



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO**

**FACULTAD DE FILOSOFÍA Y LETRAS
COLEGIO DE GEOGRAFÍA**

**VALORACIÓN INTEGRAL DEL RECURSO AGUA EN EL
MUNICIPIO DE SALINA CRUZ, OAXACA
CASO DE ESTUDIO: LAGUNA “LA VENTOSA”**

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

LICENCIADO EN GEOGRAFÍA

P R E S E N T A:

JOSÉ BENJAMÍN NARANJO ÁLVAREZ



**DIRECTOR DE TESIS:
MAESTRA: ANGÉLICA MARGARITA FRANCO
GONZÁLEZ**

CD. UNIVERSITARIA, CDMX.

2018



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

*Gracias a la vida que me ha dado tanto
Me ha dado la marcha de mis pies cansados
Con ellos anduve ciudades y charcos
Playas y desiertos, montañas y llanos
Y la casa tuya, tu calle y tu patio*

Violeta Parra (1917-1967)

Cantautora Chilena

Agradecimientos

Sé que no hay palabras para explicar el eterno agradecimiento de haber nacido en una familia como la que tengo. No hay palabras para expresar todo el amor y gratitud que les tengo a mis padres que me encaminaron desde el primer día de mi vida a buscar lo bueno de este mundo, a descubrir cada mañana algo nuevo y aprender lo importante de disfrutar las pequeñas cosas de la vida, cada logro, cada paso. No encuentro forma para externar las gracias por haberme enseñado el amor a este planeta que llevó a la decisión de estudiar (formal e informalmente) esta ciencia, por apoyarme en cada decisión que tomé y por dejarme ir a una lejana ciudad a 12 horas en autobús de ustedes para cumplir mi sueño, que tantos frutos ha dado en estos años. Gracias por seguir ahí a pesar de las tormentas que hemos enfrentado, de forma personal y familiar.

No hallo manera de expresar gracias a cada una de las personas que se han topado en mi camino y que con grandes o pequeñas acciones, han permitido el que llegara hasta aquí, a las personas que no están ya junto a mí y que han creído en todos mis objetivos (Abuelita Carmen, siempre supiste desde que nací y hasta tu último día que sería Licenciado), a las personas e instituciones en donde he pasado horas para aprender de cada uno de ustedes, y que han dado su tiempo, sus recursos y su amistad para lograr mi cometido.

¿Cómo podría decirle gracias a tanta gente? A todos los profesores que me han dado valiosos conocimientos. A aquellas personas que me han demostrado que se puede vivir de la geografía y amarla como la Dra. Elda Luyando, el Dr. Alberto Sánchez Munguía, mi asesora la Mtra. Angélica Franco o cada uno de los miembros del sínodo. A aquellas que me han visto desde pequeño, la Maestra Nela Gerónimo, el Maestro Agenor Villani o la Maestra Blanca Estela, que vieron en mi esa estrella que me llevaría tan lejos, a mi padrino el Lic. Adán Augusto López, por creer en mi proyecto de vida y apoyarnos cuando nadie creía que lo lograría.

¿Y a todos esos amigos que me han escuchado y se han quedado en las buenas y en las malas? Esos amigos provenientes de tantos lugares de este inmenso mundo, mis amigos de infancia (Cristina, lo prometido es deuda), mis amigos del Tec (Oscar, Víctor, Héctor y Gaby) con los que tanto platiqué de mis sueños, a Copilco 176 (mi segunda familia durante estos años de universidad, no sé qué hubiera hecho sin ustedes), a la Lic. Inés Flores (gracias por su tiempo y amistad), a mis compañeros y actuales colegas con los que

compartí 4 años en la mejor universidad y a cada una de las personas que han marcado huella en mi vida, ustedes saben quiénes son, y si los nombrara a cada uno, nunca terminaría.

¿Y cómo podría externar, a los que colaboraron en esta tesis, mis gracias? Al Gobierno del Municipio de Salina Cruz en especial a Roberto Rueda Velázquez, Regidor de Agua y Saneamiento. Al Ing. Javier Ruiz Morales, Administrador de Agua Potable de la CEA en Salina Cruz. A las oficinas del INAPESCA y a la API Salina Cruz, por toda la información y tiempo brindado en la realización de esta investigación. A la División Académica de Ciencias Biológicas de la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco por la realización de las pruebas de laboratorio.

¿Cómo agradecer a todos esos héroes anónimos? Héroes que pagan sus impuestos para mantener a esta máxima casa de estudios como es la Universidad Nacional Autónoma de México y que logran que sólo pague 50 centavos para aprender de los mejores en el ramo, aquellos que permiten que la Universidad funcione, profesores, académicos, bibliotecarios, hasta el personal de limpieza que cada mañana cuida del Patrimonio Mundial de la Humanidad que es mi alma mater.

Y sobre todo, ¿Cómo agradecer a Dios que sabía desde el principio que todo esto me iba a ocurrir y que puso en mi camino a todas estas personas para lograr mi cometido?

No hay palabras. Hay hechos. Y el hecho es esta tesis.

Gracias.

Índice General

Introducción	1
Planteamiento.....	1
Justificación	2
Pregunta de investigación	4
Objetivo principal	4
Objetivos específicos.....	4
Hipótesis.....	4
Capítulo 1. Marco teórico metodológico para la evaluación de la calidad del agua orientado a la zona de estudio	5
1.1 Marco teórico-conceptual	5
1.2 Marco de Referencia	12
1.3 Marco metodológico	14
Capítulo 2. Caracterización geográfica del municipio de Salina Cruz, Oaxaca	37
2.1 Ubicación.....	38
2.2 Aspectos Físicos.....	38
2.3 Aspectos Humanos.....	44
2.4 Aspectos Económicos	52
2.5 Medio Ambiente en Salina Cruz, protección y deterioro.	54
Capítulo 3. Situación del agua en el municipio de Salina Cruz.	56
3.1 El agua como recurso natural y su papel en los geosistemas	57
3.2 Fuentes de extracción del recurso agua en Salina Cruz	59
3.3 Usos Actuales del agua en el municipio de Salina Cruz.....	61
3.4 Las Aguas Residuales en Salina Cruz, Manejo y Control.....	62
3.5 Afectaciones al recurso agua en Salina Cruz	64

Capítulo 4. Estudio de caso: Evaluación de la calidad del agua en la laguna costera “La Ventosa”	66
4.1 Resultado de las muestras	66
4.2 Análisis de los resultados del muestreo por variable	69
4.3 Calculo y Análisis del ICA Dinius (1987).....	81
4.4 Conclusiones	91
5. Bibliografía	94
Anexo 1: Proceso general para la elaboración de un muestreo de agua.....	104
Anexo 2: Memoria de cálculo del reparto proporcional de los nuevos pesos de los parámetros de cálculo del ICA Dinius (1987).....	106
Anexo 3: Resultados de las pruebas de laboratorio de las muestras	108
Anexo 4: Memoria de cálculo del porcentaje de saturación del oxígeno disuelto	113
Anexo 5: Memoria de cálculo del ICA Dinius (1987) por punto de muestreo.....	115

Índice de figuras

Figura 1. Formula del ICA Dinius (1987).....	16
Figura 2. Proceso del trabajo de campo.	33
Figura 3. Fórmula para el reparto proporcional.....	33
Figura 4. Elementos y relaciones de un geosistema.....	37
Figura 5. Climograma de Salina Cruz.....	40
Figura 6. Pirámide poblacional del municipio de Salina Cruz, 2010	44
Figura 7. Ciclo del Agua.....	57
Figura 8. Abasto de agua con pipas en la ciudad de Salina Cruz.....	60
Figura 9. Reparaciones en una línea de drenaje, Salina Cruz, Oaxaca	63

Índice de tablas

Tabla 1. Variables usadas en el ICA Dinius (1987).....	17
Tabla 2. Niveles de calidad del agua por tipo	18
Tabla 3. Criterios para el uso del agua en cada tipo según su nivel de calidad.....	19
Tabla 4. Nuevos pesos calculados tras repartir el peso de la variable color de forma proporcional	34
Tabla 5. Evolución de la población del municipio de Salina Cruz.	48
Tabla 6. Resumen de la producción agrícola en el municipio de Salina Cruz en el año 2015.....	53
Tabla 7. Resultados del muestreo realizado en noviembre de 2016.	67
Tabla 8. Valores del muestreo adecuado al cálculo del ICA Dinius.	68
Tabla 9. Resultados del cálculo del Índice de Calidad del Agua (ICA) de Dinius (1987) para las muestras tomadas.	82
Tabla 10. Niveles de calidad del agua según su uso para cada una de las muestras tomadas.	83

Índice de Mapas

Mapa 1. Cuerpos de agua seleccionados tras la búsqueda bibliográfica	30
Mapa 2. Ubicación de las muestras levantadas en la laguna “La Ventosa” en noviembre de 2016.	31
Mapa 3. Altimetría.....	39
Mapa 4. Red hidrológica del municipio de Salina Cruz.....	41
Mapa 5. Edafología del municipio de Salina Cruz.....	43
Mapa 6. Distribución de la población total por AGEB urbano y rural	45
Mapa 7. Índice de Masculinidad a nivel AGEB urbano y rural	46
Mapa 8. Distribución de la población menor de 14 años de edad a nivel AGEB urbano y rural.....	47
Mapa 9. Distribución de la población de 65 o más años a nivel AGEB urbano y Rural.	48
Mapa 10. Distribución de la población nacida en otro estado por AGEB urbano y rural.....	49
Mapa 11. Distribución de la población económicamente activa.....	50
Mapa 12. Distribución de la población mayor a 3 años considerada indígena, a nivel AGEB urbano y rural.....	51
Mapa 13. Puntos y volumen de extracción de agua en Salina Cruz	59
Mapa 14. Puntos de descargas registrados en el REPDA.....	64
Mapa 15. Distribución del oxígeno disuelto en laguna “La Ventosa”	70
Mapa 16. Distribución de la Demanda Bioquímica de Oxígeno en laguna “La Ventosa”	71
Mapa 17. Distribución del total de coliformes por cada 100 ml de agua en laguna “La Ventosa”	72

Mapa 18. Distribución del total de E. Coli por cada 100 ml de agua en laguna “La Ventosa”	73
Mapa 19. Distribución de la alcalinidad en partes por millón (ppm) de CaCO ₃ en laguna “La Ventosa”	74
Mapa 20. Distribución de la dureza en ppm de CaCO ₃ en laguna “La Ventosa” ...	76
Mapa 21. Distribución de cloruros en mg/l en laguna “La Ventosa”	77
Mapa 22. Distribución de la conductividad específica en la laguna “La Ventosa” ..	78
Mapa 23. Distribución del pH en la laguna “La Ventosa”	79
Mapa 24. Distribución de nitratos en la laguna “La Ventosa”	80
Mapa 25. Temperatura del agua en laguna “La Ventosa”	81
Mapa 26. Valores ICA Dinius y niveles de calidad para uso potencial en los puntos de muestreo en la laguna “La Ventosa”	84
Mapa 27. Valores ICA Dinius y niveles de calidad para uso potencial en los puntos de muestreo en la laguna “La Ventosa”	84

Introducción

Planteamiento

El municipio de Salina Cruz es uno de los 570 municipios que conforman al estado de Oaxaca, ubicado en la región Istmo y abarca una superficie de 110 km² (INEGI, 2009). Es el cuarto municipio más poblado del estado, según los datos reflejados en el censo de INEGI del año 2010, con una población total de 82,371 habitantes. Sus características hidrográficas, están caracterizadas por la desembocadura del Rio Tehuantepec, la presencia de dos salinas, llamadas “La Salinera” y “Salinas del Marqués”; arroyos intermitentes y una laguna costera, el estero “La Ventosa”.

En el año de 1979, se establece en la demarcación de estudio, la planta petroquímica “Ing. Antonio Dovalí Jaime”, en una superficie que abarca unas 600 ha, ubicada a unos 2 km de distancia del centro de la ciudad. El establecimiento de la planta en esa ciudad ha dado pauta a la transformación del espacio circundante a ella, ejemplo de estos cambios se aprecian en un crecimiento de la zona urbana, de su población y de la presión sobre el uso de los recursos acuíferos allí existentes, también ha ocasionado cambios en las actividades productivas que ocurren en la zona, pasando de ser un puerto pesquero a uno dedicado al transporte de gas natural, petróleo y sus derivados, siendo su área de abastecimiento toda la costa del Pacífico mexicano.

El establecimiento de esta planta en el municipio ha producido una serie de cambios que han impactado al medio natural de la zona, lo que ha provocado varios desastres que han causado una contaminación de los cuerpos de agua cercanos,

siendo el último el ocurrido el 20 de octubre de 2014, en donde se dañó casi 2 hectáreas (ha) de manglares y 9 ha de lagunas y playa, en Bahía “La Ventosa” (Manzo, 2014; s/n, 2014). Esta contaminación proveniente de la planta, junto con otras fuentes producto del crecimiento de la ciudad, afectan los usos potenciales que puede tener el agua existente en el municipio y por ende, también a las actividades económicas que se pueden desarrollar.

El valorar el recurso agua en el municipio, tomando en cuenta sus usos, su movimiento en el sistema así como la calidad del recurso en base a sus características y cualidades físico-químicas, brinda con el conocimiento necesario para dar pauta a planes de acción que conduzcan a recuperar los múltiples usos que este recurso puede tener, al igual que evitar un mayor daño a estos cuerpos de agua.

Justificación

La salvaguarda de los recursos hídricos, los cuales son propiedad de la nación es una razón de importancia que permite la realización de este proyecto. El conocer en qué situación se encuentra el agua, los elementos que inciden y dan origen a su contaminación y al final valorar las diferentes afectaciones a la calidad y su uso, permitirá gestionar de mejor forma la existencia del recurso agua en la zona de estudio.

Por lo comentado anteriormente, esto podrá brindar de beneficios a muchos de los actores de la zona, entre los que destacan:

- El gobierno local y estatal, tanto actuales como futuros, con el fin de gestionar de mejor manera aquellos elementos que inciden en la contaminación y el comportamiento general del recurso en el territorio de su jurisprudencia, permitiendo establecer un mejor manejo del recurso.
- Los organismos de cuenca y las direcciones locales de la Conagua, con el fin de lograr un mejor control y manejo de los permisos y concesiones de uso del agua en la región
- Los habitantes del área de estudio, los cuales podrán cuidar mejor los recursos, conociendo en que zonas las diversas actividades que realizan pueden llegar a afectar al agua que ocupan y a su vez conocer en que pueden usar el agua existente.
- Las empresas que soliciten concesiones sobre el agua del lugar, para identificar áreas donde se tenga una referencia del estado de las aguas con presencia de contaminantes que no permitan el desarrollo de sus objetivos, al igual que evitar la contaminación del recurso y este pueda utilizarse de manera sustentable.

En el aspecto de la investigación geográfica, se beneficiará con bases metodológicas y prácticas para el estudio de otras zonas y cuencas hidrográficas que tengan cualidades similares (portuarias, petroleras o costeras) al igual que brinda un ejemplo del manejo de un Índice de Calidad del Agua (ICA); contar con un análisis geográfico de la contaminación de cuerpos de agua a partir del Índice aquí aplicado, sus orígenes, los efectos actuales, sus posibles usos y una

aproximación a diversas soluciones del manejo de las aguas para valorar las diversas formas de utilización de las aguas.

Pregunta de investigación

¿Cuál es la situación del recurso agua en el municipio de Salina Cruz, Oaxaca?

Objetivo principal

Valorizar desde una visión geográfica al recurso agua dentro del municipio de Salina Cruz.

Objetivos específicos

- Establecer un marco teórico-metodológico que permita realizar una organización espacial del municipio de Salina Cruz, en razón del recurso agua y del uso que se puede llegar a tener.
- Contextualizar geográficamente al municipio de Salina Cruz, para identificar los elementos característicos de esta unidad espacial.
- Identificar los factores que inciden en la condición actual del agua en el municipio y en su calidad para ciertos usos.
- Evaluar el estado de la laguna costera “La Ventosa” y su posible uso, siendo este último representado de forma sintética en un mapa, para valorar el recurso en el municipio.

Hipótesis

El recurso agua en el municipio de Salina Cruz se encuentra bajo una gran presión debido a las condiciones socioambientales de su entorno.

Capítulo 1. Marco teórico metodológico para la evaluación de la calidad del agua orientado a la zona de estudio

1.1 Marco teórico-conceptual

Antes de iniciar con el trabajo, es necesario aclarar algunas posturas y conceptos que son necesarios para comprender la forma en el que se ha estructurado la investigación y como se ha visualizado el problema a resolver.

El problema en cuestión será visto desde el enfoque de la Geografía Ambiental la cual Bocco y Urquijo (2013, pp. 76–77) mencionan que “más que un campo disciplinario, es un énfasis, una *mirada* novedosa, pertinente y necesaria de la ciencia geográfica” el cual no puede encajar en una rama de la ciencia geográfica ya que este enfoque puede “cerrar la brecha entre las ramas físicas y humanas de la geografía” sin interferir en los objetivos de estas ramas (Ibíd., p. 86)

Con el enfoque de la Geografía Ambiental, es posible establecer una relación entre las ciencias físicas (en este caso las características físicas y químicas del agua) con las ciencias humanas (su uso y sus afectaciones) por lo que permite que sea visto como un problema ambiental y así logre ser de interés para la Geografía.

Nuestra unidad de análisis en este trabajo será el geosistema el cual Mateo-Rodríguez (2005, p. 21) basándose de la cita de Saushkin y Smirnov (1968) menciona que son “las formaciones terrestres complejas que incluyen simultáneamente elementos de la naturaleza, la población y la economía”. Esta complejidad permite ver a las problemáticas ambientales como un sistema, en donde si algún elemento llegase a fallar, todo puede colapsar. El analizar el estado

del agua dentro de un geosistema, permite identificar las implicaciones que tiene ciertos elementos como la presencia de contaminantes, relacionándola con los usos que tendrá el recurso agua y sus implicaciones en las actividades naturales y humanas, lo que finalmente conlleva a un desbalance en el geosistema.

Teniendo en mente esta visión de la Geografía Ambiental, se puede adentrarse más a la problemática que se atañe, en este caso, valorizar el estado del agua.

Defínase valoración como un conjunto de técnicas y métodos con los cuales se puede medir cuantitativa o cualitativamente los beneficios o costos derivados del uso de un activo (Linares-Llamas y Romero-López, 2008), que en nuestro caso el activo sería el recurso agua.

Una de estas metodologías es mediante la medición de la calidad del agua el cual puede definirse como la composición física, química y biológica del agua relacionado con su posible uso, ya sea para ser potable, para uso recreacional, para la irrigación en la agricultura o en pesquerías (USDA, 2003, p. 2). Para conocer esta composición es necesario realizar y tener ciertos parámetros que permitan medirlo y así establecer los usos posibles que se les puede dar, ya sea uno o varios, teniendo estas variables una relación directa con el posible uso que tendrá el agua (Espinoza-García, Aguilar-Medina, y Mazari-Hiriart, 2010).

Esta calidad es alterada por la contaminación, la cual Pulido-Bosch (2003) define como “la alteración de las características físicas y/o químicas y/o bacteriológicas de las aguas [...] como consecuencia de las actividades humanas que [la] hagan inutilizables para la aplicación útil a que se destinaban”. Esto es causado por los

agentes contaminantes que el mismo autor define como “toda propiedad física, organismo o sustancia que deteriora las características naturales originales de un agua.” (Ídem., 2003)

Existen una multitud de clasificaciones de estos agentes, Pulido-Bosch (2003) cita la clasificación de Babot y Simler (1970) el cual clasifica a estos agentes en:

- Hidrocarburos
- Detergentes
- Pesticidas
- Contaminantes químicos minerales
- Contaminantes orgánicos
- Contaminantes biológicos
- Sustancias radioactivas

Bosch también incluye otros contaminantes, entre los que destaca la temperatura del agua que se vierte.

Estos contaminantes son considerados dentro de las variables a medir en la calidad del agua, que finalmente se resumen mediante índices, el cual Abbasi y Abbasi (2012) define como una “representación compuesta de una condición o situación derivada de la combinación, hecha de diversas formas, de varias mediciones o datos relevantes y hasta cierto punto, no relacionadas [...] que da origen a un número ordinal que facilita el entendimiento y la interpretación de todos los factores que contribuyeron al origen de ese valor”.¹ Íbid, (2012) menciona que en el caso del

¹ Traducción propia.

estudio del agua, estos índices de calidad del agua (ICA) son importantes en las tomas de decisiones y permiten destacar condiciones ambientales específicas de un lugar, así como ser una herramienta útil para comparar las condiciones encontradas en dos lugares diferente e identificar tendencias de mejoramiento o deterioro a lo largo del tiempo, así como es una herramienta mas para valorizar de mejor forma el recurso.

Existen un gran número de índices que miden la calidad del agua a través de una gran diversidad de variables y cálculos. Abbasi y Abbasi (2012) mencionan poco más de 70 índices existentes para agua superficial y unos 16 para aguas subterráneas, con diferentes grados de complejidad de cálculo, desde simples multiplicaciones y sumas hasta el uso de Matemáticas Difusas; y en el caso del manejo de las variables, estas iban en el rango de 9 y hasta 30 diferentes indicadores tomando elementos como la actividad biológica, metales pesados, químicos que no deben estar en forma natural en el agua y cualidades físicas del cuerpo de agua como la temperatura, el pH, la turbidez del agua, su olor y su color, dando cierta importancia una sobre las otras según la aplicación del índice y lo que se busca medir (si es de uso general de calidad, para la afectación de especies o el uso potencial de este recurso).

En esta investigación, se usará el ICA formulado por Dinius (1987), que ya ha sido aplicado en varias zonas y cuencas del país (Espinal-Carreón, Sedeño-Díaz, y López-López, 2013; León-Vizcaíno, 1991; Sedeño-Díaz y López-López, 2007). Este ICA tiene como cualidades una baja cantidad de variables (un total de 12) que son de fácil medición, una flexibilidad de su aplicación en el caso de falta de datos, y

además logra tener cinco escalas diferentes en un mismo número, resultado de la aplicación del índice, indicando el potencial que tiene esa agua para ser usado en cinco diferentes actividades. Los pormenores de este índice (variables, formulas, y escalas de resultados) se explicarán con mayor profundidad en capítulos posteriores.

Aunque el ICA que se manejará será la formulada por Dinius (1987), es importante notar que la Comisión Nacional del Agua (Conagua) en su Norma Oficial, NOM-001-SEMARNAT-1996, incluye otro ICA más complejo y que es el que ocupa esta institución para sus mediciones oficiales (Conagua, 2014). En esta norma se toman en cuenta la siguiente clasificación de variables a ocupar:

- Contaminantes básicos: grasas y aceites, materia flotante, sólidos sedimentables, sólidos suspendidos totales, demanda bioquímica de oxígeno, nitrógeno total (suma de las concentraciones de nitrógeno Kjeldahl, de nitritos y de nitratos, expresadas como mg/L de nitrógeno), fósforo total, temperatura y pH.
- Contaminantes patógenos y parasitarios: coliformes fecales y huevos de helminto.
- Metales pesados: arsénico, cadmio, cobre, cromo, mercurio, níquel, plomo, zinc y cianuros.

Debido a la falta de estudios previos en la zona con el índice manejado por la CONAGUA, se tomó la decisión de ocupar el ICA propuesto por Dinius como un primer acercamiento para su estudio y probable seguimiento.

El uso del agua se define como la utilización de agua para ciertas actividades (Conagua, 2014). Espinoza-García et al. (2010) nos menciona que estos requerimientos varían de acuerdo con “la cultura, la ubicación geográfica, el tipo de comunidad y la estacionalidad del año” proponiendo la clasificación de los usos en:

- Municipal, la cual incluye el doméstico, el comercial y el industrial.
- Agrícola.
- Pecuario.
- Acuícola.
- Con fines recreativos.
- Con fines de transporte.

En cambio la Conagua (2014) indica que los tipos de usos del agua son:

- Para riego agrícola.
- Público urbano (doméstico e industrial).
- Protección de la vida acuática.
- Explotación pesquera, navegación y otros usos.
- Recreación.
- Para estuarios.
- Protección de humedales naturales.

Por su parte, León-Vizcaíno (1991) citando a Dinius (1987) indica que estos usos son:

- Agua potable

- Agrícola
- Pesca y vida acuática
- Industrial
- Recreativo

En este trabajo se retomarán los usos mencionados por León-Vizcaino para el análisis posterior de la información recabada en campo.

