 OBJETIVOS

1.6.1 Objetivo general

Analizar la vulnerabilidad del agua del sistema fluvial del ejido Úrsulo Galván, Jalpa de Méndez, Tabasco ante la cercanía del pozo petrolero "*Pozol-1*", mediante criterios establecidos por la NOM-001-SEMARNAT-2021 a fin de establecer los factores de riesgo para la salud y el medio ambiente.

1.6.2 Objetivos específicos

- Determinar los parámetros fisicoquímicos como demanda química de oxígeno (DQO), acidez y alcalinidad, fósforo total, pH, temperatura, conductividad, turbidez, sólidos sedimentables, oxígeno disuelto (OD), dureza total, sólidos y sales disueltas, grasas y aceites, cloruro total y nitrógeno total para estimar la carga contaminante.
- Proponer recomendaciones que coadyuven a la mitigación de la contaminación del agua.

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. México.

CAPÍTULO 2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1 GENERALIDADES

Como fue mencionado anteriormente, la presente investigación tuvo como objetivo principal realizar una serie de análisis a un cuerpo de agua ubicada en el ejido Úrsulo Galván, Jalpa de Méndez, con el fin de identificar si se encuentra algún tipo de contaminante en la zona. Por ello, en el siguiente diagrama resume el procedimiento llevado a cabo para la realización de los análisis fisicoquímicos pertinentes.

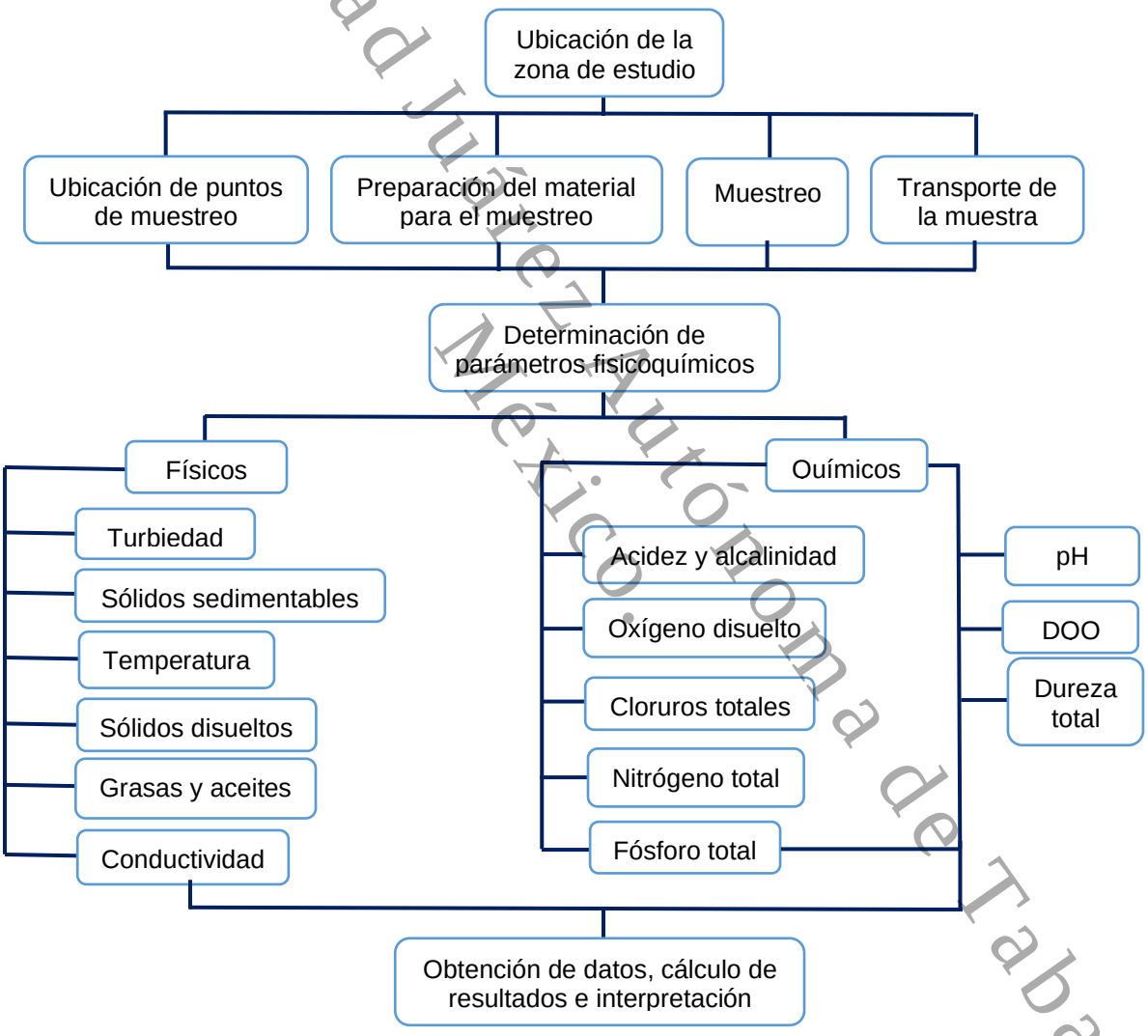


Diagrama 2.1. Procedimiento general para la realización de los análisis fisicoquímicos.

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. México.

2.2 ZONA DE ESTUDIO

2.2.1 Ubicación

El Ejido Úrsulo Galván, se encuentra a la altura de la Ranchería Reforma 2ª. Sección del municipio de Jalpa de Méndez, Tabasco. Constituye uno de los cuatro sitios prioritarios de manglar en Tabasco siendo reconocido por ser una de las comunidades que fomentan la preservación y conservación de manglares y humedales a lo largo del territorio (CONABIO, 2023).

La extensión territorial del ejido se encuentra localizado en el sistema deltaico Grijalva-Mezcalapa en la parte este de la laguna Mecoacán, colindando también con el norte del sistema lagunar: El eslabón – La Tinaja – Sí señora; al sur con el ejido Reforma Segunda Sección; al este con los ejidos Cuauhtémoc y Cruz Méndez Jalapita; y al oeste con el ejido Lázaro Cárdenas (INEGI, 2000).

En la figura 2.1, se muestra el sitio estudiado dentro del ejido y donde está situado el pozo exploratorio “*Pozol-1*”, con una profundidad de 4405 metros y se encuentra cerrado desde 1988 (CNH, 2023).

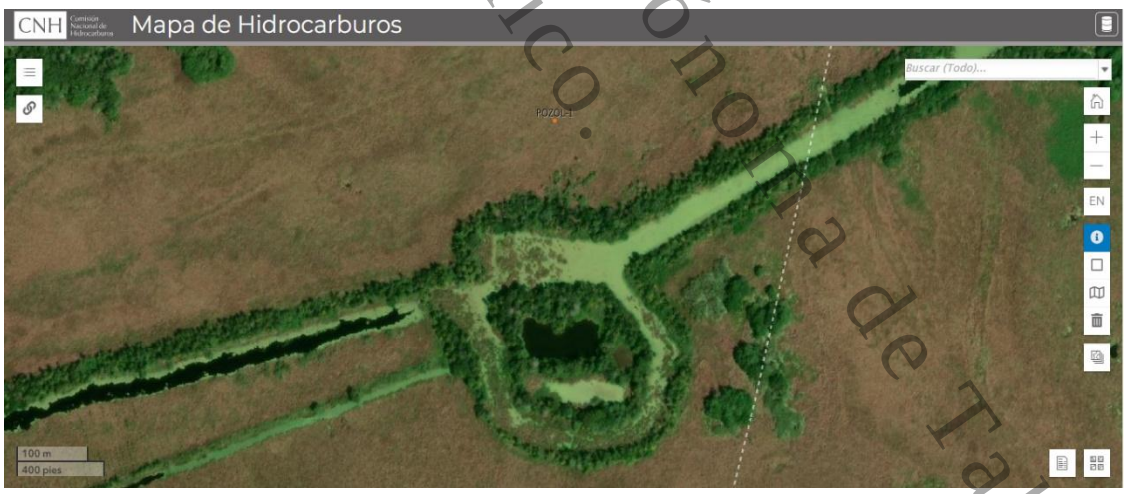


Figura 2.1. Datos del pozo exploratorio “Pozol-1”.

Fuente: CNH (Comisión Nacional de Hidrocarburos)

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. México.

Figura 2.2. Delimitación del pozo exploratorio “Pozol-1”.

El área de estudio delimitada está constituida por una superficie territorial de aproximadamente 164,000 m^2 como se ve en la figura 2.2, de los cuales se establecieron siete puntos de muestreo identificados de acuerdo con la norma de referencia NMX-AA-003-1980, siendo estos puntos de muestreo ubicados y nombrados de la siguiente manera: S0-Antes del pozo, S1-Pozo, S2.1-Quemador, S2.2-Mango, S3-Despues del pozo, S4-Canal 1 y S5-Canal 2. En la figura 2.3, se observa el área donde se encuentra el pozo petrolero exploratorio.

Figura 2.3. Pozo “Pozol-1”.

Fuente: Google Earth

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. México.

2.3 CARACTERÍSTICAS DE LA ZONA DE ESTUDIO

2.3.1 Fisiografía

La fisiografía analiza el entorno natural del lugar y se puede dividir en otras categorías como la hidrología, climatología, entre otros, con la finalidad de describir a detalle una zona en específico.

El ejido Úrsulo Galván se encuentra ubicado entre los municipios de Paraíso y Centla, los cuales pertenecen a los sitios prioritarios de manglares y humedales de Tabasco, siendo característica su provincia la llanura costera del Golfo Sur por donde se presenta un fuerte aluvionamiento por parte de los ríos más caudalosos, que le atraviesan para desembocar al sur del Golfo de México, presentando también una subprovincia la cual es conocida por llanuras y pantanos Tabasqueños que al atravesar los ríos como el Grijalva y el Usumacinta generan zonas inundables que abarcan grandes espacios donde abundan los lagos y humedales permanentes (Sandoval et al., 2022).

2.3.2 Suelo

Los suelos son mezclas de minerales, agua, materia orgánica y restos de organismos en descomposición, formando parte de la superficie de la tierra, existe una gran variedad de suelos de acuerdo con la ubicación y condiciones que son expuestas, por ello en la tabla 2.1 se muestra la clasificación del suelo de la zona de estudio (INEGI, 2000).

Tabla 2.1. Principales características del suelo en los alrededores del pozo.

Clasificación	Diámetro de partícula (mm)	Componentes minerales	Textura	Apariencia
Arenoso	0.05 a 2	Cuarzo	Gruesa	Áspera
Limosos	0.002 a 0.05	Arena y arcilla	Intermedia	Suave y sedosa
Francos	0.002 a 2	Arena, limo y arcilla	Media	Grumosa
Arcillosos o barros	0.002	Silicatos	Fina	Jabonosa

Nota: (INEGI, 2021).

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. México.

Los suelos dominantes en el ejido Úrsulo Galván en Jalpa de Méndez al ser uno de los lugares donde abundan los lagos y pantanos permanentes son:

1. Aluviales: suelo arcilloso de color oscuro formado a través de las corrientes de agua, sujetos a inundaciones por periodos.
2. Palustre: suelo franco y arcilloso fino que se encuentra en los humedales, también conocidos como pantanos o manglares.
3. Lacustre: suelo con estructuras laminadas finas de limos y arcillas en zonas pantanosas donde aguas dulces con otra concentración de sales forman precipitados de sales.

2.3.3 Clima

La zona de estudio presenta un clima cálido húmedo, el cual puede presentar cambios en los últimos meses de otoño (noviembre-diciembre), donde se percibe una temperatura media anual de 26.8 ºC, una máxima media mensual en junio de 32 °C y una mínima media mensual en el periodo diciembre-enero de 22.5 ºC (INEGI, 2000).

El rango de precipitación es de 15000 a 2000 mm anuales, la humedad relativa en promedio anual se estima de 82%, con una máxima de 86% en los periodos de enero-febrero y una mínima de 75% en el mes de mayo. Las mayores velocidades de los vientos se concentran en los periodos de noviembre-diciembre, con velocidades que alcanzan los 32 km/h y en el mes de junio con una mínima velocidad de viento de 25 km/h (CONAGUA, 2022).

2.3.4 Hidrografía

Los ríos más importantes que cruzan la zona son el rio Grijalva y el Usumacinta, siendo estos los más caudalosos de todo el país, donde también se divide totalmente en una cuenca denominado rio Grijalva-Villahermosa la cual se divide en subcuencas perteneciendo un 45% el rio Cunduacán, 29.16% el rio Carrizal, 17.67% el rio Samaria y 8.17% el rio Cuxcuchapa (INEGI, 2010).

Alrededor se perciben corrientes perennes de agua, es decir, corrientes que mantienen el agua todo el año, como las corrientes el Naranjo y Nacajuca e intermitentes que solo presentan agua en algunos meses del año como la corriente el Muste (INEGI, 2020).

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. México.

En la figura 2.4, se observan los canales que se encuentran dentro del área delimitada para el muestreo, y que presentan un caudal entre 0.2 m^3/s a 3.04 m^3/s. Siendo de este último valor el canal que conecta con el lago “La Tinaja” y estos canales varían de una profundidad de 1. 5 metros a 2. 5 metros.

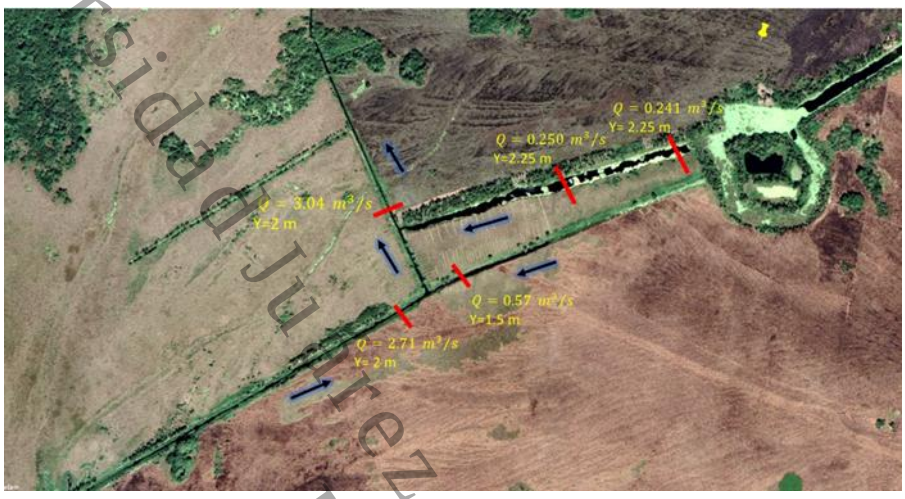


Figura 2.4. Ubicación de los canales dentro del área de estudio del pozo “Pozol-1”.

Fuente: Google Earth

2.4 MUESTREO

2.4.1 diseño de muestreo

Una muestra es el subconjunto de una población tomada en el punto de interés, esto puede ser de manera continua, cualitativa y cuantitativamente, es decir una pequeña cantidad de agua en este caso, tomada en un periodo corto de tiempo con la finalidad que sea el necesario para los análisis necesarios.

El muestreo significa la selección del grupo de muestras donde recopilarán datos de investigación, en este caso es para métodos de prueba de la NOM-001-SEMARNAT-2021.

El muestreo se basó en la norma mexicana de referencia NMX-AA-003-1980, la cual proporciona una serie de lineamientos y recomendaciones que deben ser considerados al momento de tomar las muestras, esto con la finalidad de lograr determinar

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. México.

adecuadamente los métodos de pruebas físicos y químicos correspondientes a la NOM-001-SEMARNAT-2021.

En este caso el muestreo fue realizado en siete puntos estratégicos representativos dentro y alrededor del pozo “Pozol-1“, que es el objetivo de la evaluación, siendo identificados por los siguientes nombres:

- S0-Antes del pozo
- S1-Pozo
- S2.1-Quemador
- S2.2-Mango
- S3-Después del pozo
- S4-Canal 1
- S5-Canal 2

En la figura 2.5, se observa la ubicación a detalle de cada punto de muestreo identificado anteriormente en la zona de muestreo del pozo petrolero exploratorio “Pozol-1”.

Figura 2.5. Ubicación de puntos de muestreo.

2.4.2 Características de la unidad de muestra

En esta zona se consideró apropiado tomar muestras representativas en recipientes de polietileno de 1L, bidones de 20 litros y frascos de vidrio, previamente sumergidos en

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. México.

ácido sulfúrico (10% v/v) por 12 horas, lavados con jabón libre de fosfatos y enjuagados consecutivamente con agua destilada hasta quedar libres de remanentes de ácido. Estos recipientes se acondicionaron exclusivamente para cada muestra, de acuerdo con la norma mexicana de referencia NMX-AA-003-1980 (SEMARNART, 1992).

Algunos métodos de prueba que puntualizan especificaciones como volumen o acondicionamientos de la muestra con ácidos, como el caso de Determinación de Grasas y Aceites, Nitrógeno Total, Fósforo Total, Sólidos totales y Dureza Total fueron recolectadas en los recipientes de 1 litro; otras muestras en bidones de polietileno de 20 litros para métodos de prueba donde no manejaban ninguna especificación como Determinación de Temperatura, pH, Turbidez, Sólidos Sedimentables, Oxígeno Disuelto, Acidez y Alcalinidad, Conductividad, Cloruros y finalmente los recipientes de vidrio para el método de prueba Determinación de la Demanda Química de Oxígeno (DQO) que especificaba su transporte y preservación de la muestra. Todas las muestras se identificaron con etiquetas de acuerdo con la siguiente información:

- Identificación de la descarga
- Número de muestra
- Fecha y hora de muestreo
- Punto de muestreo
- Temperatura y pH

2.4.3. Tamaño de muestra

Para este trabajo se emplearon 42 muestreos, tomando en cuenta que se realizaron tres réplicas por cada método de prueba. Es decir, un total de 50 litros de agua para establecer los límites permisibles del cuerpo de agua con base en cada método de prueba descrito en la NOM-001-SEMARNAT-2021.

2.4.4 Procedimiento de llenado

Para la recolección de cada muestra se sumergieron los recipientes a una profundidad de 60 cm, enjuagando varias veces los recipientes para eliminar residuos no deseables presentes antes de su recolección. Los recipientes fueron totalmente llenados hasta obtener un menisco y se cerraron fuertemente y, en el caso que la muestra obtenida

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. México.

considerada para un análisis que especificara un acondicionamiento, se agregó el volumen de ácido necesario correspondiente. En la figura 2.6, se presenta el procedimiento de recolección de la muestra en la zona de muestreo.

Figura 2.6. Procedimiento de llenado de la muestra.

2.4.5 Transporte y conservación de las muestras

Para llevar a cabo de manera correcta el trasporte, las muestras se colocaron en neveras portátiles que contenían hielo en su interior, manteniendo así una temperatura menor al ambiente y evitando que las muestras tuviesen alteraciones, lo cual sería un impedimento en aplicación del método de prueba.

Para la conservación de cada muestra se tomaron en cuenta los criterios señalados en cada norma de referencia, algunas especificaciones constituyeron acidificación de un volumen deseado y temperatura de refrigeración para cada una.

Las especificaciones descritas para cada muestra se definen a continuación:

- *Demanda Química de Oxígeno (DQO):* a las muestras contenidas en frascos de vidrio de 600 mL, se agregaron 2 mL de la solución preparada de ácido sulfúrico 4 M descrita en el procedimiento del método, una vez acidificada cada muestra, se mezcló para tener una muestra homogénea y fueron selladas correctamente para su transportación al lugar de almacenamiento donde conservaron una temperatura no mayor a 5 ± 1 °C. El tiempo máximo de conservación de la muestra acidificada a la temperatura descrita es de 30

Universidad Autónoma de Tabasco México.

días, pero, en caso de que la muestra se mantenga sin el proceso de acidificación, tendrá un tiempo de conservación de 24 horas.

- *Nitrógeno total:* a las muestras contenidas en frascos de polietileno de 1 L, se agregaron 2 mL de la solución preparada de ácido sulfúrico (1:1) (es la mezcla de volúmenes de ácido sulfúrico concentrado y agua destilada) descrita en el procedimiento del método, una vez acidificada cada muestra, se mezcló para tener una muestra homogénea y fueron selladas correctamente para su transportación al lugar de almacenamiento donde conservaron una temperatura no mayor a 5 ± 1 °C. El tiempo máximo de conservación de la muestra a la temperatura descrita es de 30 días.

- *Dureza total:* a las muestras contenidas en frascos de polietileno de 1 L, se agregaron 2 mL de ácido nítrico concentrado descrita en el procedimiento del método, una vez acidificada cada muestra, se mezcló para tener una muestra homogénea y fueron selladas correctamente para su transportación al lugar de almacenamiento donde conservaron una temperatura no mayor a 5 ± 1 °C. El tiempo máximo de conservación de la muestra resguardada a la temperatura descrita es de 6 meses.

- *Grasas y aceites:* las muestras contenidas en frascos de polietileno de 1 L fueron llenadas y tapadas correctamente para su transportación al lugar de almacenamiento donde conservaron una temperatura no mayor a 5 ± 1 °C. El tiempo máximo de conservación de la muestra a la temperatura descrita en la norma correspondiente es de 30 días.

- *Fósforo total:* las muestras contenidas en frascos de polietileno de 1 L fueron tapadas correctamente para su transportación al lugar de almacenamiento donde conservaron una temperatura no mayor a 5 ± 1 °C. El tiempo máximo de conservación de la muestra a la temperatura descrita y con el pretratamiento correspondiente es de 28 días.

- *Sólidos y sales disueltas:* las muestras contenidas en frascos de polietileno de 1 L fueron tapadas correctamente para su transportación al lugar de almacenamiento donde conservaron una temperatura no mayor a 30 ± 1 °C según lo descrito en la norma correspondiente. El tiempo máximo de conservación de la muestra a la temperatura descrita es de 7 días.

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. México.

- *Oxígeno Disuelto (OD), Acidez y alcalinidad, Conductividad, Sólidos sedimentables, Turbiedad, Cloruros Totales, Temperatura y pH:* las muestras contenidas en los bidones de polietileno de alta densidad (HDPE) de 20 Litros, fueron tapadas de manera hermética para su transportación al lugar de almacenamiento. Durante el manejo, se evitó el contacto de las muestras con el aire y la temperatura de conservación no debía ser mayor a 30 ± 1 °C.

En la tabla 2.2, se presenta el tiempo máximo de conservación de la muestra destinada para los métodos de prueba descritos anteriormente.

Tabla 2.2**.** Tiempo máximo de conservación de las muestras correspondiente a cada parámetro con base en la NOM-001-SEMARNAT-2021.

Método de prueba	Tiempo máximo de conservación de la muestra
Sólidos y sales disueltas	7 días
Oxígeno Disuelto (OD)	24 horas
Sólidos sedimentables	7 días
Turbiedad	24 horas
Temperatura	In situ
Grasas y aceites	30 días
Conductividad	24 horas
Acidez y alcalinidad	24 horas
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	24 horas (no acidificado) 7 días (acidificado)
Cloruros totales	7 días
Nitrógeno total	30 días
Fósforo total	28 días
pH	8 horas
Dureza total	6 meses

2.5 EQUIPOS Y REACTIVOS UTILIZADOS

Cada norma mexicana que se utiliza para realizar los análisis correspondientes de cada uno de los parámetros marca el uso de reactivos y equipos. En este caso, estos equipos

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. México.

y reactivos se encontraban en los laboratorios de la División Académica de Ingeniería y Arquitectura del campus Chontalpa, principalmente en el laboratorio de Biotecnología.

En la tabla 2.3 y 2.4, respectivamente, se indican los reactivos y equipos utilizados en el estudio, así como también la marca de cada uno.

Tabla 2.3. Listado de reactivos (sólidos y líquidos) y marcas utilizadas en el estudio correspondiente a cada parámetro.

Reactivos	Marca
Agua bidestilada (25 °C, 5-8 pH)	---
Ácido clorhídrico (HCl)	MEYER
Hexano (C_6H_{14})	MEYER
Ácido sulfúrico (H_2SO_4)	MEYER
Tierra de diatomeas-sílice	Empodera tu jardín
Papel filtro de poro fino	---
Disolución amortiguadora de pH	Fermont
Tetraborato de sodio decahidratado ($Na_2B_4O_7$-$10H_2O$)	MEYER
Indicador de rojo de metilo ($C_{15}H_{15}N_3O_2$)	Técnica Química S.A.
Indicador de azul de metileno ($C_{16}H_{18}N_3SCl$)	HYSEL
Alcohol etílico (CH_3CH_2OH)	MEYER
Sulfato de cobre (II) anhidro ($CuSO_4$)	PQF
Sulfato de potasio (K_2SO_4)	CIVEQ
Tiosulfato de sodio pentahidratado ($Na_2S_2O_3$-$5H_2O$)	High Purity
Cloruro de amonio (NH_4Cl)	GOLDEN BELL
Naranja de metilo	HYSEL
Fosfato monobásico de potasio anhidro (KH_2PO_4)	Fermont
Fenolftaleína	J.T Baker
Persulfato de potasio ($K_2S_2O_8$)	Fermont

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. México.

Hidróxido de sodio (NaOH)	MEYER
Ácido bórico (H_3BO_3)	J.T Baker
Ácido nítrico (HNO_3)	MEYER
Glicerol ($C_3H_8O_3$)	MEYER
Cloruro estanoso dihidratado ($SnCl_2$-$2H_2O$)	REASOL
Heptamolibdato de amonio tetrahidratado [$(NH_4)_6Mo_7O_{24}$-$4H_2O$]	J.T. Baker
Sulfato de plata (Ag_2SO_4)	CIVEQ
Dicromato de potasio ($K_2Cr_2O_7$)	MEYER
Sulfato ferroso amoniacal hexahidratado [$(NH_4)_2Fe(SO_4)_2 6H_2O$]	CIVEQ
Ferroín, disolución indicadora	---
1,10-fenantrolina monohidratada ($C_{12}H_8N_2$-H_2O)	ALDRICH
Sulfato de mercurio (II) ($HgSO_4$)	SIGMA ALDRICH
Biftalato de potasio ($KHC_8H_4O_4$)	J.T. Baker
Carbonato de sodio anhidro (Na_2CO_3)	REASOL
Peróxido de hidrógeno al 30 % v/v (H_2O_2)	GOLDEN BELL
Cloroformo	MEYER
Amoniaco (NH_3)	MEYER
Sal disódica de ácido etilendiaminotetraacético dihidratado (EDTA)	Fermont
Sulfato de magnesio heptahidratado ($MgSO_4$-$7H_2O$)	Fermont
Indicador de negro de eriocromo T	HYSEL
Carbonato de calcio anhidro ($CaCo_3$)	Fermont
Cloruro de sodio (NaCl)	Fermont
Nitrato de plata ($AgNO_3$)	REASOL
Cromato de potasio (K_2CrO_4)	Fermont

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. México.

Sulfato de aluminio y potasio dodecahidratado [$AlK(SO_4)_2$-$12H_2O$]	BAKER ANALYZED

Tabla 2.4. Listado de equipos y marcas de estos utilizados en el estudio correspondiente a cada parámetro.

Equipos	Marca
Medidor de pH	HANNA
Equipo de extracción por recirculación (Soxhlet)	KIMAX
Bomba de vacío	MILLIPORE
Horno de secado	ECOSHEL
Balanza analítica (precisión de 0.0001)	VELAB
Balanza analítica (precisión de 0.1 g)	VELAB
Parrilla o mantilla de calentamiento	Prendo
Medidor de oxígeno disuelto con electrodo de membrana sensitiva al oxígeno	SMART SENSOR
Parrilla de agitación magnética	CIMAREC
Autoclave	PRESTO
Espectrofotómetro	EL CRISOL S.A. DE C.V.
Equipo de digestión tipo Kjeldahl	PIREX
Mufla eléctrica	Thermo SCIENTIFIC
Desecador	PIREX
Turbidímetro	HANNA Instruments
Microscopio electrónico de barrido	JEOL
Medidor de conductividad eléctrica	HM DIGITAL
Rotavapor	Heidolph

2.6 TÉCNICAS PARA LA DETERMINACIÓN DE ANÁLISIS FISICOQUÍMICOS

El agua es de vital importancia tanto para la vida humana como para el medio ambiente. Por lo tanto, es necesario tener como característica principal la gestión de la calidad del

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. México.

agua que se consume o que se utiliza como fuente natural o industrial en un proceso, ya que los diferentes cuerpos de aguas existentes se han deteriorado con el paso del tiempo debido a actividades humanas (factores residenciales, comerciales, agrícolas, industriales y otros de actividades antropogénicas) y actividades naturales, como factores atmosféricos, topográficos, hidrológicos, climáticos y litológicos (Uddin et al., 2021).

La evaluación de la calidad del agua estima las características físicas, químicas y biológicas del agua con relación a la calidad permitida para su uso o para las consecuencias que puede tener hacia la salud y el medio ambiente. Se han desarrollado una variedad de técnicas y herramientas que permiten realizar la caracterización de agua de manera segura, obteniendo datos confiables para posteriormente evaluar los datos (El Baba et al., 2020). Por ello, en el presente estudio, se exponen los parámetros correspondientes para realizar la evaluación de la calidad del agua de las muestras tomadas del cuerpo de agua en el ejido Úrsulo Galván, asi como también las técnicas y procedimientos marcados en las normas mexicanas.

El estudio de los parámetros fisicoquímicos permiten conocer la calidad en la que se encuentran los cuerpos de agua. Las técnicas principales utilizadas en México para la evaluación de la calidad del agua se determinan a partir de normas oficiales mexicanas, las cuales estan comprobadas y clasificadas según el origen del contaminante y del cuerpo receptor. Para el estudio correspondiente, se utilizaron las técnicas establecidas en la Norma Oficial Mexicana NOM-001-SEMARNAT-2021, que establece los límites permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en cuerpos receptores propiedad de la nación (SEMARNAT, 2021). A continuación, se muestra cada uno de los parámetros analizados, la norma correpondiente a su estudio y el procedimiento o técnica efectuado.

FÍSICOS

2.6.1 Turbidez

La turbidez se considera una propiedad óptica del agua, esto hace que la luz se disperse y pueda ser absorbida en vez de ser transmitida en línea recta en una muestra. Se mide en Unidades Nefelométricas de Turbidez (NTU) y se observa cuando una muestra de

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco México

agua presenta partículas suspendidas como arcilla, materia orgánica, limos y demás contaminantes precipitados como hierro y manganeso. La turbidez es un sinónimo de mala calidad de agua, pero no representa peligro para la salud humana, sin embargo, los niveles de turbidez pueden variar respecto al tiempo conforme a los cambios en las cuencas hidrográficas relacionados con eventos del ambiente como derrumbe y lluvias intensas (Stevenson, M., & Bravo, C., 2019).

El estudio de este parámetro se llevó a cabo a partir del procedimiento marcado en la norma mexicana NMX-AA-038-SCFI-2001, el cual se basa en la medición de la intensidad de luz dispersada en una muestra y una suspensión de referencia, todo esto en condiciones definidas, en este caso a mayor dispersión de luz que exista en una muestra, mayor será la turbidez presentada. Para este análisis se emplea un equipo y la muestra tuvo que ser analizada antes de cumplir 24 horas después de su recolección (SEMARNAT, 2000).

El diagrama 2.2 presenta el procedimiento general del análisis correspondiente.

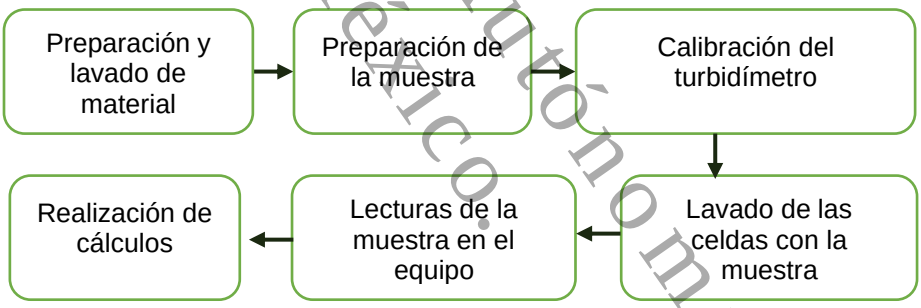


Diagrama 2.2. Procedimiento general del análisis de turbiedad.

En este parámetro de medición de turbiedad, la norma menciona el uso de dos procedimientos, el primero es el uso de un equipo portátil y el segundo empleando un equipo y reactivos de laboratorio, teniendo en cuenta que no existe una diferencia significativa de los resultados al momento de la ejecución de cualquier procedimiento. Para este proyecto se consideró para la medición de turbidez en la muestra, el uso del equipo portátil “Turbidímetro”.

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. México.

El equipo fue limpiado cuidadosamente y se calibró con base en el procedimiento descrito en el manual de usuario empleando las cuatro soluciones estándares de calibración, incluidas con el equipo: <0.1, 15, 100 y 750 NTU.

Para tener una lectura adecuada, se esperó que la muestra alcanzara la temperatura ambiente ya que se encontraba previamente refrigerada.

Las cubetas del equipo fueron lavadas con la muestra para tener una menor interferencia al momento de tomar las lecturas, posteriormente las cubetas se llenaron cuidadosamente con la muestra hasta 10 mL.