El agua que se utiliza para todas estas actividades debe de provenir de un lugar, estos lugares son los cuerpos de agua. Llámese cuerpo de agua a un “discreto y significativo elemento compuesto por agua como un lago, río, represa, arroyo, canal, fuentes subterráneas o las aguas transicionales y marinas”² (Kampa y Hansen, 2004). Estos cuerpos de agua también son considerados como cuerpos receptores, ya que ahí se descargan muchas veces las aguas residuales, producto de las actividades humanas que afectan a su calidad (Conagua, 2014).

El tipo y la forma en el que estas aguas residuales son descargadas en los cuerpos de agua altera su calidad en diferentes formas, por lo que el identificar la presencia de estas descargas y los niveles de contaminación que presentan, da pauta para que a largo plazo se proteja y se maneje de una manera más eficiente el uso y la conservación de estos recursos hídricos.

² Traducción propia.

1.2 Marco de Referencia

Se han elaborado análisis de calidad del agua en otros espacios con características similares, como Castizo Ramírez (2007), que elaboró una tesis de calidad del agua en ríos y lagunas de Paraíso, Tabasco; un municipio en donde igual existe una actividad petrolera y que es costero, utilizando un enfoque químico.

También Morales-Luque (2010) presenta una tesis evaluando la calidad del agua en el río Magdalena en la Ciudad de México, aunque su enfoque se acerca más al área de la biología. Cabe destacar que este trabajo ocupa muchas de las variables que se aplicarán en esta investigación. Otros investigadores que han estudiado calidad del agua son La Mora-Covarrubias et al. (2007) con un análisis de la calidad del agua en el río Bravo en Ciudad Juárez al igual que Vicencio de la Rosa, M. G. et al. (2007) que estudia el índice de calidad de agua en el río Mezquital en Durango.

En el caso del manejo del índice de Dinius este se ha aplicado en diversas investigaciones en América Latina, en especial México y Colombia. En el caso de México, León-Vizcaíno (1991) lo empleó en el lago de Chapala, y considera que es el “más adaptable a la condición de nuestro país”. Espinal-Carreón et al. (2013) lo utiliza en el lago de Yuriria y lo ocupa para comparar los resultados obtenidos en 2005 y 2009, Sedeño-Díaz y López-López (2007) lo aplican al río Lerma, haciendo con estos resultados un comparativo con los datos obtenidos a lo largo de 25 años, aunque también incluyen un análisis de componentes principales.

En el caso colombiano, se ha manejado este índice en el análisis del uso del agua para consumo humano en el río Cauca (Torres, Cruz, Patiño, Escobar, y Pérez,

2010) y en la quebrada “La Ayurá” en Antioquia, Colombia (González-Meléndez, Caicedo-Quintero, y Aguirre-Ramirez, 2013)

En lo que respecta al abordaje del tema por la ciencia geográfica, al menos en el país, ha sido poco trabajado, encontrándose sólo una tesis de maestría con referente al tema, en el cual se establece una relación entre la calidad del agua y el contexto social de una zona periurbana en Morelia, Michoacán, y tuvo como fin el aplicar de una mejor manera la planeación de estos espacios (Sánchez-Sepúlveda, 2011)

Con respecto al área de estudio y las diversas problemáticas ambientales que existen en ese lugar, se ha estudiado en el municipio de Salina Cruz la contaminación por hidrocarburos en los sedimentos marinos (González-Lozano, Méndez-Rodríguez, López-Veneroni, y Vázquez-Botello, 2006), mediante la aplicación de métodos fisicoquímicos. En lo que respecta a la Geografía, Moreno-García (2015) realiza un estudio de las afectaciones a la biota por causa de la actividad petroquímica en el área de estudio. Si bien el enfoque es hacia la biota, la actividad que se estudia en el estudio anteriormente mencionado es considerada igualmente una de las causantes de las diversas afectaciones a la calidad del agua existente en la zona. Cabe resaltar que es un trabajo con un enfoque hacia la Geografía Ambiental, el cual sienta bases para el trabajo que se presenta a continuación.

1.3 Marco metodológico

El presente trabajo de investigación tendrá como base para su desarrollo un marco descriptivo cuantitativo, en el cual se busca establecer, mediante el uso de datos numéricos expresados en un índice, el estado actual de nuestro universo de estudio, en este caso la laguna costera “La Ventosa” en el municipio de Salina Cruz, Oaxaca, para así contar con una base que permita una valorización del recurso agua en esta demarcación.

Para esto se realizará un muestreo del tipo *no probabilístico casual*, en donde la facilidad de acceso a la muestra de agua será el factor determinante para que sea parte de nuestro universo de datos. La razón de elegir este tipo de muestreo está en el hecho que muchas de las muestras estarían en zonas en el que el acceso es restringido, como en el caso del interior de la refinería, que permitiría establecer la calidad con la que entra el agua al sistema.

A cada muestra elegida, se le realizará una serie de mediciones que se requieren para calcular adecuadamente el índice planteado por Dinius (1987), estas mediciones serán explicadas a fondo más adelante. Como ya se mencionó anteriormente, el manejo de un índice es con el fin de tener una forma sencilla y clara de exponer el estado de un cuerpo de agua y su posible potencial de utilización, ya que la estructura misma de este índice nos permite inferirlo.

Abbasi y Abbasi (2012), citando a Dinius (1987) recomienda que el muestreo se realice en 2 momentos diferentes, una en el periodo de secas (entre marzo y mayo) y otro en el periodo de lluvias (entre septiembre y noviembre) esto con el fin de

establecer un punto de comparación en el caso de ausencia de antecedentes de medición de calidad del agua publicados para la zona. También permite establecer el promedio de la calidad en el año actual, eliminar el sesgo que puede ocasionar la llegada de agua nueva al sistema fluvial debido a las lluvias y estipular usos temporales del agua según la época del año.

Con el fin de establecer la primera pauta para la investigación por parte de otros y tener una base con cual elaborar un primer acercamiento, solo se trabajará con los resultados de un muestreo realizado en periodo de lluvias, en noviembre de 2016.

Con los datos recolectados se calculará el ICA Dinius de cada una de las muestras y estos serán usados para crear cartografía que permita la identificación de zonas contaminadas y zonas con posibilidades de uso y protección, con el fin de tener una noción del estado actual del cuerpo de agua, una ayuda para el ordenamiento territorial del municipio, así como un antecedente que permita el monitoreo continuo del resto de las aguas superficiales del municipio, que busque la mejora y el mantenimiento de los diversos niveles óptimos para el uso adecuado de estos cuerpos.

1.3.1 El Índice de Calidad del Agua (ICA) Dinius (1987)

El Índice de Calidad del Agua (ICA) desarrollado por Dinius es uno de los muchos índices que existen en la actualidad. Desarrollado en 1987, es el segundo ICA desarrollado por el autor, en donde el anterior tenía una base de sumatoria, el uso de 11 variables y su valor final denotaba una escala decreciente en donde un

resultado de 100 indicaba el estado perfecto del agua para todos los consumos. (Abbasi y Abbasi, 2012, p. 33, citando a Dinius, 1987)

En su segunda versión, aunque mantuvo esta escala decreciente, cambió algunas de las bases de su ICA; agregó una nueva variable (el contenido de nitratos), cambió la formulación de una sumatoria a una multiplicativa, el valor del índice permitía revelar la calidad del agua para 5 usos diferentes y replanteó los pesos de cada una de sus variables siendo representados como un exponente.

Este ICA ya se ha ocupado anteriormente en el ámbito mexicano y latinoamericano para el estudio de la calidad del agua en diversos cuerpos de agua superficiales. (Espinal-Carreón et al., 2013; León-Vizcaíno, 1991; Sedeño-Díaz y López-López, 2007)

La fórmula empleada para el cálculo de este índice es:

Figura 1. Formula del ICA Dinius (1987)

$$ICA = \prod_{i=1}^n I_i^{W_i}$$

En donde:

- ICA es el Índice de Calidad del Agua, un numero entre 0 y 100,
- I_i es el subíndice de la variable contaminante, un numero entre 0 y 100,
- W_i es el peso de la variable contaminante en el Índice, un número entre 0 y 1 y,
- n es el número de variables contaminantes a usar.

Las variables a ocupar son 12, estas se presentan en la siguiente tabla, junto con las fórmulas de los subíndices (I_i) y sus pesos (W_i)

Tabla 1. Variables usadas en el ICA Dinius (1987)

Parámetro (Abreviatura)	Unidad de medida	Peso (W_i)	Subíndice (I_i)
Oxígeno Disuelto (OD)	% de Saturación	0.109	$(0.82 * OD) + 10.56$
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO)	mg/L a 20°C	0.097	$108(DBO)^{-0.3494}$
Total de Coliformes (COLI)	Total de Coliformes /100 ml	0.090	$136(COLI)^{-0.1311}$
Presencia de <i>E. Coli</i> (E-COLI)	Coliformes Fecales (<i>E Coli</i>)/100 ml.	0.116	$106(E - COLI)^{-0.1286}$
Alcalinidad (ALC)	Ppm de CaCO ₃	0.063	$110(ALC)^{-0.1342}$
Dureza (DUR)	Ppm de CaCO ₃	0.065	$552(DUR)^{-0.4488}$
Cloruros (CL)	mg/L	0.074	$391(CL)^{-0.3480}$
Conductividad Específica (CE)	µmho/cm	0.079	$506(CE)^{-0.3315}$
pH	pH < 6.9	0.077	$10^{0.6803+0.1856(pH)}$
	pH 6.9-7.1		1
	pH > 7.1		$10^{3.65-0.2216(pH)}$
Nitratos (N)	NO ₃ , mg/l	0.090	$125(N)^{-0.2718}$
Temperatura (T)	°C	0.077	$10^{2.004-0.0382(T_{aire}-T_{superficie})}$
Color (C)	Unidades de Color Platino Cobalto (UPC)	0.063	$127(C)^{-0.2394}$

Fuente: Abbasi y Abbasi (2012) p.38 basado en Dinius (1987)

En el caso de ausencia de algún valor de una de las variables, lo que procede es el repartir proporcionalmente el peso de la variable sin dato en cada una de las variables con datos para establecer así un valor ICA a esa muestra.

Tras el cálculo correspondiente al ICA de cada una de las muestras, es posible establecer el nivel de calidad de aquella, así como el posible uso que sea más conveniente para esa agua en cuestión. Para esto se utilizan las siguientes tablas con los niveles del ICA para cada tipo de uso (cinco tipos) y su calidad (en seis niveles).

Tabla 2. Niveles de calidad del agua por tipo

	Tipo de uso	Agua potable	Agrícola	Pesca y vida acuática	Industrial	Recreativo
Calidad						
Valor del ICA	Excelente (E)	90-100	90-100	70-100	90-100	70-100
	Aceptable (A)	80-90	70-90	60-70	70-90	50-70
	Levemente Contaminada (LC)	70-80	50-70	50-60	50-70	40-50
	Contaminada (C)	50-70	30-50	40-50	30-50	30-40
	Fuertemente Contaminada (FC)	40-50	20-30	30-40	20-30	20-30
	Excesivamente Contaminada (EC)	<40	<20	<30	<20	<20
<i>Fuente: León-Vizcaíno (1991) p.3 basado de Dinius (1987)</i>						

Con cada uno de los niveles, también se les da un criterio general para el tratamiento del agua en cada uno de los usos, que se resume en la tabla número 3.

Tabla 3. Criterios para el uso del agua en cada tipo según su nivel de calidad

Tipo de uso Calidad	Agua potable	Agrícola	Pesca y vida acuática	Industrial	Recreativo
Excelente (E)	No requiere purificación para su consumo.	No requiere purificación para riego.	Pesca y vida acuática abundante.	No se requiere purificación.	Cualquier tipo de deporte acuático.
Aceptable (A)	Purificación menor requerida.	Purificación menor para cultivos que requieran de alta calidad de agua.	Límite para peces muy sensitivos.	Purificación menor para industrias que requieran alta calidad de agua para operación.	Restringir los deportes de inmersión, precaución si se ingiere dada la posibilidad de presencia de bacterias.
Levemente Contaminada (LC)	Dudoso su consumo sin purificación.	Utilizable en mayoría de cultivos.	Dudosa la pesca sin riesgos de salud.	No requiere tratamiento para mayoría de industrias de operación normal.	Dudosa para contacto con el agua.
Contaminada (C)	Tratamiento potabilizador necesario.	Tratamiento requerido para la mayoría de los cultivos.	Vida acuática limitada a especies muy resistentes.	Tratamiento para mayoría de usos.	Evitar contacto, sólo con lanchas.
Fuertemente Contaminada (FC)	Dudosa para consumo.	Uso solo en cultivos muy resistentes (forrajes).	Inaceptable para actividad pesquera.	Uso restringido en actividades burdas.	Contaminación visible, evitar cercanía.
Excesivamente Contaminada (EC)	Inaceptable para consumo.	Inaceptable para riego.	Inaceptable para vida acuática.	Inaceptable para cualquier industria.	Inaceptable para recreación.

Fuente: León-Vizcaíno (1991) pp. 4-5 basado de Dinius (1987)

A partir de los resultados obtenidos es posible tener una idea general del estado del agua superficial en la zona de estudio, un análisis de los diversos usos que se le puede dar y formas de tratar el agua para adecuarla a los usos en el que se requiera, que permitan valorar el recurso de una mejor manera.

1.3.2 Variables a medir: forma de medición e importancia

Las diversas variables presentes en el índice, por sus características y su importancia dentro del ICA, tienen una forma diferente de medir, así como una diversidad de unidades de referencia. Cada una de ellas nos brinda información relacionada con la calidad del agua, el origen de los contaminantes y su incidencia en las diferentes problemáticas que afectan al cuerpo de agua con el fin de replantear las acciones necesarias para su recuperación y manejo adecuado. Es por ello que a continuación se ahondará en la función de cada una de las variables y en la forma de medirlo.

1.3.2.1 Oxígeno disuelto

El oxígeno disuelto es la cantidad de oxígeno que se encuentra diluido en la columna de agua y que sirve de fuente de respiración para las especies que ahí habitan (California Environmental Protection Agency (CAPA), 2010c). La importancia de esta medición radica en el hecho que muchas especies son sensibles a los cambios de los niveles de oxígeno en el agua, pudiendo influir en la actividad pesquera de especies comerciales como la trucha, y los niveles bajos del mismo puede indicar aumentos en la temperatura del agua, una alta demanda de oxígeno por la presencia de algas (eutrofización) o una gran cantidad de desechos

y contaminantes de origen orgánico en descomposición (Georgia Adopt-A-Stream, 2004).

En nuestro país la Norma Oficial Mexicana NMX-AA-012-SCFI-2001 especifica el método a ocupar para la determinación de este parámetro. En este documento se establecen 2 formas de medición, un método electrométrico que se puede efectuar en campo y otros de azida modificada (Secretaría de Economía, 2001a). La unidad de medición se puede establecer en forma de concentración (mg/L) o por porcentaje de saturación, unidad que se utilizará por ser el solicitado en el ICA.

1.3.2.2 Demanda bioquímica de oxígeno

La demanda bioquímica de oxígeno (DBO) es una estimación de la cantidad de oxígeno que requiere una población microbiana para oxidar la materia orgánica en una muestra de agua por un periodo de cinco días. (Secretaría de Economía, 2001b) Esta variable es de importancia debido a que indica la cantidad de materia orgánica y de iones libres que pueden ser oxidados y que están presentes en el cuerpo de agua, en donde a mayor sea la cantidad en mg/L que demande el cuerpo de agua, mayor es el proceso de oxidación y mayor la presencia de esta materia.

La NMX-AA-028-SCFI-2001 es la normativa mexicana realizada por la Secretaría de Economía que regula la medición de esta variable, la cual para su correcta medición requiere del uso de un laboratorio para poder incubar a las bacterias en la muestra de agua durante un periodo de cinco días y en donde se mide el oxígeno disuelto en la muestra al inicio y al final del proceso para establecer esta medición.

La diferencia entre ambas mediciones es el valor de la demanda bioquímica de oxígeno.

1.3.2.3 Coliformes

Los coliformes es un conjunto de bacterias indicadoras de contaminación en agua y alimentos. Es comúnmente definida como bacilos del tipo Gram negativo, que no forman esporas, y fermenten lactosa con la producción de ácido y gas cuando se incuban a más de 35 °C (American Public Health Association, 1995). Estos indican presencia de heces de origen animal y humano, por lo que ayudan a detectar contaminación procedente de falta de drenaje en casa, descargas de aguas negras sin tratar o los desechos de un matadero.

La normativa que estipula la forma de medir este indicador en México es la NMX-AA-042-SCFI-2015, el cual indica procesos que se realizan en laboratorio y con una duración de 24 a 48 horas, en la cual la muestra se deja fermentar en lactosa para establecer un número probable de bacterias (Secretaría de Economía, 2015).

1.3.2.4 *E. Coli*

La bacteria *Escherichia coli* es una especie que pertenece a los coliformes, que además de fermentar en lactosa, producen indol a partir de triptófano. (Secretaría de Economía, 2015). Esta bacteria tiene muchas cepas que pueden producir diarrea hemorrágica y dolor estomacal, por eso es una variable importante para establecer los niveles de calidad del agua presentes, en los aspectos de potabilización y de uso agrícola ya que esta bacteria puede sobrevivir en los cultivos (Centers for Disease Control and Prevention, 2006).

La normativa que se utiliza en nuestro país para medir la presencia de *E. Coli* en el agua es la misma que se utiliza para la medición de Coliformes totales, la NMX- AA-042-SCFI-2015.

1.3.2.5 Alcalinidad

La alcalinidad es la capacidad de un cuerpo de agua para neutralizar los ácidos presentes en el mismo, siendo la suma de todas las bases encontradas en la muestra (Georgia Adopt-A-Stream, 2004). Esta variable permite identificar la capacidad buffer del agua para lograr mantener un pH estable. Las variaciones fuertes en alcalinidad pueden ser producto de serios problemas químicos en las partes altas y medias del río (Idem, 2004).

La NMX-AA-036-SCFI-2001 es la norma mexicana que indica cómo se debe de realizar esta medición, mediante la disolución de la muestra con químicos que presentan niveles de alcalinidad conocidos para que alcance un nivel de pH neutro y aplicando una fórmula para establecer el valor en mg de CaCO_3/L . (Secretaría de Economía, 2001c)

1.3.2.6 Dureza

La dureza es la concentración de iones de calcio y magnesio en la columna de agua, que en altas cantidades es indeseable en varios procesos industriales como el lavado de telas y acabados metálicos, así como en el abasto público de agua, ya que produce un sabor desagradable en el agua potable y tapa tuberías con incrustaciones de calcio (Bolaños Guillen, Pérez López, y Garza Cano, 2014).

Esta medición, más que ser útil para la detección de fuentes de contaminación, es un buen indicador que permite detectar usos posibles del agua por el ser humano, tanto de uso doméstico como industrial, esto es debido a que la dureza tiene más relación con la geología de la cuenca o la presencia de conchas de crustáceos y su dureza no influye directamente en afectaciones a la salud humana (Oram, 2014). Se habla de un agua muy dura cuando se tienen niveles de más de 180 ppm de CaCO_3 por cada litro de agua.

La normativa que rige la medición de la dureza del agua en México es la NMX-AA-072-SCFI-2001, el cual utiliza el método de titulación con ácido etilendiaminotetraacético (EDTA) que puede ser realizado en campo o en laboratorio, para determinar la dureza, en partes por millón (ppm) de CaCO_3 . (Secretaría de Economía, 2001e)

1.3.2.7 Cloruros

Los cloruros son un conjunto de iones inorgánicos que se encuentran en mayor cantidad en el agua y es importante que el agua potable cuente con ellas ya que son uno de los electrolitos básicos necesarios para el ser humano (Secretaría de Economía, 2001f). La importancia de medir esta variable radica en el potencial que tiene el agua para consumo humano si se encuentran cloruros en bajas cantidades, así como sus afectaciones al ramo industrial por altas concentraciones, ya que corroe las tuberías. En el caso del uso agrícola, una alta concentración influye en la pérdida de la calidad del suelo para su utilización en ciertos cultivos. Un aumento de cloruros en zonas costeras nos señala una posible presencia de una intrusión salina proveniente del mar. (Universidad Nacional del Nordeste, 2010).

Cuando un cuerpo de agua contiene menos de 500 mg/L de sales se puede decir que es un agua dulce, de 500 a 17000 mg/L se puede hablar de un agua salobre, desde los 17000 y hasta los 38000 mg/L se habla ya de agua marina y desde los 38000 mg/L de una salmuera (Fuentes y Massol, 2002). La utilidad de esta variable radica más en el posible uso que se le puede dar al agua y que procesos puede necesitar para su uso como agua potable y en la industria.

La NMX-AA-073-SCFI-2001 es la que rige la forma en la que debe de medirse esta variable en nuestro país, al usar un método de argentometría en donde se mide la cantidad de iones cloruro a partir de la reacción que desencadena al ser diluido con nitrato de plata y cromato de potasio para formar cloruro de plata. También se puede medir esta variable mediante el uso de tiras reactivas.

1.3.2.8 Conductividad específica

Entiéndase por conductividad específica a la cualidad que tiene un cuerpo de agua para transmitir electricidad a partir de la presencia de iones disueltos en la columna de agua (California Environmental Protection Agency (CAPA), 2010b; Georgia Adopt-A-Stream, 2004). Esta es inversa a la resistencia eléctrica y estos se ven afectados por los aspectos geológicos, la cercanía del mar así como la temperatura. Si se llegase a encontrar que los parámetros están fuera de los rangos naturales se intuye la presencia de un derrame de aceite cuando es un número muy bajo o en el caso de un aumento del valor del parámetro se infiere la presencia de un desagüe con fugas.

La NMX-AA-093-SCFI-2000 es la norma mexicana que establece los parámetros para su medición, en la cual utiliza un método por electrodos de platino en la solución para conducir la electricidad y establecer su valor en siemens/metro (Secretaría de Economía, 2000)

1.3.2.9 pH

El pH o potencial de hidrógeno es la medida que indica que tan ácido o alcalino es una solución y señala la cantidad de iones de hidrógeno en la muestra. (California Environmental Protection Agency (CAPA), 2010d) Esta es una escala logarítmica que va en el rango de 0 a 14, en donde cada punto indica que es 10 veces más intenso que el valor anterior. Los valores del pH son importantes en la calidad del agua ya que muestra la potencialidad para que existan ciertas especies en esos cuerpos de agua, así como los usos industriales que se le puede dar, ya que hay industrias en donde el tener un agua acidificada no afecta tanto como en otras.

A nivel nacional, la NMX-AA-008-SCFI-2011 es la normativa que describe cómo medir el pH para el análisis del agua, esta establece dos métodos, el colorímetro que se realiza mediante el uso de tiras reactivas a pH o mediante la mezcla de reactivos que producen un color según su valor de pH; y el método electrométrico que usa electrodos de vidrio y una solución de referencia para calibrarlo y así medir su valor de pH (Secretaría de Economía, 2011).

1.3.2.10 Nitratos

El nitrógeno es un elemento químico presente en los cuerpos de agua que es básico para el desarrollo de algas y plantas en los sistemas acuáticos, siendo este el inicio

de la cadena trófica y el desarrollo saludable de las especies que existen ahí (Burrell, 2010). Los nitratos son la forma más estable de nitrógeno en los cuerpos de agua, estos iones pueden estar presentes en el agua por la geología del lugar, pero en altas cantidades puede indicar la presencia de desechos de pesticidas y fertilizantes nitrogenados en la zona (Georgia Adopt-A-Stream, 2004).

Para calcular los nitratos en el agua, la NMX-AA-079-SCFI-2001 establece dos formas para medirlo, el método de reducción con cadmio cuperizado, y por el método de sulfato de brucina, ambas formas implican el diluir las muestras en estos elementos químicos y establecer la presencia de nitratos mediante el total de la disolución (Secretaría de Economía, 2001g). También existen tiras reactivas para indicar la presencia de nitratos en el agua.

1.3.2.11 Temperatura

La temperatura es una medida de la energía cinética media de las moléculas de agua (California Environmental Protection Agency (CAPA), 2010e). Esta es la variable con la que la población en general está más familiarizada, ya que indica que tan cálida o fría está el agua. En las cuestiones de agua y su calidad, la temperatura afecta en los usos biológicos del agua, ya que hay especies que son intolerantes a los cambios bruscos de temperatura al igual que esta variable influye en su reproducción y en el crecimiento sano de sus crías, por lo que es necesario un rango de temperatura de entre 2 a 3 grados, dependiendo de la especie que se busque criar (Georgia Adopt-A-Stream, 2004).

La escala más común de temperatura es la escala Celsius aunque el Sistema Internacional de Unidades (SI) ocupa como unidad de medida el Kelvin. En México la NMX-AA-007-SCFI-2013 es la encargada de regular los métodos adecuados para medir la temperatura en agua para su análisis. Este utiliza un termómetro principalmente de alcohol o digital, el termómetro de mercurio no es recomendable debido al riesgo que se rompa y contamine al cuerpo de agua (Secretaría de Economía, 2013).

1.3.2.12 Color

El color de un cuerpo de agua puede originarse por la presencia de partículas en suspensión, humus, desechos orgánicos, plancton, algas o por efecto de las actividades humanas como derrames de aceite, vaciado de desechos industriales entre otros (California Environmental Protection Agency (CAPA), 2010a). El color es importante ya que puede dar paso a más investigación que explique el color de la muestra y así se pueda detectar el origen de ciertos tipos de contaminantes.

La forma de medir el color es mediante la escala de platino-cobalto, que se explica en la NMX-AA-045-SCFI-2001, esta se puede efectuar en laboratorio o con el uso de colorímetros en campo, aunque la medición en campo suele ser más imprecisa que la que se obtiene por laboratorio (Secretaría de Economía, 2001d).

1.3.3 Trabajo de Campo, recolección y procesamiento de la información

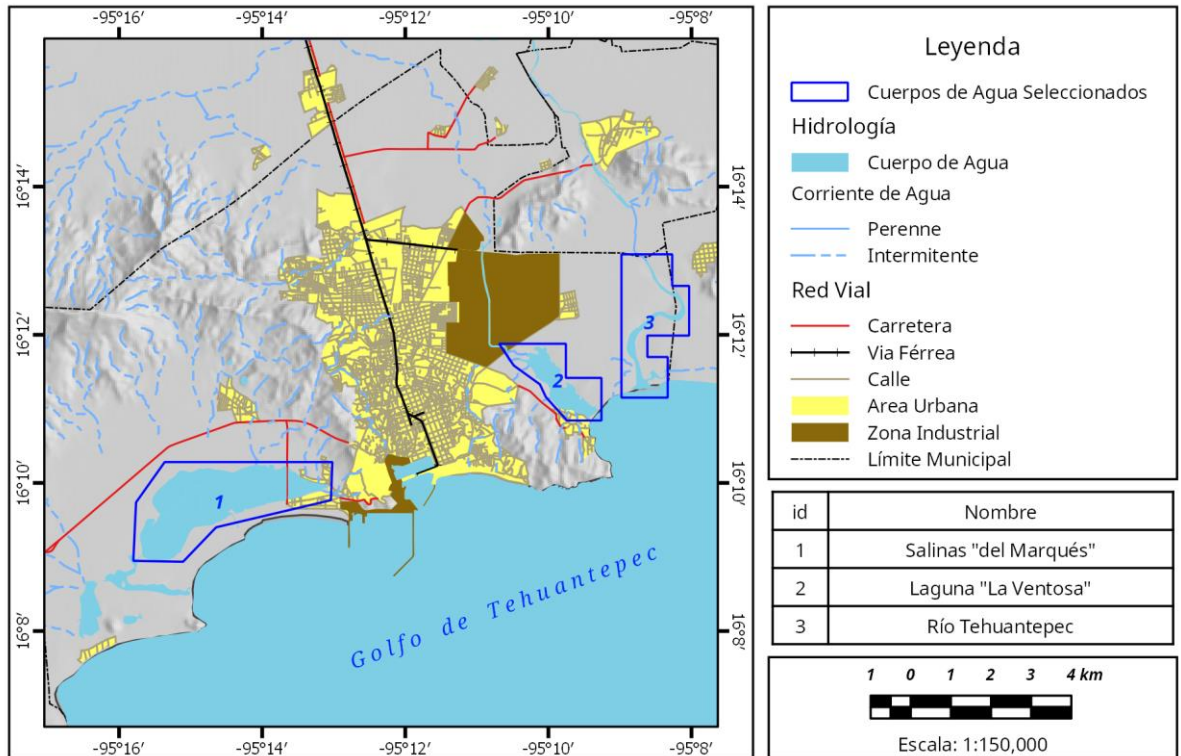
El trabajo de campo se define como la recolección de los datos con diversas técnicas directamente de la fuente de estudio, normalmente de fenómenos no recreables en laboratorio. (Dubost, 2010) El que no sea recreable depende mucho de lo que se estudia y esto es algo común en Geografía debido a la espacialidad de los fenómenos, así como a la naturaleza misma de estos.

El trabajo de campo es un proceso de difícil realización, se requiere de un trabajo previo a este en donde se establecen los diferentes elementos que se medirán, así como las herramientas que se usarán para identificar y medir cada uno de los elementos. También se requiere de una investigación bibliográfica que dé una pauta a los antecedentes del lugar de estudio, la preparación de cartografía y la formulación de hipótesis para prever lo que se puede encontrar en el lugar de estudio.

En el caso de este trabajo, se planteó de la siguiente forma el trabajo de campo:

- La búsqueda bibliográfica previa y la revisión cartográfica otorgó una primera imagen de los lugares en donde era posible el levantamiento de la información, esto dio pauta a la selección de tres cuerpos de agua representativos del municipio en donde se planearía un levantamiento: el río Tehuantepec, La laguna “La Ventosa” y la salinera “Salinas del Marqués. Estos están representados en el mapa 1.

Mapa 1. Cuerpos de agua seleccionados tras la búsqueda bibliográfica

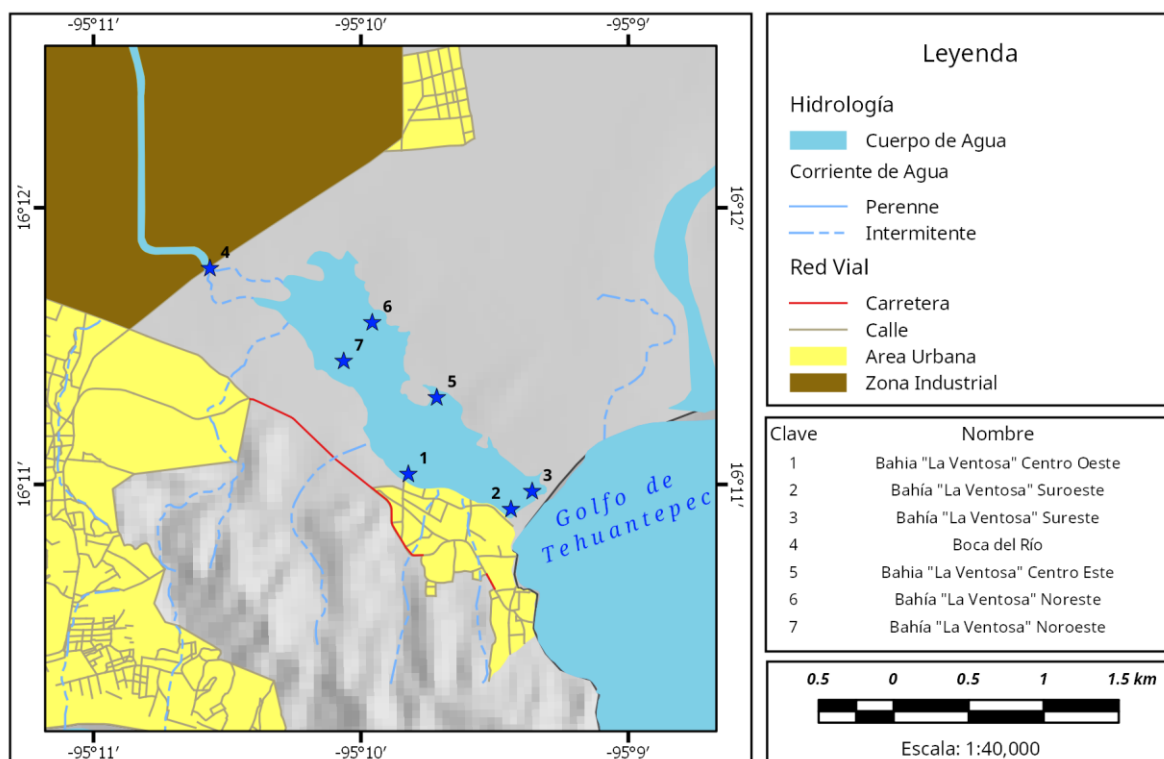


Fuente: elaboración propia, sobre la base de INEGI (2014)

- Posteriormente, se realizó en el mes de mayo de 2016 una primera visita de campo, con el fin de recorrer los sitios preseleccionados y evaluar la viabilidad del levantamiento en esos puntos, con respecto a la accesibilidad existente a estos lugares, así como los niveles de capacidad que existían en esos momentos. Esto permitió tener una estimación del material necesario para el levantamiento y que herramientas y permisos son los necesarios para realizar el muestreo. Con este trabajo de campo se decidió la eliminación de los muestreos en el río Tehuantepec, debido al bajo nivel de su cauce y a una accesibilidad inadecuada para la toma de muestras.

- En el mes de noviembre de 2016, se realizó una segunda visita de campo, en ella se levantó un muestreo en los cuerpos de agua que tenían suficiente agua para realizarse la toma de muestra. En una entrevista con el director regional de INAPESCA, se tuvo noticia de la sequía que ocurrió a lo largo del año en la zona, generando la falta de agua en gran cantidad de los puntos ya planeados, por lo que al final solo se concretó la toma de siete muestras en la laguna “La Ventosa” descartándose el muestreo en “Salinas del Marqués”. Sus ubicaciones están representadas en el mapa 2.

Mapa 2. Ubicación de las muestras levantadas en la laguna “La Ventosa” en noviembre de 2016.



Fuente: elaboración propia, sobre la base de INEGI (2014)

En cada uno de los puntos de levantamiento se midió en campo la temperatura ambiente y del agua ahí presente con un termómetro de alcohol. El resto de las diez variables se medirían en laboratorio. Para ello se procedió a la toma de un total de

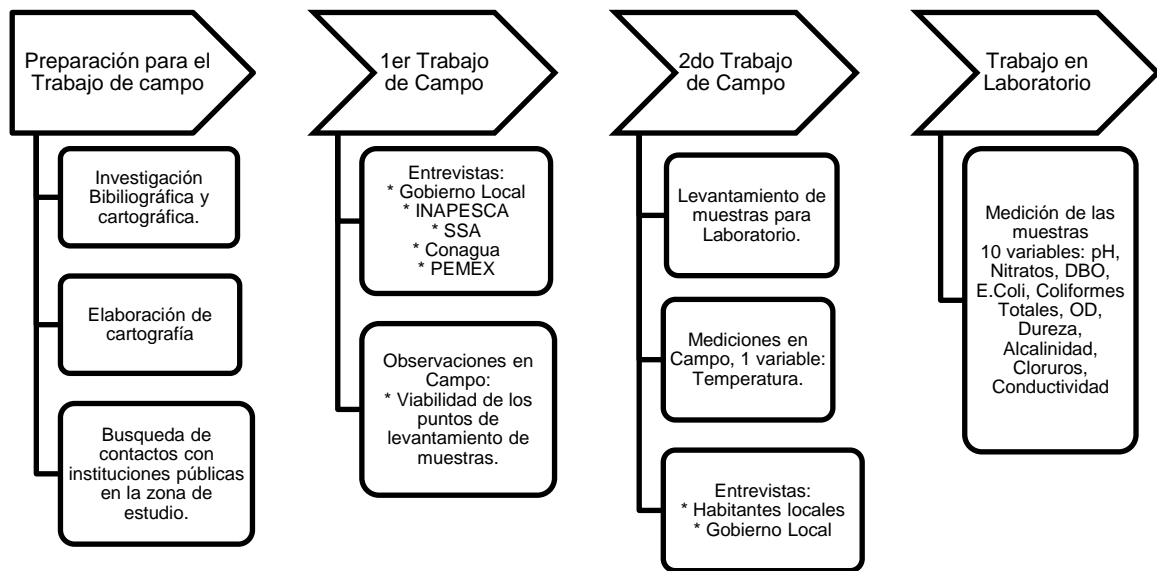
cuatro litros de agua para una muestra simple, y siguiendo la NMX-AA-003/2-SCFI-2008, repartidos de la siguiente forma:

- Dos litros de agua para el cálculo de pH, alcalinidad, cloruros, conductividad específica y nitratos, conservados en un envase de polietileno.
- Un litro de agua para el cálculo de oxígeno disuelto y demanda bioquímica de oxígeno, conservado en un envase de polietileno.
- Medio litro de agua, previamente fijada con ácido nítrico para la medición de dureza, conservado en un envase de polietileno.
- Medio litro de agua para la estimación de totales de coliformes y presencia de *E. Coli*, conservado en un envase de vidrio.
- Debido a problemas logísticos, se tuvo que descartar la medición del color en los puntos de muestreo, por lo que el peso de esta variable en el cálculo del ICA se repartió proporcionalmente entre las restantes, según lo recomendado por Dinius (1987).

Estas muestras, cumpliendo con la norma oficial NMX-AA-003/2-SCFI-2008, se mantuvieron en un baño de hielo a una temperatura de 4 °C con un grado de tolerancia de dos grados desde su levantamiento hasta la llegada, tras unas 20 horas en conservación, al laboratorio de análisis físico-químicos de la División de Ciencias Biológicas de la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco (UJAT), ubicado en la ciudad de Villahermosa, Tabasco, en donde se realizaron las pruebas necesarias para obtener los valores de las 10 variables que no se midieron en campo.

La metodología de realización de un muestreo de aguas según lo estipulado por las diversas normativas oficiales está descrito en el anexo 1. El proceso de realización de los trabajo de campo está resumido en el siguiente diagrama de flujo (Figura 2).

Figura 2. Proceso del trabajo de campo.



Fuente: elaboración propia basada de FAO (2004)

Al finalizar el 2do trabajo de campo y el tratado de las muestras en laboratorio, se realizó un procesamiento de la información recabada, en donde se buscó calcular con las mediciones de campo y sus resultados en laboratorio, los índices ICA Dinius para cada uno de los puntos.

Para ello se realizó la corrección de pesos recomendado por el autor, en donde se reparte proporcionalmente el peso faltante en los pesos con los que se cuenta información. La fórmula usada se presenta a continuación:

Figura 3. Fórmula para el reparto proporcional

$$\left(\frac{n}{(\sum W) - n} * W_1 \right) + W_1$$

En donde:

- n es igual al peso que se repartirá (para este caso, el color equivalente a 0.063),
- $\sum W$ es igual a la sumatoria de los pesos iniciales (para este caso, el valor es 1), y
- W_1 es igual a cada uno de los pesos individuales.

La memoria de cálculo del reparto proporcional para cada variable está reportado en el anexo 2. Tras el cálculo de cada uno de los pesos nuevos, los resultados fueron los siguientes, condensados en la tabla 4:

Tabla 4. Nuevos pesos calculados tras repartir el peso de la variable color de forma proporcional

Parámetro (Abreviatura)	Peso anterior (W_i)	Nuevo Peso	Parámetro (Abreviatura)	Peso anterior (W_i)	Nuevo Peso
Oxígeno Disuelto (OD)	0.109	0.116	Cloruros (CL)	0.074	0.079
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO)	0.097	0.104	Conductividad Específica (CE)	0.079	0.084
Total de Coliformes (COLI)	0.090	0.096	pH	0.077	0.082
Presencia de <i>E. Coli</i> (E-COLI)	0.116	0.124	Nitratos (N)	0.090	0.096
Alcalinidad (ALC)	0.063	0.067	Temperatura (T)	0.077	0.082
Dureza (DUR)	0.065	0.069			

Fuente: Elaboración propia basado de Abbasi y Abbasi (2012) p.38 a su vez basado en Dinius (1987)

Tras este procesamiento, se calculó los valores ICA Dinius para cada una de las muestras tomadas, posteriormente se realizó una georreferenciación de la información y se cartografió, para ello fue necesario ejecutar un proceso de interpolación de los datos recolectados durante el muestreo. Con este fin se utilizó un Sistema de Información Geográfica (SIG) con el cual se elaboró este procedimiento y su posterior tratamiento para la generación de cartografía que permitiera un análisis profundo de los resultados. El programa utilizado para este tratamiento fue QGIS versión 2.18.2 “Las Palmas”.

Dentro de los métodos de interpolación, se optó por usar una del tipo “Función de base radial” (RFB, por sus siglas en inglés) de la clase “Spline de lámina delgada”. Este tipo de interpolación corresponde a una serie de técnicas de interpolación exacta el cual, mediante el manejo de un conjunto de funciones cuadráticas y cúbicas, unen los valores de los puntos conocidos, para dar así una imagen de predicción suavizada y continua (ESRI, 2016; Trincado y Jaime, 1999). La clase “Spline de lámina delgada” indica una de las técnicas dentro de estas RFB. La forma en el que esta es aplicada es mediante el uso de funciones que simulen el manejo de un curvígrafo (*spline* en lengua inglesa) a través de cada uno de los puntos, permitiendo así el crear curvas suaves de información con datos mayores o menores a los muestreados y así predecir el posible comportamiento en fenómenos no lineales (Trincado y Jaime, 1999).

Este método brinda una multitud de ventajas, algunas de ellas son:

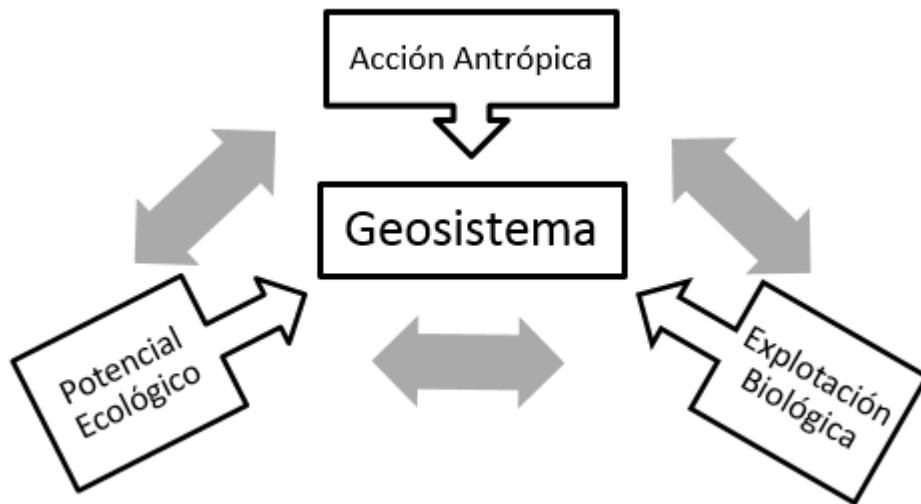
- La reducción de patrones pocos reales de la información, como el tipo “Ojo de buey” común en las interpolaciones inversas a la distancia (Fortis-Hernandez et al., 2010).
- Permite la predicción de valores por encima o por debajo de los puntos muestreados, que en muchas veces puede ser real (ESRI, 2016).
- Es útil en datos dispersos, como los presentados en este trabajo, porque el sistema asociado de ecuaciones lineales resulta invertible y no necesitan que los puntos estén distribuidos en una grilla regular (Echeverri-Arias, Manrique-Losada, Moreno, y Bravo, 2009).

Tras realizarse el tratamiento cartográfico de la información, se realizó un análisis de la información obtenida a partir de los mapas y los valores tanto de las variables como del índice de cada uno de los puntos, para establecer su potencial de uso y así tener información que ayude a la valorización del recurso agua dentro del sistema que se estudia.

Capítulo 2. Caracterización geográfica del municipio de Salina Cruz, Oaxaca

Para poder identificar claramente los elementos que interactúan e influyen en la problemática que existe en un geosistema, es necesario contextualizar cada una de las partes que conforman a esta unidad de estudio. Bertrand y Bertrand (2006) indican que son tres los elementos claves para identificar las particularidades y relaciones de un geosistema, estos se presentan en el siguiente gráfico:

Figura 4. Elementos y relaciones de un geosistema



Fuente: elaborado con base en Bertrand y Bertrand (2006)

Ibíd. (2006) comenta que el potencial ecológico se refiere a aquellos elementos abióticos que existen en el sistema, lo que el discurso ortodoxo incluye en el ámbito natural de la Geografía Física, con elementos como el Relieve, Clima e Hidrología. La explotación biológica al igual que el potencial ecológico, incluye elementos de la naturaleza, pero a diferencia del anterior son elementos bióticos los que conforman este componente, siendo estos la vegetación y la fauna, así como el sistema edafológico, que, aunque no tiene vida *per se* si presenta una actividad biológica e

inclusive hay autores que lo manejan como el punto de interacción entre las esferas terrestres de la biósfera, hidrósfera, atmósfera y litósfera. (Lin, 2010). El último de los componentes es la acción antrópica, que son todos aquellos elementos humanos que inciden en el geosistema, incluyendo aspectos demográficos, económicos, políticos y culturales.

Cada uno de estos componentes interactúa con los demás permitiendo la existencia de una relación dialéctica entre las partes en donde lo que ocurre en cada una de las esferas afecta a las demás, aquí la razón de contextualizar cada una de estas partes para comprender lo que ocurre en el geosistema que se está investigando.

2.1 Ubicación

Salina Cruz es un municipio costero ubicado en el estado de Oaxaca, perteneciente a la región Istmo del estado. Cuenta con una superficie de 110 km² (INEGI, 2009) la cual representa el 0.14% de la superficie estatal. Se encuentra entre las coordenadas 16°06' y 16°16' de latitud norte; y los 95°08' y 95°18' de longitud oeste. Colinda con los municipios de Santo Domingo Tehuantepec y San Pedro Huilotepec al norte, San Mateo del Mar y San Pedro Huilotepec al este, al sur con el golfo de Tehuantepec, y al oeste con el municipio de Santo Domingo Tehuantepec. (INEGI, 2009)

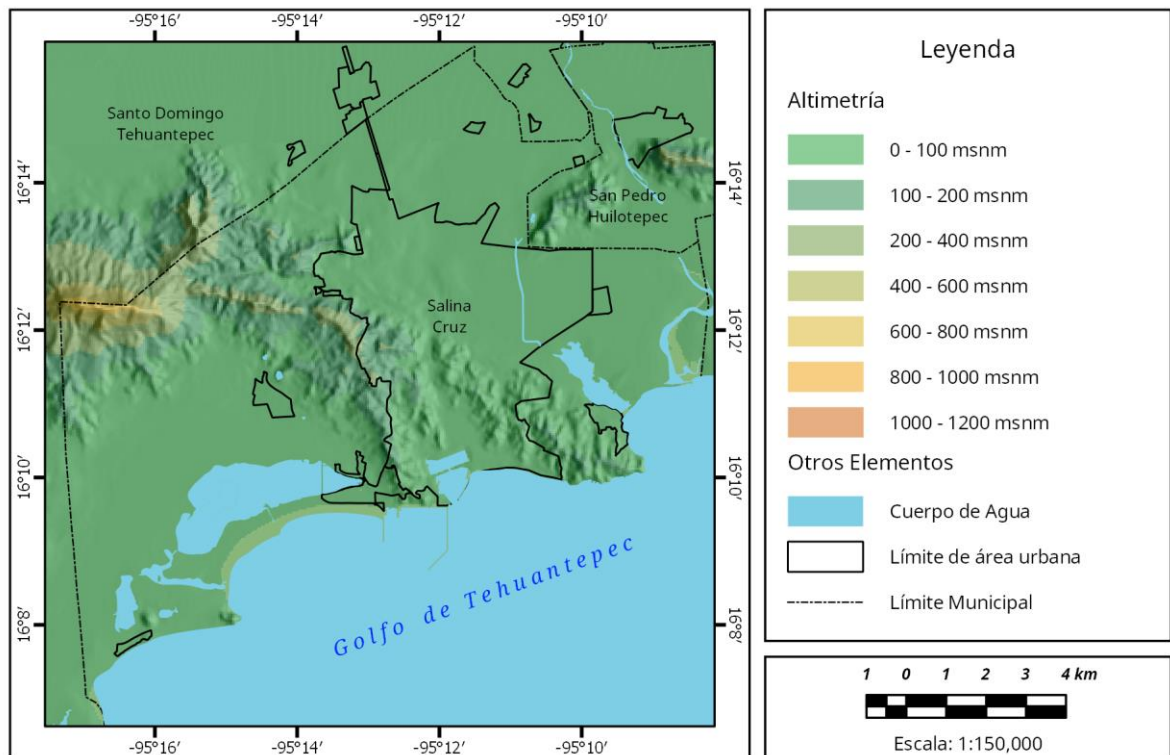
2.2 Aspectos Físicos

Los aspectos físicos son aquellos elementos naturales de un espacio, que surgen sin la presencia del ser humano, estos elementos determinan el potencial ecológico y la posible explotación biológica dentro del geosistema. Los elementos que

pertenecen al aspecto físico son la fisiografía, el clima, la hidrología, la edafología, y el uso de suelo por la vegetación y la fauna.