Posteriormente se cerró la cubeta, se limpió con un paño y se introdujo en el equipo. Después se cerró el equipo y se procedió a tomar la lectura, esperando a que la pantalla dejara de parpadear y mostrara la lectura estable de turbidez para cada muestra, tal y como se observa en la figura 2.7.

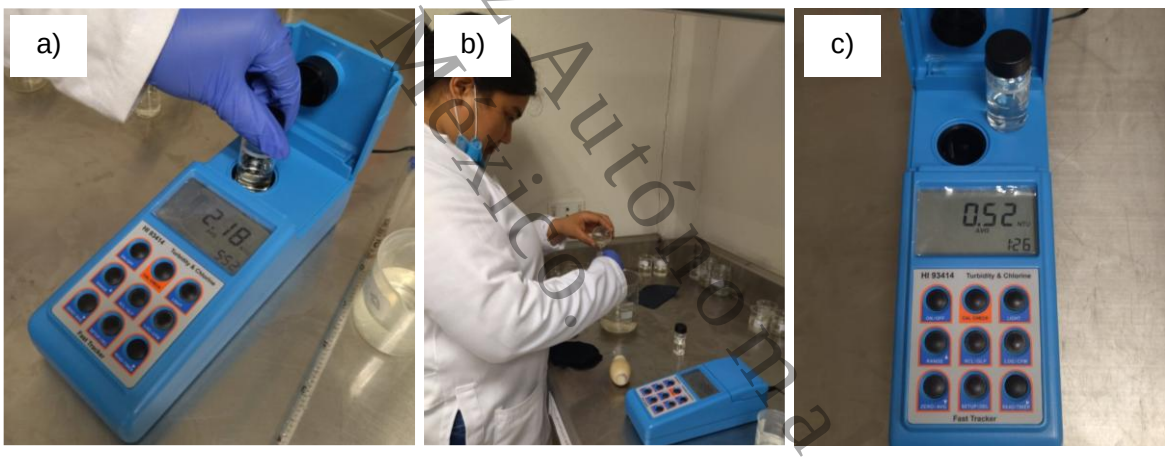


Figura 2.7. Procedimiento general del análisis de turbidez: **a)** Calibración del equipo de medición de turbiedad; **b)** Lavado y llenado de cubetas con la muestra; **c)** Medición de la muestra con el equipo.

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. México.

La prueba tuvo tres repeticiones por punto de muestreo y en este procedimiento las muestras fueron almacenadas en bidones de polietileno de alta densidad de 20 L.

Es importante que, durante la realización de este procedimiento se haga uso de guantes de nitrilo para un mejor manejo de las cubetas para muestras, así mismo las cubetas deben ser limpiadas cuidadosamente con el paño que trae incluido el equipo, eliminando cualquier agente que pueda interferir en el procedimiento de medición.

2.6.2 Sólidos sedimentables

Los sólidos sedimentables son partículas que se encuentran disueltas en el agua y son conocidos también como sólidos en solución (Summers, 2020). Estos sólidos mezclados son depositados en la parte inferior del recipiente durante un periodo de tiempo donde se produce la sedimentación por gravedad, durante esta fase los sólidos constituyen a una velocidad constante una interfaz sólido-agua, seguidamente crea una etapa de cambio donde intervienen la sedimentación por zona y la sedimentación por compresión, donde finalmente se asientan la mayor cantidad de partículas posibles (Wongburi, P. & Park, J.K., 2022).

El estudio de este parámetro se llevó a cabo a partir del procedimiento marcado en la norma mexicana NMX-AA-004-SCFI-2013, el cual se basa en el proceso de sedimentación de una cantidad de sólidos presentes en el agua durante un tiempo determinado, estos son depositados en el fondo de un cono Imhoff en condiciones estáticas. La muestra analizada fue previamente mezclada para asegurar una muestra homogénea de sólidos suspendidos a temperatura ambiente (SEMARNAT, 2013). El diagrama 2.3, presenta el procedimiento general de análisis correspondiente.

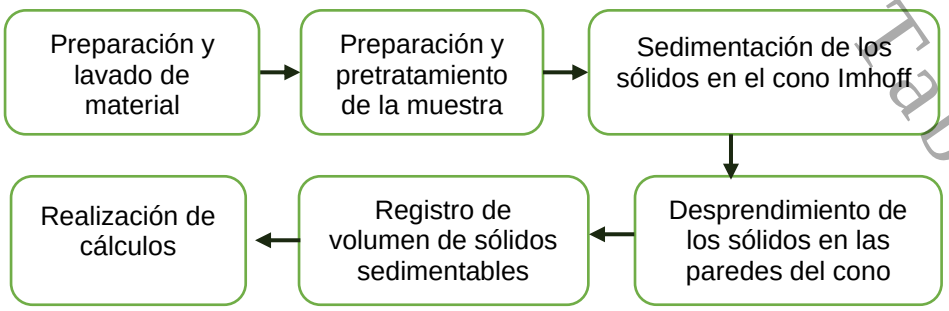


Diagrama 2.3. Procedimiento general del análisis de sólidos sedimentables

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. México.

La muestra para ser analizada no debe exceder más de 7 días, siendo el tiempo máximo de conservación. El almacenamiento así como la manipulación de la misma debe estar en condiciones específicas descritas por la norma, en este procedimiento las muestras fueron almacenadas en bidones de polietileno de alta densidad de 20 L. También es importante que la muestra a utilizar debe ser libre de material suspendidos tales como raíces, hojas y tallos, así como de partículas gruesas, causando burbujas de aire que pueden interferir con la lectura de este parámetro.

Se preparó y lavó el material a utilizar. Para un lavado adecuado del cono Imhoff debe ser realizado con jabón líquido libre de fosfatos (jabón neutro) y siempre utilizando guantes de nitrilo, ya que no debe presentar ningún sólido o partícula ajeno a la muestra a analizar, porque estos pueden generar alteraciones en las lecturas de volumen de sólidos sedimentables.

Una vez lavado el cono Imhoff, se realizó la preparación de la muestra. El cono y la probeta fueron lavados nuevamente por dentro con la muestra contenida en el bidón de polietileno de alta densidad de 20 L, para que no existieran interferencias de la lectura. Después, en una probeta se midió 1 L de la muestra y se agitó con el fin de que los sólidos presentes se distibuyeran de manera uniforme. La muestra mezclada se vertió cuidadosamente por sus paredes en el cono para que no existieran pérdidas de volumen. Posteriormente, con ayuda de un cronómetro se contaron 45 minutros desde que la muestra se vertió en el cono, una vez transcurrido el tiempo, se desprendieron los sólidos que se encontraban en las paredes del cono con ayuda del agitador de vidrio y se esperaron 15 minutos mas para que los sólidos se terminaran de sedimentar.

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. México

Finalmente, una vez transcurrido un total de 60 minutos (1 hora), se tomó la lectura en volúmen de los sólidos sedimentables a través de la graduación que presenta el cono (ml/L), como se muestra en la figura 2.8.

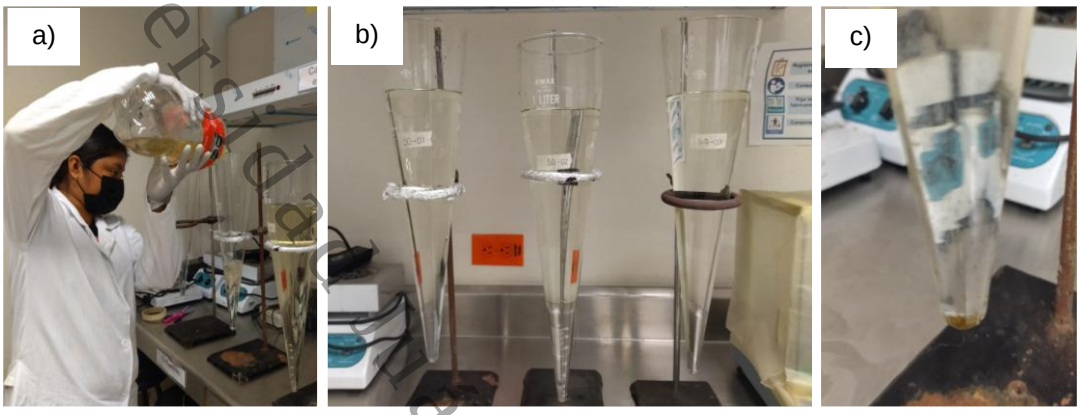


Figura 2.8. Procedimiento general del análisis de sólidos sedimentables: **a)** Llenado de los conos tipo Imhoff; **b)** Proceso de sedimentación de la muestra; **c)** Sedimento o sólidos sedimentables en ml/L.

La prueba tuvo tres repeticiones por punto de muestreo y es necesario, que durante la realización de este procedimiento el manejo de los materiales de vidrio sea de manera cuidadosa, haciendo uso de guantes de nitrilo.

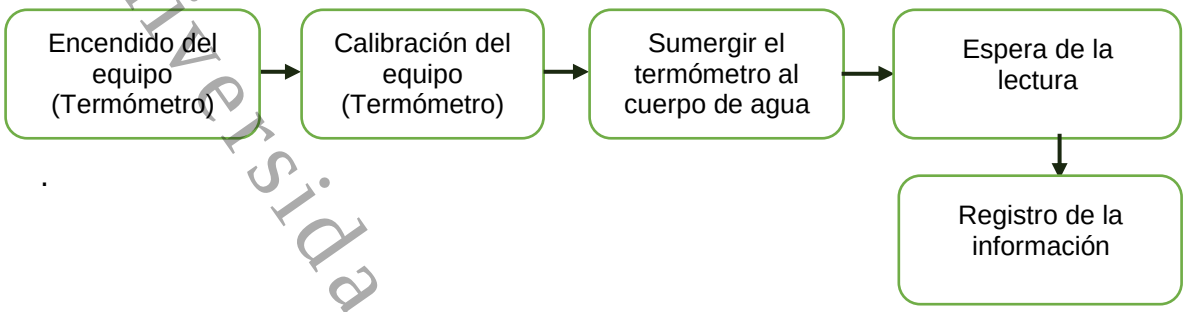
2.6.3 Temperatura

La temperatura es un parámetro que se encuentra presente en la Tierra y está presente en la adaptación de los organismos vivos, garantizando su supervivencia y reproducción. Cuando existe un aumento o disminución excesiva de temperatura puede afectar de manera negativa la fisionomía del organismo y esto se puede dar a causa del cambio climático (Sepulveda, J. & Moeller, A., 2020).

El estudio de este parámetro se llevó a cabo a partir del procedimiento marcado en la norma mexicana NMX-AA-007-SCFI-2000, el cual se basa en la medición de la energía térmica del cuerpo de agua utilizando un instrumento, en este caso un termómetro de inmersión, el cual permite una lectura acertada del agua. El análisis se determinó de manera instantánea con base en la norma, es decir, se tomaron directamente las lecturas, sin extraer muestra, sumergiendo el termómetro en el cuerpo de agua a analizar

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. México.

(SEMARNAT, 2000). El diagrama 2.4, presenta el procedimiento general del análisis correspondiente.



.

Diagrama 2.4. Procedimiento general del análisis de temperatura

El equipo se limpió adecuadamente con agua destilada y se secó con una toalla de microfibra, siempre manipulando el termómetro con guantes de nitrilo, por seguridad del analista, se calibró y verificó que el equipo estuviera en la escala Celsius (°C).

Una vez acondicionado el equipo, se realizó la búsqueda del punto de muestreo y este debía presentar una temperatura de 5°C mayor a la temperatura ambiente, para que no existieran interferencias con las lecturas obtenidas. Después de establecer el lugar para medir el parámetro, se sumergió el termómetro y se esperó a que la pantalla mostrara la temperatura que presentó el cuerpo de agua.

En la figura 2.9, se observa el procedimiento que se llevó a cabo para realizar el análisis directo en los puntos de muestreo de la zona.

Figura 2.9. Procedimiento general *in situ* del análisis de temperatura.

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. México.

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco México.

Es importante que, durante la realización de este procedimiento sea un punto de muestreo con una temperatura ± 5°C, en caso de presentarse esta anomalía, se requiere extraer como mínimo 1 L de muestra y medir de manera inmediata la temperatura. Este procedimiento tuvo tres repeticiones por cada punto de muestreo.

2.6.4 Sólidos y sales disueltas

La cantidad de sólidos y sales disueltas en las muestras se determinó a partir del procedimiento indicado en la norma mexicana NMX-AA-034-SCFI-2015, la cual indica la medición cuantitativa de los sólidos y sales contenidos en el agua a través de la evaporación y calcinación de la muestra, ya sea filtrada o sin filtrar (según sea su caso), ya que para este parámetro se realizó más de un procedimiento por los diferentes tipos de sólidos existentes. Como los residuos contenidos son pesados sirvieron como base para el cálculo de la cantidad de cada uno de estos.

El diagrama 2.5, representa la metodología general del análisis de sólidos y sales disueltas.

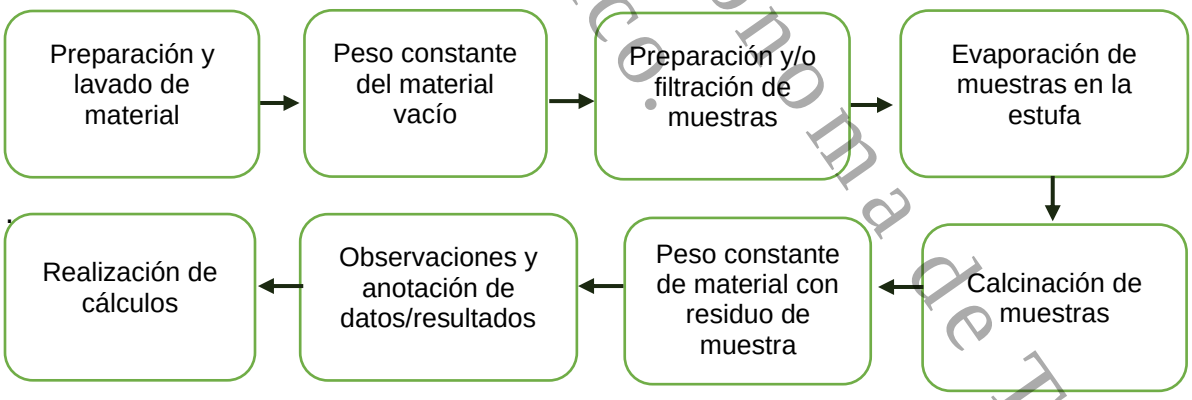


Diagrama 2.5. Procedimiento general del análisis de sólidos y sales disueltas.

- *Sólidos totales (ST)*

El procedimiento para determinar la concentración de sólidos totales se basa en la diferencia del peso de la cápsula de porcelana vacío y la cápsula de porcelana con la

muestra, realizando el proceso de peso constante para ambos. Para este estudio, se utilizaron cápsulas de porcelana de aproximadamente 30 mL las cuales se lavaron y secaron a temperatura ambiente, para posteriormente llevarlas a la estufa a una temperatura de 105 °C ± 5 °C por dos horas, enfriarlas a temperatura ambiente y registrando su peso con ayuda de una balanza analítica. Este proceso fue realizado hasta tener un peso constante en las cápsulas o hasta contar con una diferencia mínima de 0.0005 g en dos pesos consecutivos.

Cuando el proceso de peso constante se llevó a cabo con las cápsulas, se colocaron 20 mL de muestra (a temperatura ambiente) en la cápsula y se llevó a sequedad total en una estufa a 105 °C ± 2 °C por aproximadamente cinco horas o hasta que el agua de la muestra se evaporó completamente y solo quedó el residuo sólido en el fondo.

Se realizó el proceso de masa constante para las cápsulas con la muestra utilizando el horno 105 °C ± 5 °C por dos horas, se enfriaron a temperatura ambiente y se registró su peso en la balanza. Una vez registrados los datos, se calculó la concentración de sólidos totales para cada muestra utilizando la siguiente fórmula:

$$\boldsymbol{ST = \frac{(m_f - m_i)}{V}(1000000)} \qquad (1)$$

Donde:

- ST: sólidos totales (mg/L).
- m_f: masa de la cápsula con el residuo después de la evaporación (g).
- m_i: masa de la cápsula vacía a masa constante (g).
- V: volumen de muestra (L).

- *Sólidos totales volátiles (STV)*

Para este estudio, se introdujo la cápsula de porcelana con el residuo de la muestra que se utilizó para el cálculo de sólidos totales a la mufla a 550 °C ± 50 °C durante 15 a 20 minutos, posteriormente se trasladó al horno a 105 °C ± 5 °C por 30 minutos dejando enfriar a temperatura ambiente la cápsula y registrando su peso hasta llevarla a peso

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. México.

constante. Se registraron los datos de cada muestra y se calculó su concentración a partir de la siguiente fórmula:

$$\mathbf{STV} = \frac{(\mathbf{m_f} - \mathbf{m_c})}{\mathbf{V}}(\mathbf{1000000}) \qquad (2)$$

Donde:

- STV: sólidos totales volátiles (mg/L).
- m_f: masa de la cápsula con el residuo después de la evaporación en la estufa (g).
- m_c: masa de la cápsula con el residuo después de la calcinación en la mufla (g).
- V: volumen de muestra (L).

En la figura 2.10, se observa el procedimiento general realizado para la determinación de sólidos y sales disueltas en la zona de muestreo.

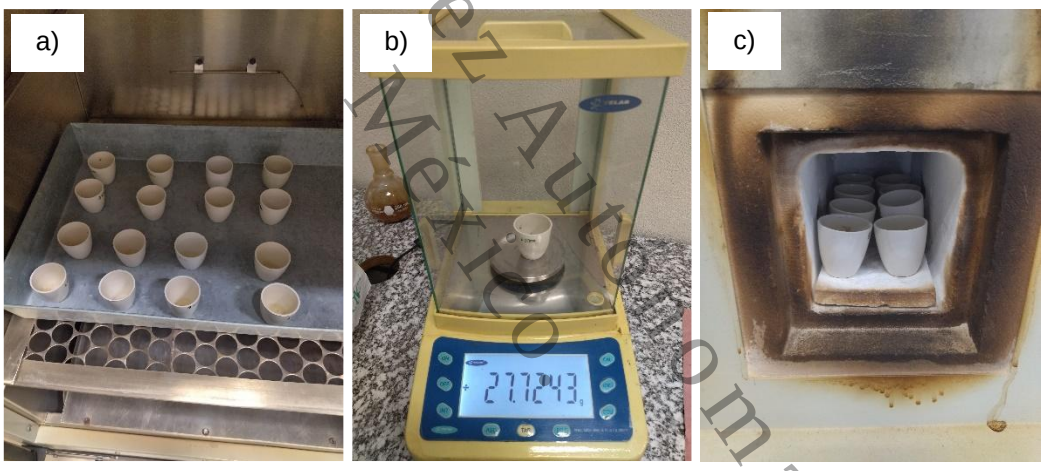


Figura 2.10. Procedimiento general del sólidos y sales disueltas: **a)** Cápsulas con muestra llevadas a sequedad para el cálculo de ST; **b)** Peso constante de la cápsula con el residuo de la muestra; **c)** Calcinación de la muestra en la mufla para el análisis de STV.

2.6.5 Grasas y aceites

Las grasas y aceites son compuestos orgánicos constituidos principalmente por ácidos grasos de origen animal y vegetal, así como de hidrocarburos y derivados del petróleo. De acuerdo con la NMX-AA-005-SCFI-2021, la medición de grasas y aceites es indicativa del grado de contaminación del agua por usos industriales y humanos que se le da (SEMARNAT, 2013). Hay que tener en cuenta que los cuerpos de agua con altos contenidos de grasas y aceites son un riesgo para la salud y el medio ambiente.

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. México

El estudio de este parámetro se llevó a cabo a partir del procedimiento marcado en la norma mexicana NMX-AA-005-SCFI-2013, el cual se basa en el proceso de adsorción de grasas y aceites en tierra de diatomeas en un equipo de extracción por recirculación (equipo Soxhlet) utilizando hexano como disolvente. Una vez terminado el proceso de extracción, se evapora el disolvente y el residuo almacenado en el recipiente de extracción, será la cantidad de grasas y aceites contenidos.

El diagrama 2.6, presenta el procedimiento general del análisis correspondiente.

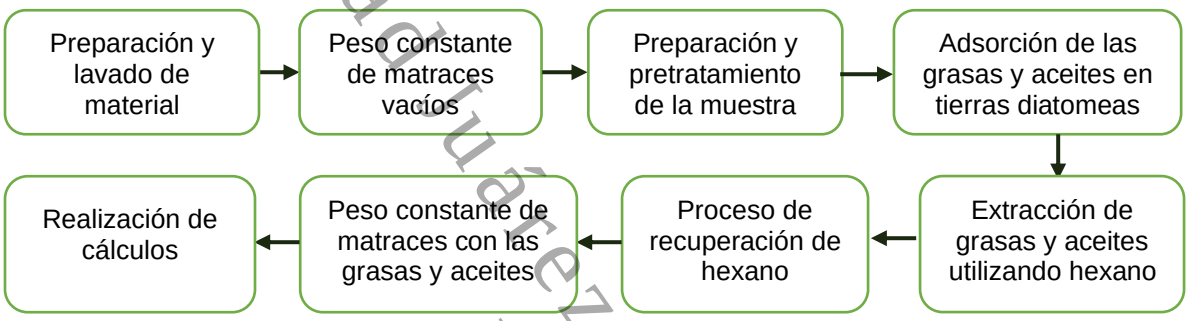


Diagrama 2.6. Procedimiento general del análisis de grasas y aceites.

La ecuación utilizada para determinar la cantidad de grasas y aceites contenidos en la muestra requiere una diferencia de pesos entre el recipiente de extracción vacío y el que contiene el residuo. En este caso, el recipiente de extracción que se utilizó y el cual es el marcado en la norma mexicana, es un matraz balón de fondo plano de 250 ml.

Se preparó y lavó el material y equipo a utilizar. Es muy importante que el lavado de los matraces y el equipo Soxhlet se realice con jabón libre de fosfatos, surfactante comercial y enjuagado con abundante agua, utilizando siempre guantes para no tocar directamente el matraz.

Se introdujo el matraz de extracción al horno a una temperatura de 105 °C hasta llevarlo a peso constante, teniendo una diferencia de ≤ 0.0005 g en tres pesadas consecutivas.

Una vez que se tuvo preparado el matraz de extracción se realizó la preparación y pretratamiento de la muestra colocando 1 L de agua en una probeta y midiendo su pH, si el pH no era ≤ 2 se colocaron 5 ml de ácido sulfúrico diluido (relación 1:1) en la muestra. Posteriormente, se preparó una mezcla de 10 g de tierra de diatomeas y 100 ml de agua

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, México

y se colocó en el papel filtro que se ajusta al equipo de absorción (es importante absorber el agua contenida de la mezcla y desecharla). Cuando se tuvo una superficie uniforme de la tierra diatomea en el papel filtro, se colocaron pequeñas cantidades de la muestra de agua hasta que se filtrara el litro totalmente, logrando así, visualizar la grasa y aceite contenida en la tierra diatomea.

El papel filtro que contenía la tierra diatomea, se llevó al horno a una temperatura de 40 °C por 40 minutos y se dejó enfriar por 30 minutos. Una vez hecho esto, se colocó el cartucho o papel filtro con la muestra en el equipo de extracción y se colocaron 100 ml de hexano en el matraz de extracción, realizando así el proceso de ebullición con una mantilla o parrilla de calentamiento hasta que se observó el primer ciclo de ebullición. En cuanto se determinó el primer ciclo, se extrajo la muestra a una velocidad de 20 ciclos/h durante 4 horas, controlando siempre la temperatura de condensación para evitar derrames de solvente. Se desechó el papel filtro con la tierra diatomea, se recuperó el hexano contenido en el matraz de extracción con ayuda de un rotavapor o equipo de destilación simple y, nuevamente, se introdujo el matraz de extracción con el residuo al horno a una temperatura de 105 °C hasta llevarlo a peso constante.

Obteniendo los datos del peso del matraz de extracción vacío y con el residuo, se realizan los cálculos correspondientes a la cantidad de grasas y aceites utilizando la siguiente fórmula:

$$\mathbf{GyA} = \frac{(\mathbf{m_f} - \mathbf{m_i})(\mathbf{1\ 000\ 000})}{\mathbf{V_m}} - \mathbf{B} \qquad (3)$$

En donde:

- GyA: cantidad de grasas y aceites recuperables (mg/L).
- m_f: masa final constante del recipiente de extracción con el residuo (g).
- m_i: masa inicial constante del recipiente vacío (g).
- V_m: volumen de la muestra acidificada recuperada después de la filtración (L).
- 1 000 000 factor de conversión de g/ml a mg/l.

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. México.

- B es el volumen del blanco.

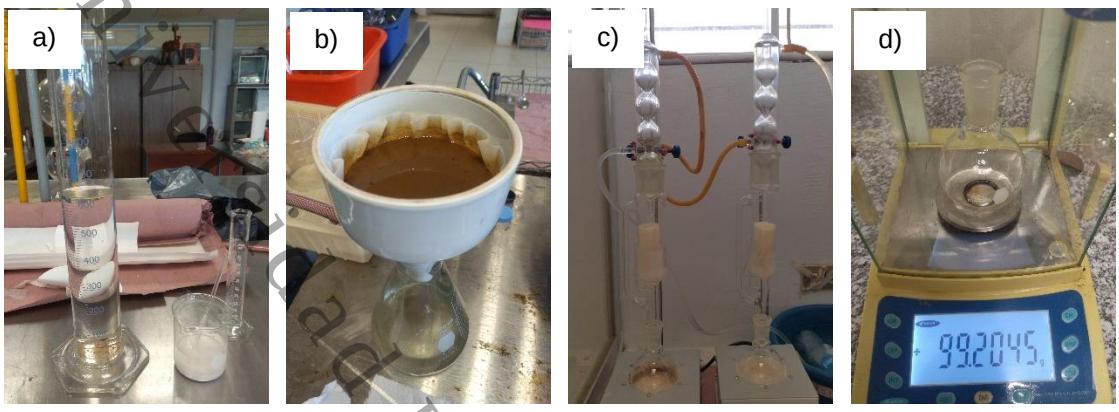


Figura 2.11. Procedimiento general del análisis de grasas y aceites: **a)** Pretratamiento de la muestra; **b)** Adsorción de grasas y aceites en tierra diatomeas; **c)** Extracción de grasas y aceites en el equipo Soxhlet; **d)** Peso constante de matraces con muestra.

En la figura 2.11, se observa el procedimiento general realizado en la determinación de grasas y aceites. Esta técnica se llevó a cabo para cada muestra de la zona estudiada (S0, S1, S2.1, etc.), realizando así 3 repeticiones de cada una con el propósito de obtener resultados más precisos.

Es muy importante que, la realización de este procedimiento se lleve a cabo de manera cuidadosa utilizando guantes y pinzas para el manejo del material, ya que, si existe contacto directo del cuerpo u otra cosa con el matraz de extracción, este podría absorber la grasa contenida de la piel o de otro cuerpo modificando de manera significativa los resultados obtenidos. Además, el recipiente (de polietileno o vidrio) utilizado para el muestreo y resguardo del agua, se utiliza exclusivamente para el análisis de grasas y aceites, es decir, es necesario utilizar recipientes de 1 litro, ya que el manejo y/o uso constante de las muestras modifica la cantidad de grasas y aceites contenidos tanto en el agua como en el recipiente.

2.6.6 Conductividad eléctrica

La conductividad eléctrica es una medida de la concentración total iónica que posee un cuerpo de agua y que se encuentra sujeto de los procesos hidrogeoquímicos que caracterizan una cuenca o zona (Cano-Paoli et al., 2019). La conductividad eléctrica o electrolítica es la capacidad de una solución para transportar una corriente eléctrica entre

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. México.

dos electrodos, cuanto mayor sea la concentración de sal mayor será la capacidad de conducción, por ello, los valores de alta o baja conductividad influyen en la biota acuática (flora y fauna) así como a los organismos vivos en la zona (Corwin & Yemoto, 2020).

El análisis correspondiente a la conductividad eléctrica se determinó partiendo del procedimiento indicado en la norma mexicana NMX-AA-093-SCFI-2000, el cual se basa en la capacidad que tiene el agua de conducir corriente eléctrica cuando posee iones disueltos y en el uso del equipo de medición de conductividad (conductímetro) que reside en una fuente de corriente alterna, un indicador de valor nulo, un puente de Wheatstone y un instrumento que mida el indicador de corriente alterna y su voltaje, determinando así una lectura de la conductividad, así también un indicador de temperatura. El presente diagrama 2.7, señala el procedimiento general del análisis.

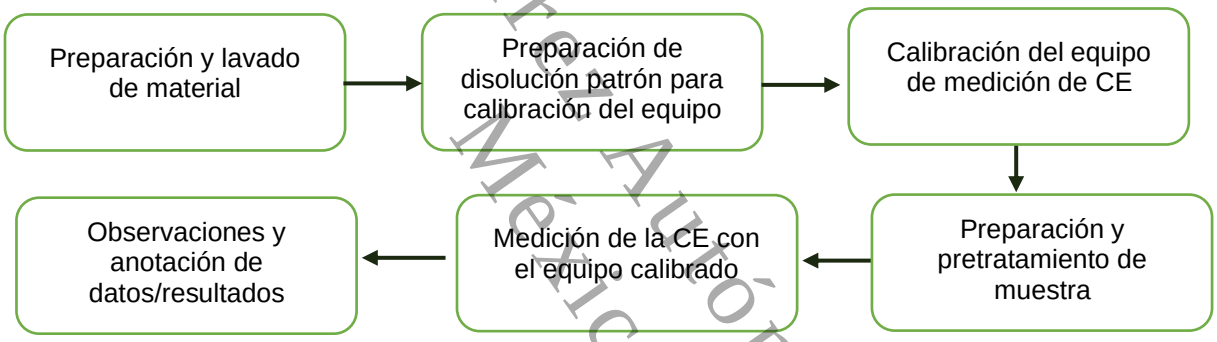


Diagrama 2.7. Procedimiento general del análisis de conductividad eléctrica (CE).

La norma señala el uso de recipientes de vidrio para la medición de la conductividad eléctrica. Para esto, se usaron vasos de precipitado de 100 mL.

Es necesario lavar de manera adecuada el material que se utiliza, por ello, se preparó y lavó el material con jabón libre de fosfatos y se secó a temperatura ambiente o con toallas de papel. Posterior a esto, se preparó la solución patrón de cloruro de sodio (que debe mantenerse a temperatura ambiente), con la cual se calibró el equipo de medición de conductividad. La calibración del equipo se realizó a partir del procedimiento marcado en el manual de instrucción del fabricante y, una vez calibrado el equipo, el cartucho de electrodo se enjuagó con abundante agua para medir la conductividad eléctrica.

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. México.

Se utilizó un volumen de 60 mL de muestra para medir la conductividad. El electrodo del equipo se sumergió en la muestra por aproximadamente 15 segundos para posteriormente anotar los datos/resultados del valor de la conductividad que mostró la pantalla digital del equipo de medición.

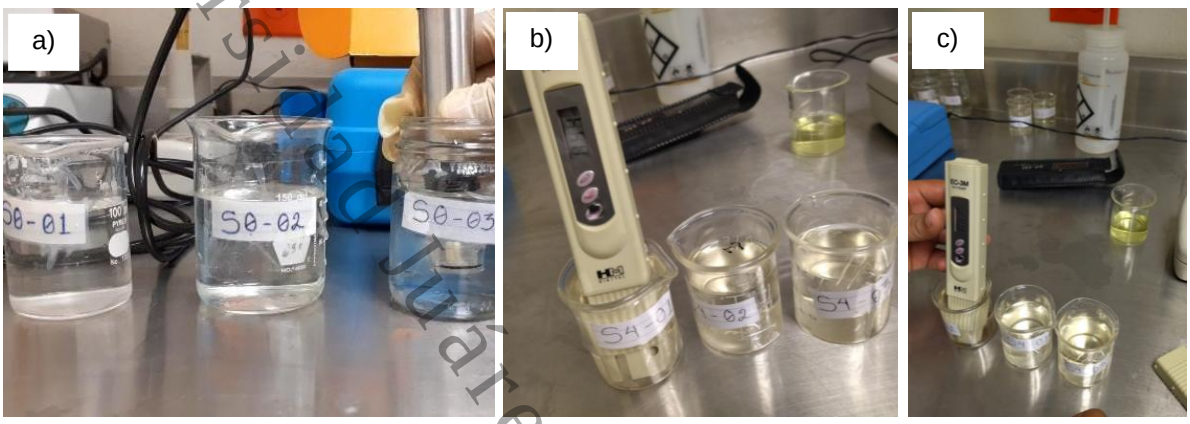


Figura 2.12. Procedimiento general del análisis de medición de conductividad: **a)** Preparación de la muestra; **b)** Calibración del equipo medidor de conductividad (conductímetro); **c)** Medición de conductividad en las muestras.

En la figura 2.12, se observa el procedimiento marcado en la norma para el análisis de conductividad eléctrica, el cual se llevó a cabo 3 veces para cada una de las muestras (S0, S1, S2.1, S2.2, etc.), esto con la finalidad de realizar un promedio y obtener resultados más precisos para el análisis de la magnitud de conductividad eléctrica presente en la muestra. Es necesario que las mediciones correspondientes se realicen dentro de las primeras 24 horas desde su traslado ya que el manejo continuo de las muestras modifica o alteran los resultados correspondientes.

QUÍMICOS

2.6.7 Acidez y alcalinidad

Se entiende el concepto de acidez como la cantidad de iones hidronio (H_3O^+) producidos por la disociación de sustancias disociables en agua como son los ácidos débiles, fuertes y de fuerza media, es decir, es la cantidad de ácidos presentes en una solución. La presencia de cationes metálicos como el hierro III y el aluminio III también contribuyen a la producción de acidez en el medio (SEMARNAT, 2001). La alcalinidad se refiere a la cantidad de iones hidroxilo (OH^-) producto de las sustancias hidrolizables en agua como

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. México.

son los hidróxidos de los metales alcalinotérreos y las bases fuertes, es decir, es la capacidad de agua de neutralización de ácidos. Asimismo, contribuye a la producción de alcalinidad la existencia de carbonatos, boratos, fosfatos y silicatos en el medio.

Partiendo del procedimiento marcado en la norma mexicana NMX-AA-036-SCFI-2001, se determinó el análisis de la cantidad de acidez y alcalinidad presente en el agua. Este procedimiento delimita la medición de la acidez o alcalinidad a través de una valoración de la muestra de agua utilizando como solución valorante un ácido o una base (álcali) según sea el caso. El presente diagrama 2.8, representa el procedimiento general realizado para la medición de acidez y alcalinidad en agua.

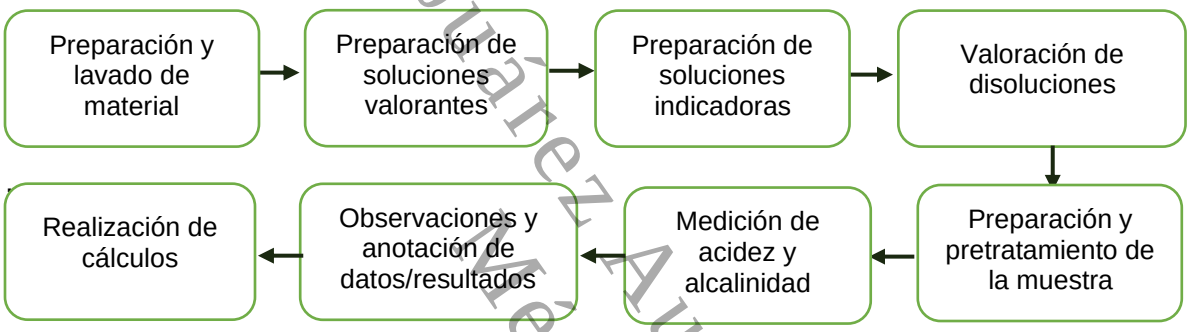


Diagrama 2.8. Procedimiento general del análisis de acidez y alcalinidad.

El procedimiento marcado en la norma señala el uso de material limpio y seco, por ello, se lavó todo el material utilizando jabón libre de fosfatos y se enjuagó con abundante agua y se secó a temperatura ambiente o con ayuda de una secadora de cabello. Posterior a ello, se realizó la búsqueda de los reactivos correspondientes para la preparación de las soluciones valorantes y las soluciones indicadoras.

Es importante desarrollar la valoración de cada disolución valorante para comprobar que la normalidad sea la correcta, por ello se realizó la valoración del ácido sulfúrico preparando una solución de 25 mL de carbonato de sodio (patrón primario) a la cual se le añadieron 3 gotas de solución indicadora naranja de metilo y se tituló con una disolución de ácido sulfúrico 0.02 N hasta alcanzar el vire de color del indicador (de canela a amarillo). La valoración del hidróxido de sodio 0.02 N se desarrolló preparando una solución patrón de 25 mL de biftalato de potasio a la cual se le añadieron 3 gotas de

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. México.

solución indicadora fenolftaleína y se tituló con la disolución de hidróxido de sodio 0.02 N hasta alcanzar el vire del indicador (de incoloro a rosa).

- *Acidez*

Se preparó una disolución de hidróxido de sodio 0.02 N, la cual se utiliza como agente valorante en el análisis de acidez, y una solución indicadora de fenolftaleína. La cantidad de reactivo utilizado en cada una de estas soluciones se encuentran señaladas en la norma correspondiente.

Seguidamente, se transfirieron 100 mL de la muestra de agua a un matraz Erlenmeyer, se adicionaron 2 gotas de la solución de fenolftaleína y se colocó un agitador magnético dentro del matraz. Se preparó el equipo de agitación y la bureta con la disolución valorante, se colocó el matraz con la muestra en la parrilla de agitación y se tituló la muestra con la solución de hidróxido de sodio 0.02 N hasta que se desarrollara el vire de color (de incoloro a rosa). Se anotaron los mililitros de valorante utilizado y se calculó la acidez utilizando la siguiente fórmula.

$$\textbf{Acidez total como } \mathbf{CaCO_3} \textbf{ en } \frac{\mathbf{mg}}{\mathbf{L}} = \left[\frac{(\mathbf{A}*\mathbf{B})-(\mathbf{C}*\mathbf{D})]*\mathbf{50}*\mathbf{1000}}{\mathbf{100}}\right] \qquad (4)$$

donde:

- 100: volumen de la muestra en mL.
- A: volumen de NaOH utilizado al vire de la fenolftaleína.
- B: normalidad de la disolución de NaOH.
- C: mL de H_2SO_4 utilizados en el tratamiento con peróxido.
- D: normalidad del H_2SO_4 utilizado.
- 50: factor para convertir eq/L a mg $CaCO_3$/L.
- 1 000: factor para convertir mL a L.

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. México.

En la figura 2.13, se muestra el procedimiento realizado en la determinación de acidez.

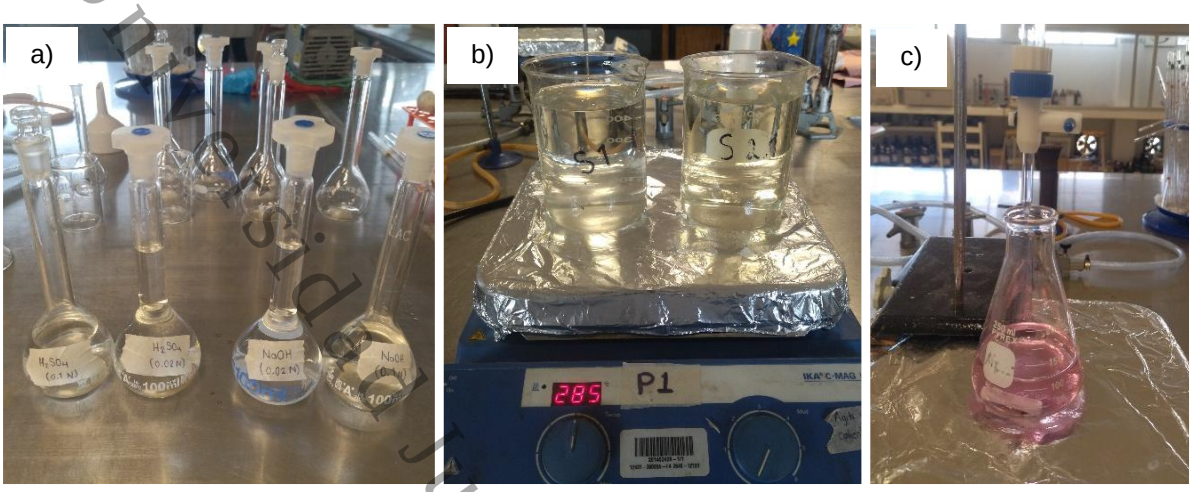


Figura 2.13. Procedimiento general del análisis de medición de acidez: **a)** Preparación de soluciones valorantes e indicadoras; **b)** Preparación y pretratamiento de la muestra; **c)** Valoración de la muestra con la solución de hidróxido de sodio.

- *Alcalinidad*

Para la medición de la alcalinidad, se llevó a cabo la preparación de una disolución de ácido sulfúrico 0.02 N como agente valorante y una solución de naranja de metilo como agente indicador. El volumen o gramaje de cada reactivo utilizado para el desarrollo de estas soluciones se encuentran marcadas en la norma correspondiente.

Posterior a esto, se tomaron 100 mL de la muestra y se colocaron en un matraz Erlenmeyer de 250 mL, adicionando 2 gotas de solución indicadora de naranja de metilo y un agitador magnético. Se colocó la disolución de ácido sulfúrico 0.02 N en una bureta y se instaló el equipo de agitación para colocar el matraz que contenía la muestra sobre este, titulando así la muestra de agua con la solución valorante hasta que alcanzó su vire de color (de canela a amarillo). Se registraron los mililitros de solución valorante utilizado en la titulación y se calculó la cantidad de alcalinidad bajo la siguiente fórmula.

$$\textbf{Alcalinidad total como } \mathbf{CaCO_3} \textbf{ en } \frac{\textbf{mg}}{\textbf{L}} = \left[\frac{(\mathbf{A}*\mathbf{N})*\mathbf{50}*\mathbf{1000}}{\mathbf{100}}\right] \quad (5)$$

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. México.

donde:

- A: volumen total gastado de ácido en la titulación al vire del anaranjado de metilo en mL.
- N: normalidad de la disolución de ácido.
- 100: volumen de la muestra en mL.
- 50: factor para convertir eq/L a mg $CaCO_3$/L.
- 1 000: factor para convertir mL a L.

En la figura 2.14, se muestra el procedimiento realizado en la determinación de alcalinidad.

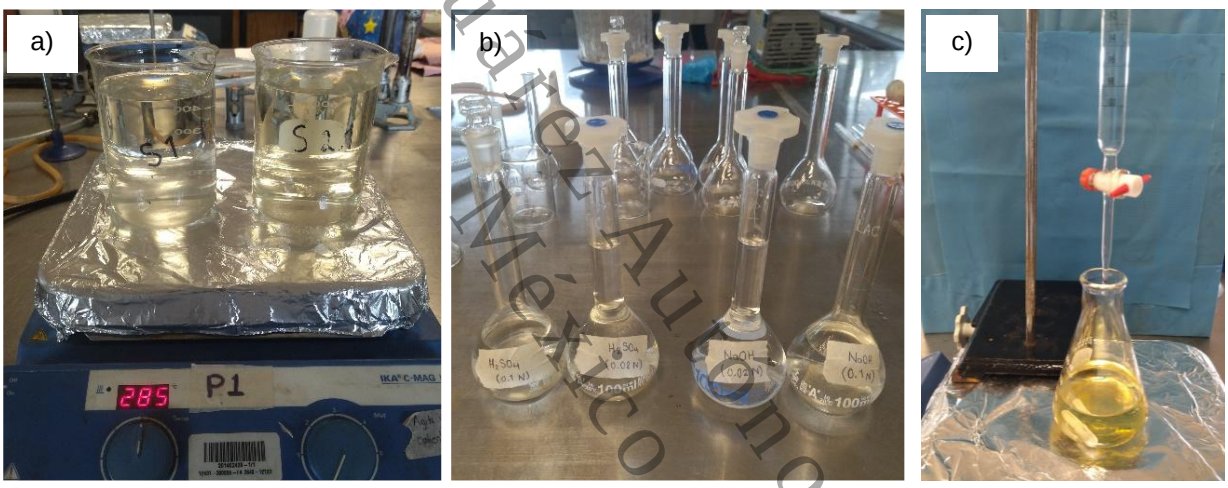


Figura 2.14. Procedimiento general del análisis de medición de alcalinidad: **a)** Preparación de soluciones valorantes e indicadoras; **b)** Preparación y pretratamiento de la muestra; **c)** Valoración de la muestra con la solución de ácido sulfúrico.

Es importante, que los análisis de acidez y alcalinidad se lleven a cabo dentro de las primeras 24 horas desde la recolección de las muestras, debido a que el resguardo y manipulación del agua modifica significativamente su estado alterando así los resultados correspondientes. El método para la medición de este parámetro señalado en la norma mexicana se realizó 3 veces por cada muestra obtenida (S0, S1, S2.1, S2.2, etc.), esto con el objetivo de obtener resultados certeros cuando se haga un promedio de los valores de acidez y alcalinidad para cada muestra.

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. México.

2.6.8 Oxígeno disuelto (OD)

El oxígeno disuelto es la cantidad de oxígeno que se encuentra disuelto en el agua. En un cuerpo de agua, la mayoría de los organismos acuáticos necesitan oxígeno para sobrevivir y crecer, por lo tanto, la insuficiencia de oxígeno disuelto podría causar la muerte o reducción de crecimiento de los organismos que se encuentren viviendo en ese medio (Iñiguez-Granda et al., 2023).

El análisis de este parámetro se determinó a partir del procedimiento señalado en la norma mexicana NMX-AA-012-SCFI-2001, la cual indica el uso del equipo de medición de oxígeno disuelto utilizando el método electrométrico donde los electrodos de membrana sensible están constituidos por dos electrodos (cátodo y ánodo) de metal en contacto con un electrolito. Generalmente, el material con el cual está fabricado el cátodo es oro o platino y es donde ocurre la reducción del oxígeno y en el ánodo es donde se lleva a cabo la oxidación del metal, el cual está hecho de plata o plomo (SEMARNAT, 2001). El diagrama 2.9, representa el procedimiento general del análisis correspondiente.

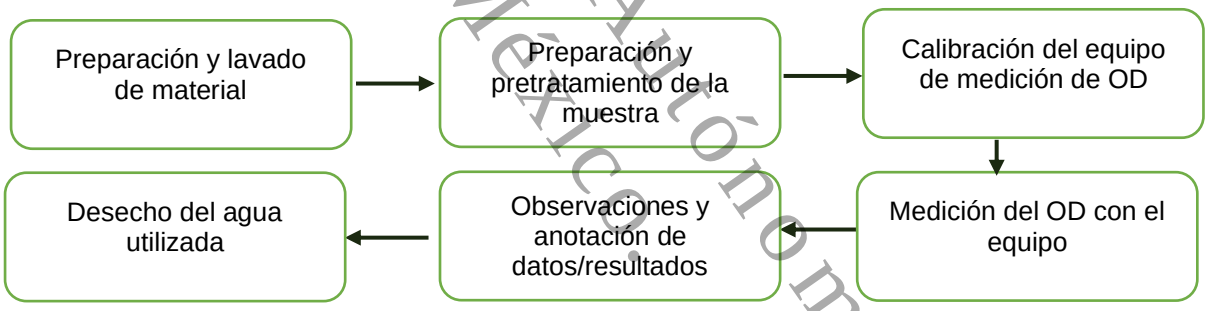


Diagrama 2.9. Procedimiento general del análisis de oxígeno disuelto (OD).

La norma marca el uso de recipientes de vidrio de aproximadamente 100 mL para la medición del oxígeno disuelto (OD). En este caso, se utilizaron vasos de precipitado de 100 mL.

Se preparó y lavó el material a utilizar. El lavado del material se realizó con jabón libre de fosfatos y secado a temperatura ambiente. Posteriormente, se calibró el equipo de medición de oxígeno disuelto a como se especifica en el manual de uso.

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. México.

En un vaso de precipitado de 100 mL se adicionó 60 mL de muestra previamente agitada de manera que las partículas estuvieran distribuidas uniformemente. Se colocó el electrodo del equipo de medición de tal forma que quedara sumergido en la muestra por 10 segundos y se anotaron los datos/resultados que se visualizaron en la pantalla digital del equipo para cada una de las muestras.

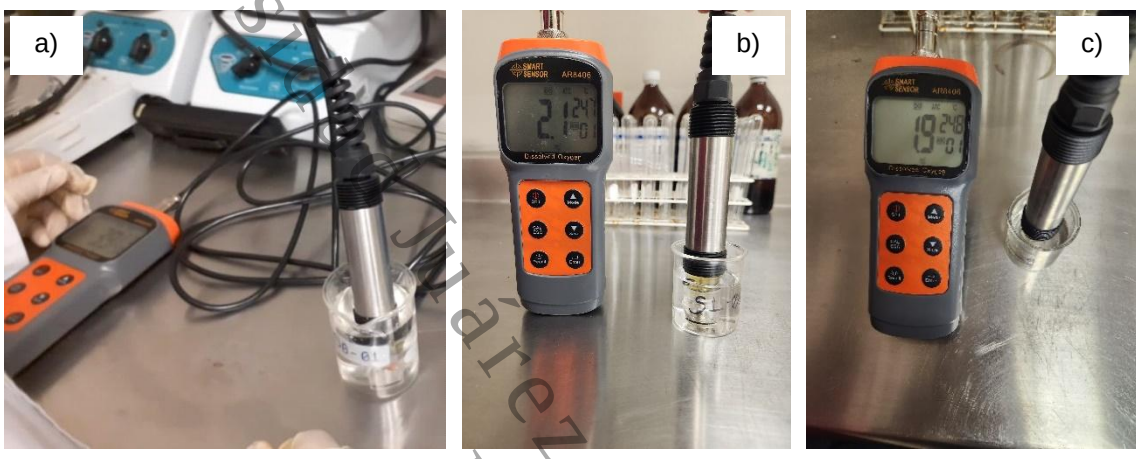


Figura 2.15. Procedimiento general del análisis de medición oxígeno disuelto: **a)** Calibración del equipo de medición de oxígeno disuelto; **b)** Medición de concentración de OD en las muestras; **c)** Lectura de concentración de OD en las muestras.

En la figura 2.15, se observa el método y equipo usado en la determinación de oxígeno disuelto. El procedimiento correspondiente a este análisis se realizó 3 veces para cada una de las muestras o zonas estudiadas (S0, S1, S2.1, S2.2, etc.) con el fin de obtener resultados más precisos realizando un promedio.

Es necesario que el estudio se lleve a cabo dentro de las primeras 24 horas de la extracción o muestreo del agua, ya que el tiempo de almacenamiento es un factor significativo en la lectura de datos, modificando así la cantidad de oxígeno disuelto (OD) presente en la muestra.

2.6.9 Demanda Química de Oxígeno (DQO)

La demanda química de oxígeno (DQO) es un parámetro importante para realizar la evaluación del nivel de carencia o exceso de oxidación química presente en un cuerpo de agua donde existen diversos productos orgánicos. En otras palabras, este parámetro es indispensable para saber la cantidad de oxígeno molecular (O_2), expresada en miligramos, necesarios para llevar a cabo la descomposición de todas las sustancias

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. México.

orgánicas presentes en un litro de agua en CO_2 y H_2O mediante el proceso de oxidación química (Elfeky et al., 2022).

La norma mexicana de la cual se tomó el procedimiento para llevar a cabo el análisis correspondiente a la demanda química de oxígeno (DQO) en agua fue la NMX-AA-030/1-SCFI-2012, que establece el proceso de reflujo de la muestra frente a una solución de sulfato de mercurio (II), una disolución de dicromato de potasio y un catalizador de plata en ácido sulfúrico concentrado. Durante el proceso, el dicromato de potasio se reduce debido a material oxidante presente. Se realiza una titulación del sedimento de dicromato de potasio con una solución de sulfato ferroso amoniacal como agente valorante y ferroín como indicador (SEMARNAT, 2013). El proceso general para la determinación de este parámetro se muestra en el diagrama 2.10.

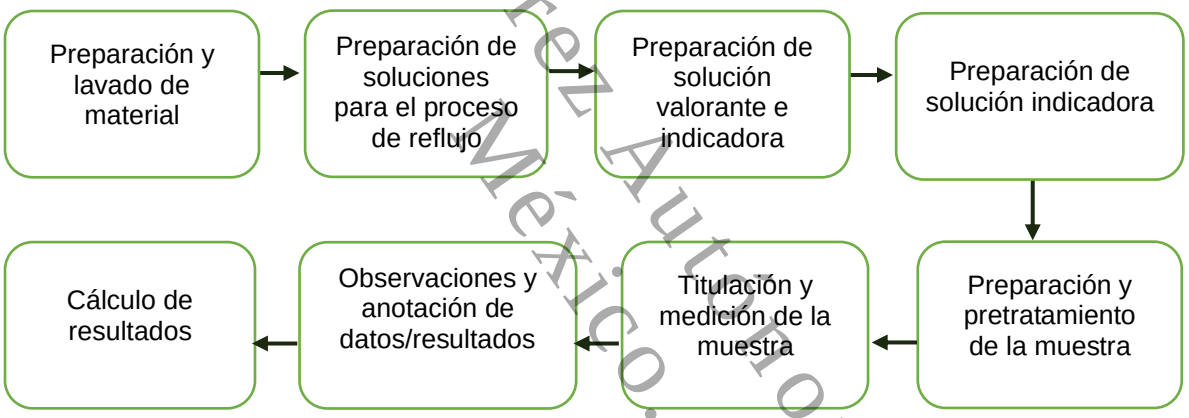


Diagrama 2.10. Procedimiento general del análisis de demanda química de oxígeno (DQO).

Para todo tipo de proceso experimental que se realice en el laboratorio es necesario utilizar materiales y equipos limpios y secos. Por ello, para el procedimiento utilizado para la determinación de la DQO en las muestras todo el material se lavó con jabón libre de fosfatos y abundante agua destilada. Después se secó a temperatura ambiente o en una estufa a una temperatura de 50 °C por 30 minutos.

El procedimiento señala el uso de disoluciones para el proceso de reflujo y titulación (solución valorante e indicadora) de la muestra, por lo tanto, se prepararon soluciones de sulfato de plata-ácido sulfúrico, dicromato de potasio 0.040 mol/L (alta concentración), sulfato ferroso amoniacal (FAS) 0.12 mol/L (alta concentración) como agente valorante

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. México.

e indicador ferroín mezclando sulfato ferroso amoniacal hexahidratado en agua y 1,10-fenantrolina monohidratada, agitando la mezcla hasta formar una solución.

Consecutivo a esto, se templó la muestra a temperatura ambiente ya que, como se mencionó en el apartado de muestreo, las muestras se deben mantener en refrigeración durante su resguardo. Se colocaron 10 mL de la muestra en un matraz de reacción, una cantidad de sulfato de mercurio (II), unos mililitros de dicromato de potasio 0.040 mol/L y perlas de ebullición e inmediatamente se conectó el equipo de condensación al matraz para llevarlo a ebullición por 10 ± 5 minutos. Se enfrió el equipo y se enjuagó el condensador con agua destilada para después dejar enfriar la solución con la muestra a temperatura ambiente.

Se colocaron tres gotas de indicador de ferroín en la solución con la muestra ya templada y se tituló con la solución valorada de sulfato ferroso amoniacal (FAS) 0.12 mol/L hasta el vire de color a café-rojizo, anotando los mililitros de la disolución valorante gastados para así calcular los mg/L de DQO presentes en el agua utilizando la siguiente fórmula.

$$\gamma(\mathbf{DQO})\ \mathbf{en}\ \frac{\mathbf{mg}}{\mathbf{L}} = \left[\frac{\left(\mathbf{V_{FAS_b}} - \mathbf{V_{FAS_m}}\right) * \mathbf{c_{FAS}} * \mathbf{M_o} * \mathbf{v_o}}{\mathbf{V_m}}\right] \qquad (6)$$

$M_o * v_o$= 8 000 mg/mol

Donde:

- $\gamma(\mathrm{DQO})$: concentración de masa de DQO, en mg/L.
- c_{FAS}: concentración de cantidad de sustancia de sulfato ferroso amoniacal utilizada en la medición, en mol/L.
- V_{FAS_m}: volumen del sulfato ferroso amoniacal (FAS) usado en la porción de prueba, en mL.
- V_{FAS_b}: volumen del sulfato ferroso amoniacal (FAS) usado en la titulación contra el blanco de prueba, en mL.
- V_m: volumen de la porción de prueba, en mL.
- M_o: masa molar de un átomo de oxígeno, en mg/mol.
- v_o: número estequiométrico = 0.5

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. México.

En la figura 2.16, se observa el procedimiento general de la determinación aplicada en la determinación de Demanda Química de Oxígeno.

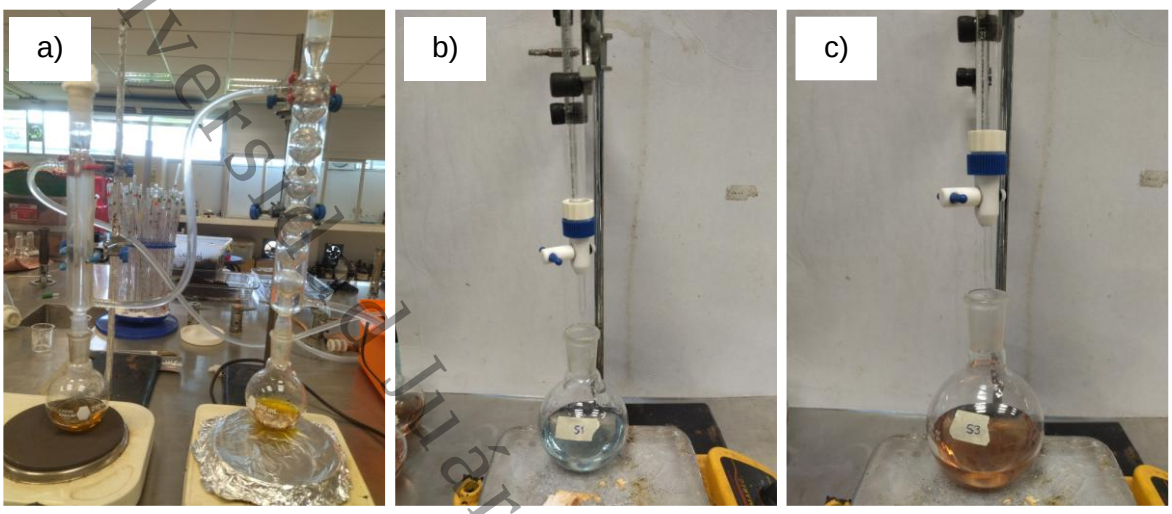


Figura 2.16. Procedimiento general del análisis de demanda química de oxígeno (DQO): **a)** Proceso de reflujo de las muestras; **b)** Valoración de la muestra con sulfato ferroso amoniacal (FAS); **c)** Cambio de color en la valoración de la muestra.

Es importante que las muestras empleadas en este análisis sean destinadas exclusivamente mediante las especificaciones de la norma de referencia aplicable para esta prueba, ya que el manejo constante modifica significativamente la cantidad de oxígeno presente en el agua. Asimismo, la mezcla que contiene la muestra, el dicromato de potasio y el sulfato de mercurio (mezcla de reacción) debe hervir de manera ligera sin que llegue a la fase de evaporación súbita, ya que la evaporación súbita señala un sobrecalentamiento de la muestra causando así resultados modificados y erróneos. El proceso de análisis de la demanda química de oxígeno se llevó a cabo por triplicado para cada muestra con el objetivo que obtener resultados más exactos.

2.6.10 Cloruros totales

El cloruro (Cl^-), es uno de los aniones inorgánicos que se encuentran en mayor cantidad en aguas naturales, residuales y residuales tratadas.

En aguas naturales, la presencia de cloruro en los ríos, arroyos y lagos se encuentra de forma natural y procede mediante la intrusión del agua de mar o en algún caso de aguas residuales y vertederos industriales. Sin embargo, cuando éste presenta una

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. México.

concentración alrededor de 250 mg/L o más se considera agua contaminada (Summers, 2020), y esto puede ser perjudicial para el crecimiento de las plantas, así como un rápido deterioro por corrosión en las estructuras metálicas (SEMARNAT, 2021).

El estudio de este parámetro se llevó a cabo a partir del procedimiento marcado en la norma mexicana NMX-AA-073-SCFI-2001, el cual se basa en la medición del ion cloruro contenida en una muestra a través de una valoración con nitrato de plata utilizando cromato de potasio como indicador, la plata reacciona con los cloruros y esto forma un precipitado de cloruro de plata de color blanco. Cuando se llega a un punto de equivalencia de iones, al agotarse el ion cloruro se precipita el cromato. Se termina la valoración cuando la disolución hace un cambio de color de amarillo a anaranjado-rojizo, así como en forma de precipitado. El diagrama 2.11, presenta el procedimiento general del análisis correspondiente.

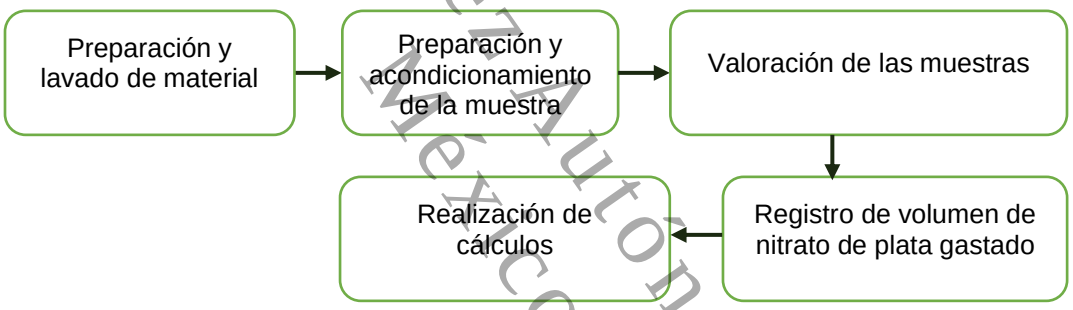


Diagrama 2.11. Procedimiento general del análisis de cloruros totales.

Se lavó el material a utilizar con jabón libre de fosfatos y agua, siempre utilizando guantes de nitrilo para tener un menor riesgo de contaminación que afecte el análisis. La muestra tomada fue un volumen de 200 mL y tuvo un pretratamiento de acuerdo con el procedimiento de la norma.

Los acondicionamientos fueron el ajuste del pH, los cuales debían estar entre los valores de 7 y 10, por eso se agregó una disolución de hidróxido de sodio 0.1 N aproximadamente 0.5 a 2 mL dependiendo el color de cada muestra. También se llevó a cabo el ajuste de color, por lo que se agregó 4.5 mL de una suspensión de hidróxido de aluminio antes de ajustar el pH. En este ajuste se dejó sedimentar la muestra por

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, México.

aproximadamente 20 minutos para luego proceder a filtrar la muestra por gravedad con ayuda de un embudo de filtración que contenía un papel filtro de poro fino.

Para la valoración se tomó un volumen de 100 mL de muestra previamente acondicionada y se adicionó 1 mL de solución indicadora de cromato de potasio. Se montó el equipo para titulación y se valoró la muestra llenando la bureta con la disolución de nitrato de plata (0.014 N) previamente preparada hasta que existiera un cambio de color en la muestra esto fue de amarillo a naranja-rojizo, en ese momento se cerró la llave de la bureta y se precedió a tomar el volumen gastado para realizar los cálculos correspondientes.

Una vez obtenidos los datos de volumen gastado de la disolución de nitrato de plata, se realizaron los cálculos correspondientes a la concentración de iones de cloruro en mg/L, como se muestra en la siguiente fórmula:

$$\mathbf{Cl^-}\left(\frac{\mathbf{mg}}{\mathbf{L}}\right) = \frac{(\mathbf{A}*\mathbf{B}*\mathbf{N}*\mathbf{35.450})}{\mathbf{mL\ de\ muestra}} * \mathbf{1000} \qquad (7)$$

Donde:

- A: son los mL de disolución de nitrato de plata gastados en la valoración de la muestra.
- B: son los mL de disolución de nitrato de plata gastados en la valoración del blanco.
- N: es la normalidad del nitrato de plata.

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. México.

En la figura 2.17, se observa el procedimiento general de la determinación de cloruros totales presentes en la zona de muestreo.

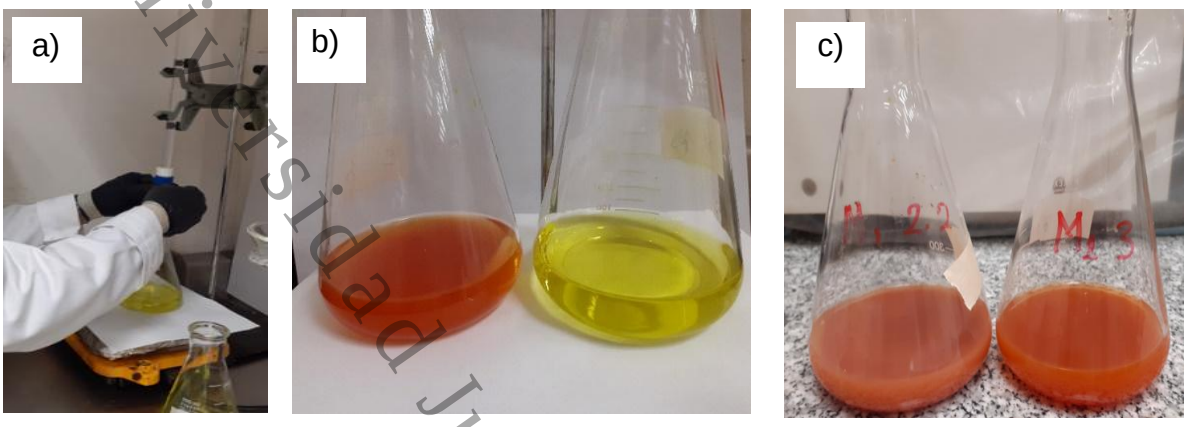


Figura 2.17. Procedimiento general del análisis de medición de cloruros totales: **a)** Proceso de valoración de la muestra con la disolución de nitrato de plata y cromato de potasio como indicador; **b)** Proceso de cambio de color de amarillo a naranja-rojizo; **c)** Muestras después del cambio de color al ser valoradas.