2.2.1 Fisiografía

Mapa 3. Altimetría



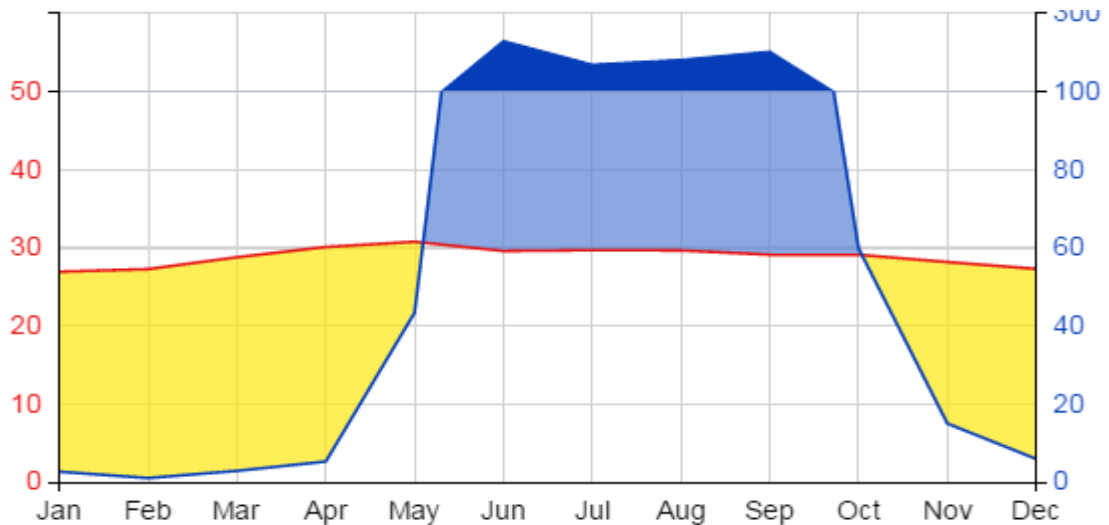
Fuente: elaboración propia sobre la base de INEGI (2014)

El municipio de Salina Cruz se encuentra en la intersección de la Sierra Madre del Sur y la Cordillera Centroamericana en lo que se conoce como el Istmo de Tehuantepec. El municipio está en una zona de transición entre un sistema serrano, el cual en ciertas zonas dentro de su superficie alcanza los 800 metros sobre el nivel del mar (msnm); y una llanura costera, que tiene lomeríos y presenta acumulaciones de sal en zonas cercanas a los cuerpos lagunares. Dominan rocas del cuaternario (las más jóvenes, que están en las zonas de la Cordillera Centroamericana) y del cretácico, pertenecientes a la región de la Sierra Madre del Sur. (INEGI, 2009)

2.2.2 Clima

En el municipio de Salina Cruz, el clima predominante en el 100% de su superficie es un clima Aw_1 que en la clasificación modificada de Köppen realizado por Enriqueta García para el país, es un clima cálido subhúmedo con lluvias en verano con humedad media. (INEGI, 2009). El rango de temperaturas de la ciudad oscila entre los 26 y 28 °C a lo largo del año, con su extremo máximo en el mes de mayo y su mínima en el mes de enero. En lo que respecta a la precipitación, ésta fluctúa entre los 800 y los 1200 mm anuales, con su temporada de lluvias entre el mes de junio y hasta el mes de octubre y un periodo de secas entre noviembre y mayo. (Ídem, 2009).

Figura 5. Climograma de Salina Cruz

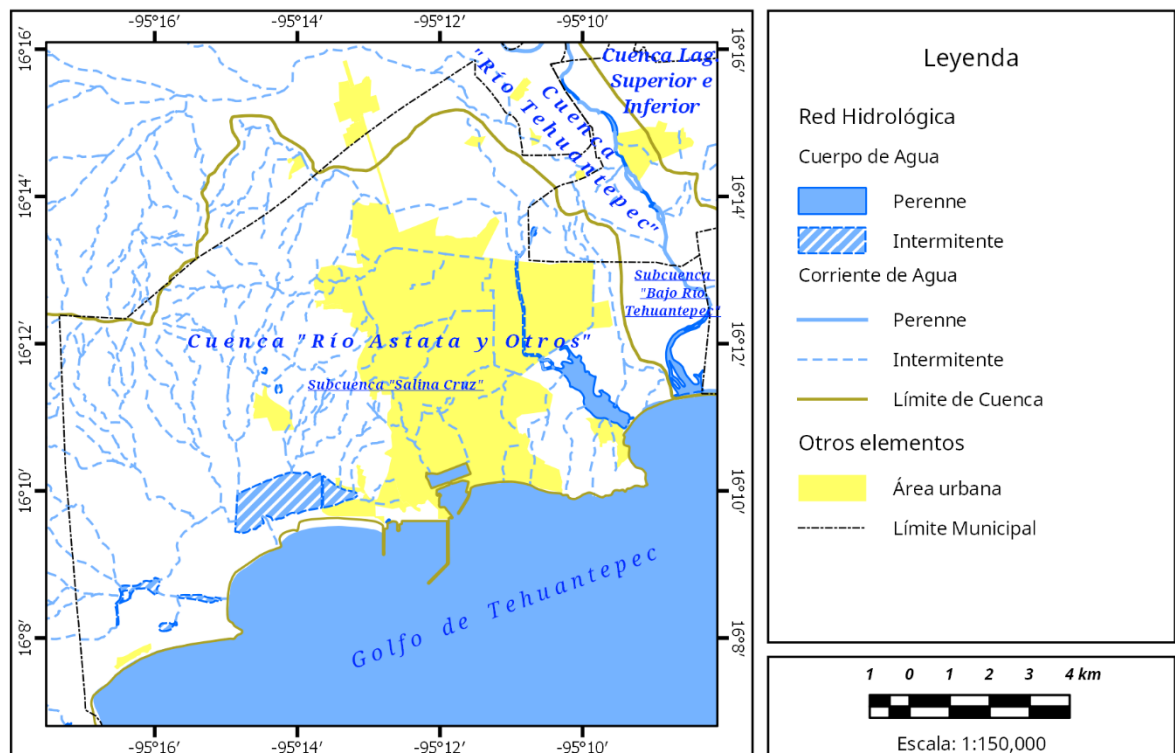


Fuente: Technische Universität Dresden, (2015)

2.2.3 Hidrología

Debido a la presencia de los sistemas serranos cercanos a la costa, así como un clima cálido subhúmedo con lluvias en verano, en el municipio existen abundantes ríos intermitentes de corta distancia. El 74% de la superficie municipal se encuentra en la cuenca hidrográfica "Río Astata y otros" dentro de la región hidrográfica "Costa de Oaxaca (Puerto Ángel)" el cual está caracterizado por ríos de cuencas pequeñas y cursos cortos por la presencia de cordilleras muy cercanas al mar. El 26% restante pertenece a la cuenca del río Tehuantepec. Aunque la presencia de esta cuenca en la superficie municipal es menor, no deja de ser el río más importante de la zona, debido a que es el único en el que su corriente es perenne y su desembocadura está en este municipio. (INEGI, 2009)

Mapa 4. Red hidrológica del municipio de Salina Cruz



Fuente: Elaboración propia sobre la base de INEGI, (2010; 2014)

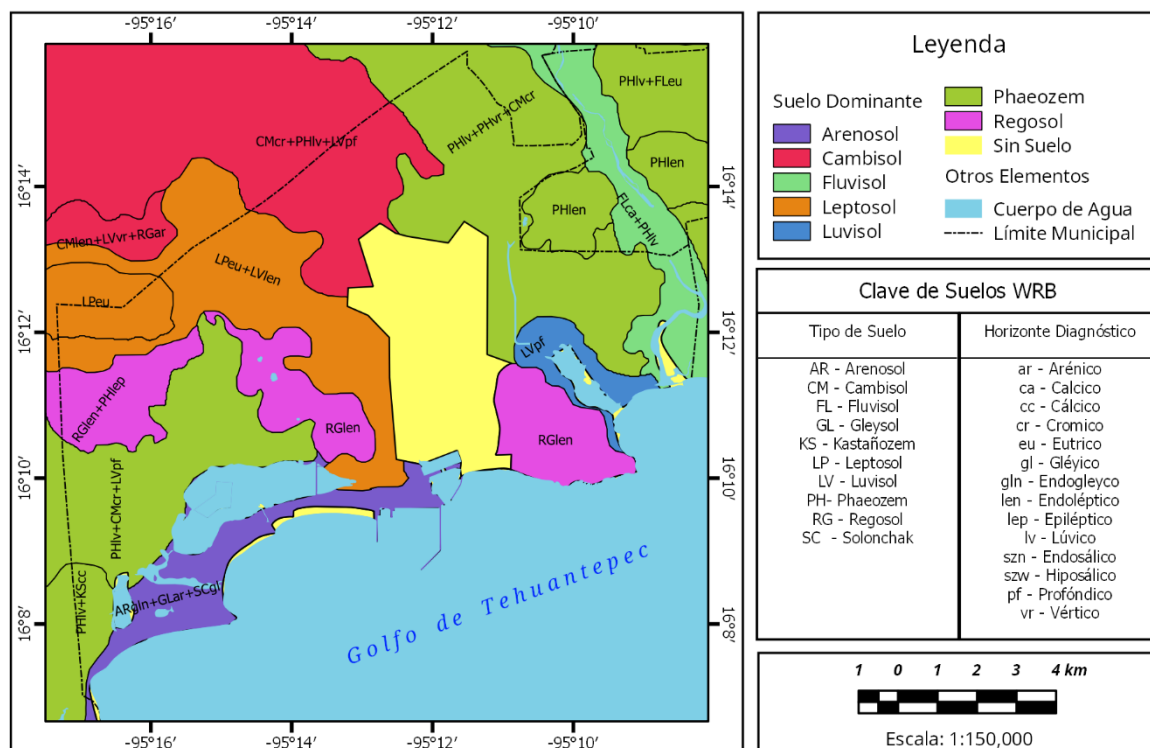
Este río desemboca a la altura de “La Ventosa” el cual es una laguna costera en donde existe agua salobre y una importante actividad pesquera de autoconsumo. Cuenta también con otra laguna costera llamada Salinas del Marques, el cual es de agua salada y somera, por lo que es propicio para la extracción de sal. El agua de esta laguna proviene de los ríos intermitentes y de las lluvias ocurridas en la zona, por lo que tienen un tamaño variable con el año. No hay cuerpos lagunares de agua dulce (INEGI, 2009).

2.2.4 Edafología

Gracias a la presencia de cuerpos de agua salada que tienen un tamaño variable debido a la temporalidad de las lluvias, en las zonas cercanas a las lagunas costeras existen suelos con altas acumulaciones de sales, principalmente del tipo solonchak así como otros tipos de suelos con horizontes diagnósticos sálicos en sus horizontes A y B.

En las costas hay una presencia de suelos del tipo arenosol, y en las zonas serranas existen suelos de poco desarrollo y una profundidad muy baja (de entre 30 y 50 cm) como son los leptosoles y los regosoles. La zona ribereña del río Tehuantepec cuenta con suelos del tipo fluvisol y phaeozem, debido a la acumulación de sedimentos en su periodo de crecida, durante la temporada de lluvias. Esta zona igual presenta características vérticas, con alto contenido de arcillas expandibles en sus horizontes A (INEGI, 2009).

Mapa 5. Edafología del municipio de Salina Cruz.



Fuente: : Elaboración propia sobre la base de INEGI (2006; 2014)

2.2.5 Uso de Suelo

En lo que se refiere al uso del suelo del municipio, existía al año 2005, la presencia de selva seca baja en el 49% de la superficie municipal, así como pequeños reductos de manglares en las zonas costeras y cercanas a la bahía “La Ventosa”, que no superaban el 5% de la superficie municipal. El 25% de la superficie del municipio ya se encontraba urbanizado y el restante con presencia de actividad agrícola. También hay presencia de pastizal inducido debido al abandono de las tierras agrícolas, junto a zonas sujetas a inundación a la orilla de las lagunas, que no están ocupadas. (PEMEX, 2014)

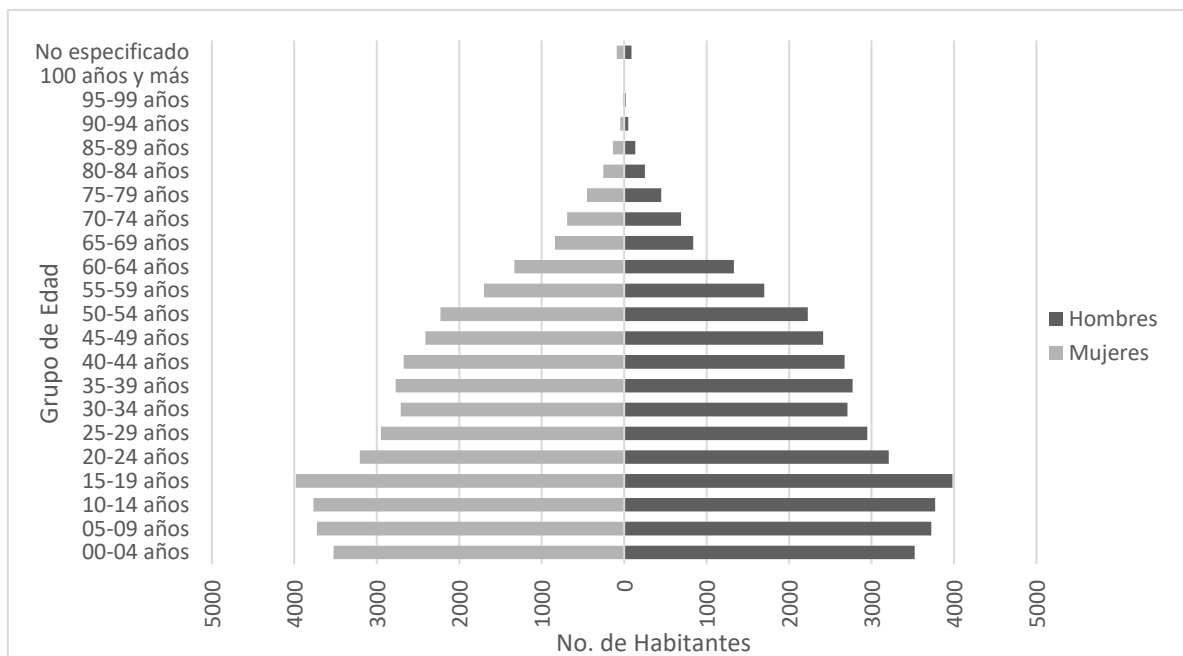
2.3 Aspectos Humanos

Los aspectos humanos son todos aquellos elementos que caracterizan la sociedad, sean estos su cantidad, estructura por edad y sexo, distribución espacial, características particulares como idioma, religión, escolaridad, empleo, entre otra gran cantidad de variables. Estos son objeto de estudio de la demografía y dentro del geosistema forman parte de la acción antrópica (Bertrand y Bertrand, 2006).

2.3.1 Población Total

Al año 2010, el municipio contaba con una población total de 82,371 habitantes que representaban el 2.2% del total de la población del estado de Oaxaca. Del total de habitantes del municipio, el 48% eran hombres y el 52% mujeres. La edad mediana se encuentra en los 28 años, ligeramente mayor al promedio estatal de 24 años. Esto se puede deber a la edad de los trabajadores que ocupa la planta petroquímica (INEGI, 2011).

Figura 6. Pirámide poblacional del municipio de Salina Cruz, 2010



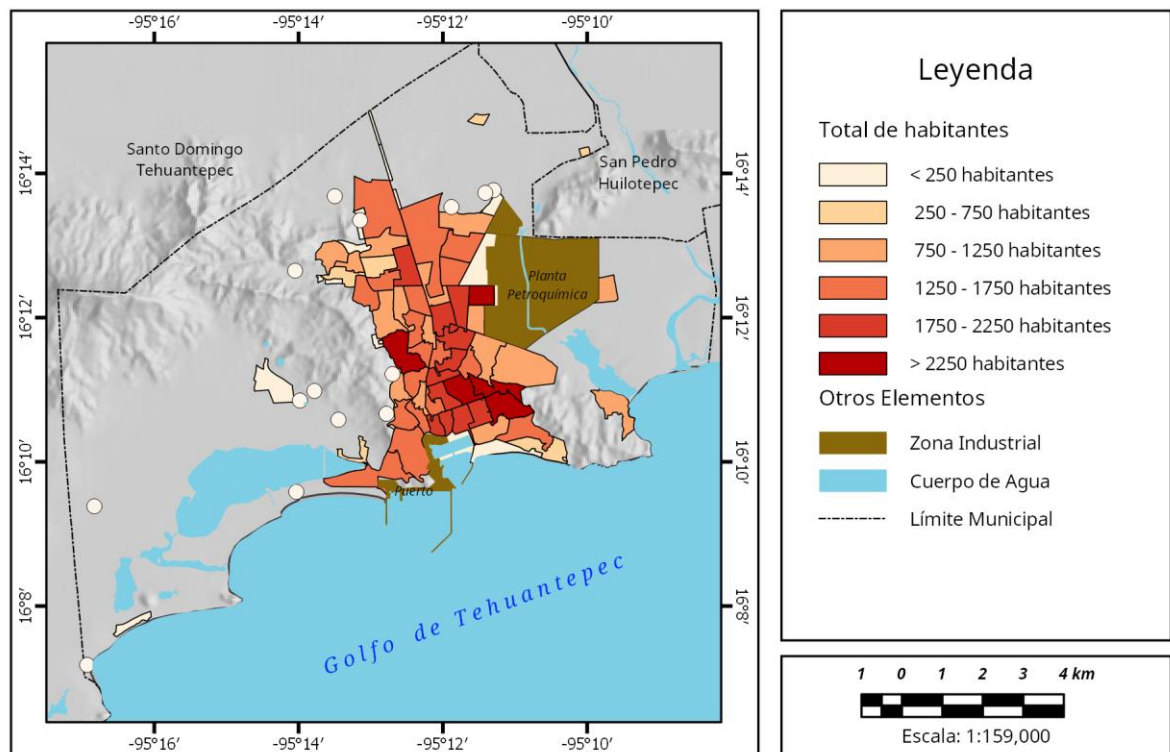
Fuente: INEGI (2011)

2.3.2 Distribución de la población

La población del municipio se encuentra repartida en un total de 27 localidades, de las cuales una es urbana (la ciudad de Salina Cruz) y 26 son rurales (INEGI, 2011). El 93% de la población, que asciende a 76,596 habitantes, radican en la única localidad urbana del municipio. El 7% restante, con un total de 5,775 habitantes, viven en localidades rurales.

Como se puede apreciar en el mapa 6, en donde se muestra la población repartida a nivel Área Geoestadística Básica (AGEB), una gran parte de la población se concentra principalmente en el punto medio entre la planta petroquímica y el puerto, en el centro de la ciudad. Cabe destacar un AGEB cercano a la planta que concentra una alta población, el cual es un fraccionamiento de empleados de PEMEX.

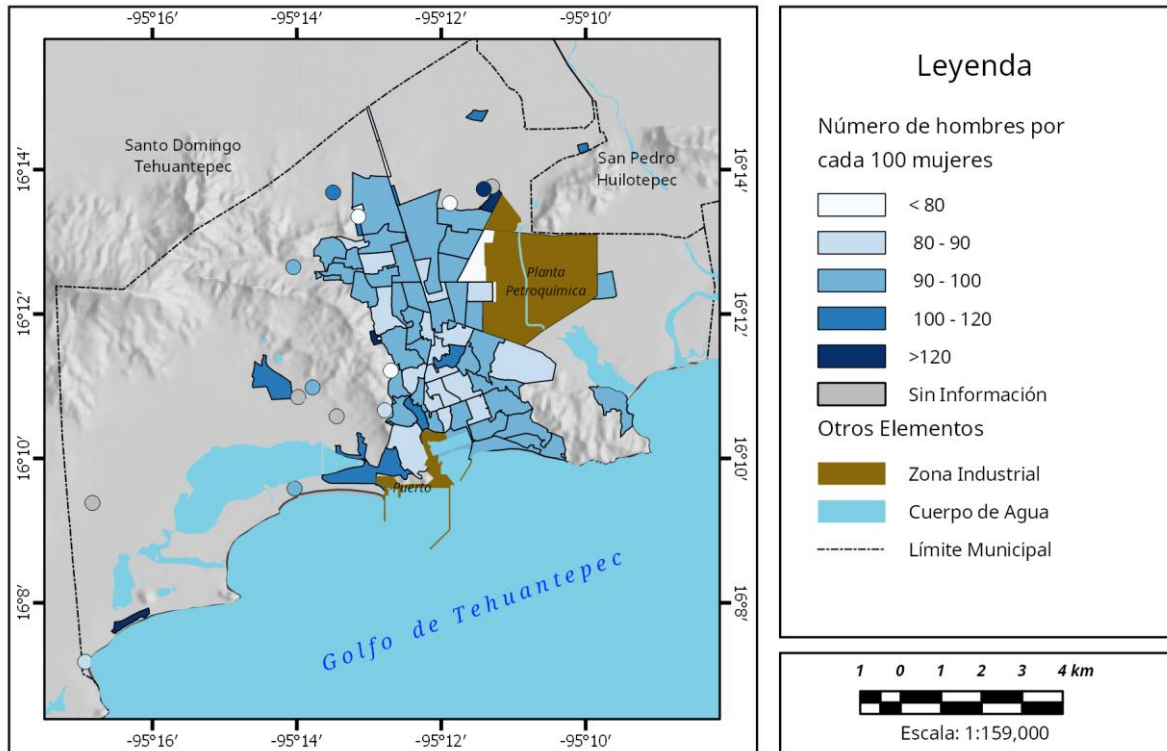
Mapa 6. Distribución de la población total por AGEB urbano y rural



Fuente: Elaboración propia, con datos de INEGI (2011) sobre la base de INEGI (2014)

En lo que corresponde a la población masculina distribuida en el municipio, al ver el índice de masculinidad a nivel AGEB; se aprecia un aumento en este valor en áreas rurales y en algunas zonas cercanas a la refinería.

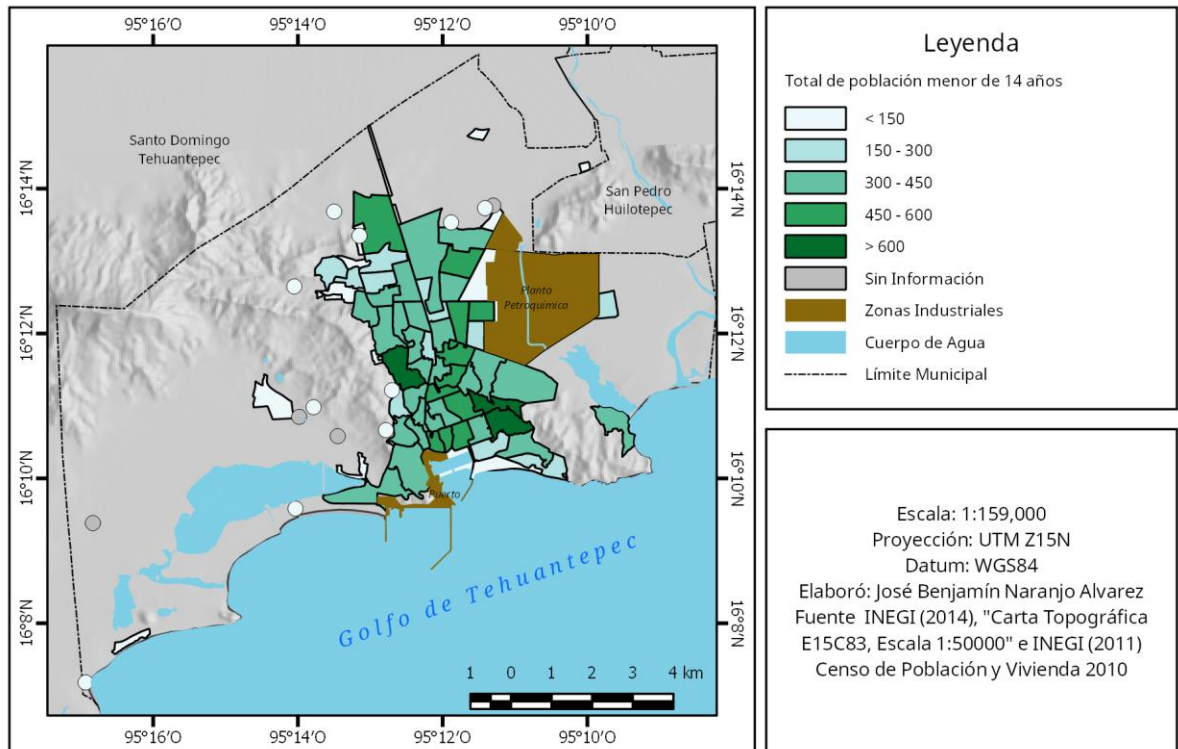
Mapa 7. Índice de Masculinidad a nivel AGEB urbano y rural



Fuente: Elaboración propia, con datos de INEGI (2011) sobre la base de INEGI (2014)

En lo que respecta a la distribución geográfica por edad de la población, en el caso de la población infantil menor a 14 años, se encuentra mayormente en puntos intermedios entre el puerto y la planta petroquímica, esto incluye a un AGEB cercano a la planta, que corresponde a la Colonia Petrolera, donde habitan trabajadores de PEMEX, como se puede apreciar en el mapa 8.

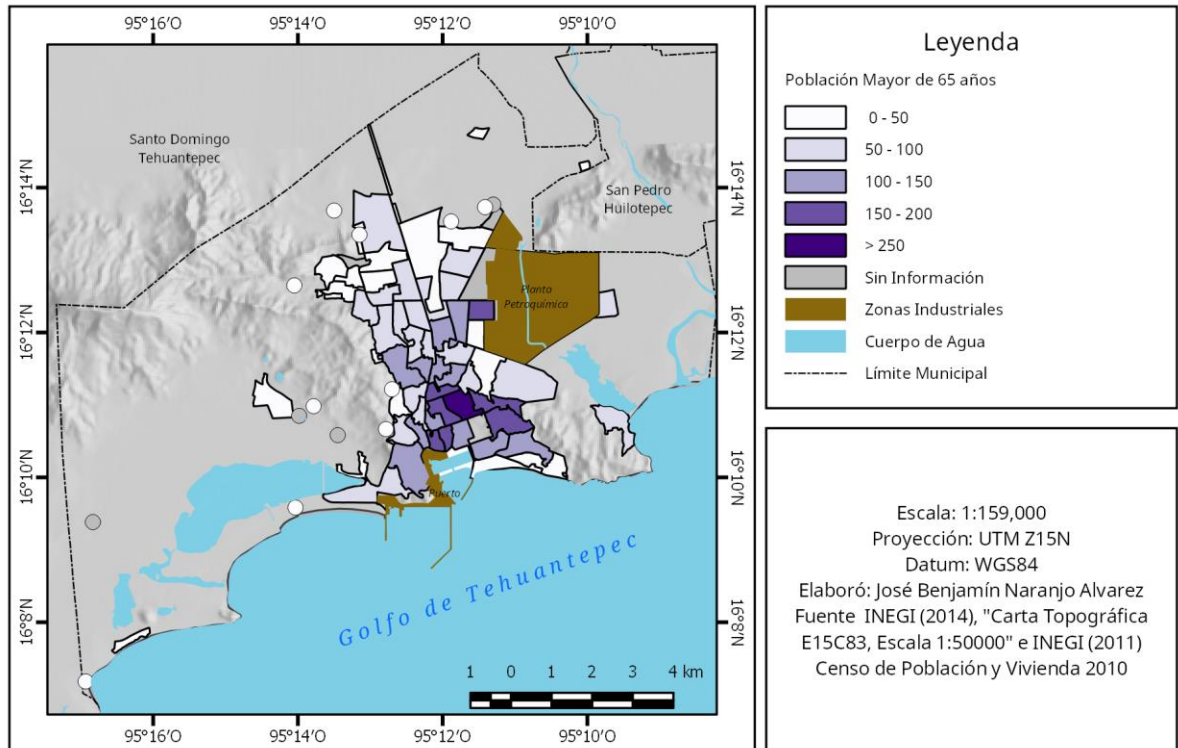
Mapa 8. Distribución de la población menor de 14 años de edad a nivel AGEB urbano y rural



Fuente: Elaboración propia, con datos de INEGI (2011) sobre la base de INEGI (2014)

En lo que atañe a los adultos mayores con una edad de 65 años o más, estos se concentran en el centro histórico de Salina Cruz, así como en la Colonia Petrolera, la cual está muy cercana a la refinería. Esto se ve claramente en el mapa número 9.

Mapa 9. Distribución de la población de 65 o más años a nivel AGEB urbano y Rural.



Fuente: Elaboración propia, con datos de INEGI (2011) sobre la base de INEGI (2014)

2.3.3. Evolución histórica de la población.

El municipio de Salina Cruz ha tenido un aumento de población considerable a partir de la construcción de la planta petroquímica en los años setentas (Véase tabla 5).

Tabla 5. Evolución de la población del municipio de Salina Cruz.

Censo de Población y vivienda	1950	1960	1970	1980	1990	2000	2010
Población.	8,974	15,514	23,970	42,239	65,707	76,452	82,371

Fuente: INEGI (2009; 2011)

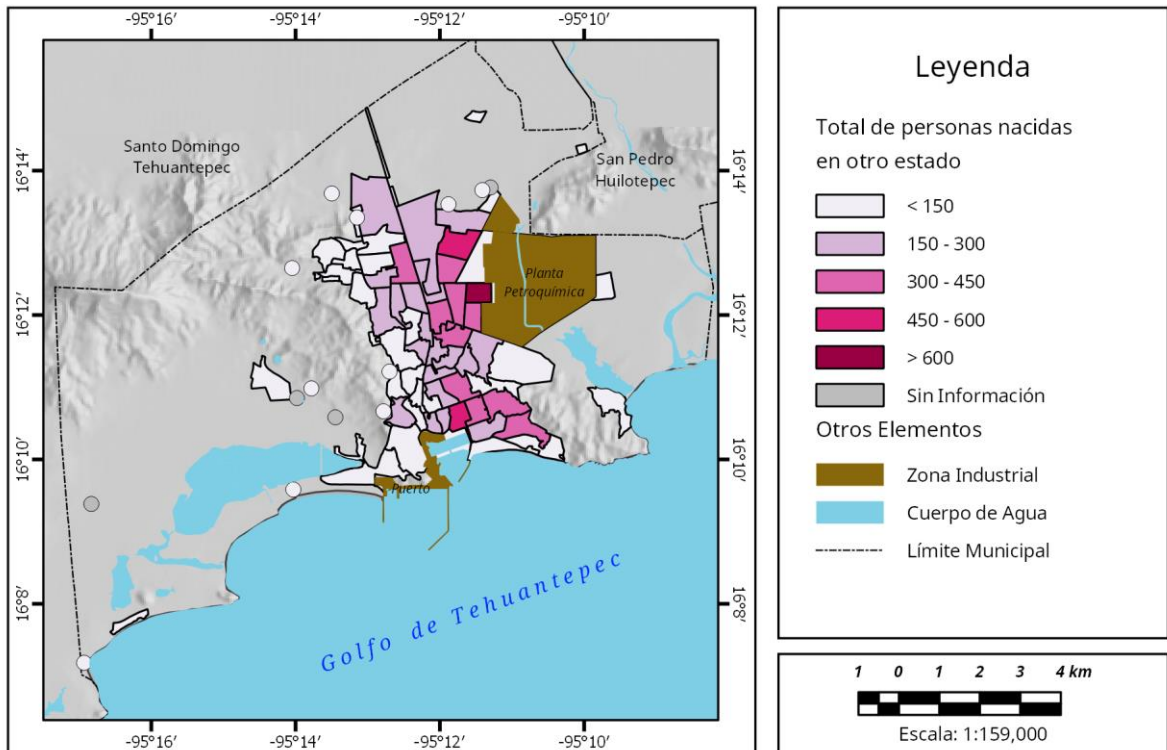
En 1950 el municipio contaba con una población de 8,974 habitantes, incrementándose a los 23,970 en los años setentas, y en cuestión de 10 años esta población se duplicó a 42,239 habitantes. Su crecimiento fue constante durante el

resto del siglo, llegando al año 2000 a 76,452 habitantes. En el último censo realizado en el año 2010, la población ascendió a 82,371 habitantes (INEGI, 2009; INEGI, 2011).

2.3.4. Migrantes

El 14% de la población del municipio (unos 12 034 habitantes) declararon en el censo del año 2010 haber nacido en otro estado que no era Oaxaca, a esto hay que sumarle unas 111 personas que han nacido en otro país y que vivían en el municipio en el 2010. (INEGI, 2011). Esta población está principalmente concentrada en zonas cercanas a la planta petroquímica, en la colonia “Petrolera” en donde esta población son trabajadores de esta planta. Igual existen zonas de alta población migrante en el centro de la ciudad.

Mapa 10. Distribución de la población nacida en otro estado por AGEB urbano y rural

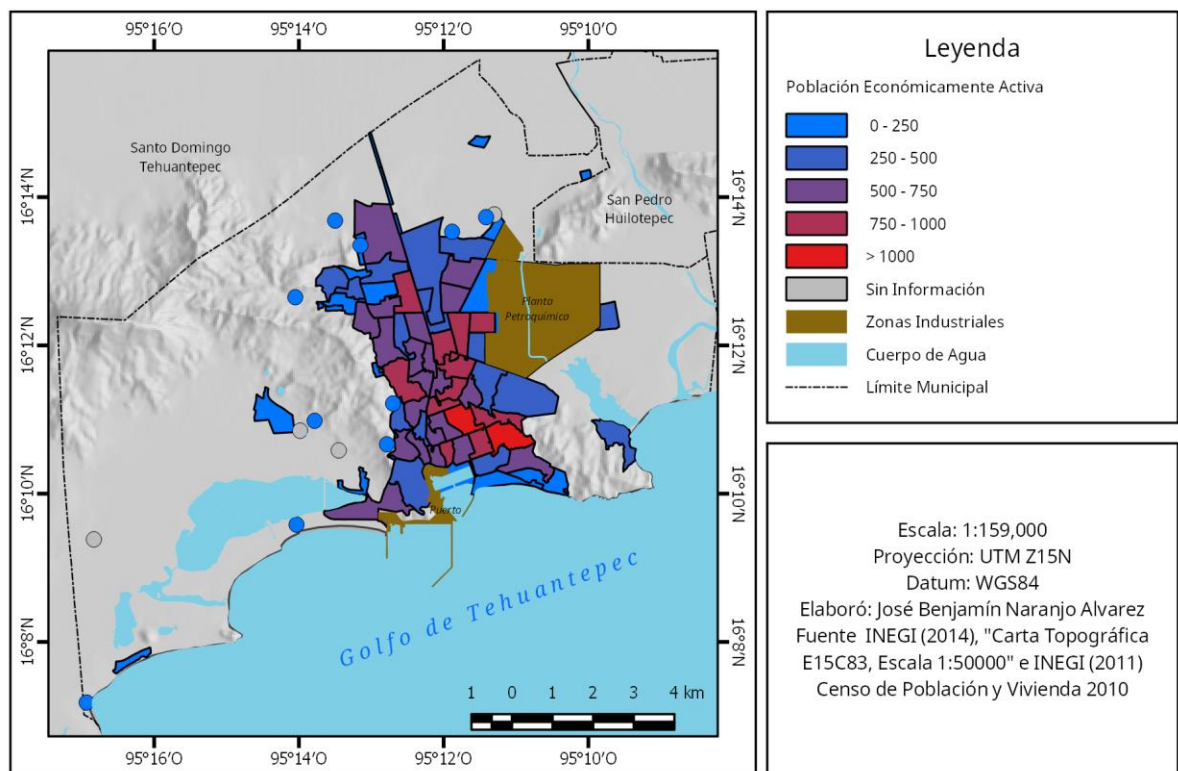


Fuente: Elaboración propia, con datos de INEGI (2011) sobre la base de INEGI (2014)

2.3.4. Población Económicamente Activa

Al 2010, 32 562 habitantes eran parte de la población económicamente activa (PEA) en el municipio representando el 39.5% de la población total del municipio. Del total de la PEA, el 64% eran hombres y el 36% mujeres (INEGI, 2011; PEMEX, 2014). La población no económicamente activa, ascendían a los 32,069 habitantes, de estos, el 48% eran personas dedicadas a los quehaceres del hogar, el 36% eran estudiantes, el 10% estaban jubilados y el restante no especificó o padecían de una discapacidad. (Ídem, 2011). La distribución de esta población en el municipio se refleja en el siguiente mapa. Se aprecia una mayor concentración en el centro de la ciudad y en zonas cercanas a la planta petroquímica.

Mapa 11. Distribución de la población económicamente activa.

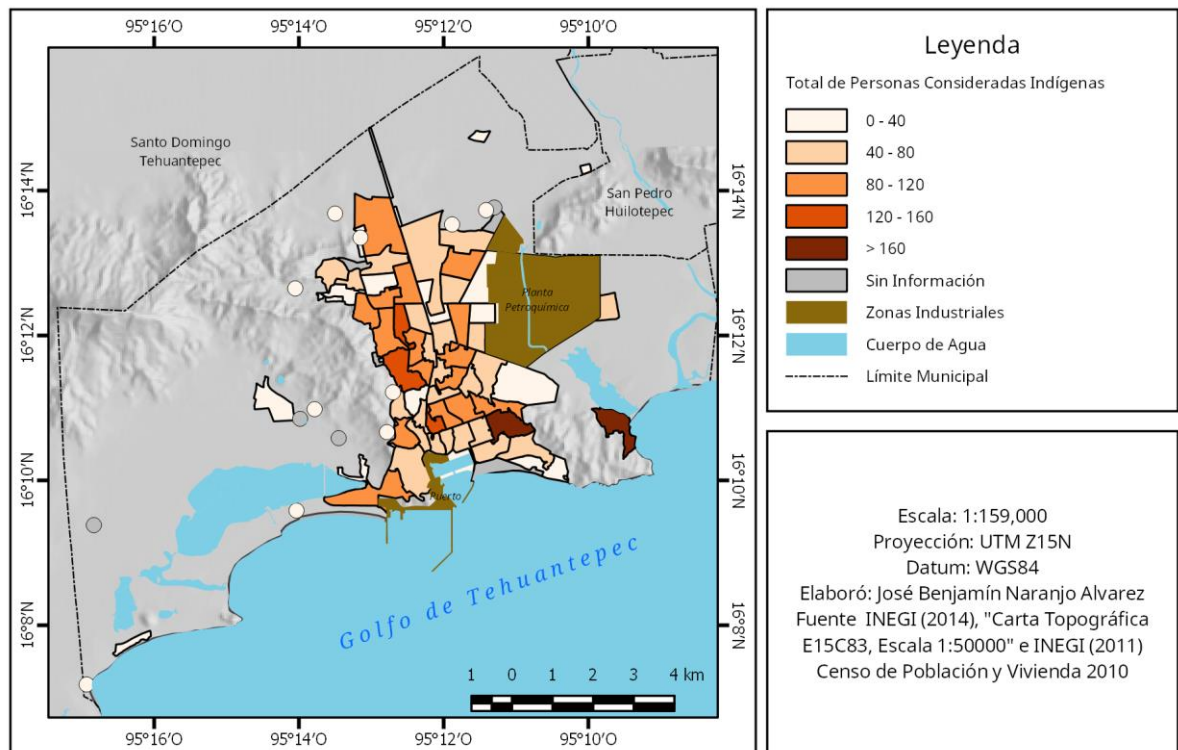


Fuente: Elaboración propia, con datos de INEGI (2011) sobre la base de INEGI (2014)

2.3.5 Pueblos Indígenas

En el municipio de Salina Cruz, el 13.7% de la población (unas 11 mil personas) se identificó con algún pueblo indígena existente en el censo de 2010 (Secretaría de Gobernación, 2012). La mayoría se relacionó con el pueblo zapoteca del Istmo. De este número, 4 164 personas declararon tener conocimientos de su lengua, siendo la amplia mayoría hablantes de zapoteco, seguido por chontales de Oaxaca y huaves (Ídem, 2012). Estos se encuentran distribuidos a las afueras de la ciudad, principalmente en la localidad de “La Ventosa”, como se puede apreciar en el siguiente mapa.

Mapa 12. Distribución de la población mayor a 3 años considerada indígena, a nivel AGEB urbano y rural



Fuente: Elaboración propia, con datos de INEGI (2011) sobre la base de INEGI (2014)

2.4 Aspectos Económicos

Los aspectos económicos son un reflejo de la situación a lo largo del geosistema, ya que determina de una forma a las actividades que desarrolla la sociedad a partir de los diferentes elementos geográficos que le rodea, desde su simple ubicación (que en este caso incide en por qué esta ciudad es un puerto que abastece de petróleo al Pacífico mexicano), sus condiciones climáticas, edafológicas, y las características de su población y su fuerza laboral. Estos elementos se conjugan para establecer una economía que se relaciona interna y externamente con otros geosistemas. Los aspectos económicos igual permiten entender cómo se aplican los recursos y en especial el agua para objetivo de esta investigación.

2.4.1 Actividades Primarias

La agricultura y la pesca son las actividades primarias predominantes en el municipio de Salina Cruz. El cien por ciento de la superficie agrícola sembrada en el municipio corresponde a la modalidad de agricultura de temporal. En el año 2015 se cultivaron 508 ha con cultivos de maíz, ajonjolí y sorgo, de los cuales sólo se cosechó 223.5 ha, con una producción total de 204.77 toneladas. El valor de la producción de ese año ascendió a un total de \$1,135,710 pesos, siendo el maíz grano, el cultivo que más valor monetario tuvo, representando poco más del 65% del valor total de la producción (SIAP, 2016).

El total de superficie sembrada, cosechada, el total del tonelaje y el valor de la producción se resumen en la tabla número 6.

Tabla 6. Resumen de la producción agrícola en el municipio de Salina Cruz en el año 2015

Cultivo	Superficie Sembrada (ha)	Superficie Cosechada (ha)	Producción (Ton)	Valor de la producción (Miles de pesos)
Ajonjolí	50	39.5	29.23	453.58
Maíz grano	348	184	175.54	682.12
Sorgo grano	110	0	0	0
Total	508	223.5	204.77	1,135.71
<i>Fuente: SIAP (2016)</i>				

En lo que confiere a la pesca, existe presencia de pesca ribereña, en la bahía “La Ventosa” y hasta 6 millas náuticas desde la costa (SEMAR, 2013). En 2013, se desembarcó un peso total de 626,335 toneladas de pescados y mariscos de las costas del municipio, que representó el 0.05% de toda la captura nacional y el 4% de la pesca del estado. La sardina, el camarón y el ostión son las especies más capturadas (PEMEX, 2014). Existe presencia de pesca de subsistencia en zonas cercanas a la laguna “La Ventosa” para autoconsumo.

2.4.2 Actividades Secundarias

Salina Cruz destaca en las actividades secundarias en el proceso de transformación de petróleo en gasolinas, turbosinas, otros combustibles y plásticos, gracias a la planta petroquímica “Ing. Antonio Dovalí Jaime”, operada por Petróleos Mexicanos. Fundada en 1979, esta planta ha permitido el crecimiento de la ciudad y el cambio de su estructura económica, pasando de un puerto pesquero a uno dedicado al transporte de hidrocarburos a todo el Pacífico mexicano. No obstante, este progreso ha traído un cambio medioambiental en la zona, contaminando cuerpos de agua con los derrames de combustibles que ahí ocurren.

2.4.3 Actividades Terciarias

Dentro del conjunto de las actividades terciarias, la actividad portuaria es una de las que destaca en el municipio. La Administración Portuaria Integral (API) de Salina Cruz es uno de los puertos más importantes de la región sureste del país. Este puerto se dedica al abastecimiento de combustible y su transporte a toda la costa del Pacífico de nuestro país, gracias a su ubicación de cercanía con toda la actividad petrolera del Golfo de México. El puerto está contemplado para una ampliación en el marco del “Corredor Transístmico”, un proyecto que planea crear un canal seco entre el puerto de Coatzacoalcos y Salina Cruz, que sea capaz de competir con el canal de Panamá. También existe una pequeña infraestructura de hoteles, aunque no son concebidos para la actividad turística, si no para los congresos y cursos relacionados con la actividad petrolera de la zona (PEMEX, 2014).

2.5 Medio Ambiente en Salina Cruz, protección y deterioro.

En lo que respecta al medio ambiente y su protección, no existe en el municipio presencia de áreas naturales protegidas (ANP) ni de parques estatales que busquen la salvaguarda de los aspectos medioambientales de la zona, a pesar de que sus costas son consideradas como una región marítima primordial para la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO) (CONABIO, 2012).

Ha habido un deterioro rápido en el medio ambiente del lugar desde la implantación de la planta petroquímica en el año de 1979. Moreno-García (2015) explica cómo ha habido una disminución en la superficie de manglar y de otros tipos de vegetación

debido a la actividad petrolera en la zona, el crecimiento de la ciudad y de su puerto. Estas alteraciones actualmente no son vistas como un elemento primordial para la recuperación de estos espacios en el municipio por parte del gobierno de esta demarcación.

Capítulo 3. Situación del agua en el municipio de Salina Cruz.

El agua es un elemento clave para la naturaleza y la sociedad. Este vital líquido es necesario para que se desarrollen una infinidad de actividades económicas y es esencial para el desarrollo humano. El conocer las cantidades existentes en su entorno, las fuentes, sus condiciones actuales y cómo fluye a través de todo el sistema nos permite poder tomar decisiones a corto y largo plazo que incidan directa o indirectamente en la calidad del recurso, su disponibilidad y un uso adecuado para todos los elementos dentro del geosistema que lo enmarca.

Como se comentó en el capítulo anterior, el municipio de Salina Cruz no destaca por su cantidad de cuerpos superficiales de agua, siendo solamente dos los que están de forma permanente de una u otra forma en el entorno. Estos son el río Tehuantepec y la laguna costera “La Ventosa”. Igual existen otros cuerpos intermitentes, como la laguna “Salinas del Marques” y una multitud de ríos intermitentes en la zona. La ausencia de grandes cuerpos de agua superficiales perennes produce una mayor demanda de extracción sobre otras fuentes de obtención, por lo que si se llegase a dañar el equilibrio que existe de forma natural ocurrirían muchas problemáticas en todo el geosistema que se estudia

A lo largo de este capítulo se hablará de su estado actual, dónde y cómo se encuentran las diferentes fuentes de extracción, sus usos y su regreso al entorno para que siga su ciclo natural, así como las diversas problemáticas que existen en torno a este recurso en la zona de estudio.

3.1 El agua como recurso natural y su papel en los geosistemas

El agua es un compuesto químico transparente, formado por dos átomos de hidrógeno y uno de oxígeno. Presente en tres estados físicos (sólido, líquido y gaseoso) en el planeta, cubre un 71% de la superficie terrestre con un volumen estimado de 1 386 millones de km³, de los cuales solo el 3.46% corresponde a agua dulce, siendo el resto agua salada en los océanos y mares (USGS, 2016). Del total de agua dulce, el 68.7% se encuentra en estado sólido en los glaciares y casquetes polares, el 30.1% en fuentes subterráneas y el restante 1.2% es agua superficial. (Ídem,2016).

Figura 7. Ciclo del Agua



Fuente: USGS (2016)

El agua es un elemento natural que no permanece en el mismo lugar todo el tiempo y fluye a través de todo el planeta en lo que llamamos el ciclo hidrológico, el cual

Maderey-Rascón (2005, p. 11) define como “el proceso en el cual se realiza el abastecimiento de agua para las plantas, los animales y los seres humanos”. Este ciclo es un circuito cerrado dentro del planeta, en donde el agua fluye a través de diferentes vías y estados físicos alrededor de toda la esfera terrestre. A lo largo de este flujo, el agua es utilizada por todas las formas de vida en diferentes cantidades (véase figura 7). El que sea aprovechado por los seres humanos convierte al agua en un recurso natural.

Los recursos naturales comúnmente se clasifican en renovables, no renovables e inagotables. Durante mucho tiempo se le consideró al agua como un recurso renovable, pero la situación actual de sobreuso por parte de los seres humanos así como la contaminación de las fuentes de agua logran hacer que haya autores que lo vean como un recurso no renovable (Mazari-Hiriat, 2003).

El agua es un recurso del cual ningún ser humano puede prescindir, es necesario para la vida y el desarrollo de multitud de actividades, nadie ni nada está exento del uso del agua (Centro Mexicano de Derecho Ambiental, 2006, p. 15), a tal grado que es considerado un derecho humano el acceso a ella, tanto para uso personal como para las diversas actividades económicas que desarrolle. (*Ibidem*, 2006, p. 35).