La prueba tuvo tres repeticiones por punto de muestreo y en este procedimiento las muestras fueron almacenadas en bidones de polietileno de alta densidad de 20 L.

Se recomienda que durante la realización de este procedimiento cuente con el uso de guantes de nitrilo y lentes de seguridad para un mejor manejo del material de titulación, así como de las soluciones preparadas, ya que algunas soluciones como el nitrato de plata puede causar quemaduras en la piel y lesiones oculares que pueden afectar la salud del analista.

2.6.11 Nitrógeno total

El nitrógeno es uno de los nutrientes básicos para el crecimiento de las plantas acuáticas y algas, así mismo, cuando existe una alta concentración afecta en el rápido crecimiento de las algas (eutrofización), degradando la calidad del agua. Existen cuatro formas en las que se presenta el nitrógeno en el agua: nitrógeno orgánico, nitrógeno amoniacal, nitrógeno nitrito (NO_2-) y nitrógeno nitrato (NO_3-). Si el agua está contaminada el nitrógeno se presenta de forma orgánica y amoniacal (Summers, 2020).

En los últimos años, se muestra un aumento de nitrógeno en los ecosistemas acuáticos y dos de los compuestos nitrogenados que más contamina es el amoniaco y el nitrito, siendo sustancias tóxicas para los animales acuáticos. En el caso del amoniaco, algunas

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. México.

de las consecuencias que ocasiona son acumulaciones de amoniaco hasta niveles tóxicos en los animales, reduciendo la resistencia a enfermedades y problemas fisiológicos. Sin embargo, el nitrito es otro compuesto nitrogenado presente en los ambientes acuáticos que contribuye al envenenamiento total por nitritos siendo el producto intermedio del proceso de nitrificación (Molayemraftar et al, 2022).

El estudio de este parámetro se llevó a cabo a partir del procedimiento marcado en la norma mexicana NMX-AA-026-SCFI-2010, el cual se basa en la medición de nitrógeno por medio del método Kjeldahl que pueden ser encontrados en sustancias orgánicas e inorgánicas.

Este método solo puede cuantificar el nitrógeno cuando su estado de valencia es trinegativo y con el paso de los años éste ha sido modificado, pero los fundamentos de este continúan siendo los mismos (SEMARNAT, 2010). Este método esta divido por tres procesos básicos:

- Digestión: en este paso ocurre la descomposición del nitrógeno orgánico en la muestra, para ello se emplea una solución ácida y finalmente produce una disolución de sulfato de amonio.
- Destilación: una vez que se aplica la digestión a la muestra, se adiciona un exceso de álcali, eso se hace para convertir NH_4^+ en NH_3, seguido por la ebullición y condensación de NH_3 gas el cual es recibido en una disolución de ácido bórico de concentración conocida.
- Cuantificación: una vez destilada la muestra, se calcula la cantidad de iones de amoniaco obtenida en la disolución de ácido bórico por titulación con una disolución de ácido sulfúrico (H_2SO_4).

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. México.

El diagrama 2.12, presenta el procedimiento general del análisis correspondiente.

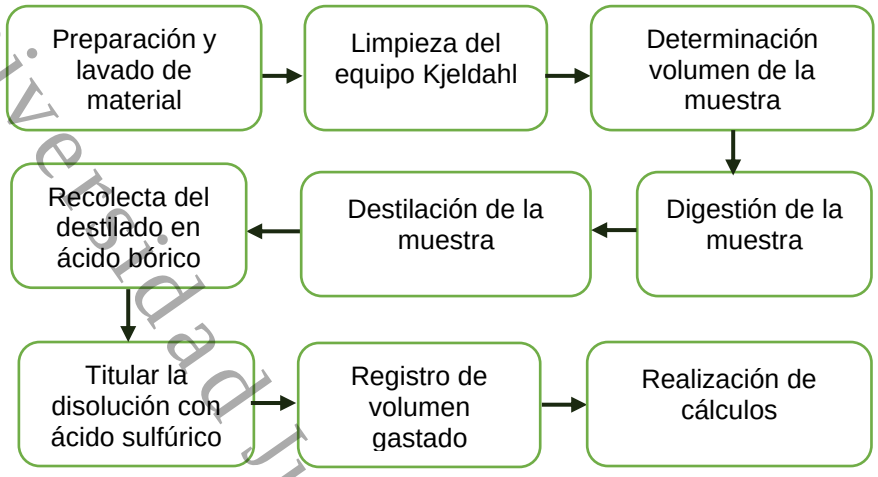


Diagrama 2.12. Procedimiento general del análisis de Nitrógeno Total Kjeldahl.

Para este procedimiento se lavó cuidadosamente usando guantes de nitrilo el material a utilizar con jabón libre de fosfato, esto con la finalidad de eliminar cualquier residuo que pudo quedar de otros análisis y que pudiera interferir con los resultados al procedimiento.

Seguidamente se verificó que el material estuviera completo antes de montar el equipo Kjeldahl y que éste no tuviera ninguna fuga ya que se requiere que el equipo este en buenas condiciones.

El procedimiento marcaba que, para determinar el nitrógeno orgánico se debe limpiar el equipo Kjeldahl cada vez que esté fuera de servicio, esto se hace a través de una destilación de agua + disolución hidróxido - tiosulfato de sodio hasta que esté libre de amonio.

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. México.

Primero se determinó el volumen de la muestra a utilizar mediante la tabla 2.5 de la norma mexicana NMX-AA-026-SCFI-2010 la cual muestra lo siguiente:

Tabla 2.5. Valores de concentraciones de masa de nitrógeno en la muestra dependiendo el volumen.

Concentración de masa de nitrógeno en la muestra (mg/L)	Volumen de la muestra necesario (mL)
0-1	500
1-10	250
10-20	100
20-50	50
50-100	25

Nota: (SEMARNAT, 2010).

Se determinó que 25 mL de muestra sería el volumen necesario para determinar nitrógeno orgánico, por lo que la muestra se destiló hasta sequedad y después se procedió con la digestión.

Para el proceso de digestión, en el matraz Kjeldahl que contenía la muestra previamente destilada, se adicionó cuidadosamente 50 mL de reactivo para digestión y también algunas perlas de ebullición, esto con la finalidad de evitar formaciones de burbujas durante la ebullición; se permitió que la muestra llegara a ebullición y presentara una reducción de volumen de 15 a 30 mL, así como un desprendimiento de vapores blancos.

Una vez que se redujo el volumen, se continuó con la digestión durante 30 minutos más. En este paso se observó un cambio de color en la muestra, pasó de ser turbia a un ligero color verde-amarillo, luego se enfrió el matraz, se diluyó con 50 mL de agua y se mezcló.

Después, se añadieron 50 mL de una disolución de hidróxido-tiosulfato de sodio, esto con la finalidad de formar una capa alcalina en el fondo del matraz, se mezcló muy bien y se confirmó que el pH de la disolución presentara un valor mayor a 11 unidades de pH.

Para destilar la muestra, se conectó el matraz Kjeldahl con la muestra al condensador y se recolectó el condensado en un vaso de precipitado que contenía 50 mL de la

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. México.

disolución indicadora de ácido bórico y la punta del condensador debía estar por debajo de la superficie del líquido.

Una vez que se recolectó el destilado de la muestra en la disolución, se procedió con la titulación con una disolución de ácido sulfúrico 0.006 mol/L, hasta que la disolución cambiara de color verde esmeralda a morado y se registraron los datos, tal y como se muestra en las figuras 2.18 y 2.19.

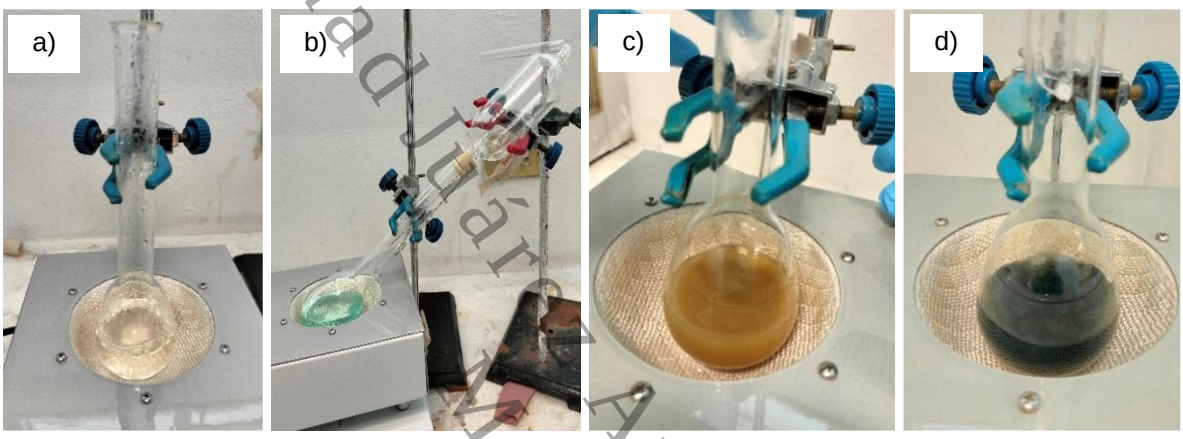


Figura 2.18. Procedimiento general del análisis de demanda nitrógeno total: **a)** Determinación del volumen de la muestra en el matraz Kjeldahl; **b)** Disolución amortiguadora de boratos con la muestra; **c)** Digestión de la muestra para obtener un desprendimiento de vapores blancos; **d)** Vapores desprendidos que oscurecieron la muestra representando la materia orgánica.

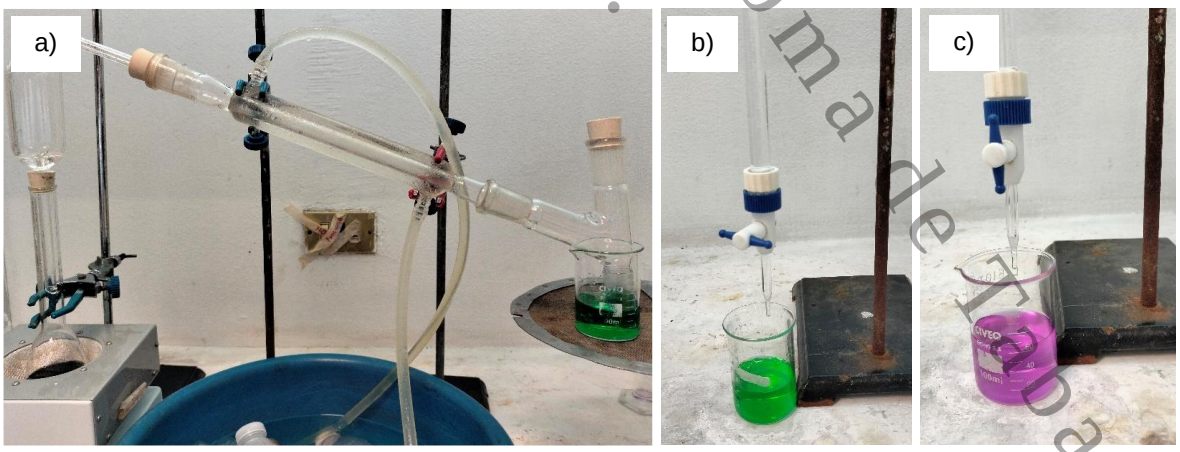


Figura 2.19. Procedimiento general del análisis de demanda nitrógeno total: **a)** Destilado de la muestra en digestión previamente y conectada a una disolución indicadora de ácido bórico; **b)** Condensado recolectado con la disolución indicadora para su valoración con disolución de ácido sulfúrico; **c)** Cambio de color verde esmeralda-morado del condensado.

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. México.

Se recomienda que, antes de realizar este procedimiento se verifique volumen del material a usar (Matraz Kjeldahl) puesto que es importante para estimar que los valores de preparación de las disoluciones sean exactos.

Por seguridad, este procedimiento se debe desarrollar en todo momento dentro de la campana de extracción y contar con guantes de nitrilo, cubrebocas y lentes de seguridad, ya que los vapores que se desprenden y las soluciones a manejar pueden afectar la salud del analista.

2.6.12 Fósforo total

El fósforo es esencial para todos los organismos vivos, los aportes de fósforo son importantes para mantener un suelo fértil y un mayor rendimiento de los cultivos, pero solo una pequeña fracción de fósforo es absorbido por las plantas (Dai et al., 2019).

Cuando existe un exceso de fósforo en el agua, puede causar eutrofización, lo cual genera un crecimiento acelerado de materia orgánica y estos pueden ser algas así como plantas que llegan a cubrir la superficie del cuerpo de agua, dañando la calidad y la biodiversidad del agua (Qin et al. 2020).

El estudio de este parámetro se llevó a cabo a partir del procedimiento marcado en la norma mexicana NMX-AA-029-SCFI-2001, el cual se basa en la medición de la cantidad de fósforo contenida en una muestra. El fósforo puede estar presente con base la siguiente clasificación: ortofosfatos, fosfatos condensados y compuestos organofosfatados.

La norma menciona dos procedimientos para la determinación de este parámetro, el primero es el **método de cloruro estanoso**, el cual se basa en la reacción del ortofosfato con el ácido molíbdico formando ácido 12-molibdofosfórico y éste es reducido por el cloruro de estaño a azul de molibdeno. Mientras que el segundo es el **método de ácido vanadomolibdofosfórico**, el cual se basa en la reacción de molibdato de amonio en condiciones ácidas con el vanadato, teniendo una formación de ácido vanadomolibdofosfórico de color amarillo. (SEMARNAT, 2000)

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. México.

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco México.

En este proyecto para la determinación de fósforo en el agua, se eligió el método de cloruro estanoso. El diagrama 2.13, presenta el procedimiento general del análisis correspondiente.

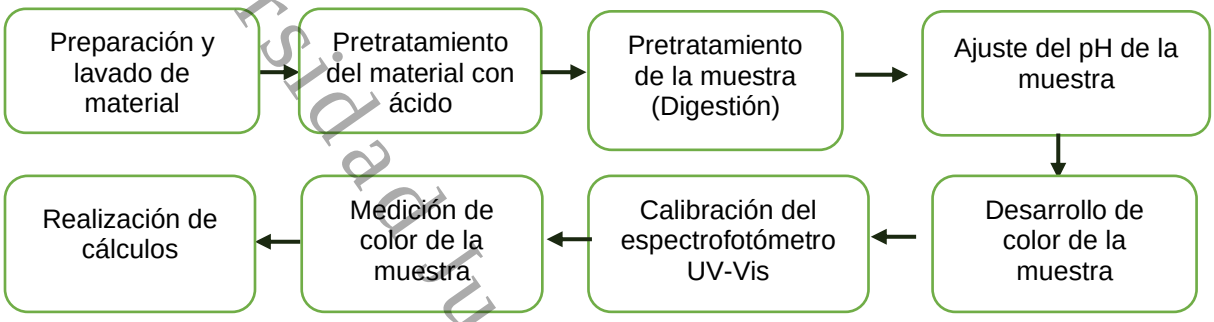


Diagrama 2.13. Procedimiento general del análisis de Fósforo total.

Se lavó y secó el material a utilizar, este material fue exclusivo para este método.

El espectrofotómetro ultra visible (UV-Vis), se debe calibrar para medir una intensidad de luz no mayor a 690 nm.

El pretratamiento fue una digestión a la cual se agregó una gota de fenolftaleína a 50 mL de la muestra, 1 mL de ácido sulfúrico y 0.5 g de persulfato de potasio. Posteriormente, se calentó la muestra hasta llegar a ebullición y se disminuyó el volumen hasta un total de 10 mL, luego se agregó 30 mL de agua destilada y una gota de fenolftaleína. Posteriormente, se calentó la muestra en una autoclave en condiciones de 98 kPa a 137 kPa y se añadió una gota de fenolftaleína. Finalmente, se aforó la muestra a 100 mL con agua destilada.

Es relevante mencionar que cada vez que se añadió fenolftaleína a la muestra durante la digestión no hubo un cambio de color, pero en caso que la muestra si presente ese cambio, es indispensable neutralizar la muestra con una solución de hidróxido de sodio 1N.

Para desarrollar el color a la muestra, se agitó la muestra fuertemente con una varilla de vidro y se adicionó 4 mL de disolución de heptamolibdato de amonio tetrahidratado y 10 gotas de disolución de cloruro estanoso, haciendo que la muestra desarrollara un color

azul celeste y se introdujeron las muestras con color dentro de una caja de cartón. Esto con la finalidad de mantener el color para un buen resultado en la determinación de fósforo en el espectrofotómetro.

Una vez desarrollado el color se procedió con la medición de color en el espectrofotómetro, se midió el fósforo en la muestra pasado los 10 minutos de haber desarrollado el color pero antes de 12 minutos, porque después el color se desvanecía, lo que impedía un resultado correcto del parámetro. Finalmente obtenidos los datos de las lecturas por el espectrofotómetro, se realizaron los cálculos correspondientes a la concentración de fósforo contenida en la muestra por medio de la curva de calibración y se representó con la siguiete ecuación:

$$\mathbf{y = mX + b} \qquad (8)$$

Donde:

- m: es la pendiente
- b: es la ordenada al origen
- Y: es la absorbancia
- X: es la concentración (mg P/L)

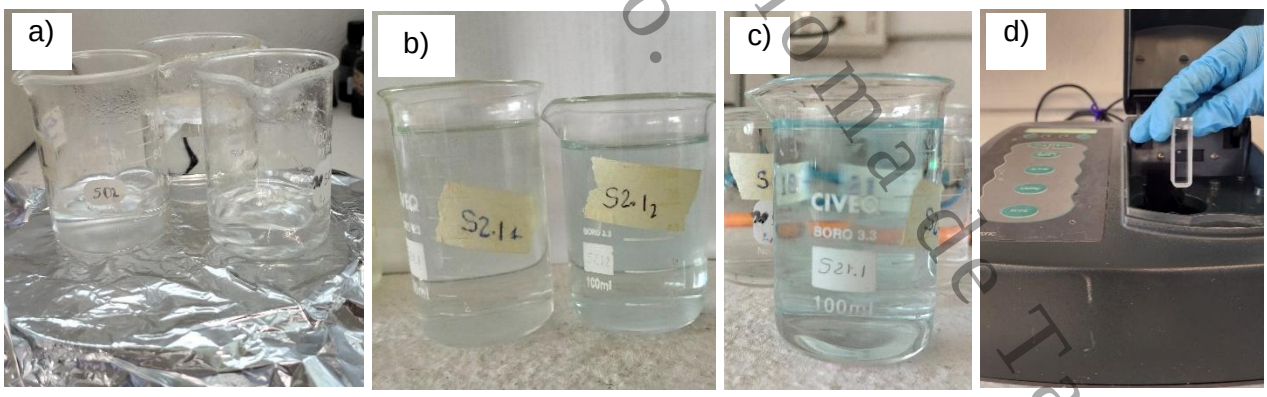


Figura 2.20. Procedimiento general del análisis de demanda fósforo total: **a)** Preparación de la muestra por medio de digestión; **b)** Desarrollo de color en diferentes muestras; **c)** Presencia de un ligero color azul en la muestra; **d)** Medición de color a través de las celdas especiales para el equipo de espectrofotómetro **UV-Vis**.

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. México.

En la figura 2.20, se observa el procedimiento del análisis para la determinación de fósforo total. La prueba tuvo tres repeticiones por punto de muestreo y la muestra reservada no debe exceder más de 30 días, ya que este es el tiempo máximo de conservación. El almacenamiento así como la manipulación de la misma debe estar en condiciones específicas descritas por la norma, en este procedimiento las muestras fueron almacenadas en envases de polietileno de 1L.

Hay que tomar en cuenta que este procedimiento se debe contar con el uso de guantes de nitrilo para evitar todo tipo de contaminación por manipulación del analista y por contaminación con fosfatos, puesto que puede ser muy común el lavado de material de vidrio con detergentes comerciales y estos contienen fosfatos como ingredentes, por tanto, es necesario el uso de jabón líquido neutro, para disminuir el riesgo de contaminación.

También, es importante después del lavado con jabón neutro, dejar el material en una solución de ácido clorhídrico (HCl) al 10 % y posteriormente enjuagarlo muy bien con agua. Esta vidiriería debe ser únicamente para las determinaciones de fósforo.

Para tener mejores lecturas en el equipo de espectrofotómetro UV-Vis se recomienda el uso de celdas de vidrio o cuarzo, deben siempre ser manipulados por los lados esmerilados y no exceder la cantidad de líquido que permite la celda.

2.6.13 pH

El pH es considerado uno de los parámetros más importantes para llevar a cabo la evaluación de propiedades corrosivas en los efluentes acuáticos. Se define como la concentración del ion hidrógeno de las soluciones acuosas, es decir, la concentración ácida o alcalina de la muestra en el cual los valores extremos de pH afectan a los organismos vivos y/o acuáticos (SEMARNAT, 2016).

La evaluación del valor de pH contenida en una muestra acuosa se basa en la diferencia del potencial de una celda electroquímica utilizando un equipo de medición de pH. Por ello, el análisis de éste se determinó a partir del procedimiento marcado en la norma mexicana NMX-AA-008-SCFI-2016, que señala el uso de un equipo de medición de pH utilizando disoluciones amortiguadoras para la calibración del equipo. Como el pH es un

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. México.

parámetro que depende de la temperatura debido al equilibrio de disociación, el análisis se realizó con dos tipos de medidores de pH, el primero siendo un equipo digital de campo el cual se utilizó para realizar las mediciones directamente en el área de estudio, y el segundo un equipo digital empleado para la ejecución de las muestras inmediatamente después de su traslado hasta el laboratorio. El diagrama 2.14, representa el procedimiento general para la medición del valor de pH en las muestras.

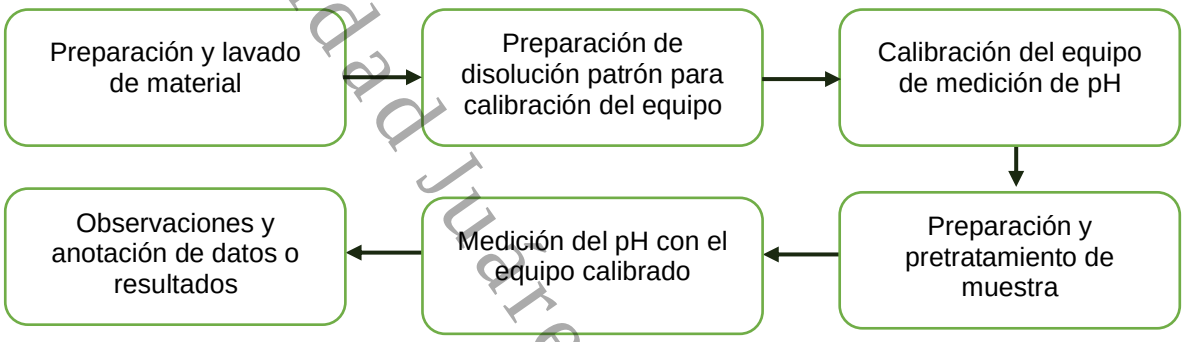


Diagrama 2.14. Procedimiento general del análisis de pH.

Para el procedimiento que se realizó en el laboratorio el cual señala el uso del pHmetro digital, se lavaron y secaron a temperatura ambiente recipientes de vidrio (vasos de precipitado de 100 mL) los cuales se utilizaron para contener la muestra donde se efectuaría la medición del pH.

La calibración del equipo se desarrolló a partir del procedimiento descrito en el manual de uso, marca el uso de soluciones amortiguadoras o buffer comerciales o preparadas. En el caso de este proyecto, se empleó una solución buffer comercial con pH 7, ya que, de acuerdo con la norma, el pH de los efluentes acuáticos como ríos, lagos y lagunas tienen un valor de referencia de 6-9. De igual forma se aplicó esta solución para la calibración del equipo de medición de pH de campo utilizando su manual correspondiente.

Se colocaron 70 mL de muestra en un vaso de precipitado de 100 mL, la cual se tomó del bidón de polietileno de 20 L previamente agitado de manera uniforme, y se sumergió por 25 segundos aproximadamente la celda electroquímica o el cartucho de electrodo del equipo hasta que proyectara la lectura correspondiente del valor de pH en la pantalla digital. Para las lecturas tomadas directamente en el área de estudio, se posicionó el

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. México

equipo en cada uno de los puntos de muestreo sumergiendo la celda electroquímica aproximadamente 8 cm desde la superficie hasta que se proyectó en la pantalla del equipo el valor de pH, anotando así los valores de cada punto, tal y como se muestra en la figura 2.21.

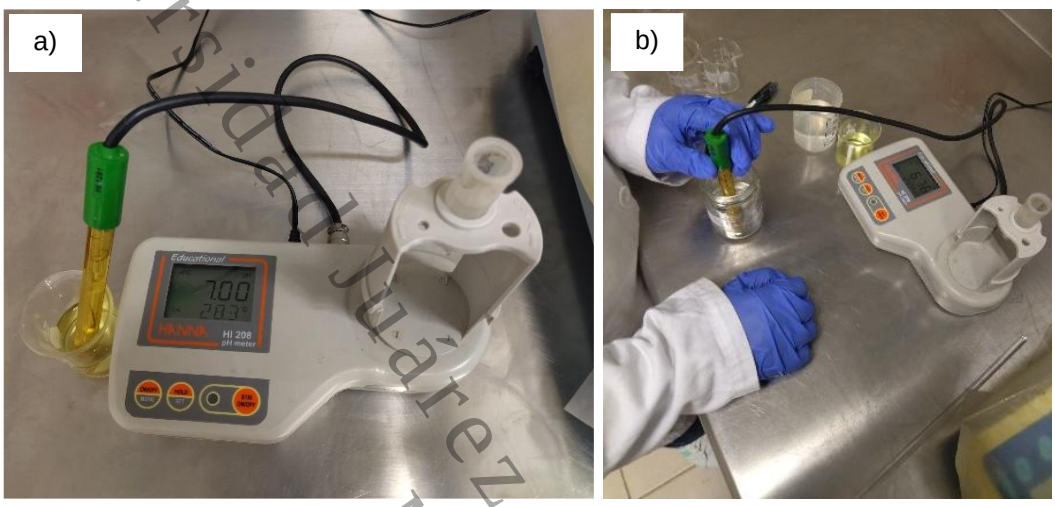


Figura 2.21. Procedimiento general del análisis de pH: **a)** Calibración del equipo de medición de pH; **b)** Medición del pH de las muestras con el equipo.

Para cada punto de muestreo, se realizó el análisis por triplicado con el fin de obtener una mayor exactitud en los resultados. Es importante que este ensayo se lleve a cabo de manera *in situ*, es decir, directamente en el área de estudio o dentro de las primeras horas desde su recolección hasta su traslado, ya que el almacenamiento de muestras puede afectar significativamente los resultados por los cambios de temperatura existentes.

2.6.14 Dureza total

La dureza total es descrita como la concentración total de todo catión divalente presente en el agua, siendo los iones de magnesio y calcio los más predominantes. Iones bivalentes como el hierro, manganeso y estroncio también se encuentran presentes en cantidades muy pequeñas, es decir, no son cantidades significativas (Graciano-León et al., 2022). Expresar la dureza total del agua con las unidades de miligramos de carbonato de calcio equivalente por litro (mg/L $CaCO_3$) o ppm de $CaCO_3$, son las formas correctas de expresión de este parámetro, donde se considera agua totalmente dura aquellas muestras que poseen una concentración ≥ 60 mg/L $CaCO_3$ (Prato et al., 2021).

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. México.

El parámetro correspondiente a la dureza total en el agua se llevó a cabo a través del método marcado en la norma mexicana NMX-AA-072-SCFI-2001, que indica el proceso de valoración de la muestra usando negro de eriocromo T como indicador, el cual puede manifestarse de dos formas de color rojo cuando en el agua existe la presencia de calcio y magnesio y de color azul cuando en el agua estos elementos se encuentran ausentes (por ejemplo, agua destilada), y una solución de ácido etilendiaminotetraacético (EDTA) que funciona como disolución valorante, desarrollando el vire de color de rojo a azul cuando se alcanza su punto de formación (SEMARNAT, 2001). El diagrama 2.15, plasma de manera general el procedimiento para la determinación de este parámetro.

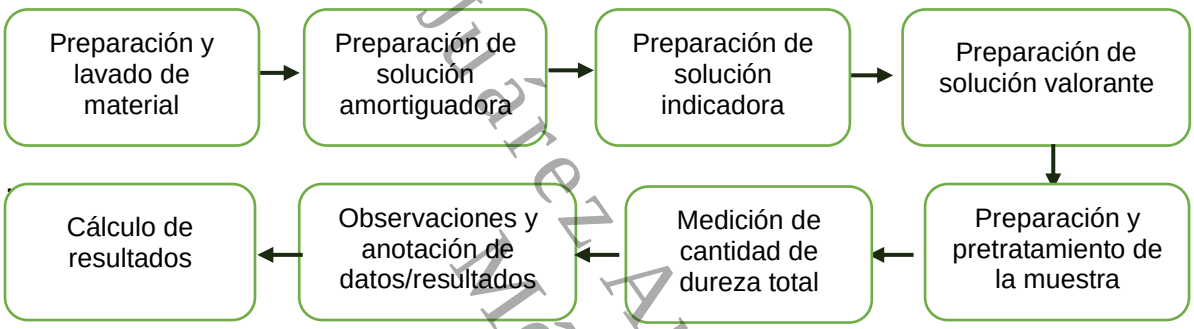


Diagrama 2.15. Procedimiento general del análisis de dureza total.

Debido a la cantidad de elementos presentes en los jabones comerciales, los cuales pueden modificar los resultados del grado de dureza contenido en las muestras, es necesario hacer uso de jabones libres de fosfatos. Por lo tanto, el material utilizado en el procedimiento señalado para llevar a cabo el análisis correspondiente se lavó con jabón tipo neutro y se enjuagó con abundante agua destilada, para posteriormente ser secado en una estufa a una temperatura de 50 °C por 30 minutos.

Para realizar el análisis del grado de dureza contenida en el agua con el procedimiento señalado en esta norma, es necesario hacer uso de una solución amortiguadora, valorante e indicadora. Por ello, se preparó una disolución amortiguadora de cloruro de amonio con sal de magnesio EDTA mezclado con una cantidad de amonio concentrado y agua destilada (es importante desechar la solución cuando haya transcurrido un mes desde su preparación). Posterior a ello, se preparó 250 mL de una solución valorante de sal de EDTA 0.01 M (sal disódica del ácido etilendiaminotetraacético dihidratada) en un

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. México.

matraz aforado de 250 mL y un indicador de negro de eriocromo T (mezclando negro de eriocromo T y cloruro de sodio, los cuales se trituraron en un mortero hasta que se formó una mezcla homogénea y se guardó en un frasco color ámbar). Las cantidades exactas de cada uno de los reactivos utilizados para la preparación de soluciones se encuentra marcada en la norma mexicana.

Puesto que las muestras de agua tenían presencia de partículas y materia orgánica, se llevó a cabo un pretratamiento de filtrado en todas las muestras destinadas para este parámetro con ayuda de un embudo de vidrio y papel filtro de poro fino. Posteriormente se agregó a la muestra un mL de disolución amortiguadora para que el pH de la muestra alcanzara un intervalo de 10-10.1.

Se tomaron 50 mL de la muestra y se colocaron en un matraz Erlenmeyer de fondo plano de 250 mL añadiendo a éste una cantidad adecuada de indicador de negro de eriocromo T hasta que el color se tornara vino rojizo. Se preparó el equipo de titulación colocando la disolución valorante de EDTA 0.01 M en la bureta y se tituló la muestra colocada en el matraz hasta que se presentó el vire de color (de vino rojizo a azul). Se anotaron los mL de solución valorante gastados en la titulación de cada muestra y se calculó la cantidad de dureza total contenida con la siguiente fórmula:

$$\textbf{Dureza total como } \mathbf{CaCO_3} \textbf{ en } \frac{\textbf{mg}}{\textbf{L}} = \left[\frac{(\mathbf{A}-\mathbf{B})*\mathbf{C}*\mathbf{1000}}{\mathbf{D}}\right] \qquad (9)$$

donde:

- A: mL de EDTA gastados en la titulación en la muestra.
- B: mL de EDTA gastados en la titulación en el blanco (si fue utilizado).
- C: mg de CaCO3 equivalentes a 1 mL de EDTA.
- D: mL de muestra.

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. México.

En la figura 2.22, se muestran el procedimiento aplicado para la determinación de dureza total en cada uno de los puntos de muestreo.