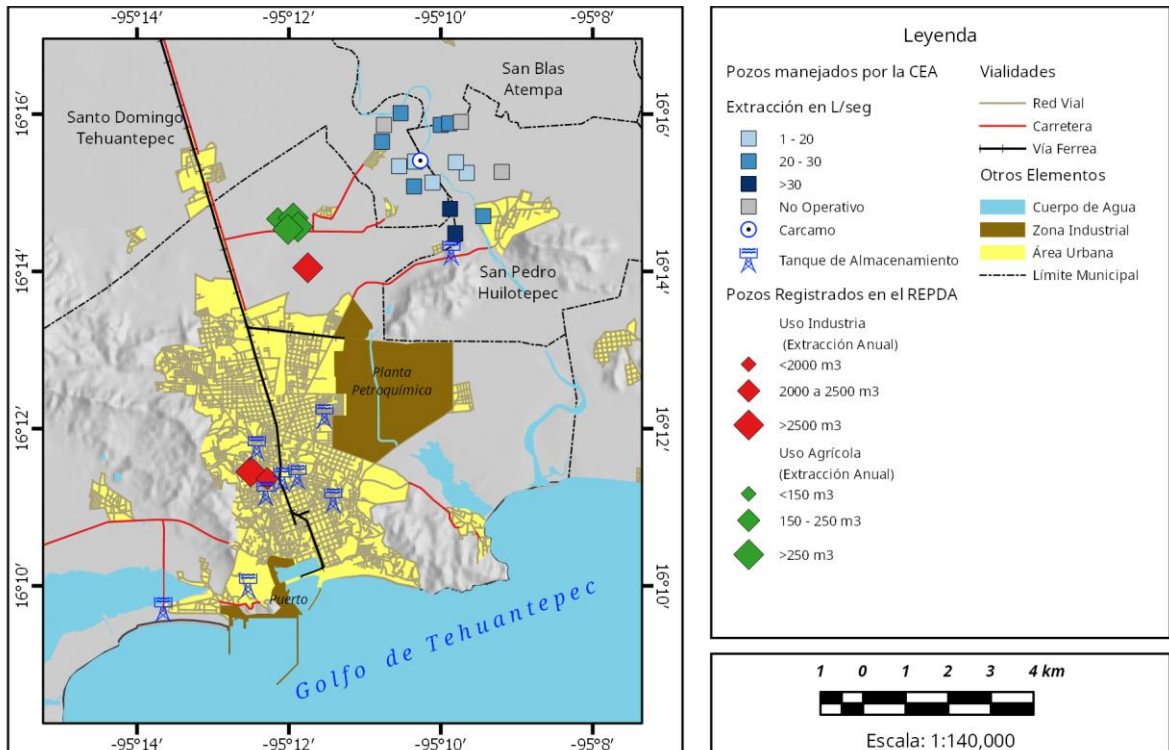
El que sea considerado como un derecho hace necesario e importante encontrar fuentes cercanas a las poblaciones para su abastecimiento y aprovechamiento de una forma adecuada en todas las áreas en el que se aprovechará, también la necesidad constante de uso produce el requerimiento de tratar las aguas ya usadas para ser reintegradas al geosistema en una calidad lo suficientemente buena como

para no producir afectaciones a los demás elementos del sistema, así como para reutilizarse en otras actividades humanas.

3.2 Fuentes de extracción del recurso agua en Salina Cruz

El municipio de Salina Cruz, al no tener corrientes de agua permanentes de gran importancia en su territorio, depende principalmente del agua subterránea para el abastecimiento, complementado con el agua proveniente de la presa “Benito Juárez”, ubicado en el municipio de Santa María Jalapa del Marqués.

Mapa 13. Puntos y volumen de extracción de agua en Salina Cruz



Fuente: elaboración propia, con datos de Conagua (2016) y Ruiz-Morales, Comunicación personal, 27 de marzo de 2017, sobre la base de INEGI (2014)

En lo que respecta a las fuentes subterráneas, el Registro Público de Derechos de Agua (REPDA) tiene en sus registros, al año 2016 de un total de siete pozos en el territorio municipal, con aplicaciones para el uso industrial y agrícola (Conagua,

2016). Por su parte, la Comisión Estatal del Agua del estado de Oaxaca (CEA) reporta 16 pozos profundos, tres de los cuales no están en funcionamiento para abastecer de agua a las 75 colonias y cuatro agencias municipales de la demarcación. La mayoría de estos pozos no se encuentran en el territorio municipal (Ruiz-Morales, Comunicación personal, 27 de marzo de 2017). Su distribución se aprecia en el mapa 13.

En las zonas donde no hay cobertura de agua entubada, se usan pozos familiares no registrados en el REPDA (Ídem, 27 de marzo de 2017) y pipas para su abasto, como lo constata la figura 8.

Figura 8. Abasto de agua con pipas en la ciudad de Salina Cruz



Fuente: elaboración propia, 27 de marzo de 2017

Para el resto de las necesidades que tiene el municipio, se abastece de agua a través de la presa “Benito Juárez”. Esta presa se encarga de dotar de agua a la región del bajo Istmo, en Tehuantepec y Juchitán, para uso agrícola e industrial. El agua que ocupa la planta petroquímica para sus actividades proviene de esta presa.

Debido a la intensidad de la sequía que está afectando a la zona, los niveles de esta presa están al 13% de su capacidad, por lo que el abastecimiento no está asegurado para sus usos normales y para otros usos. (Luciana, 2017)

3.3 Usos Actuales del agua en el municipio de Salina Cruz

Según los datos del REPDA al 2016, en el municipio de Salina Cruz se extraen al año un total de 1,114,716 m³ de agua al año, de los cuales 1,106,300 m³ son para uso agrícola, y los restantes 8,416 m³ son para uso industrial, sin contar el uso del agua para la planta petroquímica (Conagua, 2016). El último dato público de uso del agua de la refinería es de 2007 e indica que utilizó 10,723,450 m³ de agua (Moreno, 2008). Los datos para el uso público y doméstico del agua son parciales, debido a que no toda la ciudad cuenta con acceso a la red pública de agua potable, así como el uso de pozos particulares en las casas.

En entrevista con el Ing. Javier Ruíz Morales, Administrador de Agua Potable de la CEA en Salina Cruz, comentó que existen 25,400 usuarios conectados a la red y que dispone de una fuerza de bombeo de 313 litros por segundo de parte de todos sus pozos, y un total de 8300 m³ de capacidad de almacenamiento (Ruiz-Morales, Comunicación personal, 27 de marzo de 2017), con estos datos se puede estimar que existe una disponibilidad de aproximadamente 3,000,000 m³ anuales para uso público y doméstico.

También existen usos no extractivos del agua, siendo el primero el uso para la cría y pesca de especies. Como se comentó en el capítulo anterior, la pesca de camarón y ostión en la zona es importante, además que existe en los diversos cuerpos

lagunares una pesca artesanal de autoconsumo de mojarra tilapia y camarón. Otro uso no extractivo del agua del cual se percató durante la visita de campo fue el uso recreativo. Este uso, que implica el ocupar los cuerpos de agua como lugares de diversión y reunión, es un uso que es casi exclusivo de la población local que habita cercano a estos cuerpos ya que son ellos los que usan estos cuerpos con este fin y no hay una presencia de turistas de otros sitios en ellos.

3.4 Las Aguas Residuales en Salina Cruz, Manejo y Control

El manejo de las aguas residuales y negras del puerto de Salina Cruz es una problemática muy grande que tiene la ciudad. Esto es en gran medida a la falta de conexiones al sistema de aguas negras por parte de la población. En entrevista con Roberto Rueda Velázquez, Regidor de agua y saneamiento ambiental del municipio de Salina Cruz, mencionó que se tiene constancia que solo el 10% de la población está conectada a esta red, en cuanto al resto sus aguas son depositadas en fosas sépticas (Comunicación personal, 27 de marzo de 2017).

Esta red de drenaje desemboca sus aguas negras en la planta petroquímica, ya que PEMEX cuenta con una planta de tratamiento de aguas negras para su propio uso y no es usada al 100% de su capacidad, por lo que el gobierno del municipio y PEMEX establecieron un convenio de comodato para usar la planta de aguas negras, con el derecho a tratar hasta 90 litros por segundo, aunque solo se envía el 30%. (NVI Noticias, 2016).

El sistema de drenaje presenta una antigüedad en algunas zonas de hasta 50 años, por lo que requiere de un mantenimiento constante, así como el reemplazo de

muchas tuberías y la creación de nuevas líneas, situación que se percibió durante la visita realizada en marzo de 2017 (véase figura 9).

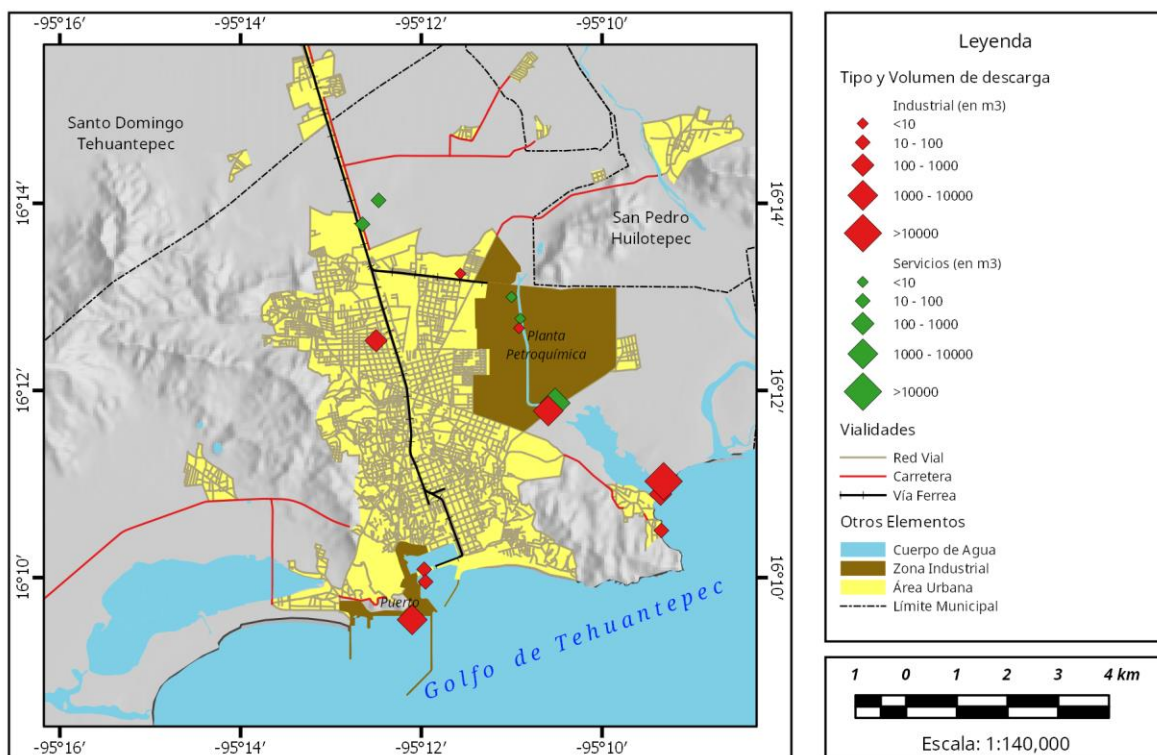
Figura 9. Reparaciones en una línea de drenaje, Salina Cruz, Oaxaca



Fuente: elaboración propia, 27 de marzo de 2017

En cuanto a los puntos de descarga, el REPDA tiene en sus registros, al año 2016, de 16 puntos de descargas de aguas en el municipio, de los cuales PEMEX tiene el control de ocho puntos (Conagua, 2016). El volumen de descarga total en la zona es 38,500 m³ al año, de los cuales PEMEX tiene derecho a descargar 21,835 m³. Algo que se constató es que las descargas van principalmente al mar y a la laguna “La Ventosa” siendo esta última, la fuente de algunas especies de marisco para autoconsumo de la población que ahí habita. La distribución de estos puntos de descarga se aprecia en el mapa 14.

Mapa 14. Puntos de descargas registrados en el REPDA



Fuente: elaboración propia, con datos de Conagua, (2016), sobre la base de INEGI (2014)

3.5 Afectaciones al recurso agua en Salina Cruz

A pesar de la falta de agua superficial en el municipio, en los pocos cuerpos existentes se presenta un cierto grado de afectación debido a las actividades humanas. Las descargas de aguas negras en zonas como la laguna “La Ventosa” afectan de una u otra forma la calidad que tiene este cuerpo e incide en las especies que ahí habitan y que en muchos casos son pescados por los habitantes. Es importante resaltar que hay antecedentes de daños producidos por accidentes y derrames de crudo y gasolinas en la zona, que terminan afectando a las aguas y a la biota de la costa de este municipio (Manzo, 2014; s/n, 2014). La destrucción del mangle por parte de la población para usarse como leña o en la construcción

también se refleja en la calidad de los cuerpos de agua, ya que esta especie funciona como filtro para el agua, y permite aumentar su calidad (Moreno-García, 2015).

Una afectación que padecen las fuentes subterráneas es la intrusión de contaminantes proveniente de las fosas sépticas. La mala construcción de estas fosas, que solamente retienen los elementos sólidos y permite la filtración de los elementos líquidos sumado el relieve que genera un drenaje natural por gravedad, produce la contaminación de los pozos de agua dulce, haciéndolos inservibles para consumo humano. Este fenómeno ha afectado principalmente a los pozos familiares en zonas más cercanas a la costa y ha estado ocurriendo en los últimos 10 años, complicándose aún más debido al crecimiento urbano hacia zonas altas de la ciudad (Rueda-Velazquez, Comunicación personal, 27 de marzo de 2017).

Algo que se constató en las visitas realizadas a la zona de estudio es la presencia de malos olores y altas concentraciones de contaminantes como aceites, basura y heces, que a primera vista da la impresión de un alto nivel de contaminación en los cuerpos de agua que se visitaron y muestrearon.

Capítulo 4. Estudio de caso: Evaluación de la calidad del agua en la laguna costera “La Ventosa”

Con el fin de conocer a fondo la situación del agua en la zona de estudio y lograr alcanzar la valorización del recurso en el municipio, se procedió a realizar un muestreo de agua en la laguna costera “La Ventosa” ubicado en el oriente de la ciudad, buscando abarcar una superficie representativa de toda la zona.

El objetivo de estos muestreos es el establecer la calidad del agua presente en este cuerpo para así, mediante un índice, conocer las posibilidades de uso de estas aguas, compararlo con el uso actual e identificar problemáticas que puedan ocurrir ahí.

En este capítulo se presenta el proceso de tratamiento de los resultados obtenidos de cada muestra, los resultados de la evaluación mediante el Índice de Calidad del Agua (ICA) y su análisis, tomando en cuenta los elementos que se han tratado en los capítulos anteriores los cuales inciden en su calidad, para establecer así la valorización del recurso.

4.1 Resultado de las muestras

Tras la evaluación realizada en laboratorio por parte de la División de Ciencias Biológicas de la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, en conjunto con lo medido en campo, brindó los siguientes resultados para cada una de las muestras tomadas en laguna “La Ventosa”, estos están concentrados en la tabla 7 y en el anexo 3.

Tabla 7. Resultados del muestreo realizado en noviembre de 2016.

Muestra	Oxígeno Disuelto (OD) (en mg/L)	Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) (en mg/L)	Total de Coliformes (COLI) (Total/100 ml)	Presencia de E. Coli (E-COLI) (Total/100 ml)	Alcalinidad (ALC) (en ppm de CaCO ₃)	Dureza (DUR) (en ppm de CaCO ₃)	Cloruros (CL) (en mg/L)	Conductividad Específica (CE) (en µmho/cm)	pH	Nitratos (N) (en mg/L de NO ₃)	Temperatura ambiente (T ₁) (en °C)	Temperatura agua (T ₂) (en °C)
1	0.18	2.2	40	<30	293.2	4648.8	10975.9	29436	8.33	0.033	31	27
2	0.20	2	70	70	279.5	3822.3	10498.7	27724	8.38	0.173	30	27
3	0.18	1.6	40	<30	290.9	3512.4	11453.1	28211.3	8.45	0.103	29	27
4	0.18	1.2	75000	43000	372.7	516.5	954.4	1867.7	8.17	0.782	31	28
5	0.22	1.8	930	430	202.3	3822.3	9544.2	33073.3	9.16	0.03	31	29
6	0.19	2.1	1650	760	230.4	3603.5	6026.2	28564	8.56	0.65	30	27
7	0.17	2.3	830	370	298.4	3812.8	6987.4	26625	8.29	0.078	30	28

Fuente: elaboración propia, basado de los resultados de laboratorio y del levantamiento de campo, noviembre 2016.

Para la correcta aplicación del índice, se tuvo que convertir las unidades del oxígeno disuelto de mg/L a porcentaje de saturación. Para realizar esta conversión, se utilizó la tabla de dependencia de concentración de oxígeno disuelto descrito por Goyenola (2007), en donde establece la relación entre temperatura y el valor máximo de mg/L de oxígeno disuelto para calcular el porcentaje de concentración mediante la siguiente fórmula:

$$\%OD = \frac{OD}{ODM} * 100$$

En donde:

- OD es el valor en mg/L del oxígeno disuelto
- ODM es el valor máximo para la temperatura del agua de la muestra indicado en la tabla

La memoria de cálculo del porcentaje de saturación está en el anexo 4.

Igualmente para la presencia de *E. Coli* se realizó una corrección en el dato, ya que la prueba de laboratorio solo indicaba una presencia menor a 30 unidades por cada 100 ml de agua, por lo que se estableció un valor representativo, siendo este 15, al ser el punto medio del valor indicado por la prueba de laboratorio y el cero. Los datos finales a ocupar están resumidos en la tabla 8.

Tabla 8. Valores del muestreo adecuado al cálculo del ICA Dinius.

Muestra	Oxígeno Disuelto (OD) (en % de saturación)	Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) (en mg/L)	Total de Coliformes (COLI) (Total/100 ml)	Presencia de <i>E. Coli</i> (E-COLI) (Total/100 ml)	Alcalinidad (ALC) (en ppm de CaCO ₃)	Dureza (DUR) (en ppm de CaCO ₃)	Cloruros (CL) (en mg/L)	Conductividad Específica (CE) (en µmho/cm)	pH	Nitratos (N) (en mg/L de NO ₃)	Temperatura ambiente (T ₁) (en °C)	Temperatura agua (T ₂) (en °C)
1	2.29	2.2	40	15	293.2	4648.8	10975.9	29436	8.33	0.033	31	27
2	2.54	2	70	70	279.5	3822.3	10498.7	27724	8.38	0.173	30	27
3	2.29	1.6	40	15	290.9	3512.4	11453.1	28211.3	8.45	0.103	29	27
4	2.32	1.2	75000	43000	372.7	516.5	954.4	1867.7	8.17	0.782	31	28
5	2.87	1.8	930	430	202.3	3822.3	9544.2	33073.3	9.16	0.03	31	29
6	2.54	2.1	1650	760	230.4	3603.5	6026.2	28564	8.56	0.65	30	27
7	2.32	2.3	830	370	298.4	3812.8	6987.4	26625	8.29	0.078	30	28

Fuente: elaboración propia, basado de los resultados de laboratorio y del levantamiento de campo, noviembre 2016.

La ubicación de cada punto de muestreo está representada en el mapa 2.

4.2 Análisis de los resultados del muestreo por variable

A continuación, se presentan los resultados de las interpolaciones producto del tratamiento cartográfico que se le realizó a los datos para cada una de las variables analizadas en el muestreo, así como un análisis de estos resultados.

4.2.1 Porcentaje de oxígeno disuelto

Los niveles en las muestras tomadas en la laguna presentan niveles bajos de oxigenación en la columna de agua, los factores que incidieron en esta medición fueron:

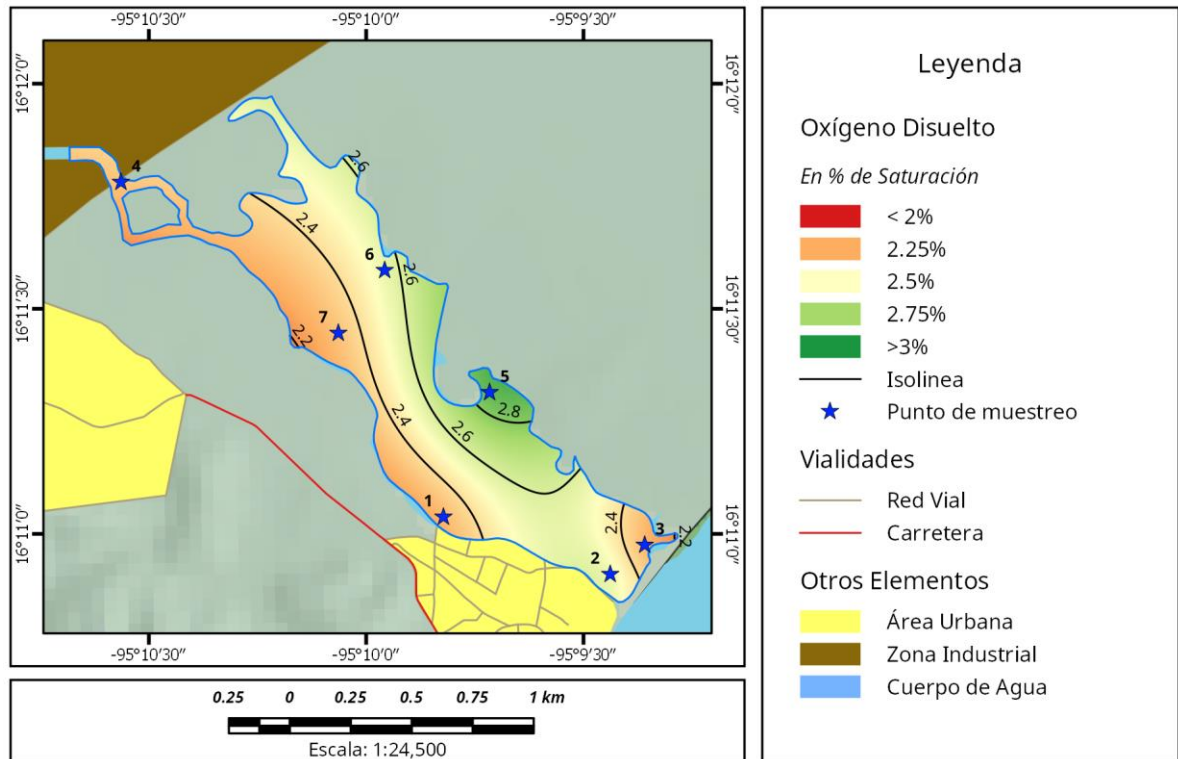
- Una profundidad baja de las aguas (de entre 30 y 50 cm) que imposibilita una correcta aireación así como un alto nivel de salinidad, gracias a la influencia del mar que agrega sal a la laguna, que no permiten una correcta retención del oxígeno en la columna de agua, presentando los niveles más bajos cercanos a la costa.
- La falta de árboles en la costa oeste de la laguna refleja un bajo nivel en comparación de la costa este, que aún presenta una cobertura vegetal de mangle, siendo esta cobertura la que permite una mayor fijación del oxígeno en la columna de agua
- Los desechos generados por los asentamientos humanos en la costa oeste de la laguna.

En general, los niveles de oxígeno existentes son de hipoxia, una baja concentración de oxígeno que no permite el crecimiento de especies de gran

tamaño en sus aguas, aunque se percibió la existencia de pequeños invertebrados en las zonas cercanas al mangle y en la costa, como el camarón.

Los resultados del muestreo se aprecian en el mapa 15.