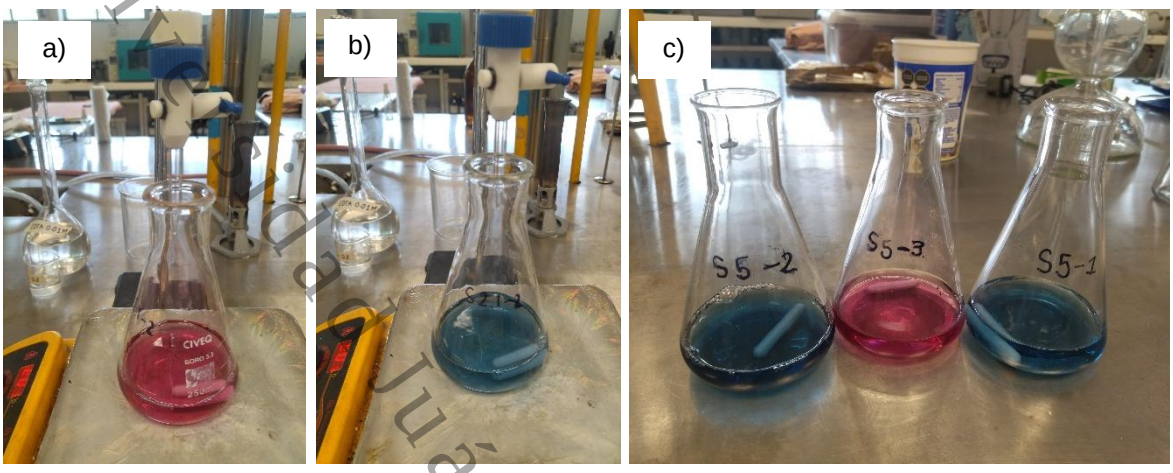


Figura 2.22. Procedimiento general del análisis de dureza total: **a)** Preparación de la muestra con indicador negro de eriocromo T; **b)** Valoración de la muestra con EDTA; **c)** Cambio de color en la valoración de la muestra.

Debido al proceso de acidificación llevada a cabo en la recolección de la muestra de agua, la medición correspondiente al grado de dureza total se puede realizar con un tiempo de durabilidad de 6 meses máximo, manteniendo siempre la muestra en refrigeración en un rango de temperatura de 4-6 °C. Como en todos los casos, el análisis se llevó a cabo 3 veces para cada una de las muestras; estas repeticiones se realizaron con el fin de tener resultados certeros de los datos experimentales que se ejecutaron.

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. México.

CAPÍTULO 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 RESULTADOS OBTENIDOS DE LOS PARÁMETROS ANALIZADOS

3.1.1 Turbidez

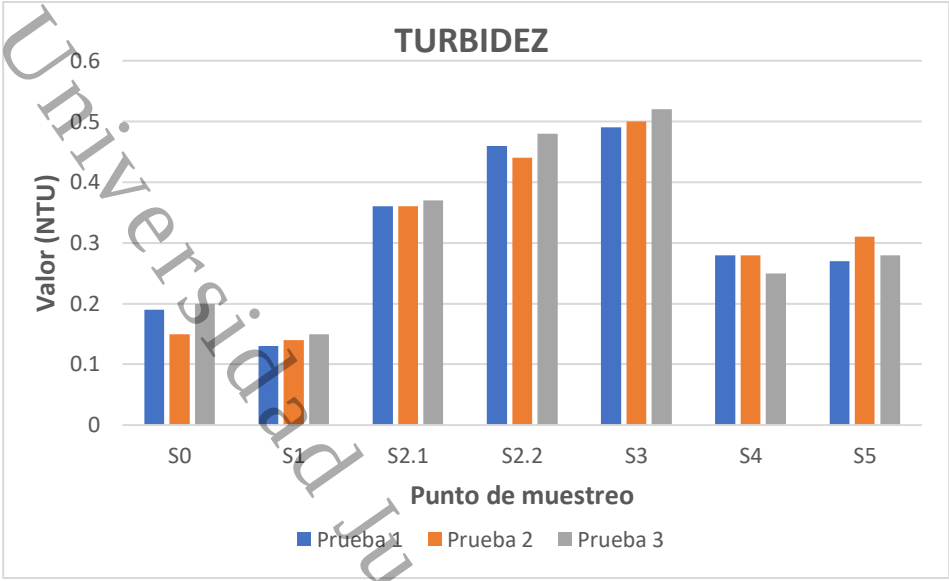
Un alto contenido de turbidez en el agua puede causar una alta concentración de partículas suspendidas, obstruyendo la luz solar para las plantas acuáticas y las branquias en los peces, provocando que las plantas no puedan absorber la luz evitando el paso de la fotosíntesis, (Velásquez, T. D. & Tocuyo, D. D., 2020).

La tabla 3.1, muestra los resultados evaluados en cada punto de muestreo para el parámetro de turbiedad, donde se presentan los valores de concentración obtenidos por triplicado y su promedio, el cual es el valor de referencia utilizado para comparar los valores experimentales y los límites máximos permisibles descritos en las normas y dependencias de salud y medio ambiente.

Tabla 3.1. Valores de turbidez por punto de muestreo en NTU.

VALOR DE TURBIDEZ (NTU)				
Punto de muestreo	**No. de prueba**			**Promedio**
	1	2	3	
S0	0.19	0.15	0.2	0.18
S1	0.13	0.14	0.15	0.14
S2.1	0.36	0.36	0.37	0.36
S2.2	0.46	0.44	0.48	0.46
S3	0.49	0.5	0.52	0.50
S4	0.28	0.28	0.25	0.27
S5	0.27	0.31	0.28	0.29

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. México.



Gráfica 3.1. Comportamiento de valores de turbidez por punto de muestreo en NTU.

El valor de turbidez obtenidos en NTU de los análisis experimentales están señalados en la tabla 3.1, indican que los valores de turbidez en los puntos evaluados se encuentran entre 0.14-0.50 NTU, y de acuerdo con la NOM-127-SSA1-2021, el límite máximo permisible de turbiedad de agua para uso y consumo humano no debe ser mayor a 4 NTU, por lo tanto, se determina que los valores de este parámetro se encuentran dentro de los límites máximos permisibles establecidos por la norma. No obstante, el comportamiento de la concentración en los puntos de muestreo S2.1, S2.2 y S3, establecido en la gráfica 3.1, muestra una variabilidad significativa en comparación a los demás puntos, teniendo en cuenta que dentro de esa zona se encuentra el quemador y el pozo.

Para el cálculo de la concentración en cada punto de muestreo de turbiedad, se evaluó la desviación estándar y precisión con el objetivo de verificar la dispersión y concordancia de los valores obtenidos en cada repetición. El cálculo para la desviación estándar se realizó por medio de una hoja de cálculo “Excel” a través del comando DESVEST.M() y la precisión por medio de la siguiente fórmula:

$$\mathbf{x = promedio} \mp \mathbf{t}_{\propto/2}\left(\frac{\mathbf{s}}{\sqrt{\mathbf{n}}}\right)$$

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. México.

Donde:

x: precisión.

$t_{\alpha/2}$: t de Student**.**

s: desviación estándar.

n: número de repeticiones de la prueba.

La desviación estándar se encuentra entre los valores ± 0.0057- 0.0264, mientras que la precisión se encuentra entre los valores 0.36± 0.0143 – 0.18±0.0657, teniendo así una dispersión de datos que se presentan por diversos factores como la calibración del equipo, la metodología del analista o la característica de la muestra.

3.1.2 Sólidos sedimentables

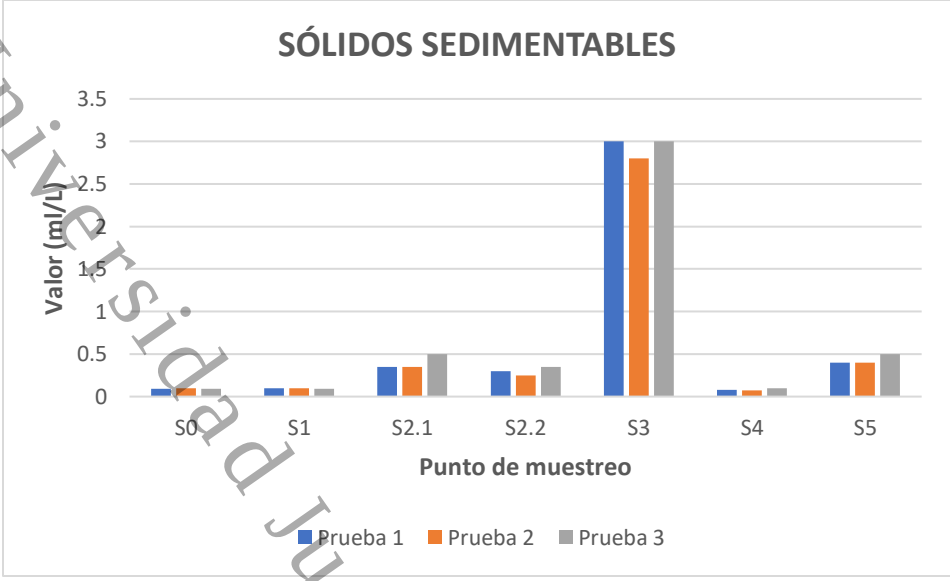
Un exceso de concentración de sólidos sedimentables en el agua puede provocar turbidez, así como dificultad para la vida de organismos presentes en el agua. También, puede obstruir canales, rellenar lagos o pantanos y muchos de los sitios de alimentación y desove de peces pueden ser afectados por los sedimentos que se forman (Torres, G. A. & Lozano, E. A., 2017).

A continuación, en la tabla 3.2, se presentan los resultados de la medición de sólidos sedimentables correspondientes a cada punto de muestreo, se realizaron tres repeticiones del análisis de cada muestra y se calculó su promedio.

Tabla 3.2. Valores de sólidos sedimentables por punto de muestreo en ml/L.

VALOR DE SÓLIDOS SEDIMENTABLES (ml/L)				
Punto de muestreo	**No. de prueba**			**Promedio**
	1	2	3	
S0	0.09	0.1	0.09	0.09
S1	0.1	0.1	0.09	0.09
S2.1	0.35	0.35	0.5	0.4
S2.2	0.3	0.25	0.35	0.3
S3	3	2.8	3	2.93
S4	0.08	0.07	0.1	0.08
S5	0.4	0.4	0.5	0.43

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. México.



Gráfica 3.2. Comportamiento de valores de sólidos sedimentables por punto de muestreo en ml/L.

El valor de sólidos sedimentables en (ml/L) señalados en la tabla 3.2, indican que los valores evaluados en los puntos de muestreo encuentran entre 0.08-2.93 ml/L y de acuerdo con la NOM-067-ECOL-1994, el límite máximo permisible de sólidos sedimentables en ríos, cuencas, causes, vasos, aguas marinas y demás depósitos o corrientes de agua debe ser de 1 ml/L en promedio diario. Por tanto, este cuerpo de agua posee sólidos sedimentables especialmente en el punto S3 donde el valor de concentración es considerablemente alto y logra superar el límite máximo permisible en promedio diario establecido por la norma y se puede observar a través de la gráfica 3.2, así mismo, se aprecia un cambio considerable respecto a los comportamientos de los demás puntos de muestreo, considerando que en esa zona se encuentran las corrientes provenientes del pozo y quemador.

Para el cálculo de la concentración en cada punto de muestreo de sólidos sedimentables, se evaluó la desviación estándar y precisión con el objetivo de verificar la dispersión y concordancia de los valores obtenidos en cada repetición realizada en el laboratorio.

La desviación estándar se encuentra entre los valores ± 0.0057- 0.1154, mientras que la precisión se encuentra entre los valores 0.093±0.0143 – 2.93±0.2868, teniendo así una

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. México.

dispersión de datos y pueden presentarse por diversos factores como las condiciones del material usado, la metodología del analista, la característica de la muestra y el tiempo de sedimentación.

3.1.3 Temperatura

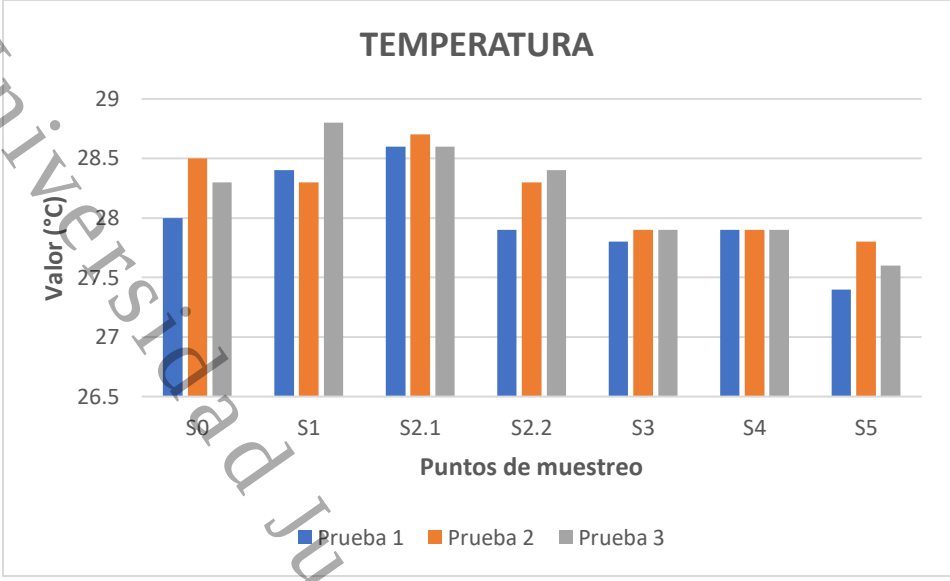
El aumento excesivo de temperatura en cuerpos de agua puede provocar un cambio en la viscosidad del agua, mayores concentraciones de contaminantes, así como bioinscrustraciones y cambio en la actividad de microorganismos (Shao et al., 2019).

Los valores obtenidos de la temperatura en °C y su promedio se presentan en la tabla 3.3, los cuales se tomaron a través de la medición realizada por el equipo digital de medición de temperatura.

Tabla 3.3. Valores de temperatura por punto de muestreo en °C.

VALOR DE TEMPERATURA (°C)				
Punto de muestreo	**No. de prueba**			**Promedio**
	1	2	3	
S0	28	28.5	28.3	28.3
S1	28.4	28.3	28.8	28.5
S2.1	28.6	28.7	28.6	28.6
S2.2	27.9	28.3	28.4	28.2
S3	27.8	27.9	27.9	27.87
S4	27.9	27.9	27.9	27.9
S5	27.4	27.8	27.6	27.6

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. México



Gráfica 3.3. Comportamiento de valores de temperatura por punto de muestreo en °C.

Los valores de la temperatura en (°C), se muestran en la tabla 3.3, indicando que los puntos de muestreo evaluados a través de los datos se encuentran entre 27.6-28.6 °C y con base en la NOM-001-SEMARNAT-2021, el límite máximo permisible de la temperatura en ríos, arroyos, canales, drenes, embalses, lagos y lagunas debe ser de 35 °C en promedio diario (SEMARNAT, 2021), por lo que, se encuentra dentro de los límites máximos permisibles señalados en la norma.

Hay que tener en cuenta que con respecto a la gráfica 3.3 los puntos que presentaron un alto valor de temperatura mayor a 28.5 °C fueron los puntos S1 y S2.1, donde el comportamiento de las repeticiones es mayormente percibido siendo estas las zonas donde se encuentra el pozo y el quemador.

Para el cálculo del valor en cada punto de muestreo de temperatura, se evaluó la desviación estándar y precisión con el objetivo de verificar la dispersión y concordancia de los valores obtenidos en cada repetición.

La desviación estándar se encuentra entre los valores ± $4.35x10^{-15}$ - 0.2645, mientras que la precisión se encuentra entre los valores $27.9±1.080x10^{-14}$ – 28.2±0.6572, teniendo así una dispersión de datos que se presentan por diversos factores como la calibración del equipo, la metodología del analista o la característica de la muestra en el ambiente.

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. México.

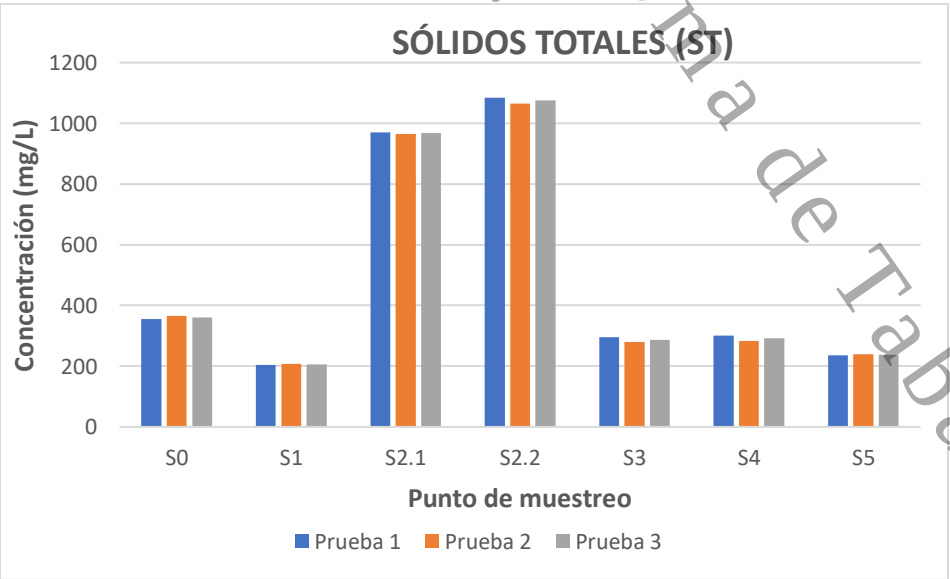
3.1.4 Sólidos y sales disueltas

- Sólidos totales (ST)

Los resultados del parámetro de sólidos totales (ST) obtenidos a partir de la ecuación 1 para cada punto de muestreo se encuentran señalados en la tabla 3.4, donde se representa la concentración en mg/L de las repeticiones por triplicado realizadas y su promedio. El valor de referencia del promedio es utilizado para comparar los valores de concentración experimentales y los límites permisibles marcados en las normas y dependencias de gobierno, salud y medio ambiente.

Tabla 3.4. Valores de concentración de sólidos totales por punto de muestreo en mg/L.

CONCENTRACIÓN DE SÓLIDOS TOTALES (mg/L)				
Punto de muestreo	**No. de prueba**			**Promedio**
	1	2	3	
S0	355	365	360	360
S1	205	207.5	206.25	206.25
S2.1	970	965	967.5	967.5
S2.2	1085	1065	1075	1075
S3	295	280	287.5	287.5
S4	300	282.5	291.5	291.5
S5	235	240	237.5	237.5



Gráfica 3.4. Comportamiento de valores de concentración de sólidos totales (ST) por punto de muestreo en mg/L.

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. México.

La concentración en mg/L de los sólidos totales (ST) están indicados en la tabla 3.4, los cuales proyectan que los valores en los puntos de evaluación S0, S1, S3, S4 y S5 se encuentran entre 206.25-350 mg/L, es decir, estos valores están dentro del límite permisible señalado en la Ley Federal de Derechos aplicada en materia de agua, donde se establece que la concentración máxima de sólidos totales (ST) en mg/L para el uso como fuente de abastecimiento para uso público urbano es de 550 (CONAGUA, 2021). Mientras que los valores de concentración en los puntos evaluados S2.1 y S2.2 sobrepasan de manera significativa el límite permisible alcanzando valores de 967.5 y 1075 mg/L respectivamente, considerando que estos puntos son donde está establecido el quemador de la zona de estudio.

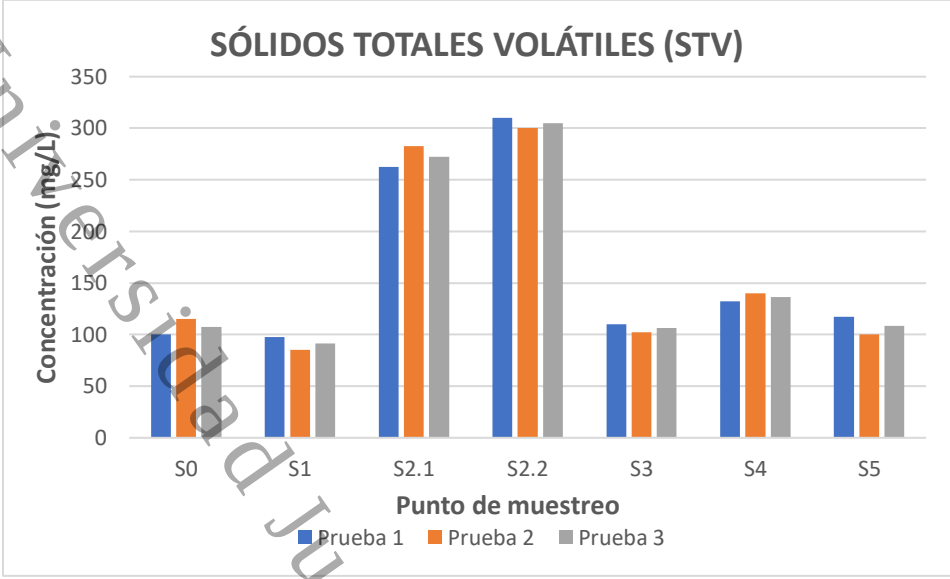
- Sólidos totales volátiles (STV)

Los valores de concentración de sólidos totales volátiles (STV) obtenidos experimental y matemáticamente a partir de la ecuación 2 se presentan en la tabla 3.5, donde los valores representados hacen referencia a las tres repeticiones realizadas a las muestras y su promedio de referencia para cada punto de muestreo o de evaluación.

Tabla 3.5. Valores de concentración de sólidos totales volátiles por punto de muestreo en mg/L.

CONCENTRACIÓN DE SÓLIDOS TOTALES VOLÁTILES (mg/L)				
Punto de muestreo	**No. de prueba**			**Promedio**
	1	2	3	
S0	100	115	107.5	107.5
S1	97.5	85	91.25	91.25
S2.1	262.5	282.5	272.5	272.5
S2.2	310	300	305	305
S3	110	102.5	106.25	106.25
S4	132.5	140	136.25	136.25
S5	117.5	100	108.75	108.75

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. México.



Gráfica 3.5. Comportamiento de valores de concentración de sólidos totales volátiles (STV) por punto de muestreo en mg/L.

De acuerdo con los resultados obtenidos, la concentración de sólidos totales volátiles (STV) de los puntos evaluados se encuentra entre 91.25-305 mg/L, presentando cantidades inferiores en los puntos de muestreo o de evaluación S0, S1, S3, S4 y S5 y cantidades significativamente altas en los puntos S2.1 y S2.2.

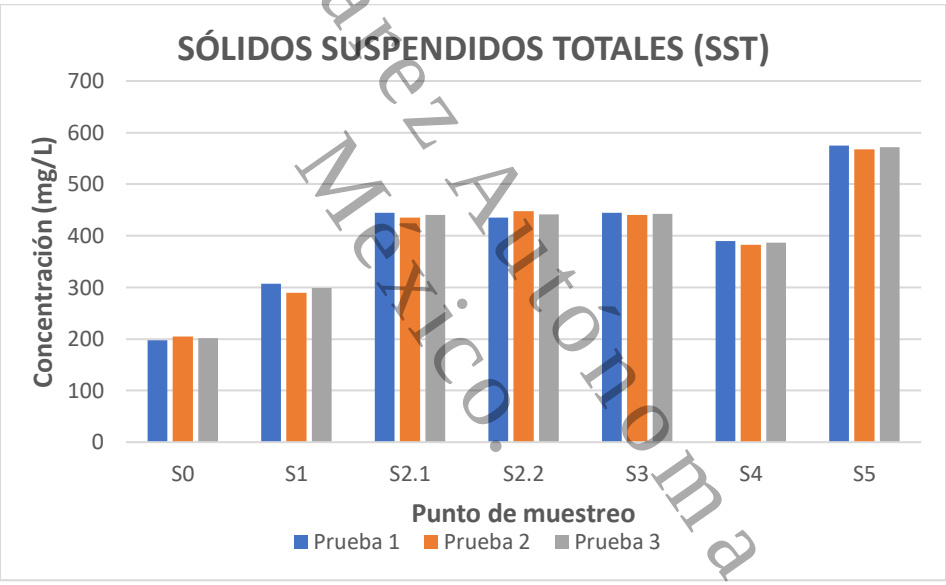
- Sólidos suspendidos totales (SST)

En el caso de los sólidos suspendidos totales (SST), los cuales son los tipos de sólidos más importantes para realizar su evaluación, se presenta la tabla 3.6 y señala los valores de concentración en mg/L para cada número de prueba realizada a los puntos de muestreo, así como también el promedio de referencia utilizado para la evaluación del límite permisible dispuesto en la norma correspondiente.

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. México.

Tabla 3.6. Valores de concentración de sólidos suspendidos totales volátiles por punto de muestreo en mg/L.

CONCENTRACIÓN DE SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES (mg/L)				
Punto de muestreo	**No. de prueba**			**Promedio**
	1	2	3	
S0	197.5	205	201.25	201.25
S1	307.5	290	298.75	298.75
S2.1	445	435	440	440
S2.2	435	447.5	441.25	441.25
S3	445	440	442.5	442.5
S4	390	382.5	386.25	386.25
S5	575	567.5	571.25	571.25



Gráfica 3.6. Comportamiento de valores de concentración de sólidos suspendidos totales (SST) por punto de muestreo en mg/L.

La norma oficial mexicana NOM-001-SEMARNAT-2021, establece que los límites permisibles de la concentración de sólidos suspendidos totales (SST) en ríos, arroyos, canales, drenes, embalses, lagos y lagunas se encuentran entre 24-72 mg/L de material en promedio diario (SEMARNAT, 2021).

Los resultados que se muestran en la tabla anterior señalan que los valores de concentración de sólidos suspendidos totales (SST) en los puntos evaluados (S0, S1,

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. México.

S2.1, S2.2, S3, S4, S5) se encuentran entre 201.25-571.25 mg/L, es decir, sobrepasan en gran medida los valores de los límites establecidos en la norma oficial. De acuerdo con la gráfica 3.6, en los puntos S2.1, S2.2 Y S3 existe un comportamiento similar con respecto a la concentración de SST, mientras que para el punto S5, que es donde se encuentra uno de los canales que conecta con una zona costera, existe una diferencia relativamente mayor a los demás puntos concluyendo que existe una fuerte cantidad de sales, sólidos sedimentables y demás sólidos en la zona.

Al realizar el cálculo de la concentración en cada punto evaluado de los sólidos y sales disueltas se evaluó consecutivamente la desviación estándar y precisión con el objetivo de verificar la dispersión y concordancia de los valores obtenidos en cada repetición.

Los valores de desviación estándar para sólidos totales (ST), sólidos totales volátiles (STV) y sólidos suspendidos totales (SST) se encuentran entre los valores ± 1.25-10, ± 3.75-10, ± 2.5-8.75 respectivamente; mientras que la precisión se encuentra entre los valores 206.25 ± 3.10520-1075 ± 24.84165, 106.25 ± 9.315618-272.5 ± 24.84165, 442.5 ± 6.210412- 298.75 ± 21.736443 respectivamente, teniendo así una dispersión de datos que se presentan por diversos factores como la metodología del analista, la característica de la muestra, las pequeñas pérdidas existentes en la muestra en su transporte o el manejo de la muestra.

3.1.5 Grasas y aceites

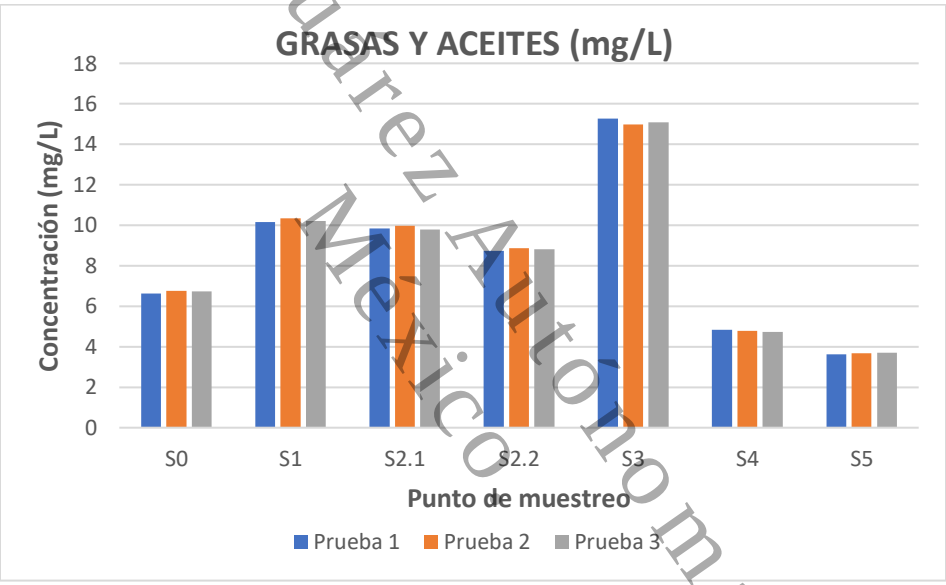
Las grasas y aceites al ser insolubles en el agua provocan la existencia de una espuma o nata en la superficie que impide la entrada de oxígeno en el cuerpo de agua, lo que podría ocasionar la intoxicación o muerte de los seres vivos que subsistan en ella o de ella (Rincón et al., 2022)

La concentración de grasas y aceites en mg/L de los diferentes puntos examinados se muestran en la tabla 3.7, la cual establece los valores de las tres repeticiones realizadas y el promedio obtenido a partir del procedimiento marcado en la norma mexicana NMX-AA-005-SCFI-2021.

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. México.

Tabla 3.7. Valores de concentración de grasas y aceites por punto de muestreo en mg/L.

CONCENTRACIÓN DE GRASAS Y ACEITES (mg/L)				
Punto de muestreo	No. de prueba			Promedio
	1	2	3	
S0	6.6331	6.7556	6.7298	6.71
S1	10.1507	10.3517	10.2078	10.24
S2.1	9.849	9.9675	9.7845	9.87
S2.2	8.7437	8.8712	8.8176	8.81
S3	15.2763	14.9738	15.0845	15.11
S4	4.824	4.7841	4.7236	4.77
S5	3.618	3.6873	3.7145	3.67



Gráfica 3.7. Comportamiento de valores de concentración de grasas y aceites por punto de muestreo en mg/L.

Los valores de concentración de los límites máximos permisibles para grasas y aceites en mg/L establecidos en la norma oficial mexicana NOM-0001-SEMARNAT-2021, en cuerpos de agua similares a los estudiados es de 18 mg/L como promedio diario.

Acorde a los datos marcados en la tabla 3.7, los puntos S0, S1, S2.1, S2.2, S4 y S5 se encuentran dentro de los límites permisibles con valores entre 3.67-10.23 mg/L, mientras en el punto S3 se observa en la gráfica 3.7, que es la zona después del pozo y que durante el muestreo se observó una mayor cantidad de grasas en la superficie, existe un alto nivel de concentración pero no sobrepasa el promedio diario ya que presenta un

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. México

valor de 15.11 mg/L, por lo tanto, se establece que en esa zona existe una gran cantidad de grasas a las cuales se les tendría que realizar los estudios correspondientes para verificar si son grasas obtenidas de las plantas y seres vivos que conviven en la zona o hidrocarburos que se escaparon del pozo.

Al realizar el cálculo de la concentración de grasas y aceites en cada punto evaluado se determinó consecutivamente la desviación estándar y precisión con el objetivo de verificar la dispersión y concordancia de los valores obtenidos en cada repetición. Los valores de desviación estándar para los valores de grasas y aceites se encuentran entre ± 0.049-1.153; mientras que la precisión está entre los valores de, 3.6732 ± 0.1236 - 15.111 ± 0.3802, teniendo así una dispersión de datos que se presentan por diversos factores como la metodología del analista, la característica de la muestra, las pequeñas perdidas existentes en la muestra en su transporte o el manejo de la muestra.

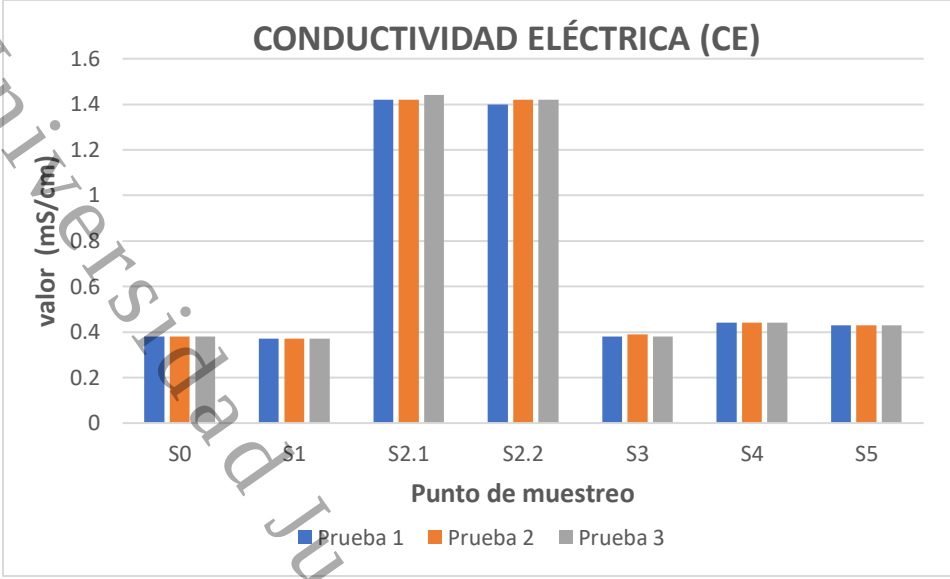
3.1.6 Conductividad eléctrica

Los valores en mS/cm de la conductividad eléctrica y el correspondiente promedio para cada una de las muestras se presentan en la tabla 3.8, los cuales se tomaron de los valores obtenidos en la medición realizada con el equipo de medición de conductividad.