Mapa 15. Distribución del oxígeno disuelto en laguna “La Ventosa”



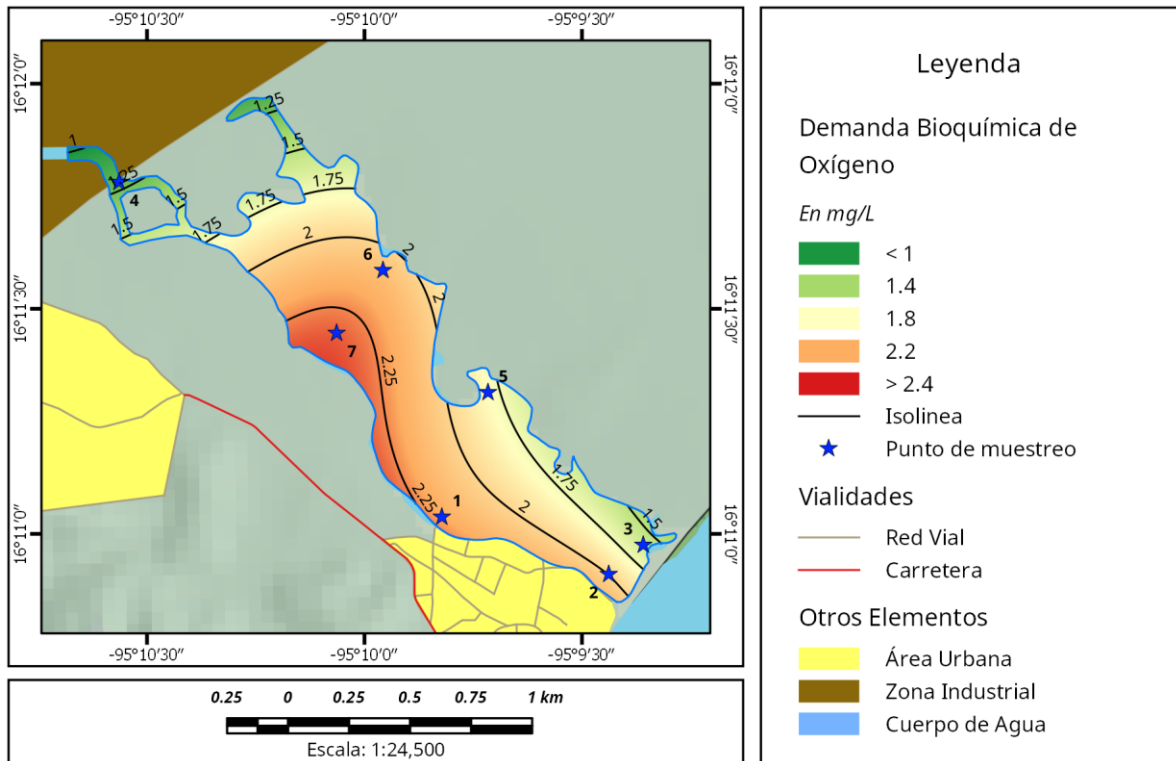
4.2.2 Demanda Bioquímica de Oxígeno

En el caso de estudio, los resultados presentes representados en el mapa 16 reflejan lo siguiente:

- Las zonas cercanas a las áreas pobladas denotan una mayor demanda bioquímica de oxígeno, pudiéndose inferir que existe una descarga de desechos orgánicos en esos lugares.
- El punto más bajo se encontró en el punto de muestreo #4, cercano a la planta petroquímica, aquí la demanda llega a niveles de 1 mg/l, estos niveles

bajos son comunes en aguas tratadas, por lo que indica que el punto de descarga que existe ahí sí está descargando agua tratada.

Mapa 16. Distribución de la Demanda Bioquímica de Oxígeno en laguna “La Ventosa”



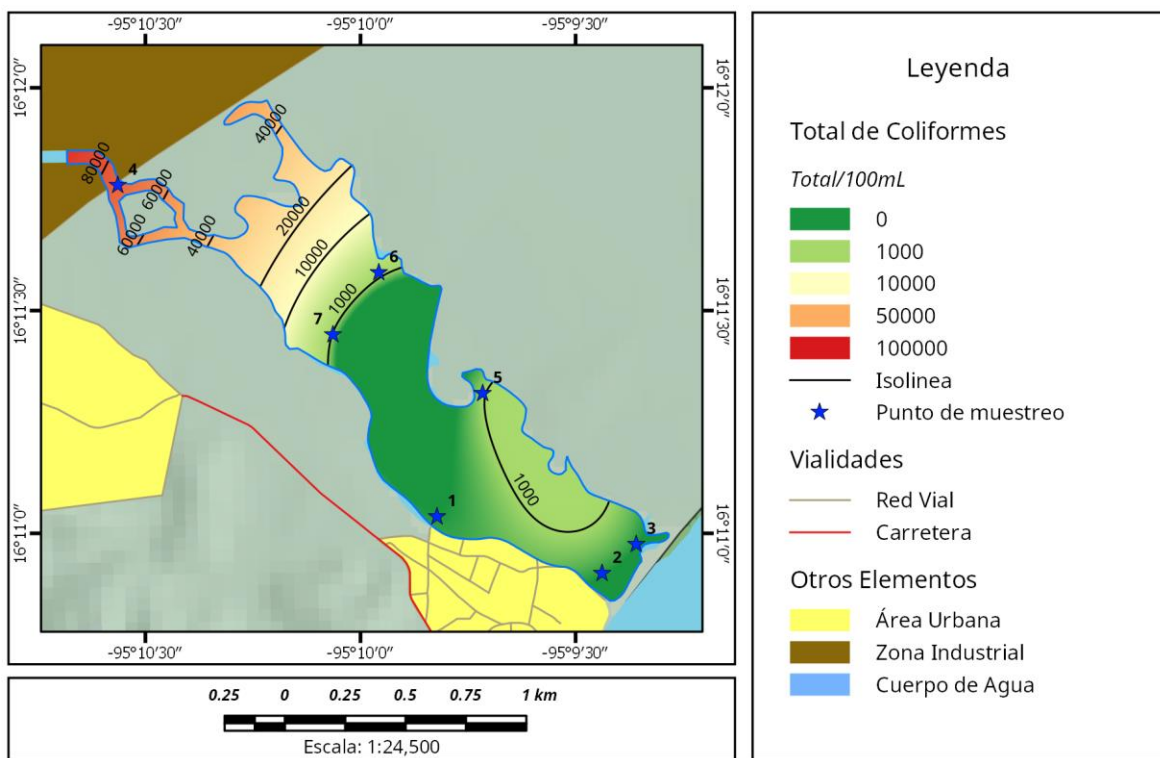
4.2.3 Total de Coliformes

Los resultados que se obtuvieron en el muestro y que están representados mediante una interpolación en el mapa 17, nos muestra la siguiente información:

- En general, no se presentan niveles altos en la laguna, exceptuando en el punto de descarga de aguas tratadas de PEMEX, cerca de la planta petroquímica, que corresponde al punto de muestreo #4. Cuando se visitó el lugar se notó una presencia grande de basura y de excremento de animales en este lugar, que nos podría dar el indicio del porqué del resultado.

- También se puede inferir que las aguas tratadas no están siendo desinfectadas lo suficiente, permitiendo el crecimiento de estas bacterias, por lo que no se recomendaría su uso para agricultura o actividades ganaderas sin una potabilización previa que elimine hasta niveles permitidos estas bacterias. El uso recreacional no es viable por la misma razón.

Mapa 17. Distribución del total de coliformes por cada 100 ml de agua en laguna “La Ventosa”

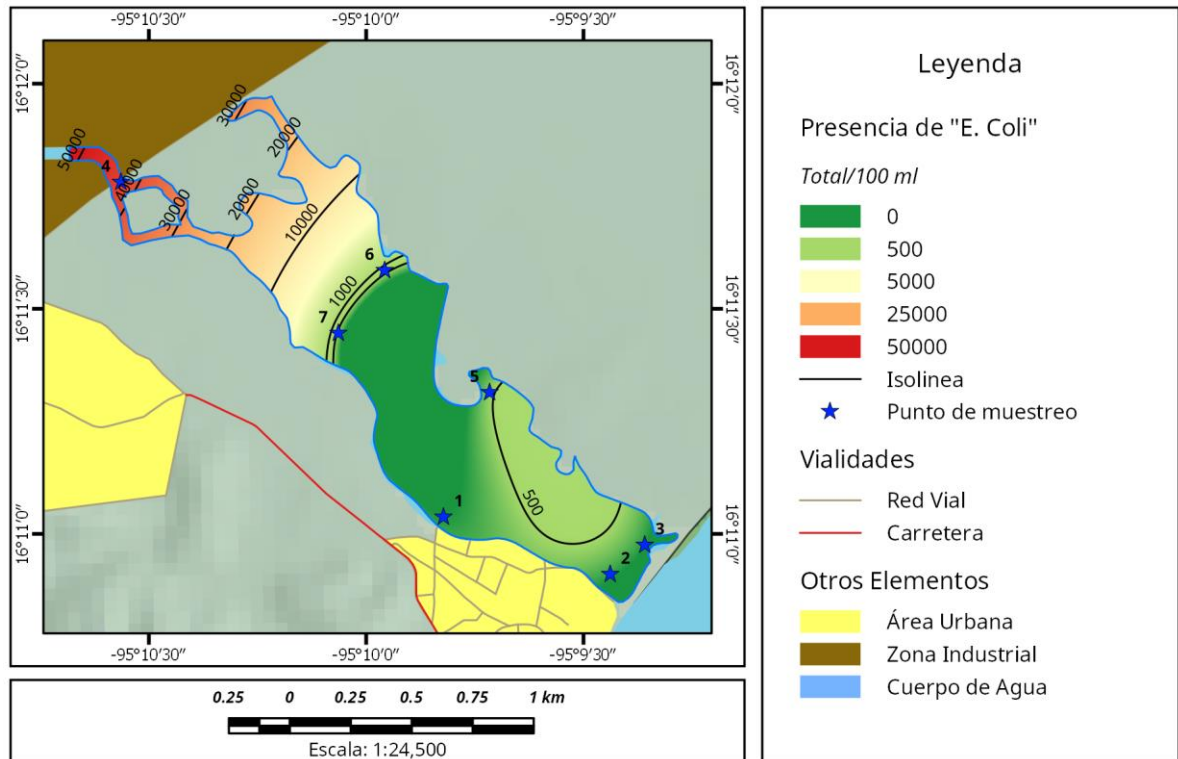


4.2.4 Presencia de *E. Coli*

En el muestreo realizado a los cuerpos de agua en Salina Cruz, se encontró un patrón de comportamiento similar de estas bacterias con el patrón encontrado en el total de coliformes totales, siendo los mismos factores los que influyen en esta similitud.

Esto se puede apreciar claramente a comparar el mapa 17 con el mapa 18.

Mapa 18. Distribución del total de E. Coli por cada 100 ml de agua en laguna "La Ventosa"



4.2.5 Alcalinidad

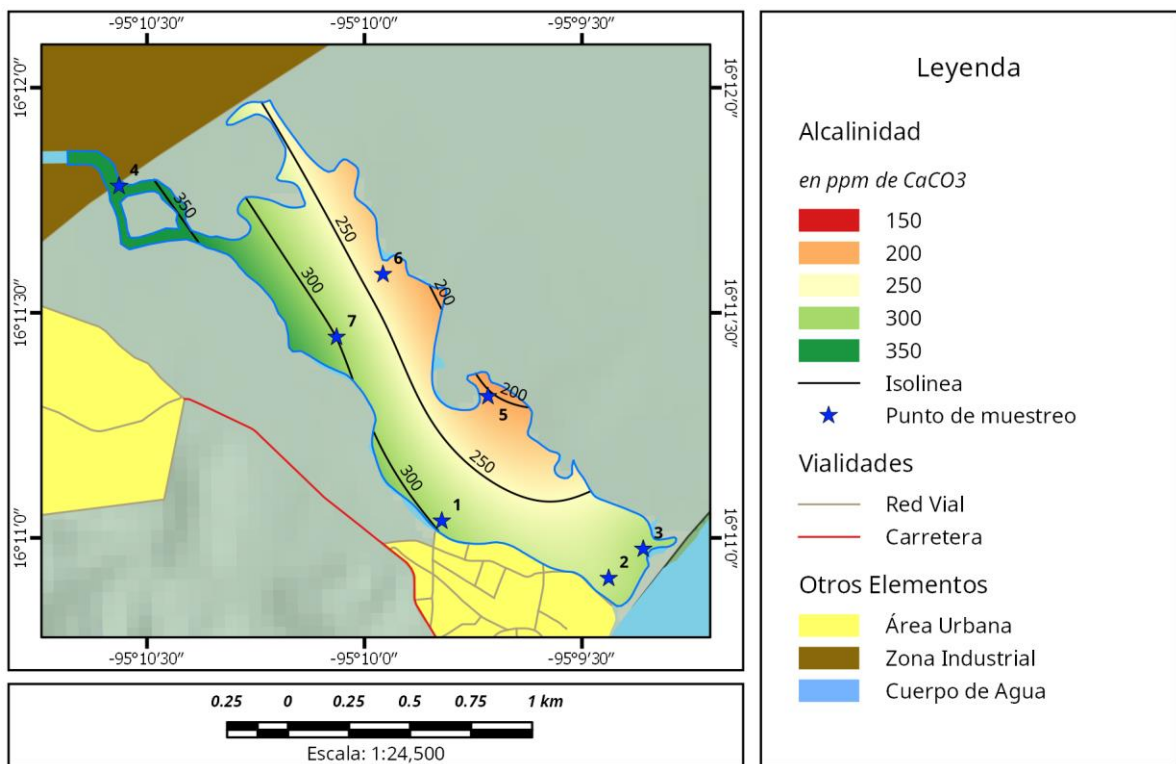
En el caso de los datos recabados, los resultados nos muestran lo siguiente:

- Las zonas con menos alcalinidad son aquellas zonas cercanas al área de manglar, esto se debe a la función filtro de esta vegetación, que retiene en sus hojas una multitud de iones y sales que eliminan por sus hojas y no queda en el agua.
- Las zonas más cercanas a los espacios urbanos presentan mayor alcalinidad, esto se puede deber a la falta de mangle que produzca el efecto que realiza

en el lado este de la laguna, pero igual permite tener un mayor efecto buffer que lo protege de las descargas que puedan ocurrir ahí mismo.

- La diferencia de alcalinidad en toda la laguna no es grande, por lo que indica que la actividad de la planta petroquímica y los desechos que son vaciados no contienen elementos que alteren su alcalinidad.

Mapa 19. Distribución de la alcalinidad en partes por millón (ppm) de CaCO_3 en laguna “La Ventosa”



4.2.6 Dureza

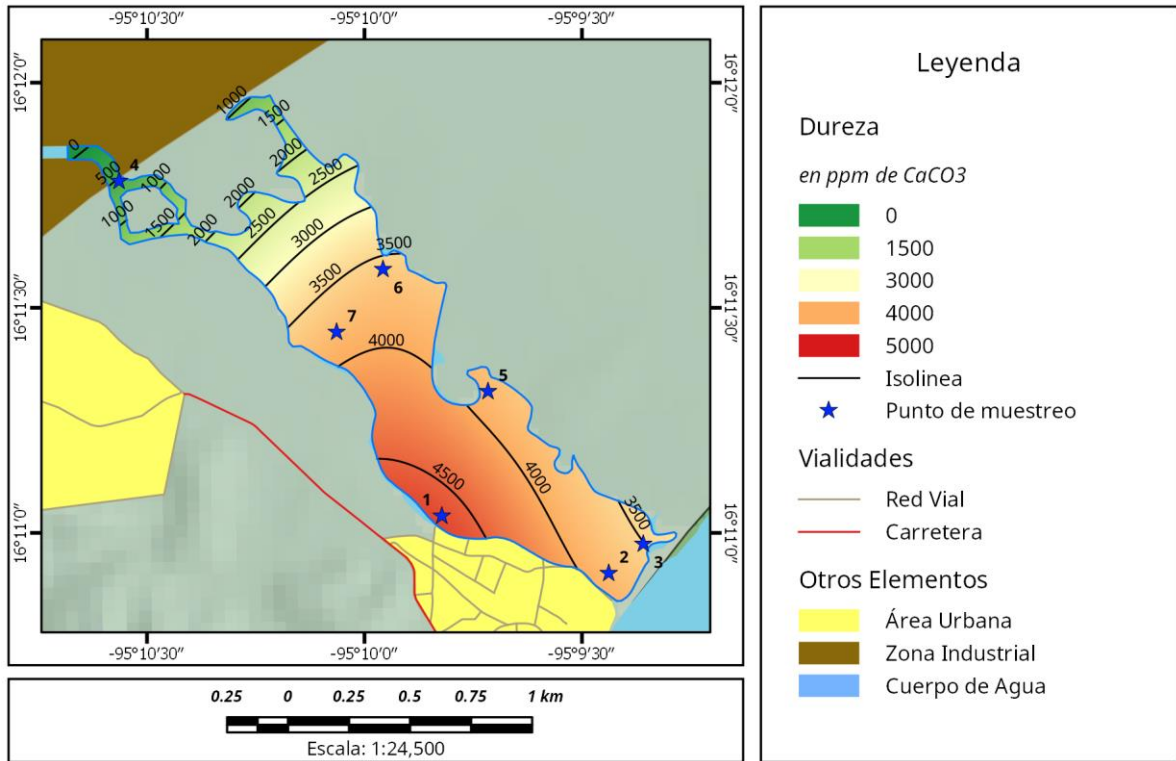
Los resultados del muestreo presentados en el mapa 20, nos muestra el siguiente comportamiento de la dureza.

- La literatura reporta que no es muy común niveles muy altos de dureza en las aguas, pero factores como la geología y la edafología pueden elevarlos

considerablemente. El área de estudio está asentada sobre suelos luvisoles y fluvisoles con horizontes cálcicos, los cuales al contacto con el agua liberan sus iones, incrementando los valores de la dureza en la muestra.

- Los niveles en el lado sur de la laguna son más constantes que en la parte norte, esto se puede deber a la salinidad de la laguna.
- La disminución en el lado este de la laguna se puede deber por la absorción de estos iones libres de calcio y magnesio por parte de los mangles que aún sobreviven en esta zona.
- El rápido descenso de los niveles de dureza en el punto norte de la laguna se debe a la descarga de aguas tratadas provenientes de la planta petroquímica, el cual presenta un bajo nivel de dureza en comparación con el resto de las muestras, por lo que se intuye que el agua es filtrada correctamente antes de ser descargada al cuerpo lagunar.

Mapa 20. Distribución de la dureza en ppm de CaCO₃ en laguna “La Ventosa”



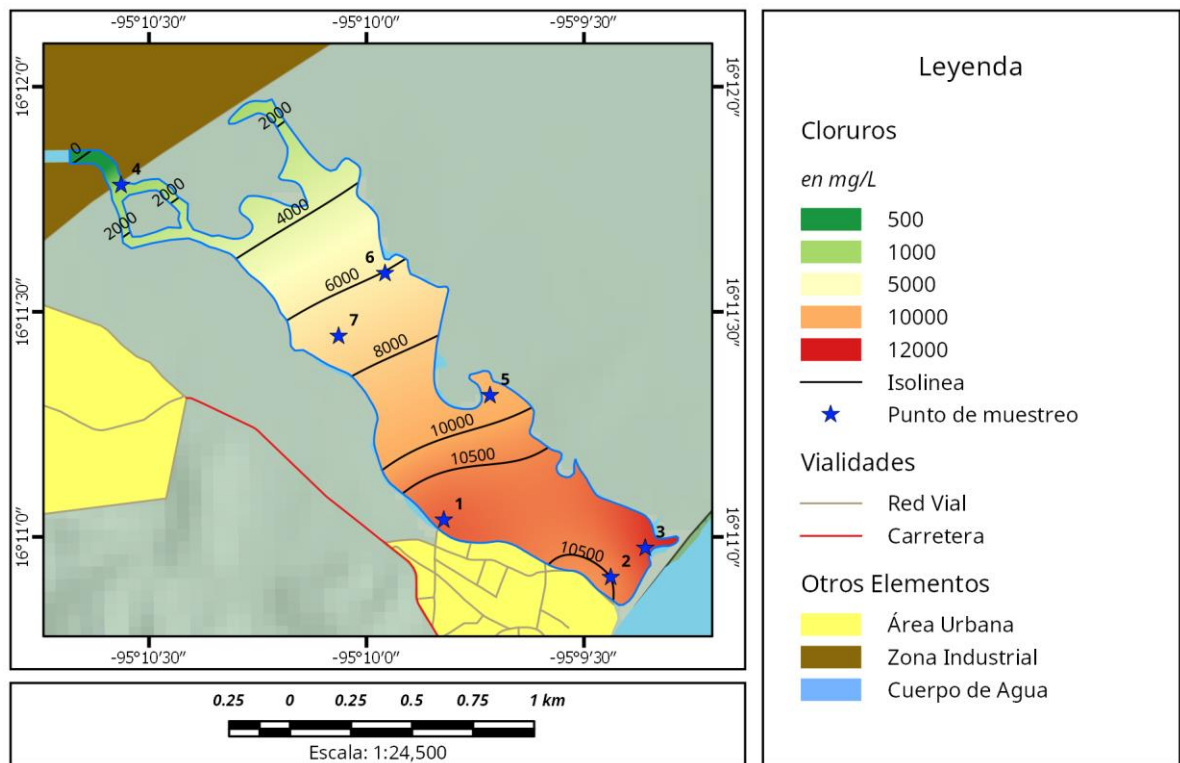
4.2.7 Cloruros

Los resultados del muestreo, que se encuentran representados en el mapa 21, reflejan los siguientes resultados:

- Los niveles de salinidad en promedio de la laguna colocan al agua ahí presente en el nivel de salobre, característico de una laguna costera que recibe influencia tanto de ríos como del mar.
- Solo el punto de muestreo 4 presentó un nivel bajo de presencia de cloruros en la muestra, esto indica que el agua tratada desechada ahí cumple con los niveles de agua dulce en la cual debe de ser descargada en un cuerpo de agua, según las normativas vigentes.

- Las isólinas formadas por este parámetro denotan niveles más altos a la misma distancia del mar en la zona cercana a las áreas urbanas en comparación a la zona de manglar al este, apreciándose una ligera mitigación de estos niveles gracias a la capacidad de absorber sales de los mangles.

Mapa 21. Distribución de cloruros en mg/l en laguna “La Ventosa”



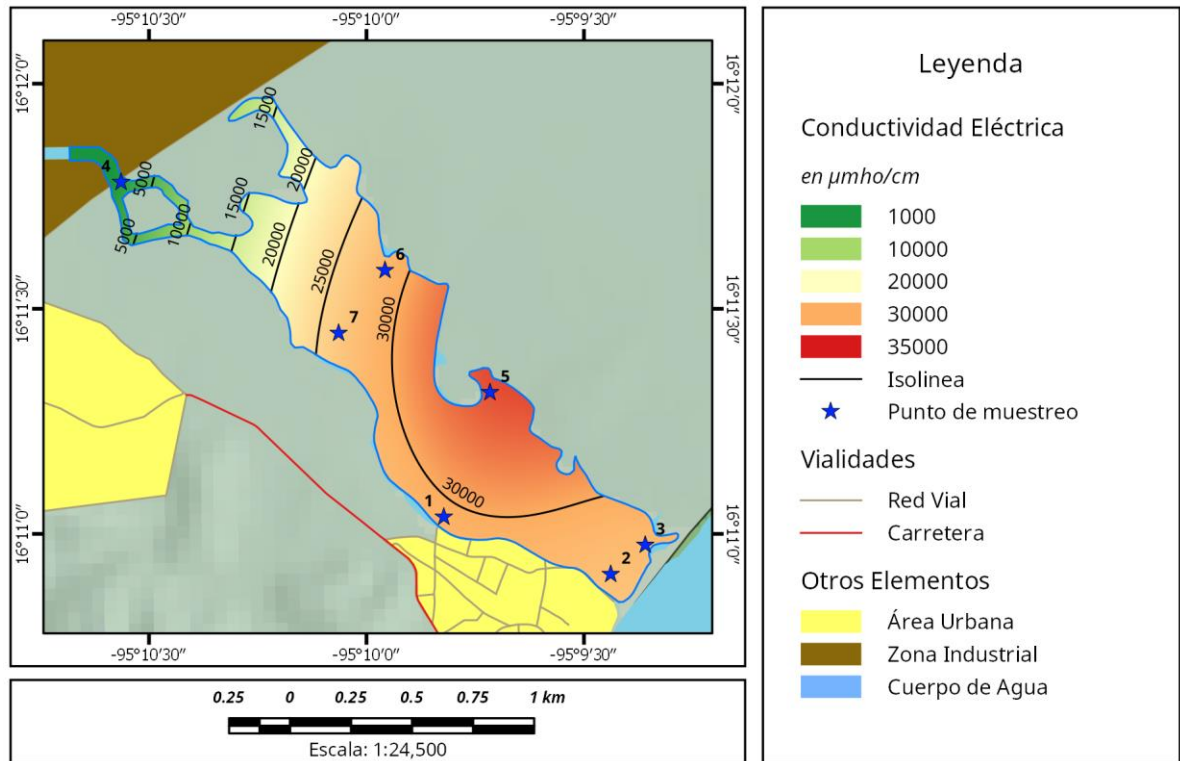
4.2.8 Conductividad Específica

En el caso de las muestras tomadas, se aprecian en el mapa 22 los siguientes resultados:

- La salinidad de un cuerpo de agua influye en su conductividad, por lo que se mantiene estable en casi toda la laguna
- Solamente en el punto 4, cercano a la planta petroquímica se aprecia una disminución de este valor, pero este valor es común en aguas tratadas,

aunque sería necesario realizar una medición de aceites para descartar una posible filtración de subproductos de la planta.