Tabla 3.8. Valores de conductividad eléctrica por punto de muestreo en mS/cm.

VALOR DE CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA (mS/cm)				
Punto de muestreo	**No. de prueba**			**Promedio**
	1	2	3	
S0	0.38	0.38	0.38	0.38
S1	0.37	0.37	0.37	0.37
S2.1	1.42	1.42	1.44	1.43
S2.2	1.40	1.42	1.42	1.41
S3	0.38	0.39	0.38	0.38
S4	0.44	0.44	0.44	0.44
S5	0.43	0.43	0.43	0.43

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. México.



Gráfica 3.8. Comportamiento de valores de conductividad eléctrica por punto de muestreo en mS.

De acuerdo con la Norma Oficial Mexicana NOM-069-ECOL-1994, la cual establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales a cuerpos receptores provenientes de la industria de componentes eléctricos y electrónicos, el límite de concentración máxima de conductividad debe ser de 2500 µmho/cm del promedio diario y 3000 µmho/cm instantáneo, el cual corresponde a 2.5-3 mS/cm respectivamente (ECOL, 1995).

Los valores de conductividad en los puntos S0, S1, S3, S4 y S5 del cuerpo de agua con base en los resultados obtenidos en la tabla 3.8, están entre 0.37-0.44 mS/cm, por lo tanto, se determina que se encuentran dentro de los límites permisibles establecidos en la norma. No obstante, en la gráfica 3.8, se observa que los puntos S2.1 y S2.2 tienen un valor de 1.41-1.42 mS/cm siendo un poco más elevados que los demás puntos, pero entrando aún dentro de los valores permitidos en la norma.

Al realizar el cálculo del valor de conductividad en cada punto evaluado se determinó consecutivamente la desviación estándar y precisión con el objetivo de verificar la dispersión y concordancia de los valores obtenidos en cada repetición. Los valores de desviación estándar para los valores de conductividad eléctrica se encuentran entre ± 0-0.0115; mientras que la precisión está entre los valores de, 0.37 ± 0 - 1.4133 ± 0.0286, teniendo así una pequeña dispersión de datos que se presentan por diversos factores

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. México.

como la metodología del analista, la característica de la muestra, las pequeñas perdidas existentes en la muestra en su transporte o el manejo de la muestra.

3.1.7 Acidez y alcalinidad

Cuando existe una elevada cantidad de acidez o alcalinidad en el agua, se puede romper el balance de los químicos de ésta y movilizar a los contaminantes, causando condiciones tóxicas. Los organismos acuáticos pueden experimentar problemas haciendo que las poblaciones declinen.

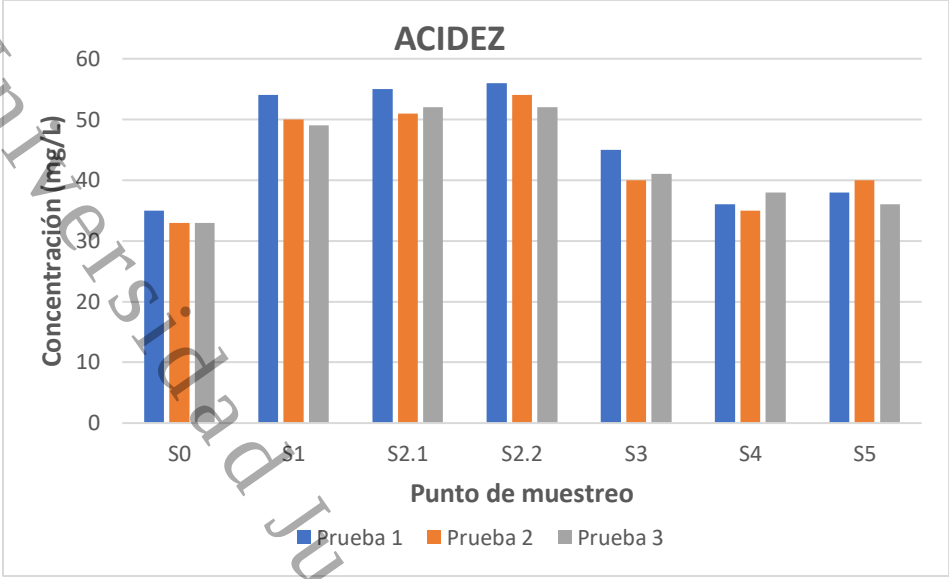
- Acidez

Los valores de concentración en mg/L de acidez de las tres repeticiones y su correspondiente promedio para cada una de las muestras se presentan en la tabla 3.9, donde los valores se calcularon a partir de la ecuación 4 señalada en la norma mexicana correspondiente al parámetro de acidez y alcalinidad.

Tabla 3.9. Valores de concentración de acidez por punto de muestreo en mg/L.

CONCENTRACIÓN DE ACIDEZ (mg/L)				
Punto de muestreo	**No. de prueba**			**Promedio**
	1	2	3	
S0	35	33	33	34
S1	54	50	49	51
S2.1	55	51	52	53
S2.2	56	54	52	54
S3	45	40	41	42
S4	36	35	38	36
S5	38	40	36	38

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. México.



Gráfica 3.9. Comportamiento de valores de concentración de acidez por punto de muestreo en mg/L.

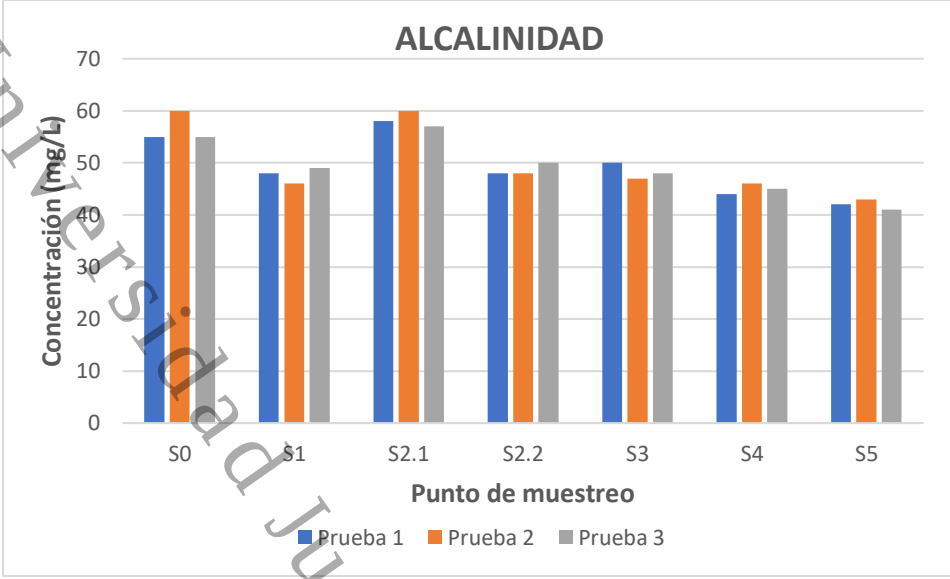
- Alcalinidad

En la tabla 3.10, se establecen los valores de concentración en mg/L de alcalinidad calculados con la ecuación 5 señalada en la norma mexicana NMX-AA-036-SCFI-200. Estos valores corresponden a las pruebas realizadas por triplicado y al promedio de referencia utilizado para la evaluación de los datos experimentales con respecto a los límites permisibles marcados en las normas oficiales, instituciones gubernamentales, ecológicas y de salud.

Tabla 3.10. Valores de concentración de alcalinidad por punto de muestreo en mg/L.

CONCENTRACIÓN DE ALCALINIDAD (mg/L)				
Punto de muestreo	**No. de prueba**			**Promedio**
	1	2	3	
S0	55	60	55	57
S1	48	46	49	48
S2.1	58	60	57	58
S2.2	48	48	50	49
S3	50	47	48	48
S4	44	46	45	45
S5	42	43	41	42

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. México.



Gráfica 3.10. Comportamiento de valores de concentración de alcalinidad por punto de muestreo en mg/L.

Los valores obtenidos de la concentración de acidez en mg/L se encuentran entre 34 – 54 mg/L y la alcalinidad 42 – 58 mg/L, siendo estos valores factibles para declarar que están dentro de los límites máximos permisibles de acuerdo con lo establecido en la Ley Federal de Derechos aplicada en materia de aguas nacionales, siendo el límite máximo permisible en promedio diario de acidez 400 mg/L, dando un enfoque de que la alcalinidad si se encuentra entre los límites marcados en todos los puntos de muestreo de acuerdo con el comportamiento de la gráfica 3.10. Los valores de la acidez y alcalinidad no deben reducirse en más del 25%, ni cuanto sea igual o menor a 20 mg/L.

Se determinó consecutivamente la desviación estándar y precisión de los valores obtenidos de acidez y alcalinidad con el objetivo de verificar la dispersión y concordancia de estos en cada repetición. Los valores de desviación estándar para la acidez y alcalinidad se encuentran entre ± 1.15 - 2.64 y ± 1- 2.88 respectivamente; mientras que la precisión está entre los valores de, 33.66 ± 2.8684 - 54 ± 4.96833 y 42 ± 2.4841 - 58.3333 ± 3.7946 respectivamente, teniendo así una pequeña dispersión de datos que se presentan por diversos factores como la metodología del analista, la característica de la muestra, las pequeñas pérdidas existentes en la muestra en su transporte o el manejo de la muestra.

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. México

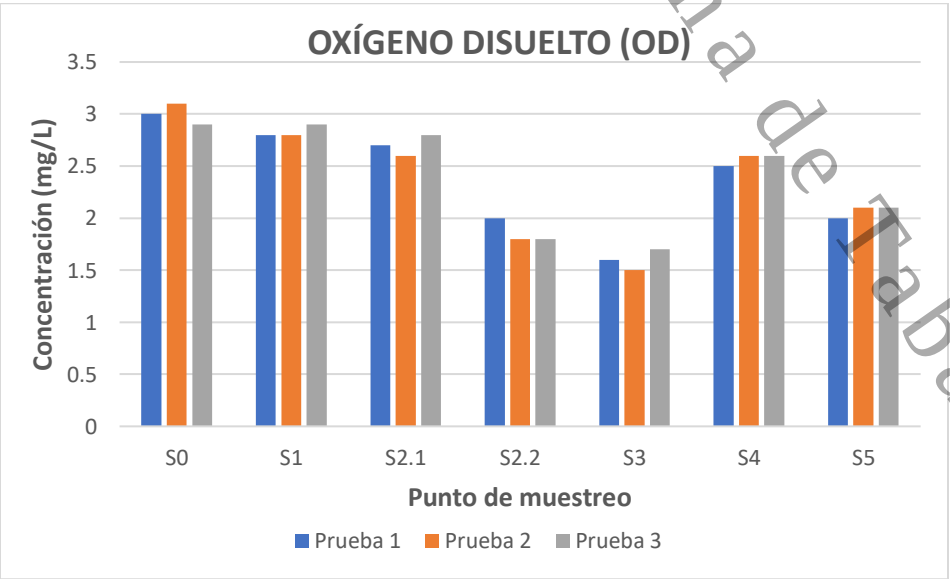
3.1.8 Oxígeno disuelto (OD)

La insuficiencia de oxígeno disuelto (OD) en ríos, arroyos, canales, drenes, embalses, lagos y lagunas podría ser causada por la eutrofización del agua y así provocar la muerte o reducción de crecimiento de los organismos (SEMARNAT, 2001).

Como es mencionado con anterioridad, la concentración de oxígeno disuelto en el agua es la cantidad (en mg/L) de oxígeno presente. Por ello, la presente tabla 3.11, señala los valores de concentración de OD de las pruebas realizadas con el equipo de medición de oxígeno disuelto por triplicado y el respectivo promedio de cada una de las muestras experimentales.

Tabla 3.11. Valores de concentración de oxígeno disuelto (OD) por punto de muestreo en mg/L.

CONCENTRACIÓN DE OXÍGENO DISUELTO (mg/L)				
Punto de muestreo	**No. de prueba**			**Promedio**
	1	2	3	
S0	3	3.1	2.9	3
S1	2.8	2.8	2.9	2.8
S2.1	2.7	2.6	2.8	2.7
S2.2	2	1.8	1.8	1.87
S3	1.6	1.5	1.7	1.6
S4	2.5	2.6	2.6	2.6
S5	2	2.1	2.1	2.1



Gráfica 3.11. Comportamiento de valores de concentración de oxígeno disuelto (OD) por punto de muestreo en mg/L.

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. México

La Ley Federal de Derechos en materia de agua establece que los límites permisibles de la concentración de OD en agua dulce es de 5 mg/L. Los valores obtenidos de la cantidad de oxígeno disuelto presente en el cuerpo de agua en cada uno de los puntos evaluados se encuentran entre 1.6 - 3 mg/L, por lo tanto, de acuerdo con el comportamiento de la gráfica 3.11, se determina que los valores se encuentran dentro de los límites permisibles recomendados y por ello, existe presencia de oxígeno disuelto (OD), lo que ocasiona el crecimiento de organismo vivos (plantas, microorganismos, hongos, etc.) en este medio.

Para el cálculo de la concentración OD en cada punto evaluado se determinó consecutivamente la desviación estándar y precisión con el objetivo de verificar la dispersión y concordancia de los valores obtenidos en cada repetición. Los valores de desviación estándar para los valores de conductividad eléctrica se encuentran entre ± 0.057-0.115; mientras que la precisión está entre los valores de, 1.6 ± 0.2484 - 2.83 ± 0.1434, teniendo así una pequeña dispersión de datos que se presentan por diversos factores como la metodología del analista, la característica de la muestra, las pequeñas perdidas existentes en la muestra en su transporte o el manejo de la muestra.

3.1.9 Demanda Química de Oxígeno (DQO)

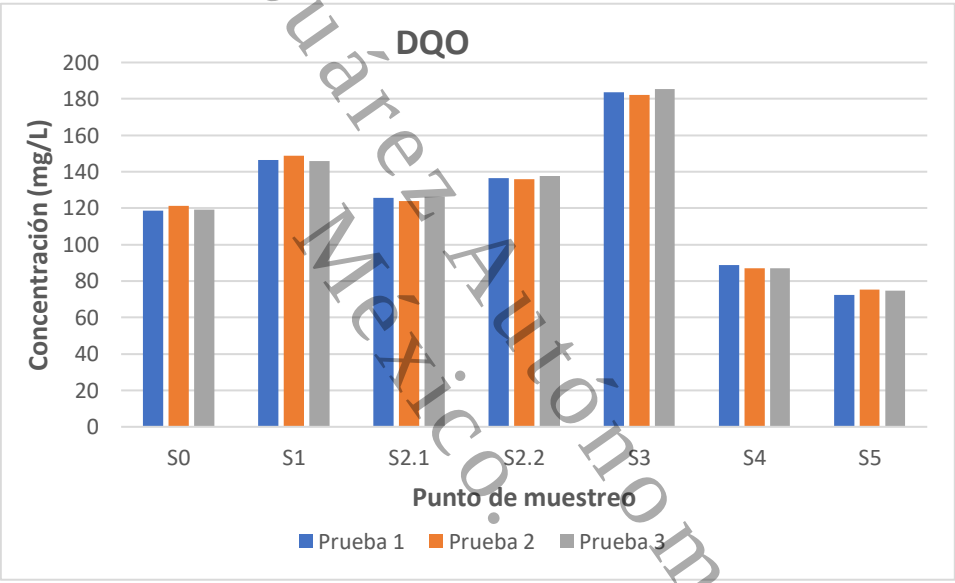
Los altos valores de DQO representan un impacto negativo o inconveniente para el tratamiento biológico o descontaminación del agua ya que restringen la actividad microbiana, asfixian los organismos acuáticos o dan paso a la eutrofización en la zona (Pedreros-Calvo et al., 2021).

La demanda química de oxígeno (DQO) es un parámetro conocido como la cantidad de oxígeno necesaria para descontaminar el agua la cual es medido en mg/L. Por ello, en la siguiente tabla 3.12, se establecen los valores de concentración de DQO de las pruebas realizadas en las diferentes zonas por triplicado y su correspondiente promedio, además, se presenta la gráfica del comportamiento de la concentración en las zonas de muestreo.

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. México

Tabla 3.12. Valores de concentración de la demanda química de oxígeno (DQO) por punto de muestreo en mg/L.

CONCENTRACIÓN DE DQO (mg/L)				
Punto de muestreo	No. de prueba			Promedio
	1	2	3	
S0	118.56	121.34	119.25	119.72
S1	146.34	148.76	145.97	147.02
S2.1	125.67	123.89	126.23	125.26
S2.2	136.58	135.98	137.78	136.78
S3	183.56	182.27	185.41	183.75
S4	88.78	87.16	86.92	87.62
S5	72.45	75.23	74.67	74.12



Gráfica 3.12. Comportamiento de valores de concentración de la demanda química de oxígeno (DQO) por punto de muestreo en mg/L.

La norma oficial mexicana NOM-001-SEMARNAT-2021 para canales y drenes similares a los estudiados establece una concentración o límite máximo permisible de 120-180 mg/L como promedio diario.

De acuerdo con los valores de concentración de DQO en mg/L plasmados en la tabla anterior, la concentración del parámetro se encuentra entre 74.12-147.02 mg/L, siendo los puntos S4 y S5 los de menor valor, es decir, no existe gran cantidad de materia orgánica en esos puntos lo que ocasiona un ecosistemas vivo y autosuficiente. Aunque, de acuerdo con el comportamiento de la gráfica 3.12, los valores de los puntos S0, S1,

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. México.

S2.1 y S2.2 se encuentren dentro de los límites máximos permisibles en promedio diario, se denota que existe una cantidad mayor de materia orgánica en esos puntos, mientras que en el punto S3, existe la concentración que supera el valor del límite máximo permisible establecida en promedio diario con una concentración de 183.75 mg/L debido a la gran cantidad de materia orgánica existente en esa zona (grasas y aceites, materia flotante, etc.) ocasionando varios impactos negativos en el cuerpo de agua para los seres vivos.

La desviación estándar para este parámetro se encuentra entre los valores ± 0.9165-1.5783, mientras que la precisión se encuentra entre los valores 74.1166 ± 3.6524 – 183.7466 ± 3.9207, teniendo así una dispersión de datos que se presentan por diversos factores como la condición de las válvulas en los materiales volumétricos, la metodología del analista, la característica de la muestra en el ambiente y la preparación de las soluciones.

3.1.10 Cloruros totales

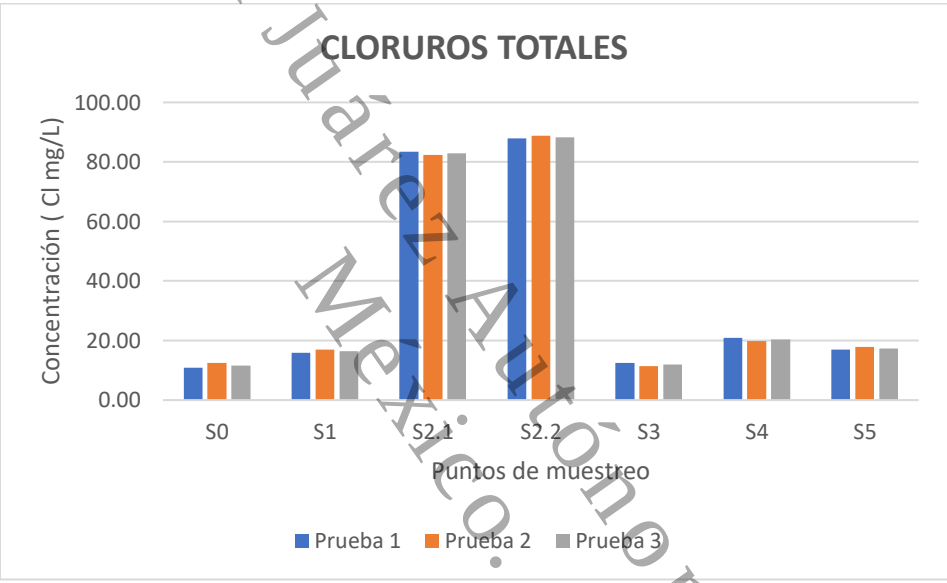
Un exceso de concentración de cloruros en aguas puede no ser perjudicial para el ser humano, pero si para las plantas que se encuentran dentro de ella ya que genera toxicidad. Además, es en gran medida un factor de corrosión para las tuberías, materiales fabricados con acero de refuerzo o hierro estructural (Colmenares, M. & Mare , E., 2017).

En el caso del parámetro de cloruros totales, los resultados evaluados en cada punto de muestreo se presentan en la tabla 3.13, donde se indican los valores de concentración obtenidos en cada una de las tres repeticiones desarrolladas en el laboratorio, así como su promedio.

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. México.

Tabla 3.13. Valores de cloruros totales por punto de muestreo en Cl mg/L.

CONCENTRACIÓN DE CLORUROS (Cl mg/L)				
Punto de muestreo	No. de prueba			Promedio
	1	2	3	
S0	10.92	12.41	11.66	11.66
S1	15.88	16.87	16.38	16.38
S2.1	83.38	82.39	82.88	82.88
S2.2	87.85	88.84	88.34	88.34
S3	12.41	11.41	11.91	11.91
S4	20.84	19.85	20.35	20.35
S5	16.87	17.87	17.37	17.37



Gráfica 3.13. Comportamiento de valores de cloruros totales por punto de muestreo en Cl mg/L.

Los valores de cloruros totales en (Cl mg/L) mostrados en la tabla 3.13, indican que los puntos de muestreo evaluados a través de los datos se manifiestan entre 11.66-88.34 Cl mg/L, por lo que, de acuerdo con de la Ley Federal de Derechos, el límite máximo permisible de cloruros totales en agua duce no debe exceder los 250 Cl mg/L.

Dando a conocer que los resultados se encuentran dentro de los límites máximos permisibles señalados en la Ley Federal de Derechos. Sin embargo, el comportamiento de los datos obtenidos en cada repetición se puede apreciar en la gráfica 3.13, donde los valores de los puntos de muestreo S2.1 y S2.2 sobrepasan los 80 Cl mg/L de concentración considerando que en esa zona está el quemador.

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. México.

Para el cálculo de la concentración en cada punto de muestreo de cloruros totales, se evaluó la desviación estándar y precisión con el objetivo de verificar la dispersión y concordancia de los valores obtenidos en cada repetición realizada en el laboratorio.

La desviación estándar para este parámetro se encuentra entre los valores ± 0.4963-0.7445, mientras que la precisión se encuentra entre los valores 11.91±1.2328 – 11.66±1.8493, teniendo así una dispersión de datos que se presentan por diversos factores como la condición de las válvulas en los materiales volumétricos, la metodología del analista, la característica de la muestra en el ambiente y la preparación de las soluciones.

3.1.11 Nitrógeno total

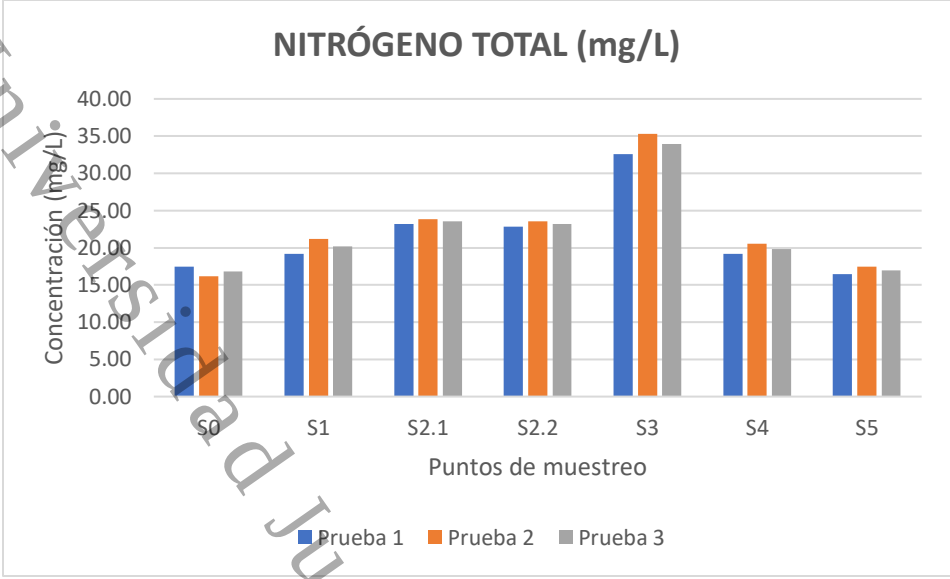
Una concentración excesiva de nitrógeno produce alteraciones en la calidad del agua, así como del entorno y biodiversidad, teniendo así un crecimiento exponencial de algas y plantas impidiendo un correcto proceso de fotosíntesis generando una degradación por microorganismos que da lugar a lo que se conoce como eutrofización (Eugercios et al. 2017).

Los resultados evaluados en los puntos de muestreo para el parámetro de nitrógeno total se encuentran presentes en la tabla 3.14, donde se manifiestan los valores de concentración obtenidos en cada una de las tres réplicas realizadas y calcular su promedio.

Tabla 3.14. Valores de nitrógeno total por punto de muestreo en mg/L.

CONCENTRACIÓN DE NITRÓGENO TOTAL (mg/L)				
Punto de muestreo	**No. de prueba**			**Promedio**
	1	2	3	
S0	17.4795	16.1349	16.8072	16.81
S1	19.1602	21.1771	20.1686	20.17
S2.1	23.1939	23.8662	23.5301	23.53
S2.2	22.8578	23.5301	23.1939	23.19
S3	32.6060	35.2951	33.9505	33.95
S4	19.1602	20.5048	19.8325	19.83
S5	16.4711	17.4795	16.9753	16.97

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. México.



Gráfica 3.14. Comportamiento de valores de nitrógeno total por punto de muestreo en mg/L.

En relación con los datos obtenidos de nitrógeno total en (mg/L) en los puntos de muestreo S0, S1, S2.1, S2.2, S4 y S5 presentados en la tabla 3.14, se manifiestan entre un rango de 16.81-23.53 mg/L y con base en la NOM-001-SEMARNAT-2021, el límite máximo permisible de nitrógeno total en ríos, arroyos, canales, drenes, embalses, lagos y lagunas debe ser de 25-30 mg/L en promedio diario, por lo tanto, para los puntos mencionados se confirma que los valores de concentración de nitrógeno obtenidos se encuentran dentro del límite máximo permisible descritas en la norma.

Analizando los valores de la tabla anterior en los puntos de muestreo S2.1 y S2.2 existe una mayor variación en comparación con los demás puntos de muestreo, no obstante, se puede observar claramente en la gráfica 3.14 que, el punto de muestreo S3 supera el límite máximo permisible en promedio diario descrito en la norma con un valor de 33.95 mg/L de concentración de nitrógeno, tomando en cuenta que dentro de ese punto convergen las corrientes del quemador del pozo exploratorio alterando la calidad del agua.

En el cálculo de concentración por cada punto de muestreo de nitrógeno total, fue evaluada la desviación estándar, así como la precisión, con el principal objetivo de comprobar la dispersión y concordancia que existen en los valores obtenidos por cada repetición realizada dentro del laboratorio.

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. México.

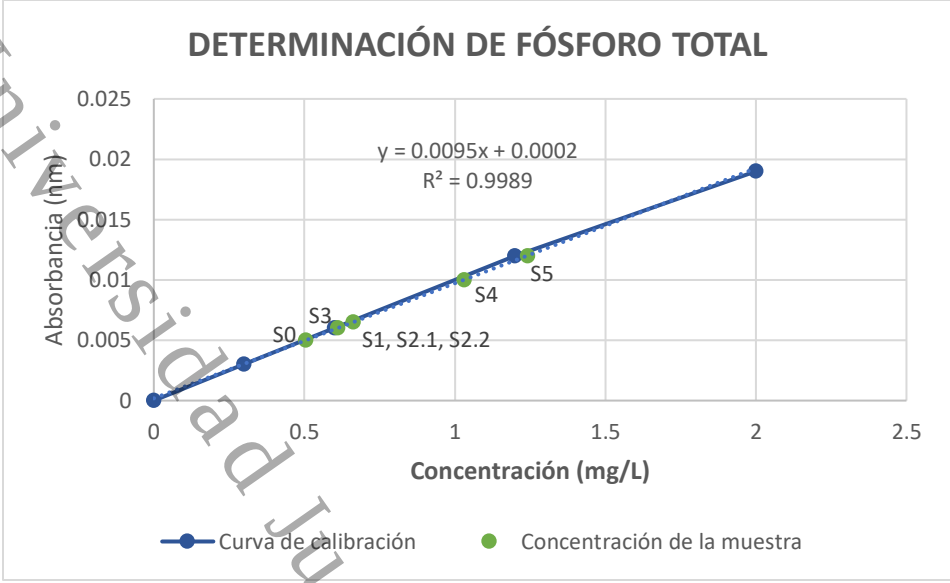
La desviación estándar para este parámetro se encuentra dentro de los valores ± 0.3361-1.3445, mientras que la precisión se encuentra entre los valores 23.19±0.8350 – 33.95±3.3401, teniendo así una dispersión de datos que se presentan por diversos factores como la condición de los materiales de vidrio para digestión, la característica de la muestra en el ambiente, la preparación de las soluciones, la metodología del analista y disponibilidad de los reactivos.

3.1.12 Fósforo total

El exceso de concentración de fósforo total en aguas afecta de igual manera como el nitrógeno, ya que ambos son nutrientes esenciales para el ecosistema, es decir, existe la misma consecuencia de eutrofización por un exceso de algas y plantas que puede ser dañina si provoca hipoxia o liberación de toxinas. Esto hace que los niveles de oxígeno disuelto disminuyan, cambie de manera significativa el ecosistema, así como la reducción de la biodiversidad y perjudicando la salud humana debido a la toxicidad del agua (Blaas, H. & Kroeze, C., 2016).

Para la determinación de fósforo total, se realizó una curva de calibración con un intervalo de trabajo desde 0.3 mg/L a 2.0 mg/L, mencionadas en la norma NMX-AA-029-SCFI-2001 y a partir de ello se consideraron cuatro diluciones conocidas 0.3 mg/L, 0.6 mg/L, 1.2 mg/L y 2.0 mg/L, con la finalidad de tener puntos de referencia y la ecuación de función lineal, que es necesaria para calcular las concentraciones de fósforo total en mg/L de cada punto de muestreo analizado tal y como se muestra en la gráfica 3.15.

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. México.



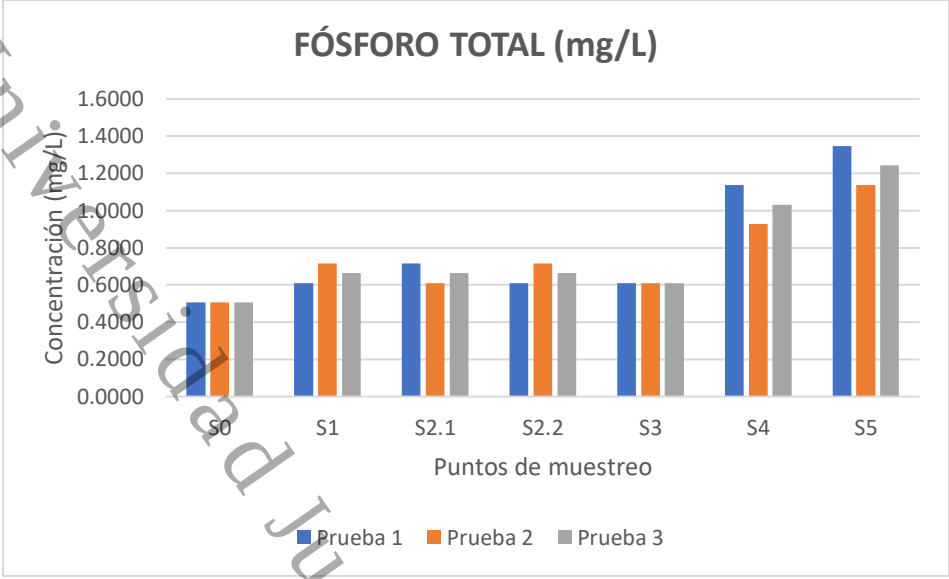
Gráfica 3.15. Comportamiento de valores de fósforo total dentro de la curva de calibración con un intervalo de trabajo desde 0.3 mg/L hasta 2.0 mg/L.

Posteriormente, los resultados de fósforo total evaluados por cada punto de muestreo se observan en la tabla 3.15, donde se encuentran indicados los valores de concentración obtenidos a través de tres repeticiones realizadas en el laboratorio, así como la evaluación de su promedio calculado con la finalidad de ser un valor de referencia para ser comparado con los valores experimentales y los límites máximos permisibles incluidos en las normas o dependencias de salud y medio ambiente.

Tabla 3.15. Valores de fósforo total por punto de muestreo en mg/L.

CONCENTRACIÓN DE FÓSFORO TOTAL (mg/L)				
Punto de muestreo	**No. de prueba**			**Promedio**
	1	2	3	
S0	0.5053	0.5053	0.5053	0.51
S1	0.6105	0.7158	0.6632	0.66
S2.1	0.7158	0.6105	0.6632	0.66
S2.2	0.6105	0.7158	0.6632	0.66
S3	0.6105	0.6105	0.6105	0.61
S4	1.1368	0.9263	1.0316	1.03
S5	1.3474	1.1368	1.2421	1.24

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. México.



Gráfica 3.16. Comportamiento de valores de fósforo total por punto de muestreo en mg/L.

Los valores de fósforo total en (mg/L) en los puntos evaluados, se presentan en la tabla 3.15, donde las concentraciones de puntos de muestreo se encuentran en un rango de 0.51-1.24 mg/L.

De acuerdo con la NOM-001-SEMARNAT-2021, el límite máximo permisible de fósforo total en ríos, arroyos, canales, drenes, embalses, lagos y lagunas no debe exceder los 10-18 mg P/L en promedio diario, demostrando que los valores de concentración de fósforo total obtenidos en los puntos de muestreo analizados se encuentran dentro de los límites máximos permisibles diarios establecidos por la norma.

Hay que tener en cuenta, que los puntos S4 y S5 tienen una variabilidad significativa en comparación con los demás puntos de muestreo, lo cual, puede ser verificado en la gráfica 3.16, tomando en cuenta que son los canales donde existe un flujo mayor de corrientes de agua y este parámetro pudo presentarse por arrastre en exceso de manera natural o agentes químicos por erosión del suelo dentro del agua. Así mismo se puede observar en la gráfica que el comportamiento de tres puntos de muestreo denominados S1, S2.1 y S2.2, los valores por repetición son análogos, dado que son puntos donde se encontraba el pozo exploratorio y la zona del quemador.

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. México.

Para calcular la concentración de fósforo total, se evaluó la desviación estándar y precisión en cada punto de muestreo, esto con la finalidad de verificar la dispersión y concordancia de los valores obtenidos en cada repetición realizada en el laboratorio.

La desviación estándar para este parámetro se encuentra entre los valores ± 0-0.1053, mientras que la precisión se encuentra entre los valores 0.505±0 – 1.242±0.2614, teniendo así una dispersión de datos que se presentan por diversos factores como la condición de los equipos para digestión, equipos de calentamiento, la metodología del analista, la característica de la muestra en el ambiente y la preparación de las soluciones.

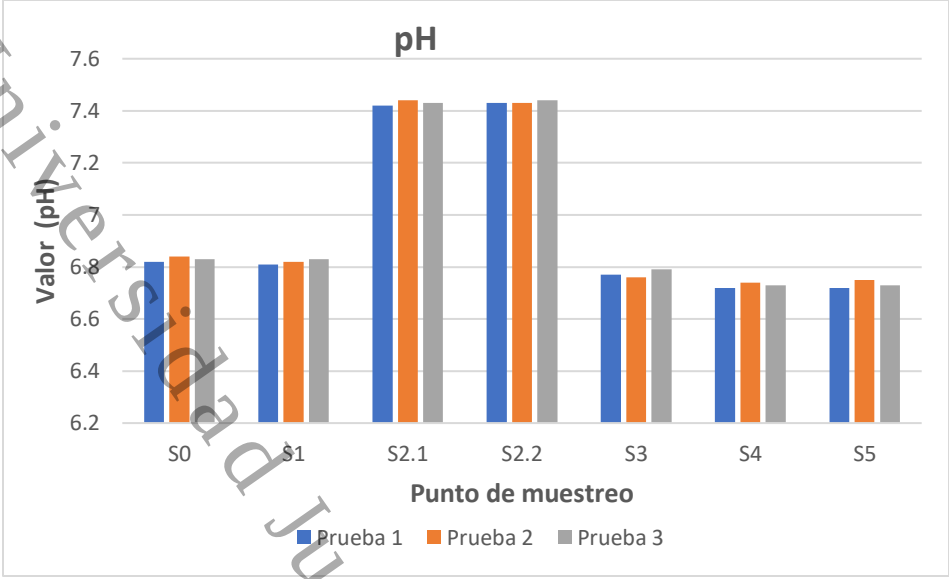
3.1.13 pH

Para los valores de pH de cada punto de muestreo los cuales se obtuvieron experimentalmente a partir del equipo medidor de pH, se establece la siguiente tabla 3.16, la cual muestra los datos de las pruebas realizadas por triplicado y su correspondiente promedio. Estos promedios son utilizados para realizar la evaluación y comparación de datos experimentales y límites permisibles establecidos en las normas oficiales u otro organismo gubernamental, de salud o medio ambiente.

Tabla 3.16. Valores de pH por punto de muestreo.

VALOR DE pH				
Punto de muestreo	**No. de prueba**			**Promedio**
	1	2	3	
S0	6.82	6.84	6.83	6.83
S1	6.81	6.82	6.83	6.82
S2.1	7.42	7.44	7.43	7.43
S2.2	7.43	7.43	7.44	7.43
S3	6.77	6.76	6.79	6.77
S4	6.72	6.74	6.73	6.73
S5	6.72	6.75	6.73	6.73

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. México.



Gráfica 3.17. Comportamiento de valores de pH por punto de muestreo.

De acuerdo con la NOM-001-SEMARNAT-2021, los límites permisibles de pH en ríos, arroyos, canales, drenes, embalses, lagos y lagunas deben de estar entre los valores de 6 a 9. Con base en los resultados obtenidos y marcados en la tabla 3.16 y gráfica 3.17, los valores de pH en el cuerpo de agua para cada punto de muestreo se encuentran entre 6.73-7.43, por lo tanto, se determina que los valores se encuentran dentro de los límites permisibles establecidos.

La desviación estándar para este parámetro se encuentra entre los valores ± 0.005-0.01, mientras que la precisión se encuentra entre los valores 6.733 ± 0.0152 – 7.43 ± 0.0248, teniendo así una dispersión de datos que se presentan por diversos factores como la metodología del analista y la característica de la muestra en el ambiente.

3.1.14 Dureza total

El mal sabor y el alto nivel de sales en las aguas duras no son recomendables para el consumo tanto de las personas como de los seres vivos ya que se ha documentado que el exceso de iones de calcio y magnesio pueden generar enfermedades a largo plazo como nefritis, problemas cardiovasculares, cáncer gástrico o de colon y dermatitis (Prato et al., 2022).

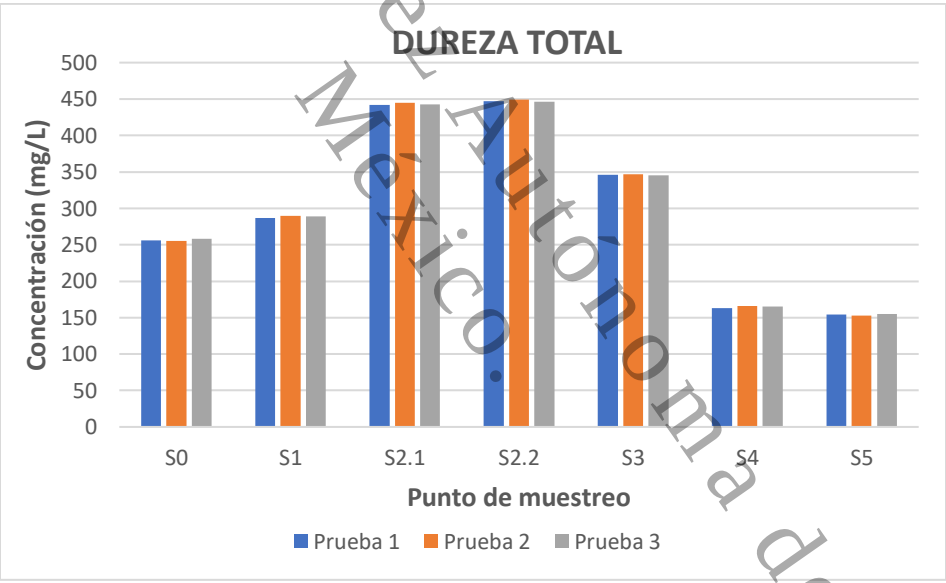
La tabla 3.17, establece los datos de concentración de dureza total en mg/L de cada punto de muestreo, mostrando los valores del número de pruebas realizadas y su

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco México

promedio correspondiente, así como también la gráfica del comportamiento de los valores de concentración.

Tabla 3.17. Valores de dureza total por punto de muestreo en mg/L.

CONCENTRACIÓN DE DUREZA TOTAL (mg/L)				
Punto de muestreo	**No. de prueba**			**Promedio**
	1	2	3	
S0	256	255	258	256
S1	287	290	289	289
S2.1	442	445	443	443
S2.2	447	449	446	447
S3	346	347	345	346
S4	163	166	165	165
S5	154	153	155	154



Gráfica 3.18. Comportamiento de valores de concentración de dureza total por punto de muestreo en mg/L.

La norma oficial mexicana NOM-127-SSA1-2021 "agua para uso y consumo humano. Límites permisibles de la calidad del agua", establece un límite máximo permisible de concentración de dureza total de 500 mg/L.

A partir de los resultados obtenidos, los valores de concentración de dureza total en los puntos S0, S1, S3, S4 y S5 del cuerpo de agua, se encuentran entre 154-346 mg/L, por

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. México.

tanto, se determina que los valores se encuentran dentro de los límites permisibles establecidos por la norma, mientras que el comportamiento de los puntos S2.1 y S2.2 cercanos al pozo de acuerdo con la gráfica 3.18, se encuentran entre 443-447 mg/L, estando muy cerca del valor máximo permitido lo que podría ocasionar un riesgo a largo plazo en la salud humana y en el crecimiento de los seres vivos.

Al realizar el cálculo de la concentración de dureza total en cada punto evaluado se determinó consecutivamente la desviación estándar y precisión con el objetivo de verificar la dispersión y concordancia de los valores obtenidos en cada repetición. Los valores de desviación estándar para los valores de dureza total se encuentran entre ± 1-1.5275; mientras que la precisión está entre los valores de, 154 ± 2.4841 - 447.333 ± 3.7946, teniendo así una dispersión de datos que se presentan por diversos factores como la metodología del analista, la característica de la muestra, las pequeñas perdidas existentes en la muestra en su transporte o el manejo de la muestra.

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. México.

3.2 DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS

Se realizó la evaluación de la vulnerabilidad del agua en el ejido Úrsulo Galván ante la cercanía del pozo petrolero exploratorio “Pozol-1”, a través de los lineamientos y recomendaciones que incluye la Norma Oficial Mexicana NOM-001-SEMARNAT-2021 distribuidas en siete zonas representativas, las cuales se identificaron con los siguientes nombres: S0, S1, S2.1, S2.2, S3, S4 y S5. Si bien el objetivo de establecer los factores de riesgo para la salud y el medio ambiente se cumplió de manera adecuada, se determinó que algunos parámetros se encontraban mitigados por plantas abundantes en la región que pueden acumular y absorber compuestos contaminantes.

Los parámetros fisicoquímicos evaluados incluyen turbiedad, sólidos sedimentables, temperatura, sólidos y sales disueltas, grasas y aceites, conductividad eléctrica, acidez y alcalinidad, oxígeno disuelto (OD), demanda química de oxígeno (DQO), cloruros totales, nitrógeno, fósforo, pH y dureza total. Cada parámetro se analizó por triplicado para tener una mayor precisión en los resultados obtenidos y comparar con los límites máximos permisibles que describe la norma NOM-001-SEMARNAT-2021 y dependencias de salud y medio ambiente como NOM-127-SSA1-2021, NOM-067-ECOL-1994, NOM-067-ECOL-1994 y la Ley Federal de derechos, los cuales también establecen límites máximos permisibles para el uso del agua de acuerdo con el tipo de cuerpo receptor.

Los resultados obtenidos indican que la mayoría de los parámetros se encuentran dentro del límite máximo permisible establecido en las normas siendo un valor mayor al 70 % de los 14 parámetros analizados, sin embargo, se presentó que los valores de los parámetros de DQO, nitrógeno total y sólidos sedimentables, uno de sus puntos de muestreo superó el límite máximo permisible descrito por la norma aplicada. Si se describe a detalle para el caso de DQO, nitrógeno total y sólidos sedimentables el punto de muestreo que superó el valor establecido por la norma fue el punto S3 con una concentración de 183.7466 mg/L, 33.9505 mg/L, 2.9333 ml/L respectivamente, siendo la zona identificada como “después del pozo” y en ella se unen las corrientes S2.1 y S2.2 que representan el quemador del pozo, existiendo un crecimiento exponencial de algas y plantas causando eutrofización y un valor mayor de turbidez en la zona sin superar el

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. México.

límite máximo permisible. En cambio, para el parámetro de sólidos y sales disueltas todos los puntos de muestreo analizados superaron el límite máximo permisible establecido por la norma con una concentración de 201.25-571.25 mg/L, esto puede ser posible por la existencia de una mayor actividad en el flujo de agua y arrastre de este contaminante en toda la zona.

Por otra parte un 50% de los 14 parámetros analizados siendo, cloruros totales, conductividad, DQO, dureza, nitrógeno total, sólidos sedimentables y turbidez, se manifestó un comportamiento similar en los puntos S2.1 “Quemador” y S2.2 “Mango”, donde los valores de estos puntos fueron elevados al ser la zona que más se encontraba en contacto con el pozo exploratorio en comparación con los demás puntos de muestreo indicando que existen problemas en la calidad del agua que pueden ser un riesgo para la salud y el medio ambiente.

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. México.

CAPÍTULO 4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 CONCLUSIONES

Al realizar los análisis correspondientes mencionados por la Norma Oficial Mexicana NOM-001-SEMARNAT-2021, se logró determinar la carga contaminante distribuido por el pozo petrolero exploratorio “Pozol-1” que existe en el cuerpo de agua ubicado en el Ejido Úrsulo Galván, en total se realizaron 14 procedimientos por triplicado de los parámetros fisicoquímicos como Turbiedad, Sólidos sedimentables, Temperatura, Sólidos y sales disueltas, Grasas y Aceites, Conductividad eléctrica, Acidez y Alcalinidad, Oxígeno Disuelto (OD), Demanda Química de Oxígeno (DQO), Cloruros Totales, Nitrógeno, Fósforo, pH y Dureza Total.

En cuanto a los límites permisibles establecidos por la Norma Oficial Mexicana NOM-001-SEMARNAT-2021 y dependencias de salud y medio ambiente como NOM-127-SSA1-2021, NOM-067-ECOL-1994, NOM-067-ECOL-1994 y la Ley Federal de derechos, se evaluaron a través de los límites máximos permisibles para uso diario por el tipo de muestreo en el cuerpo receptor. Los puntos de muestreo donde existe un valor superior al límite máximo permisible en promedio diario es el punto S3 “Después del pozo”, donde se unen dos corrientes importantes siendo los puntos S2.1 “Quemador” y S2.2 “Mango”, ya que en estos puntos de muestreo se encontraban en contacto con el pozo exploratorio “Pozol-1” y se argumenta que en esa zona se concentra una mayor carga contaminante por arrastre de la corriente. Así mismo los puntos de muestreo S2.1 y S2.2 presentan problemas críticos ya que mostraron una variabilidad similar al obtener valores elevados en siete parámetros fisicoquímicos analizados como Cloruros Totales, Conductividad, DQO, Dureza, Nitrógeno Total, Sólidos sedimentables y Turbidez, este comportamiento se debe al contacto que existió con el pozo permitiendo una mayor carga contaminante en comparación con los demás puntos de muestreo, pero no superan los límites máximos permisibles porque se detectaron la existencia de plantas en la zona que mitigan la carga contaminante a través de la fitorremediación, una de las plantas es conocida como *Pistia Stratiotes* o Lechuguilla de agua.

Algunos factores que impactaron con los resultados obtenidos fueron, la calibración de los equipos, el manejo y limpieza de los materiales del laboratorio aplicadas, la calidad

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. México

de los reactivos y soluciones preparadas en cada análisis y el control y la preservación de las muestras con base en las especificaciones mencionadas en cada procedimiento realizado.

4.2 RECOMENDACIONES

1. Realizar verificación por personal capacitado de la infraestructura del pozo exploratorio “Pozol-1”, para evitar posibles fugas de residuos contaminantes que pueden afectar la salud y el medio ambiente.
2. Realizar un monitoreo regular o periódico en los puntos S2.1, S2.2 y S3 para evaluar a detalle el comportamiento de la carga contaminante y posibles tendencias.
3. Proponer la fitorremediación controlada como medida para reducir los niveles de contaminantes especialmente en los puntos S2.1, S2.2 y S3, las plantas usadas serán las mismas que abundan en la región como el Jacinto de agua (*Eichhornia crassipes*) y la lechuguilla de agua (*Pistia stratiotes*).
4. Tomar conciencia por parte de los habitantes, sobre la importancia de la fitorremediación a través de las plantas mencionadas anteriormente y también su distribución controlada para evitar invasión en la zona por crecimiento exponencial y posible asfixia de los organismos acuáticos (Eutrofización).

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. México.

REFERENCIAS CITADAS

Addisie, M. B. (2022). *Evaluating Drinking Water Quality Using Water Quality Parameters and Esthetic Attributes.* Sage Journal, 15, 1-8. DOI: https://doi.org/10.1177/11786221221075005

Barba, E., M. Alva-Juárez & L. Calva-Benítez. 2013. *Guía ilustrada para la identificación de plantas acuáticas en humedales de Tabasco*. ECOSUR, Tabasco, México. 110 pp.-

Blaas, H. & Kroeze, C. (2016). Excessive nitrogen and phosphorus in European rivers: 2000–2050. *Ecological Indicators Journal, 67*, 328-337. doi: https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2016.03.004

Cano-Paoli, K., Chiogna, G., & Bellin, A. (2019). *Convenient use of electrical conductivity measurements to investigate hydrological processes in Alpine headwaters.* Science of the Total Environment Journal, 685, 37-49. DOI: https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.05.166

CNH. (2023). Mapa de hidrocarburos. Ciudad de México: Comisión Nacional de Hidrocarburos

Colmenares, M. & Mare, E. (2017). Remoción de iones cloruro presentes en efluentes utilizando hidrotalcitas como materiales adsorbentes. *Revista Ingeniería UC, 24*(2), 204-217. doi:1316-6832

CONAGUA. (2019). *Estadísticas del Agua en México.* Ciudad de México: Comisión Nacional del Agua.

CONAGUA. (2024). *Ley Federal de Derechos. Disposiciones aplicables en materia de aguas nacionales y sus bienes públicos Inherentes para el Ejercicio Fiscal 2024.* Ciudad de México: Comisión Nacional del Agua.

CONABIO. (2022). *Ríos y lagos.* Ciudad de México: Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad .

CONAGUA. (2023). *Normales climatológicas por estado.* Ciudad de México: Comisión Nacional del Agua.

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. México.

Corwin, D. L., & Yemoto, K. (2020). *Salinity: Electrical conductivity and total dissolved solids.* Soil Science Society of America Journal, 84(5), 1442-1461. DOI: https://doi.org/10.1002/saj2.20154

Dai, Z., Liu, G., Chen, H., Chen, C., Wang, J., Ai, S., Wei, D., Li, D., Ma, B., Tang, C., Brookes, P., & Xu, J. (2019). *Long-term nutrient inputs shift soil microbial functional profiles of phosphorus cycling in diverse agroecosystems.* The ISME Journal, 14, 757–770. DOI: https://doi.org/10.1038/s41396-019-0567-9

ECOL. (1995). *Norma Oficial Mexicana NOM-067-ECOL-1994, Que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales a cuerpos receptores provenientes de los sistemas de alcantarillado o drenaje municipal.* Diario Oficial de la Federación.

ECOL. (1995). *Norma Oficial Mexicana NOM-069-ECOL-1994, Que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales a cuerpos receptores provenientes de la industria de componentes eléctricos y electrónicos.* Diario Oficial de la Federación.

El Baba, M., Kayastha, P., Huysmans, M., & Smedt, F. D. (2020). *Evaluation of the Groundwater Quality Using the Water Quality Index and Geostatistical Analysis in the Dier al-Balah Governorate, Gaza Strip, Palestine.* Water Journal , 12(1), 262-275. DOI: https://doi.org/10.3390/w12010262

Elfeky, E. M., Shehata, M. R., Elbashar, Y. H., Barakat, M. H., & Rouby, W. M. (2022). *Developing the sensing features of copper electrodes as an environmental friendly detection tool for chemical oxygen demand.* Royal Society of Chemistry Journal, 12, 4199-4208. DOI:10.1039/D1RA09411D

Eugercios, A., Álvarez, M., & Montero, E. (2017). Impactos del nitrógeno agrícola en los ecosistemas acuáticos. *Revista Ecosistemas, 26*(1), 37-44. doi: https://doi.org/10.7818/ecos.2017.26-1.06

FCEA, A. (2007). *Contaminación del agua por petróleo.* México: Fondo Para la Comunicación y la Educación Ambiental.

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. México.

Graciano-León, F., Vásquez-Mori, J., & Reyes-Avalos, W. (2022). *La dureza total del agua afecta la muda, calcificación, crecimiento y supervivencia de Cryphiops caementarius (Palaemonidae).* Revista Acta Biológica Colombiana, 27(1), 88-96. DOI: https://doi.org/10.15446/abc.v27n1.89933

IAEA. (2023). *Calidad del agua*. Organismo Internacional de Energía Atómica.

INEGI. (2000). *Cuaderno estadístico municipal*. Jalpa de Méndez, México. 170-171.

INEGI. (2010). *Compendio de información geográfica municipal 2010, Jalpa de Méndez, Tabasco*. 2-3.

INEGI. (2020). *Censo Económico 2019*.

INEGI. (2020). *Estudio de información integrada de las Cuencas Arroyos Bacoachi, La Manga y La Tinaja-Boyles*.

INEGI. (2021). *Diccionario de datos edafológicos*. Escala 1:250000. Versión 3.

Iñiguez-Granda, B. P., Valarezo-Macías, C. A., Rentería-Minuche, J. P., & Galarza-Mora, W. G. (2023). *Efectos de productos calcáreos sobre diversos tipos de calidad de agua y tiempos de medición en niveles de pH y oxígeno disuelto.* Revista Polo del Conocimiento, 8 (8), 1475-1512. DOI: 10.23857/pc.v8i8.5919

Kachround, M., Trolard, F., Kefi, M., Jebari, S., & Bourrie, G. (2019). *Water Quality Indices: Challenges and Application Limits in the Literature.* Water Journal, 11 (2), 361-386. DOI: https://doi.org/10.3390/w11020361

López-Jiménez, L.N. (2019). *Tabasco el edén de los humedales*. Revista Kuxulkab´, 25(52), 39-51. DOI: https://doi.org/10.19136/kuxulkab.a25n52.2969

Mesa, M. L., Falcón, J., Ruiz, Y., Sánchez, R. A., Perez, J. R., & De Criminalística Santiago de Provincial Cuba, C. L. (2019). *Monitoreo de la contaminación de agua por hidrocarburos en el espejo de la bahía de Santiago de cuba.* Revista Boliviana de Química, 36(4). DOI: https://doi.org/10.34098/2078-3949.36.4.2

MITECO. (2023). *Impacto Ambiental de los Hidrocarburos y Recuperación de los Ecosistemas.* Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico.

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. México.

Molayemraftar, T., Peyghan, R., Jalali, M., & Shahriari, A. (2022). *Single and combined effects of ammonia and nitrite on common carp, Cyprinus carpio: Toxicity, hematological parameters, antioxidant defenses, acetylcholinesterase, and acid phosphatase activities.* Aquaculture Journal, 548. DOI: https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2021.737676

Pedreros-Calvo, C., Valderrama-López, K. V., Agudelo-Valencia, R. N., Pérez - Cortés, K., y Campo, C. E. (2021). *Reducción de la concentración de DQO y COT en aguas residuales de la industria farmacéutica empleando ozono catalizado por Fe^{2+}. Estudio de caso a escala real.* Revista Mutis, 11(2), 56–63. DOI: https://doi.org/10.21789/22561498.1707

Prato, J. G., González-Ramírez, L. C., Pérez, M. C., & Rodríguez, M. E. (2021). *Adsorción de la dureza del agua sobre lechos de rocas volcánicas de Ecuador.* Revista Información Tecnológica, 32(2), 51-60. DOI: http://dx.doi.org/10.4067/S0718-07642021000200051

Qin, B., Zhou, J., Elser, J. J., Gardner, W. S., Deng, J., & Brookes, J. D. (2020). *Water Depth Underpins the Relative Roles and Fates of Nitrogen and Phosphorus in Lakes.* Enviromental Science & Tecnology Journal, 4, 6, 3191–3198. DOI: https://doi.org/10.1021/acs.est.9b05858

Rincón, R. T., Salinas, G. E., & Gil, J. A. M. (2022). *Tratamiento de grasas y aceites por medio de bacterias lipolíticas en aguas residuales de industria metalmecánica.* Revista Publicaciones e Investigación, 16(1), 1-11. DOI: https://doi.org/10.22490/25394088.5632

Sandoval, J. P., Sáenz, A., Alcérreca, J. C., & Rodiles, R. (2022). *Impacto histórico de la deforestación y la modificación de los ríos en la morfología de la costa del sur del Golfo de México.* Revista de historia, 1(29), 150-181. DOI: https://doi.org/10.29393/rh29-6ihjr40006

SEMARNAT. (2001). *Norma Mexicana NMX-AA-029-SCFI-2001. Análisis de aguas. Determinación de fósforo total en aguas naturales, residuales y residuales tratadas. Método de prueba.* Diario Oficial de la Federación.

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. México

SEMARNAT. (2001). *Norma Mexicana NMX-AA-073-SCFI-2001. Análisis de agua. Determinación de cloruros totales en aguas naturales, residuales y residuales tratadas. Método de prueba.* Diario Oficial de la Federación.

SEMARNAT. (2001). *Norma Mexicana NMX-AA-012-SCFI-2001. Análisis de agua. Determinación de oxígeno disuelto en aguas naturales, residuales y residuales tratadas. Método de prueba.* Diario Oficial de la Federación.

SEMARNAT. (1992). *Norma Mexicana NMX-AA-003-1980. "Aguas Residuales-Muestreo".* Diario Oficial de la Federación.

SEMARNAT. (2022). *Norma Oficial Mexicana NOM-001-SEMARNAT-2021, Que establece los limites permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en cuerpos receptores propiedad de la nación.* Diario Oficial de la Federación.

SEMARNAT. (2016). *Norma Mexicana NMX-AA-008-SCFI-2016. Análisis de agua. Medición de pH en aguas naturales, residuales y residuales tratadas. Método de prueba.* Diario Oficial de la Federación.

SEMARNAT. (2014). *Norma Mexicana NMX-AA-007-SCFI-2013. Análisis de agua. Medición de la temperatura en aguas naturales, residuales y residuales tratadas. Método de prueba.* Diario Oficial de la Federación.

SEMARNAT. (2016). *Norma Mexicana NMX-AA-034-SCFI-2015. Análisis de agua. Medición de sólidos y sales disueltas en aguas naturales, residuales y residuales tratadas. Método de prueba.* Diario Oficial de la Federación.

SEMARNAT. (2018). *Norma Mexicana NMX-AA-093-SCFI-2018. Análisis de agua. Medición de la conductividad eléctrica en aguas naturales, residuales y residuales tratadas. Método de prueba.* Diario Oficial de la Federación.

SEMARNAT. (2001). *Norma Mexicana NMX-AA-072-SCFI-2001. Análisis de agua. Determinación de dureza total en aguas naturales, residuales y residuales tratadas. Método de prueba.* Diario Oficial de la Federación.

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. México.

SEMARNAT. (2001). *Norma Mexicana NMX-AA-036-SCFI-2001. Análisis de agua. Determinación de acidez y alcalinidad en aguas naturales, residuales y residuales tratadas. Método de prueba.* Diario Oficial de la Federación.

SEMARNAT. (2014). *Norma Mexicana NMX-AA-005-SCFI-2013. Análisis de agua. Medición de grasas y aceites recuperables en aguas naturales, residuales y residuales tratadas. Método de prueba.* Diario Oficial de la Federación.

SEMARNAT. (2013). *Norma Mexicana NMX-AA-004-SCFI-2013 Análisis de agua. Medición de sólidos sedimentables en aguas naturales, residuales y residuales tratadas. Método de prueba.* Diario Oficial de la Federación.

SEMARNAT. (2001). *Norma Mexicana NMX-AA-038-SCFI-2001. Análisis de agua. Determinación de turbiedad en aguas naturales, residuales y residuales tratadas. Método de prueba.* Diario Oficial de la Federación.

SEMARNAT. (2013). *Norma Mexicana NMX-AA-030/2-SCFI-2011. Análisis de agua. Determinación de la demanda química de oxígeno en aguas naturales, residuales y residuales tratadas. Método de prueba - parte 2. Determinación del índice de la demanda química de oxígeno - método de tubo sellado a pequeña escala.* Diario Oficial de la Federación.

SEMARNAT. (2011). *Norma Mexicana NMX-AA-026-SCFI-2010. Análisis de agua. Medición de nitrógeno total Kjeldahl en aguas naturales, residuales y residuales tratadas. Método de prueba.* Diario Oficial de la Federación.

SEMARNAT. (2022). *Norma Oficial Mexicana NOM-127-SSA1-2021, Agua para uso y consumo humano. Límites permisibles de la calidad del agua.* México: Diario Oficial de la Federación.

Shao, S., Shi, D., Li, Y., Liu, Y., Lu, Z., Fang, Z., & Liang, H. (2019). Effects of water temperature and light intensity on the performance of gravity-driven membrane system. *Chemosphere Journal, 216*, 324-330. doi: https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2018.10.156

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. México.

Sepulveda, J. & Moeller, A. (2020). The Effects of Temperature on Animal Gut Microbiomes. Frontiers in Microbiology, 9. DOI: https://doi.org/10.3389/fmicb.2020.00384

Stevenson, M., & Bravo, C. (2019). Advanced turbidity prediction for operational water supply planning. Decision Support Systems, 119, 72-84. DOI: https://doi.org/10.1016/j.dss.2019.02.009

Summers, J. K. (2020). *Water Quality: Science, Assessments and Policy*. (3-4). London: IntechOpen. DOI: http://dx.doi.org/10.5772/intechopen.77531

Torres, G. A. & Lozano, E. A. (2017). Disminución de sólidos de aguas grises mediante un proceso de aireación. *Revista Ra Ximhai, 13*(3), 393-404. doi:1665-0441

Uddin, M. G., Nash, S., & Olbert, A. I. (2021). *A review of water quality index models and their use for assessing surface water quality*. Ecological Indicators Journal, 122, 1-21. DOI: https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2020.107218

Vasquez-Velásquez, C., Ordóñez-Aquino, C., & Gonzales, G. F. (2022). *Derrame de petróleo y sus efectos sobre la salud*. Acta Médica Peruana, 39(1). DOI: https://doi.org/10.35663/amp.2022.391.2330

Velásquez, T. D. & Tocuyo, D. D. (2020). Remoción de turbidez de agua mediante filtración utilizando cáscara de coco (Cocos nucífera) a nivel de laboratorio. *Revista ION (Investigación, Optimización y Nuevos Procesos en Ingeniería., 33*(02), 99-110. doi: https://doi.org/10.18273/revion.v33n2-2020008

Wongburi, P. & Park, J.K. (2022). *Prediction of Sludge Volume Index in a Wastewater Treatment Plant Using Recurrent Neural Netwok*. Sustainability Journal, 15. DOI: https://doi.org/10.3390/su14106276

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. México.

ANEXOS

ANEXO 1. Determinación de grasas y aceites para la lechuguilla de agua (pistia stratiotes)

Dentro del cuerpo de agua y sus alrededores existe una gran variedad de plantas acuáticas. En la zona de estudio donde se llevó a cabo el muestreo por la NOM-001-SEMARNAT-2021, se encuentra una planta conocida como lechuguilla de agua *(pistia stratiotes).* Y, por petición de los habitantes de la zona se realizó el muestreo de agua y de la especie vegetal para la medición de grasas y aceites.

La lechuga de agua *(pistia stratiotes)* es una especie acuática flotante es nativa de México de zonas tropicales y es considerada como invasora (Barba et al., 2013).

Por ello, el estudio de la determinación de grasas y aceites se llevó a cabo a partir del procedimiento mencionado en la norma mexicana NMX-AA-134-SCFI-2006 (SEMARNAT, 2005).

En este procedimiento se realizó el proceso de adsorción de grasas y aceites por método de extracción Soxhlet usando hexano como disolvente. Una vez extraídas las grasas el disolvente se recupera y el residuo almacenado en el recipiente de extracción, será la cantidad de grasas y aceites contenidos en la muestra analizada. De manera general, en el diagrama A1-1 se describe el procedimiento correspondiente.

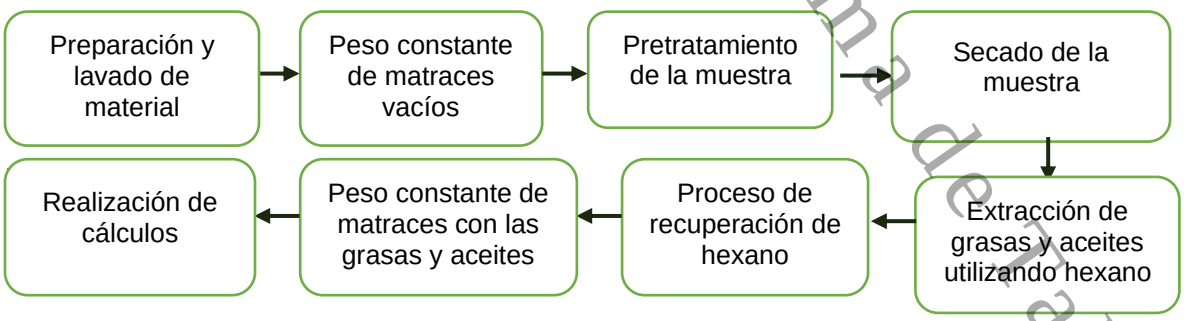


Diagrama A1-1. Procedimiento general del análisis de grasas y aceites para la muestra de *pistia stratiotes*.

Para realizar este procedimiento, es necesario llevar a peso constante el matraz de extracción a una temperatura de 105 °C dentro de un horno, hasta lograr una diferencia de ≤ 0.0005 g en tres presadas consecutivas.

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. México.

La muestra no debe ser manipulada directamente con las manos, ya que puede correr el riesgo de contaminación, por ello, es necesario el uso de guantes de nitrilo. A continuación, se presenta la figura A1-1 donde la muestra de la especie vegetal (hojas y raíz) se cortó en trozos pequeños y se secó a 40 °C por 40 minutos en una estufa y se dejó enfriar por 30 minutos.

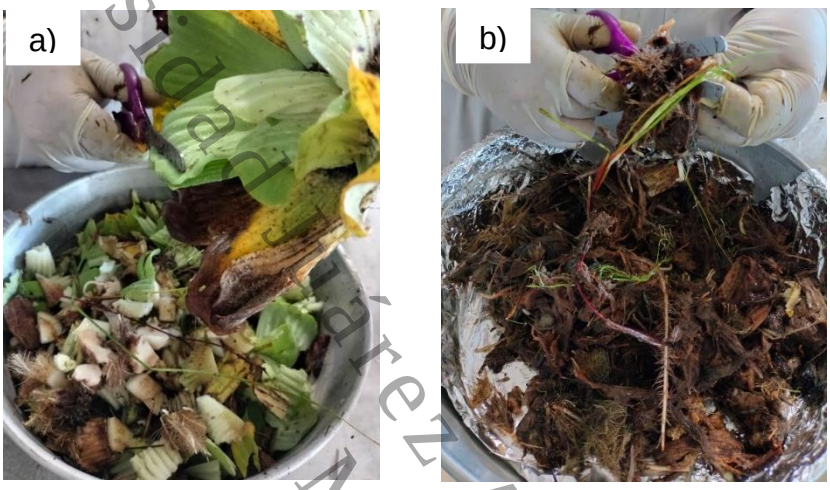


Figura A1-1. a) Hojas de lechuga de agua (*pistia stratiotes*) cortadas en trozos pequeños. b) Raíz de lechuga de agua (*pistia stratiotes*) cortadas en trozos pequeños.

Posteriormente, se colocó el cartucho con la muestra secada en el equipo de extracción y se realizó el procedimiento de determinación de grasas y aceites mencionado en la norma NMX-AA-134-SCFI-2006, como se observa en la figura A1-2. Así mismo, se recuperó el hexano contenido en el matraz de extracción y con los datos obtenidos se realizaron los cálculos correspondientes dentro de una base de datos.

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. México.

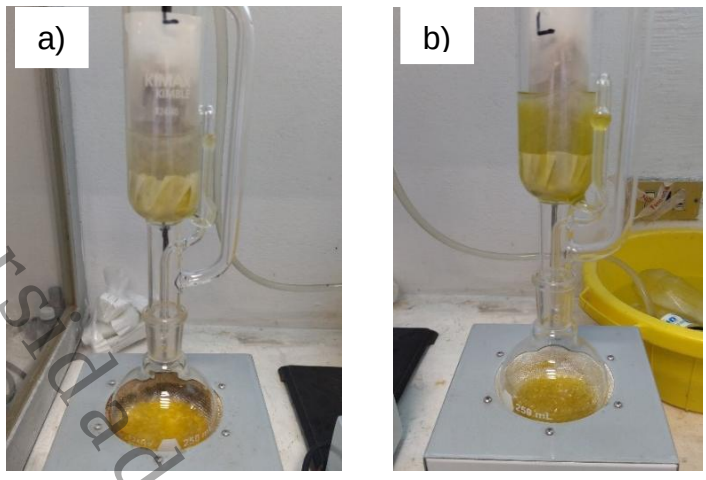


Figura A1-2. a) extracción de grasas y aceites de la lechuga de agua en el primer ciclo. b) extracción de grasas y aceites de la lechuga de agua en el ciclo final.

En la figura A1-3, se observa la presencia de grasas y aceites contenida en la planta (*pistia stratiotes)* puede ser fácilmente visible en el matraz de extracción porque quedaron residuos de color característico propio del parámetro a analizar.

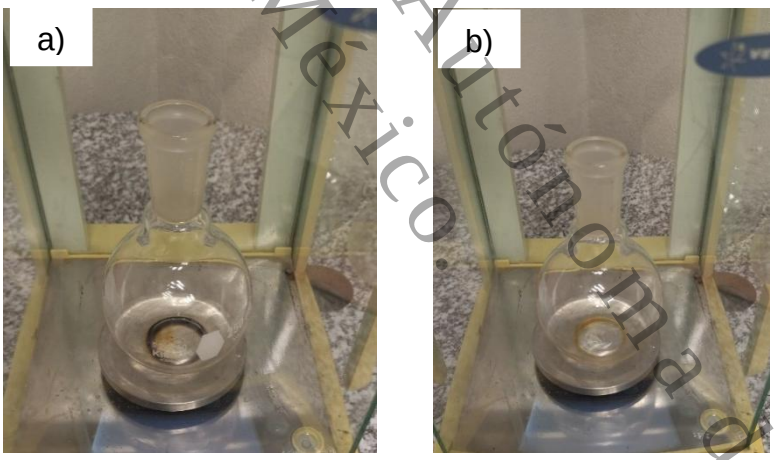


Figura A1-3. a) presencia de grasas y aceites en el matraz de extracción de las raíces de la lechuga de agua. b) presencia de grasas y aceites en el matraz de extracción de las hojas de la lechuga de agua.

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. México.

Tablas de límites máximos permisibles para los parámetros analizados

ANEXO 2. Límites máximos permisibles para contaminantes básicos de acuerdo con el tipo de cuerpo receptor establecidos por la NOM-001-SEMARNAT-2021.

TABLA 1.

Límites Permisibles

Parámetros (*) (miligramos por litro, excepto cuando se especifique)	**Ríos, arroyos, canales, drenes**			**Embalses, lagos y lagunas**			**Zonas marinas mexicanas**			**Suelo**								
										Riego de áreas verdes			**Infiltración y otros riegos**			**Cárstico**		
	P.M	P.D.	V.I.	P.M	P.D.	V.I.	P.M	P.D.	V.I.	P.M	P.D.	V.I.	P.M	P.D.	V.I.	P.M	P.D.	V.I.
Temperatura (°C)	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35
Grasas y Aceites	15	18	21	15	18	21	15	18	21	15	18	21	15	18	21	15	18	21
Sólidos Suspendidos Totales	60	72	84	20	24	28	20	24	28	30	36	42	100	120	140	20	24	28
Demanda Química de Oxígeno	150	180	210	100	120	140	85	100	120	60	72	84	150	180	210	60	72	84
Carbono Orgánico Total*	38	45	53	25	30	35	21	25	30	15	18	21	38	45	53	15	18	21
Nitrógeno Total	25	30	35	15	25	30	25	30	35	NA	NA	NA	NA	NA	NA	15	25	30
Fósforo Total	15	18	21	5	10	15	15	18	21	NA	NA	NA	NA	NA	NA	5	10	15
Huevos de Helmintos (huevos/litro)	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	1								
Escherichia coli, (NMP/100 ml)	250	500	600	250	500	600	250	500	600	250	500	600	250	500	600	50	100	200
Enterococos fecales* (NMP/100 ml)	250	400	500	250	400	500	250	400	500	250	400	500	250	400	500	50	100	200
pH (UpH)	6-9																	
Color verdadero	Longitud de onda						Coeficiente de absorción espectral máximo											
	436 nm						7,0 m -1											
	525 nm						5,0 m -1											
	620 nm						3,0 m -1											
Toxicidad aguda (UT)	2 a los 15 minutos de exposición																	

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. México.

N.A: No Aplica
P.M: Promedio Mensual
P.D: Promedio Diario
V.I: Valor Instantáneo
NMP: Número más probable
UpH: Unidades de pH
UT: Unidades de Toxicidad
* Si Cloruros es menor a 1000 mg/L se analiza y reporta DQO.
* Si Cloruros es mayor o igual a 1000 mg/L se analiza y reporta COT.
* Si la conductividad eléctrica menor a 3500 µS/cm se analiza y reporta *E. coli*.
* Si la conductividad eléctrica es mayor o igual a 3500 µS/cm se analiza y reporta Enterococos fecales.
Las determinaciones de Conductividad eléctrica y de Cloruros no requieren la acreditación y aprobación de la entidad correspondiente.

Nota: (SEMARNAT, 2022).

ANEXO 3. Especificaciones sanitarias físicas y químicas del agua para uso y consumo humano establecidas en la NOM-217-SSA1-2021.

Tabla 1.

Especificaciones sanitarias físicas

Parámetros	Límite permisible	Unidades
Turbiedad [a]	4.0	UNT
pH	6.5 a 8.5	Unidades de pH
Color Verdadero	15	UC

[a] El límite permisible para Turbiedad será de 3.0 UNT a partir del segundo año posterior a la entrada en vigor de la presente Norma

NOTA: (SEMARNAT, 2022)

Tabla 2.

Especificaciones sanitarias químicas

Parámetros	Límite permisible	Unidades
Cianuros totales	0.07	mg/L
Dureza total como CaCO3	500.00	mg/L
Fluoruros como F^{-} [a]	1.50	mg/L
Nitrógeno amoniacal (N-NH3)	0.50	mg/L
Nitrógeno de nitratos ($N\text{-}NO3^{-}$)	11.00	mg/L
Nitrógeno de nitritos ($N\text{-}NO2^{-}$)	0.90	mg/L
Sólidos disueltos totales	1000.00	mg/L
Sulfatos ($SO4^{=}$)	400.00	mg/L
Sustancias activas al azul de metileno	0.50	mg/L

NOTA: (SEMARNAT, 2022)

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. México.

ANEXO 4. Límites máximos permisibles para contaminantes básicos en las descargas de aguas residuales establecidos por la NOM-067-ECOL-1994.

Tabla 1.

Límites máximos permisibles de contaminantes básicos.

PARÁMETRO	LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES	
	PROMEDIO DIARIO	INSTANTANEO
pH (unidades de pH	6 - 9	6 - 9
Sólidos suspendidos totales (mg/L)	100	150
Grasas y aceites (mg/L)	20	30
Sólidos sedimentables (ml/L)	1.0	2.0
Demanda bioquímica de oxígeno (mg/L)	100	150
Demanda química de oxígeno (mg/L)	200	250
Substancias Activas al Azul de Metileno (mg/L)	5	8

Nota: (ECOL, 1995).

ANEXO 5. Límites máximos permisibles para contaminantes básicos en las descargas de aguas residuales establecidos por la NOM-069-ECOL-1994.

Tabla 1.

Límites máximos permisibles de contaminantes químicos básicos

PARÁMETROS	LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES	
	PROMEDIO DIARIO	INSTANTÁNEO
pH (unidades de pH)	6-9	6-9
Demanda Química de Oxígeno (mg/L)	120	150
Grasas y aceites (mg/L)	120	30
Sólidos suspendidos totales (mg/L)	50	60
Conductividad eléctrica (micromohos/cm)	2500	3000
Cromo hexavalente (mg/L)	0.1	0.2
Plomo (mg/L)	0.5	1.0
Cadmio (mg/L)	0.1	0.2
Níquel (mg/L)	2.0	3.0
Cobre (mg/L)	1.0	1.2
Zinc (mg/L)	1.0	1.2
Fluoruros (mg/L)	20	25

Nota: (ECOL, 1995).

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. México.

ANEXO 6. Límites máximos permisibles para contaminantes establecidos por la Ley Federal de Derechos.

Tabla 1.

Lineamientos de calidad del agua inorgánicos.

Parámetros	**usos**			
Unidades en mg/l si no se indican otras	**1**	**2**	**3**	**4**
Parámetros inorgánicos				
Alcalinidad (como $CaCO_3$)	400.00	-	(I)	(I)
Aluminio	0.02	5.0	0.05	0.2
Antimonio	0.1	0.1	0.09	-
Arsénico	0.05	0.1	0.2	0.04
Asbestos (Fibras/L)	3000	-	-	-
Bario	1.0	-	0.01	0.5
Berilio	0.005	0.5	0.003	0.1
Boro	1.0	0.7 (II)	-	0.009 (III)
Cadmio	0.01	0.01	0.004	0.0002
Cianuro (como CN^-)	0.02	0.02	0.005 (III)	0.005
Cloruros (como Cl^-)	250	150	250	-
Cobre	1.0	0.20	0.05	0.01
Cromo total	0.05	0.1	0.05	0.01
Fierro	0.3	5.0	1.0	0.05
Fluoruros (como F^-)	1.4	1.0	1.0	0.5
Fósforo Total	0.1	-	0.05	0.01
Manganeso	0.05	0.2	-	0.02
Mercurio	0.001	-	0.0005	0.0001
Níquel	0.01	0.2	0.6	0.002
Nitratos (NO_3^- como N)	5.0	-	-	0.04
Nitritos (NO_2 como N)	0.05	-	-	0.01
Fe de erratas al parámetro DOF 12-05-1999				
Nitrógeno amoniacal (como N)	-	-	0.06	0.01
Oxígeno Disuelto	4.0	-	5.0	5.0
Plata	0.001	-	0.06	0.002
Plomo	0.05	0.5	0.03	0.01
Selenio (como Selenato)	0.01	0.02	0.008	0.005
Fe de erratas al uso 3 DOF 12-05-1999				

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. México.

Sulfatos (como SO_4^{2-})	250	250	-	-
Sulfuros (como H_2S)	0.2	-	0.002	0.002
Talio	0.01	-	0.01	0.02
Zinc	5.0	2.0	0.02	0.02

Nota: (CONAGUA, 2024).

Tabla 2.

Lineamientos de calidad del agua físicos y microbiológicos.

Parámetros	**usos**			
Unidades en mg/l si no se indican otras	**1**	**2**	**3**	**4**
Parámetros Físicos				
Color (unidades de escala Pt-Co)	75.0	-	15.0	15.0
Grasas y Aceites	10.0	-	10.0	10.0
Materia Flotante	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente
Olor	Ausente	-	-	-
Potencial de Hidrógeno (pH)	6.0 - 9.0	6.0 - 9.0	6.5 - 8.5	6.0 - 9.0
Sabor	Característico	-	-	-
Sólidos Disueltos Totales	500.0	500.0 (IV)	-	-
Sólidos Suspendidos Totales	50.0	50.0	30.0	30.0
Sólidos Totales	550.0	-	-	-
Temperatura (°C)	CN + 2.5	-	CN + 1.5	CN + 1.5
Turbiedad (Unidades de Turbiedad Nefelométricas)	10	-	-	-
Parámetros Microbiológicos				
Coliformes Fecales (NMP/100 ml)	1000	1000	1000	240

Nota: (CONAGUA, 2024).

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. México.

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. México.

Alojamiento de la Tesis en el Repositorio Institucional	
Título de la tesis:	"EVALUACIÓN DE LA VULNERABILIDAD DEL AGUA DEL SISTEMA FLUVIAL DE JALPA DE MÉNDEZ MEDIANTE LOS PROCEDIMIENTOS DE LA NOM-001-SEMARNAT-2021"
Autores de la tesis:	Giselle del Carmen Torres León Yessica Rodríguez Rodríguez
ORCID:	0009-0004-2058-0417 0009-0003-5836-5678
Resumen de la tesis	En este estudio se evaluó la vulnerabilidad del sistema fluvial ubicado en el Ejido Úrsulo Galván, ante la cercanía de un pozo petrolero exploratorio "Pozol-1", mediante los procedimientos descritos en la Norma Oficial Mexicana NOM-001-SEMARNAT-2021 y se determinaron los parámetros fisicoquímicos de acuerdo a los procedimientos descritos como Demanda Química de oxígeno (DQO), Acidez y Alcalinidad, Fósforo total, pH, Temperatura, Conductividad eléctrica, Turbidez, Sólidos sedimentables, Oxígeno Disuelto (OD), Dureza total, Sólidos y sales disueltas, Grasas y aceites, Cloruro total y Nitrógeno total para estimar la carga contaminante en promedio diario que existe en cada uno de los puntos de muestreo establecidos así mismo, para tener mayor precisión se realizó cada análisis por triplicado. Los puntos de muestreo fueron distribuidos en siete zonas representativas y se identificaron con los siguientes nombres: S0, S1, S2.1, S2.2, S3, S4 y S5. Los resultados mostraron que el punto de muestreo que supera el límite máximo permisible es el punto S3 "Después del pozo", siendo un lugar de intersección de puntos de muestreo importantes S2.1 y S2.2 donde se encuentra el quemador del pozo exploratorio, causando asfixia de los organismos acuáticos y restricción de actividad microbiana por crecimiento exponencial de algas y plantas, del mismo modo, los puntos S2.1 y S2.2, muestran un comportamiento similar respecto a los demás parámetros al presentar

	valores mayores en comparación con los demás puntos de muestreo, pero sin superar los límites máximos permisibles establecidos por la norma y esto se debe a que existe presencia de plantas que realizan fitorremediación.
Palabras clave de la tesis:	*Vulnerabilidad, sistema fluvial, pozo petrolero exploratorio, carga contaminante y fitorremediación.*
Referencias citadas:	• Addisie, M. B. (2022). *Evaluating Drinking Water Quality Using Water Quality Parameters and Esthetic Attributes.* Sage Journal, 15, 1-8. DOI: https://doi.org/10.1177/11786221221075005 • Barba, E., M. Alva-Juárez & L. Calva-Benítez. 2013. *Guía ilustrada para la identificación de plantas acuáticas en humedales de Tabasco*. ECOSUR, Tabasco, México. 110 pp.- • Blaas, H. & Kroeze, C. (2016). Excessive nitrogen and phosphorus in European rivers: 2000–2050. *Ecological Indicators Journal, 67*, 328-337. doi: https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2016.03.004 • Cano-Paoli, K., Chiogna, G., & Bellin, A. (2019). *Convenient use of electrical conductivity measurements to investigate hydrological processes in Alpine headwaters.* Science of the Total Environment Journal, 685, 37-49. DOI: https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.05.166 • CNH. (2023). Mapa de hidrocarburos. Ciudad de México: Comisión Nacional de Hidrocarburos • Colmenares, M. & Mare, E. (2017). Remoción de iones cloruro presentes en efluentes utilizando hidrotalcitas como materiales adsorbentes. *Revista Ingeniería UC, 24*(2), 204-217. doi:1316-6832 • CONAGUA. (2019). *Estadísticas del Agua en México.* Ciudad de México: Comisión Nacional del Agua.

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. México.

- CONAGUA. (2024). *Ley Federal de Derechos. Disposiciones aplicables en materia de aguas nacionales y sus bienes públicos Inherentes para el Ejercicio Fiscal 2024.* Ciudad de México: Comisión Nacional del Agua.
- CONABIO. (2022). *Ríos y lagos.* Ciudad de México: Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad .
- CONAGUA. (2023). *Normales climatológicas por estado.* Ciudad de México: Comisión Nacional del Agua.
- Corwin, D. L., & Yemoto, K. (2020). *Salinity: Electrical conductivity and total dissolved solids.* Soil Science Society of America Journal, 84(5), 1442-1461. DOI: https://doi.org/10.1002/saj2.20154
- Dai, Z., Liu, G., Chen, H., Chen, C., Wang, J., Ai, S., Wei, D., Li, D., Ma, B., Tang, C., Brookes, P., & Xu, J. (2019). *Long-term nutrient inputs shift soil microbial functional profiles of phosphorus cycling in diverse agroecosystems.* The ISME Journal, 14, 757–770. DOI: https://doi.org/10.1038/s41396-019-0567-9
- ECOL. (1995). *Norma Oficial Mexicana NOM-067-ECOL-1994, Que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales a cuerpos receptores provenientes de los sistemas de alcantarillado o drenaje municipal.* Diario Oficial de la Federación.
- ECOL. (1995). *Norma Oficial Mexicana NOM-069-ECOL-1994, Que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales a cuerpos receptores provenientes de la industria de componentes eléctricos y electrónicos.* Diario Oficial de la Federación.
- El Baba, M., Kayastha, P., Huysmans, M., & Smedt, F. D. (2020). *Evaluation of the Groundwater Quality Using the Water Quality*

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. México.

Index and Geostatistical Analysis in the Dier al-Balah Governorate, Gaza Strip, Palestine. Water Journal , 12(1), 262-275. DOI: https://doi.org/10.3390/w12010262

- Elfeky, E. M., Shehata, M. R., Elbashar, Y. H., Barakat, M. H., & Rouby, W. M. (2022). *Developing the sensing features of copper electrodes as an environmental friendly detection tool for chemical oxygen demand.* Royal Society of Chemistry Journal, 12, 4199-4208. DOI:10.1039/D1RA09411D
- Eugercios, A., Álvarez, M., & Montero, E. (2017). Impactos del nitrógeno agrícola en los ecosistemas acuáticos. *Revista Ecosistemas, 26*(1), 37-44. doi: https://doi.org/10.7818/ecos.2017.26-1.06
- FCEA, A. (2007). *Contaminación del agua por petróleo.* México: Fondo Para la Comunicación y la Educación Ambiental.
- Graciano-León, F., Vásquez-Mori, J., & Reyes-Avalos, W. (2022). *La dureza total del agua afecta la muda, calcificación, crecimiento y supervivencia de Cryphiops caementarius (Palaemonidae).* Revista Acta Biológica Colombiana, 27(1), 88-96. DOI: https://doi.org/10.15446/abc.v27n1.89933
- IAEA. (2023). *Calidad del agua*. Organismo Internacional de Energía Atómica.
- INEGI. (2000). *Cuaderno estadístico municipal*. Jalpa de Méndez, México. 170-171.
- INEGI. (2010). *Compendio de información geográfica municipal 2010, Jalpa de Méndez, Tabasco*. 2-3.
- INEGI. (2020). *Censo Económico 2019*.
- INEGI. (2020). *Estudio de información integrada de las Cuencas Arroyos Bacoachi, La Manga y La Tinaja-Boyles*.

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. México.

- INEGI. (2021). *Diccionario de datos edafológicos*. Escala 1:250000. Versión 3.
- Iñiguez-Granda, B. P., Valarezo-Macías, C. A., Rentería-Minuche, J. P., & Galarza-Mora, W. G. (2023). *Efectos de productos calcáreos sobre diversos tipos de calidad de agua y tiempos de medición en niveles de pH y oxígeno disuelto.* Revista Polo del Conocimiento, 8 (8), 1475-1512. DOI: 10.23857/pc.v8i8.5919
- Kachround, M., Trolard, F., Kefi, M., Jebari, S., & Bourrie, G. (2019). *Water Quality Indices: Challenges and Application Limits in the Literature.* Water Journal, 11 (2), 361-386. DOI: https://doi.org/10.3390/w11020361
- López-Jiménez, L.N. (2019). *Tabasco el edén de los humedales.* Revista Kuxulkab´, 25(52), 39-51. DOI: https://doi.org/10.19136/kuxulkab.a25n52.2969
- Mesa, M. L., Falcón, J., Ruiz, Y., Sánchez, R. A., Perez, J. R., & De Criminalística Santiago de Provincial Cuba, C. L. (2019). *Monitoreo de la contaminación de agua por hidrocarburos en el espejo de la bahía de Santiago de cuba.* Revista Boliviana de Química, 36(4). DOI: https://doi.org/10.34098/2078-3949.36.4.2
- MITECO. (2023). *Impacto Ambiental de los Hidrocarburos y Recuperación de los Ecosistemas.* Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico.
- Molayemraftar, T., Peyghan, R., Jalali, M., & Shahriari, A. (2022). *Single and combined effects of ammonia and nitrite on common carp, Cyprinus carpio: Toxicity, hematological parameters, antioxidant defenses, acetylcholinesterase, and acid phosphatase activities.* Aquaculture Journal, 548. DOI: https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2021.737676

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. México.

- Pedreros-Calvo, C., Valderrama-López, K. V., Agudelo-Valencia, R. N., Pérez -Cortés, K., y Campo, C. E. (2021). *Reducción de la concentración de DQO y COT en aguas residuales de la industria farmacéutica empleando ozono catalizado por Fe^{2+}. Estudio de caso a escala real.* Revista Mutis, 11(2), 56–63. DOI: https://doi.org/10.21789/22561498.1707
- Prato, J. G., González-Ramírez, L. C., Pérez, M. C., & Rodríguez, M. E. (2021). *Adsorción de la dureza del agua sobre lechos de rocas volcánicas de Ecuador.* Revista Información Tecnológica, 32(2), 51-60. DOI: http://dx.doi.org/10.4067/S0718-07642021000200051
- Qin, B., Zhou, J., Elser, J. J., Gardner, W. S., Deng, J., & Brookes, J. D. (2020). *Water Depth Underpins the Relative Roles and Fates of Nitrogen and Phosphorus in Lakes.* Enviromental Science & Tecnology Journal, 4, 6, 3191–3198. DOI: https://doi.org/10.1021/acs.est.9b05858
- Rincón, R. T., Salinas, G. E., & Gil, J. A. M. (2022). *Tratamiento de grasas y aceites por medio de bacterias lipolíticas en aguas residuales de industria metalmecánica.* Revista Publicaciones e Investigación, 16(1), 1-11. DOI: https://doi.org/10.22490/25394088.5632
- Sandoval, J. P., Sáenz, A., Alcérreca, J. C., & Rodiles, R. (2022). *Impacto histórico de la deforestación y la modificación de los ríos en la morfología de la costa del sur del Golfo de México.* Revista de historia, 1(29), 150-181. DOI: https://doi.org/10.29393/rh29-6ihjr40006
- SEMARNAT. (2001). *Norma Mexicana NMX-AA-029-SCFI-2001. Análisis de aguas. Determinación de fósforo total en aguas*

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. México

naturales, residuales y residuales tratadas. Método de prueba. Diario Oficial de la Federación.

- SEMARNAT. (2001). *Norma Mexicana NMX-AA-073-SCFI-2001. Análisis de agua. Determinación de cloruros totales en aguas naturales, residuales y residuales tratadas. Método de prueba.* Diario Oficial de la Federación.
- SEMARNAT. (2001). *Norma Mexicana NMX-AA-012-SCFI-2001. Análisis de agua. Determinación de oxígeno disuelto en aguas naturales, residuales y residuales tratadas. Método de prueba.* Diario Oficial de la Federación.
- SEMARNAT. (1992). *Norma Mexicana NMX-AA-003-1980. "Aguas Residuales-Muestreo".* Diario Oficial de la Federación.
- SEMARNAT. (2022). *Norma Oficial Mexicana NOM-001-SEMARNAT-2021, Que establece los limites permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en cuerpos receptores propiedad de la nación.* Diario Oficial de la Federación.
- SEMARNAT. (2016). *Norma Mexicana NMX-AA-008-SCFI-2016. Análisis de agua. Medición de pH en aguas naturales, residuales y residuales tratadas. Método de prueba.* Diario Oficial de la Federación.
- SEMARNAT. (2014). *Norma Mexicana NMX-AA-007-SCFI-2013. Análisis de agua. Medición de la temperatura en aguas naturales, residuales y residuales tratadas. Método de prueba.* Diario Oficial de la Federación.
- SEMARNAT. (2016). *Norma Mexicana NMX-AA-034-SCFI-2015. Análisis de agua. Medición de sólidos y sales disueltas en aguas naturales, residuales y residuales tratadas. Método de prueba.* Diario Oficial de la Federación.

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. México.

- SEMARNAT. (2018). *Norma Mexicana NMX-AA-093-SCFI-2018. Análisis de agua. Medición de la conductividad eléctrica en aguas naturales, residuales y residuales tratadas. Método de prueba.* Diario Oficial de la Federación.
- SEMARNAT. (2001). *Norma Mexicana NMX-AA-072-SCFI-2001. Análisis de agua. Determinación de dureza total en aguas naturales, residuales y residuales tratadas. Método de prueba.* Diario Oficial de la Federación.
- SEMARNAT. (2001). *Norma Mexicana NMX-AA-036-SCFI-2001. Análisis de agua. Determinación de acidez y alcalinidad en aguas naturales, residuales y residuales tratadas. Método de prueba.* Diario Oficial de la Federación.
- SEMARNAT. (2014). *Norma Mexicana NMX-AA-005-SCFI-2013. Análisis de agua. Medición de grasas y aceites recuperables en aguas naturales, residuales y residuales tratadas. Método de prueba.* Diario Oficial de la Federación.
- SEMARNAT. (2013). *Norma Mexicana NMX-AA-004-SCFI-2013 Análisis de agua. Medición de sólidos sedimentables en aguas naturales, residuales y residuales tratadas. Método de prueba.* Diario Oficial de la Federación.
- SEMARNAT. (2001). *Norma Mexicana NMX-AA-038-SCFI-2001. Análisis de agua. Determinación de turbiedad en aguas naturales, residuales y residuales tratadas. Método de prueba.* Diario Oficial de la Federación.
- SEMARNAT. (2013). *Norma Mexicana NMX-AA-030/2-SCFI-2011. Análisis de agua. Determinación de la demanda química de oxígeno en aguas naturales, residuales y residuales tratadas. Método de prueba - parte 2. Determinación del índice de la demanda química de oxígeno - método de tubo sellado a pequeña escala.* Diario Oficial de la Federación.

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. México.

- SEMARNAT. (2011). *Norma Mexicana NMX-AA-026-SCFI-2010. Análisis de agua. Medición de nitrógeno total Kjeldahl en aguas naturales, residuales y residuales tratadas. Método de prueba.* Diario Oficial de la Federación.
- SEMARNAT. (2022). *Norma Oficial Mexicana NOM-127-SSA1-2021, Agua para uso y consumo humano. Límites permisibles de la calidad del agua.* México: Diario Oficial de la Federación.
- Shao, S., Shi, D., Li, Y., Liu, Y., Lu, Z., Fang, Z., & Liang, H. (2019). Effects of water temperature and light intensity on the performance of gravity-driven membrane system. *Chemosphere Journal, 216*, 324-330. doi: https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2018.10.156
- Sepulveda, J. & Moeller, A. (2020). The Effects of Temperature on Animal Gut Microbiomes. Frontiers in Microbiology, 9. DOI: https://doi.org/10.3389/fmicb.2020.00384
- Stevenson, M., & Bravo, C. (2019). Advanced turbidity prediction for operational water supply planning. Decision Support Systems, 119, 72-84. DOI: https://doi.org/10.1016/j.dss.2019.02.009
- Summers, J. K. (2020). *Water Quality: Science, Assessments and Policy*. (3-4). London: IntechOpen. DOI: http://dx.doi.org/10.5772/intechopen.77531
- Torres, G. A. & Lozano, E. A. (2017). Disminución de sólidos de aguas grises mediante un proceso de aireación. *Revista Ra Ximhai, 13*(3), 393-404. doi:1665-0441
- Uddin, M. G., Nash, S., & Olbert, A. I. (2021). *A review of water quality index models and their use for assessing surface water quality*. Ecological Indicators Journal, 122, 1-21. DOI: https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2020.107218
- Vasquez-Velásquez, C., Ordóñez-Aquino, C., & Gonzales, G. F. (2022). *Derrame de petróleo y sus efectos sobre la salud*. Acta

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. México.

Médica Peruana, 39(1). DOI: https://doi.org/10.35663/amp.2022.391.2330

- Velásquez, T. D. & Tocuyo, D. D. (2020). Remoción de turbidez de agua mediante filtración utilizando cáscara de coco (Cocos nucífera) a nivel de laboratorio. *Revista ION (Investigación, Optimización y Nuevos Procesos en Ingeniería., 33*(02), 99-110. doi: https://doi.org/10.18273/revion.v33n2-2020008
- Wongburi, P. & Park, J.K. (2022). *Prediction of Sludge Volume Index in a Wastewater Treatment Plant Using Recurrent Neural Netwok*. Sustainability Journal, 15. DOI: https://doi.org/10.3390/su14106276

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. México.