Mapa 22. Distribución de la conductividad específica en la laguna “La Ventosa”



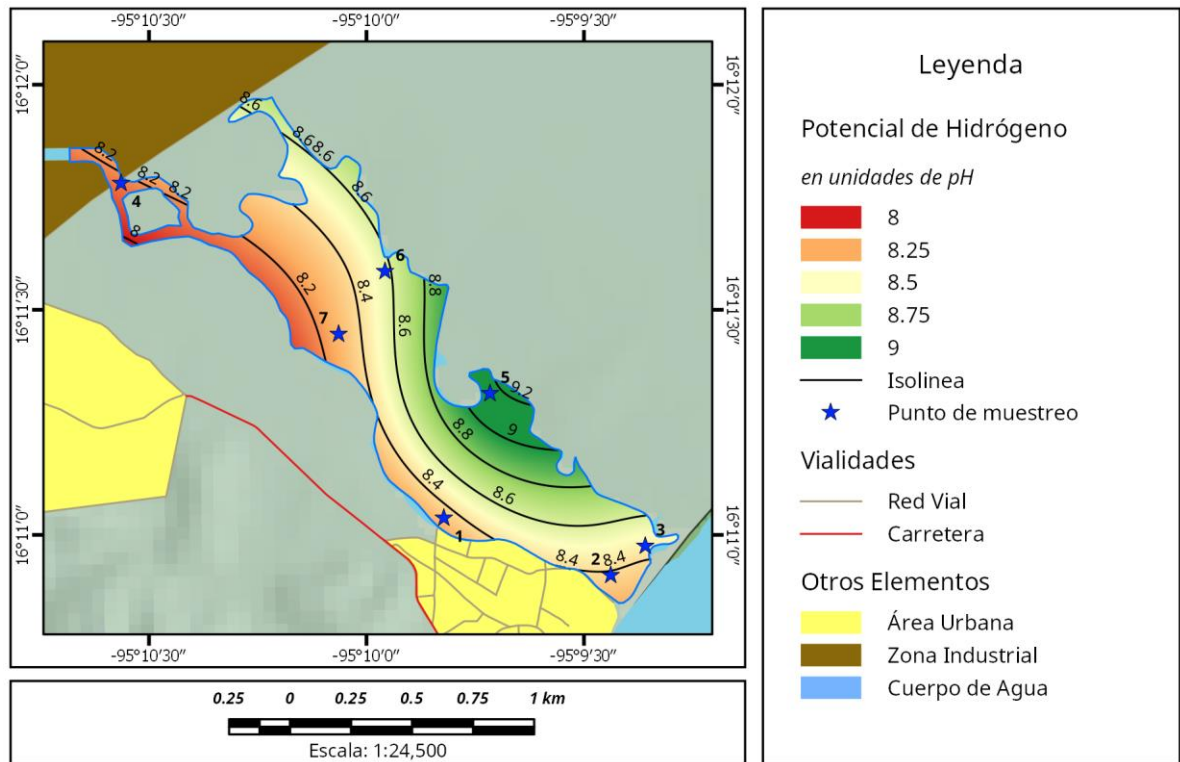
4.2.9 pH

Las muestras tomadas en campo dieron como resultado lo presentado en el mapa 23, que a continuación se explica:

- El pH del agua presente en este cuerpo es ligeramente alto, esto se debe a la salinidad y a la alcalinidad presente en él. Los niveles más altos (que rondan en los 9, ligeramente alcalinos) se encuentran en la zona este de la laguna, el cual es el espacio que tiene una mayor alcalinidad en este cuerpo.

- Debido a los niveles presentes en todo el cuerpo, no es muy adecuado para el riego y para el uso industrial, se requiere de una ligera acidificación para este uso, incluyendo el uso como agua potable.

Mapa 23. Distribución del pH en la laguna “La Ventosa”



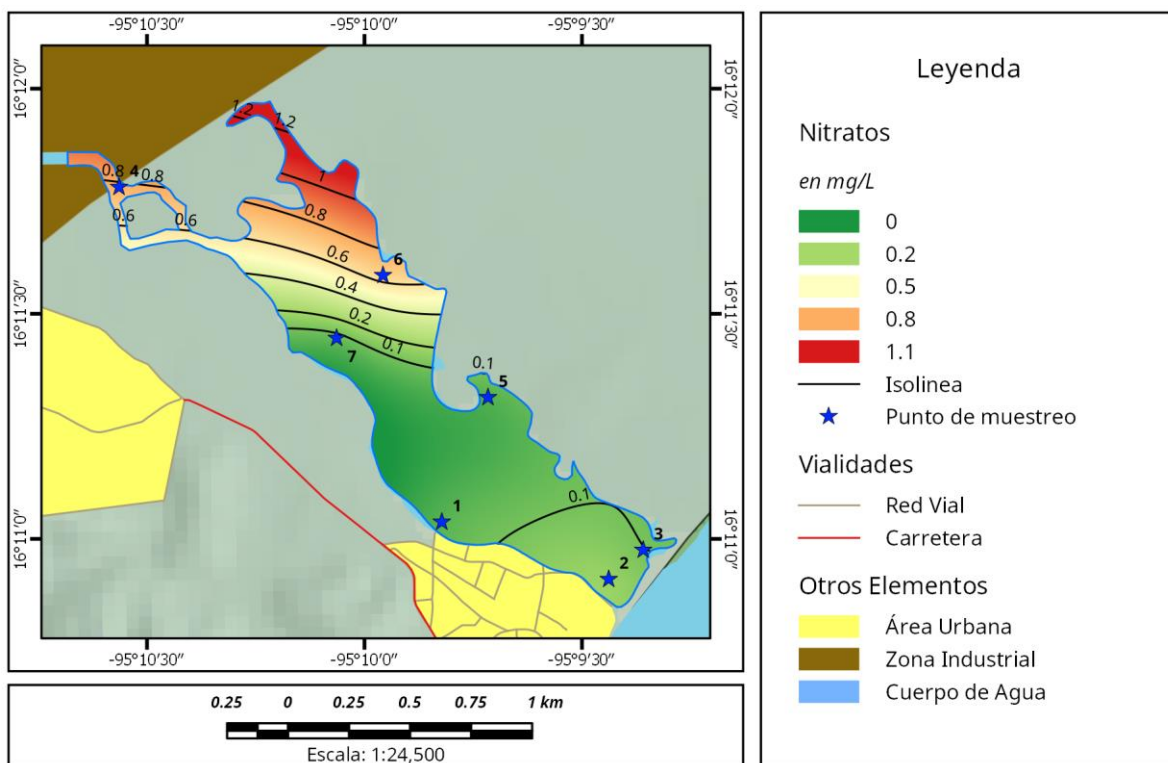
4.2.10 Nitratos

Los niveles que se encontraron en la laguna “La Ventosa”, están representados en el mapa 24 y muestran los siguientes patrones:

- Los niveles se mantienen relativamente estables en la parte media y baja de la laguna, aunque hay un ligero incremento en la zona cercana al área urbana, esto puede representar posibles descargas de aceites o gasolinas de lanchas pesqueras.

- El punto que muestra el mayor nivel de nitratos está cercano a la planta petroquímica. Para comprobar el origen de estos nitratos se requiere de una prueba que indique una presencia de aceites o hidrocarburos que den origen a estos valores.

Mapa 24. Distribución de nitratos en la laguna “La Ventosa”

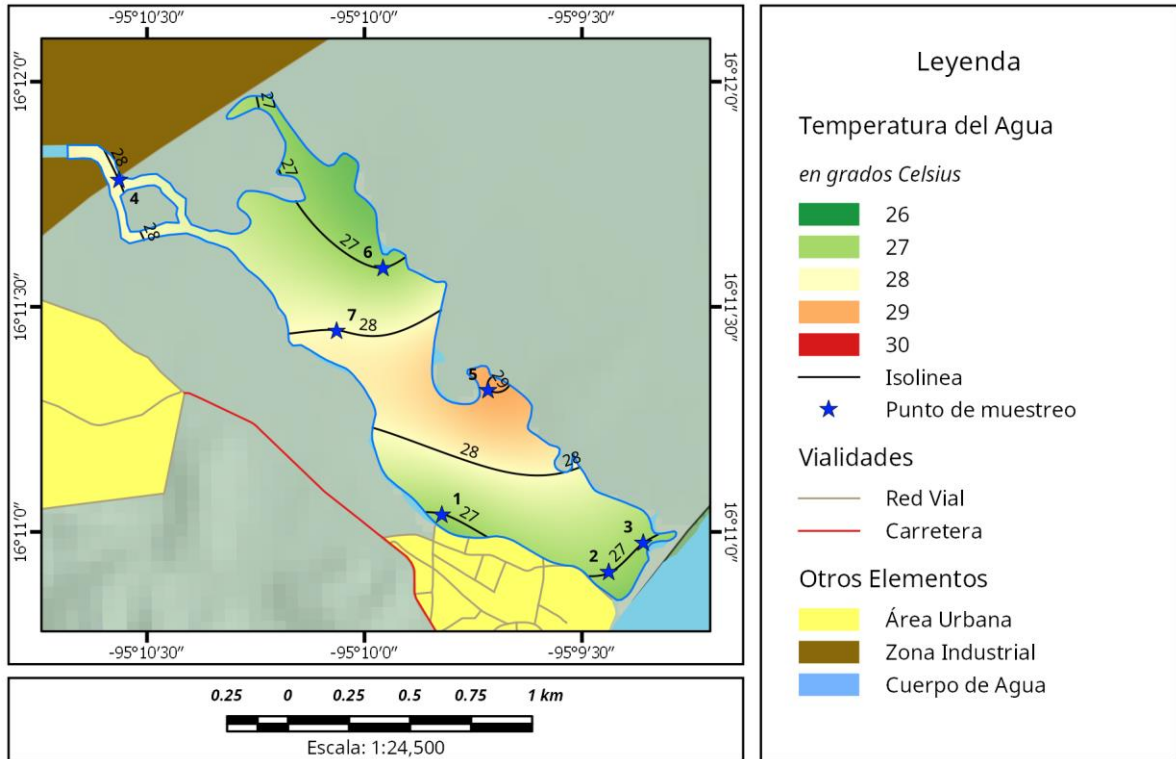


4.2.11 Temperatura

Los resultados mostrados en el mapa 25 nos muestran los siguientes patrones.

- Las temperaturas más bajas se encuentran cercanas a la costa y en las zonas de manglar, esto puede deber a la influencia del viento proveniente del mar que llega cargado de humedad, así como la sombra que da los mangles.
- No existen espacios con niveles muy altos de temperatura que den un indicio de una descarga industrial fuerte.

Mapa 25. Temperatura del agua en laguna “La Ventosa”



4.3 Cálculo y Análisis del ICA Dinius (1987)

Tras tratar la información levantada en campo y la analizada en laboratorio de cada una de las muestras se procedió al uso de un índice que nos permitiera identificar el estado actual del agua del cuerpo que se estudia y a la vez identificar posibles usos y zonas contaminadas para poder dar pauta a un posterior uso de la información como base para la planeación y manejo de este recurso.

4.3.1 Cálculo del ICA Dinius (1987)

Antes de comenzar con el tratamiento de los datos encontrados en campo y en los resultados de laboratorio, se procedió a realizar las modificaciones pertinentes a la

fórmula del índice debido a la falta de información de una variable, siguiendo las recomendaciones de Dinius (1987), estos cambios están descritos en el capítulo 1.

Una vez calculados los nuevos pesos, se aplicó la fórmula del índice, descrita en la figura 1, usándose los nuevos pesos y los subíndices descritos en la tabla 1 para cada una de las variables. Los resultados del índice para cada una de las muestras se presentan en la tabla 9. Los cálculos se pueden ver en el anexo 5.

Tabla 9. Resultados del cálculo del Índice de Calidad del Agua (ICA) de Dinius (1987) para las muestras tomadas.

Muestra	ICA	Muestra	ICA
1	50.053	5	44.515
2	46.703	6	42.113
3	48.635	7	45.081
4	46.560		
<i>Fuente: elaboración propia</i>			

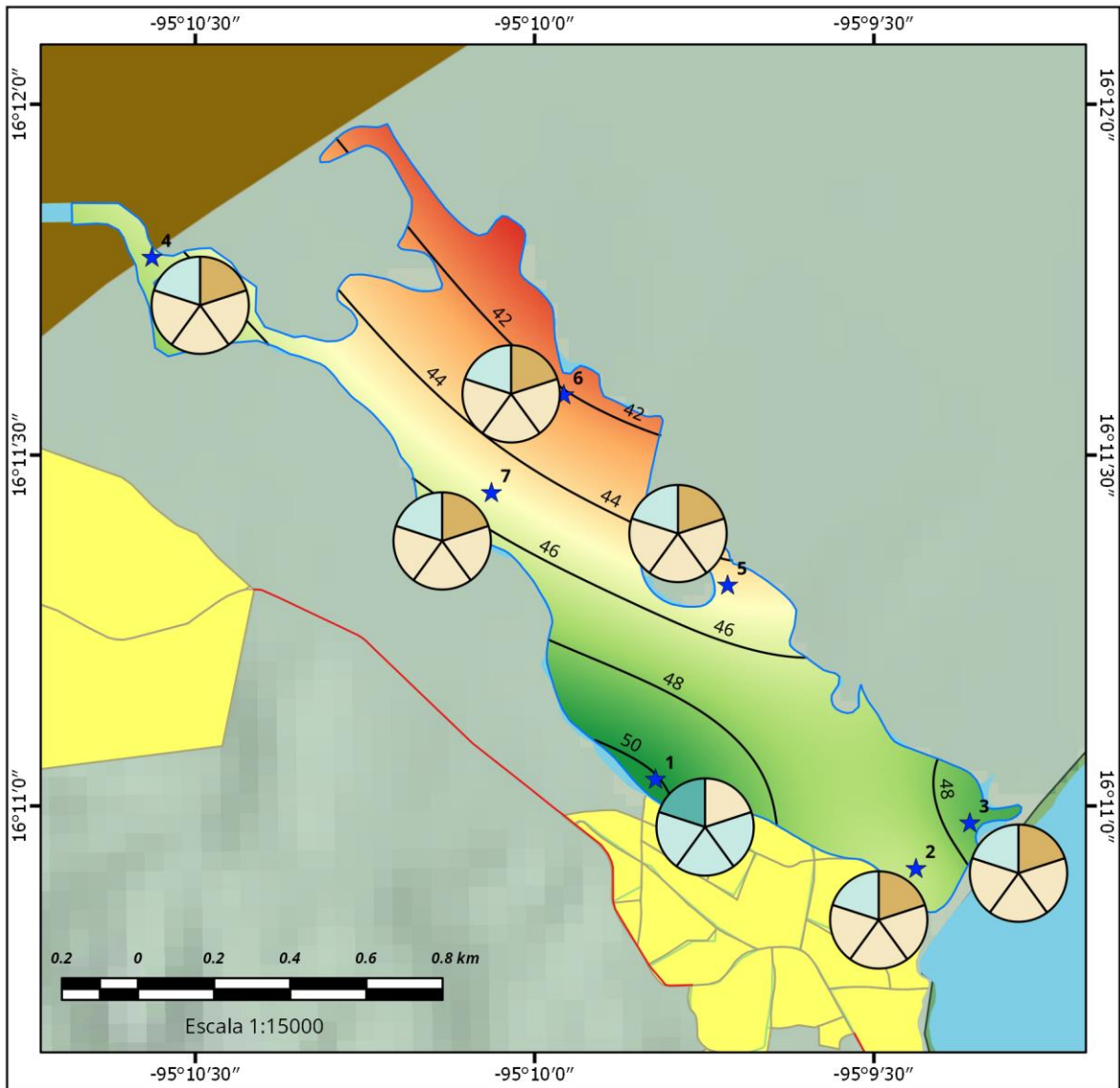
Con estos valores se procedió a compararlo con los niveles de calidad por el tipo de uso posible descritos en la tabla 2. Los resultados que se obtuvieron para cada una de las muestras están resumidos en la tabla número 9.

Tabla 10. Niveles de calidad del agua según su uso para cada una de las muestras tomadas.

Muestra	Agua potable	Agrícola	Pesca y vida acuática	Industrial	Recreativo
1	Contaminada (C)	Levemente Contaminada (LC)	Levemente Contaminada (LC)	Levemente Contaminada (LC)	Aceptable (A)
2	Fuertemente Contaminada (FC)	Contaminada (C)	Contaminada (C)	Contaminada (C)	Levemente Contaminada (LC)
3	Fuertemente Contaminada (FC)	Contaminada (C)	Contaminada (C)	Contaminada (C)	Levemente Contaminada (LC)
4	Fuertemente Contaminada (FC)	Contaminada (C)	Contaminada (C)	Contaminada (C)	Levemente Contaminada (LC)
5	Fuertemente Contaminada (FC)	Contaminada (C)	Contaminada (C)	Contaminada (C)	Levemente Contaminada (LC)
6	Fuertemente Contaminada (FC)	Contaminada (C)	Contaminada (C)	Contaminada (C)	Levemente Contaminada (LC)
7	Fuertemente Contaminada (FC)	Contaminada (C)	Contaminada (C)	Contaminada (C)	Levemente Contaminada (LC)
<i>Fuente: elaboración propia</i>					

Con la información que se generó, se procedió a ser tratada mediante el uso de un Sistema de Información Geográfica para la creación de cartografía, teniendo como resultado el mapa 26.

Mapa 26. Valores ICA Dinius y niveles de calidad para uso potencial en los puntos de muestreo en la laguna “La Ventosa”



Fuente. Elaboración propia sobre la base de INEGI (2014)

4.3.2. Análisis de los resultados brindados por el ICA.

En general, los resultados que brindó el ICA en la laguna costera indican que es una fuente de agua contaminada, desde niveles bajos de contaminación hasta fuertemente contaminados. Esto no indica que el ser humano sea el causante del estado actual de las aguas.

Es por ello que el análisis en particular de cada uno de los puntos permite identificar qué elementos son los que pesan en cada una de las muestras, pudiendo así separar elementos de contaminación de origen antrópico de elementos de la naturaleza misma de las aguas.

El enfoque del índice utilizado el cual identifica niveles de contaminación para cinco diferentes usos del agua, permite tener una visión más amplia para la planeación y la toma de decisiones sobre el posible uso que se le pueda conferir, poder identificar el nivel de tratamiento necesario para alcanzar mejores calidades y una correcta protección ambiental de estos cuerpos.

4.3.2.1 Patrón general del ICA

Los niveles encontrados en los cuerpos lagunares rondan en los valores entre las 50 unidades en el punto de muestreo 1 y los 42 en el punto de muestreo 6. Los comportamientos presentes en a lo largo de la laguna tiene diferentes explicaciones, los cuales se detallan a continuación:

- Los niveles más altos del índice se encontraron en la costa oeste de la laguna, cercano a las zonas habitadas. Esto se puede deber a la alta alcalinidad en comparación al resto de la laguna que ofrece una mayor capacidad de frenar

la propagación de los contaminantes, así como el bajo nivel de nitratos, un pH más bajo y la poca presencia de coliformes. Estos niveles podrían aumentar si se mejoran los niveles de oxígeno disuelto, se reduzcan las descargas de materia orgánica para una menor demanda bioquímica de oxígeno y se disminuyera la salinidad.

- Las zonas con las cantidades más bajas del ICA, las cuales rondan en las 42 unidades, están cercanas a la zona norte del manglar, en la costa este. Si bien es una zona en donde el manglar realiza un efecto filtro la cual disminuye la salinidad presente y permite una mayor cantidad de oxígeno disuelto, una baja alcalinidad que no brinda un buen efecto buffer, un alto pH, una alta presencia de nitratos y de coliformes disminuyen esta calidad. Es necesaria una evaluación de más variables para comprobar la existencia de contaminantes provenientes de la planta petroquímica, así como mantener intacta la cobertura de manglar para mejorar su calidad.

4.3.2.2. Usos potenciales del agua: Agua potable.

En el caso del agua potable, al tener los niveles de calidad más exigentes dentro del ICA, genera que todos los puntos que se muestrearon dentro de los cuerpos de agua estén contaminados y no sean factibles para este uso.

El factor más importante que incide para este uso potencial en la zona de muestreo es la salinidad propia de las aguas salobres presentes, aunque hay elementos particulares en cada uno de los puntos, como se describen a continuación:

- El punto de muestreo #4 cercano a la planta petroquímica es que menor cantidad de cloruros, dureza y conductividad exhibe, pero sus altos niveles de coliformes y de presencia de *E. Coli* disminuye bruscamente su calidad.
- En el resto de los puntos, la cantidad de cloruros, su dureza y su conductividad alta incide en el uso potencial de agua potable. En estos puntos, la desalinización es un proceso básico para incrementar su uso potencial como agua potable
- En el punto de muestreo 1 se presentan los niveles generales más elevados en calidad, es necesario un tratamiento potabilizador, según lo establecido en la tabla 3, se aconseja un mayor monitoreo para evitar un descenso en este nivel y mantenerse en óptimas condiciones.

4.3.2.3. Usos potenciales del agua: Uso agrícola

El uso agrícola, debido a la diversidad de necesidades que tiene cada una de las diferentes especies que se cultivan, permite un rango más amplio de valores en las variables, por lo que permite el manejo de aguas que, por sus cualidades, no puedan ser los adecuados para otros usos.

El resultado del muestreo en la laguna refleja niveles de contaminación medios para el uso agrícola en todas las muestras exceptuando el punto 1, los elementos que incidieron en este resultado fueron los siguientes:

- Los niveles de pH altos, una alta presencia de cloruros y de carbonatos expresados en la dureza del agua le restan calidad desfavoreciendo su uso como agua de riego agrícola, ya que para mantener la calidad del suelo se

requiere de un agua ligeramente ácida (en torno a las 6 unidades de pH que permita un desarrollo de mineralización del suelo) así como un bajo nivel de sales que no dañe a los cultivos.

- Si bien el punto 1 es el que, en general, tiene el mejor nivel para su uso agrícola según el ICA por estar levemente contaminada, si se toman en cuenta los resultados de las variables presentes en punto 4, este último sería el más adecuado y económico para ser usado en riego, ya que la única desventaja, la cual disminuye su calidad para este uso es la presencia de coliformes, por lo que el proceso de potabilización se torna más económico por sus bajos niveles de carbonatos y sales que no requieren de una desalinización. Recordemos que el punto 4 está en un punto de descarga de aguas tratadas provenientes de la planta petroquímica.

4.3.2.4. Usos potenciales del agua: Pesca y vida acuática.

Los resultados de las muestras indican que la zona está contaminada para la pesca y la vida acuática, siendo uno de los factores que más incidió el bajo porcentaje de oxígeno disuelto presentes en la columna de agua. Las particularidades que se encontraron en este cuerpo de agua fueron las siguientes:

- Los niveles presentes indican que la mejor área para la pesca es la zona cercana al área urbana, actividad que ya se desarrolla de modo artesanal para la subsistencia. Los niveles de pH más bajos de la laguna se encuentran ahí, así como las mayores demandas bioquímicas de oxígeno. Estas características son buenas para el camarón y el ostión que sus funciones

filtros dentro del ecosistema permiten su desarrollo y el crecimiento de estas especies.

- Una desventaja que tiene este cuerpo es la falta de oxígeno en la zona y su bajo nivel de profundidad.

4.3.2.5. Usos potenciales del agua: Uso industrial

Los niveles presentes en la laguna “La Ventosa” indicaron una calidad contaminada para el uso industrial. Esto fue lo que se encontró:

- En todos excepto en el punto de muestreo #1, los niveles fueron de contaminación. El elemento que más incidió fueron los altos niveles de dureza del agua, que en el caso de industrias como la textil o la alimentaria no son aconsejables para su utilización, ya que, en el caso de la textil, el agua dura no permite un buen lavado de las telas y en la alimentaria puede generar un daño en la maquinaria por la acumulación de carbonatos.
- Solo en el punto de muestreo 4, se tienen niveles que puede permitir su aprovechamiento en la industria, aunque se requiere algún tratamiento para eliminar los niveles de nitratos, si se comprueba que estos son de origen humano, como la presencia de hidrocarburos o subproductos de pesticidas y fertilizantes agrícolas.

4.3.2.6. Usos potenciales del agua: Uso recreativo.

El uso recreativo del agua es el único uso no extractivo del agua que se contempla en el índice diseñado por Dinius (1987). Si bien Salina Cruz no es considerada un

lugar turístico por sus playas o lagunas, la población sí ocupa estos espacios para la recreación y convivencia.

Las diferentes actividades recreativas que se ejecutan en los cuerpos de agua pueden ser consideradas en dos grandes categorías, de inmersión, en la cual la persona entra directamente en contacto con el agua y la de no inmersión, el cual abarca actividades como la pesca deportiva, el uso de lanchas o la apreciación del paisaje costero. Los niveles indicados del ICA para las actividades inmersivas requieren de una mayor calificación, restringiéndose estas conforme las unidades ICA van bajando.

Los resultados generales presentan niveles de leve contaminación para las actividades recreativas en las aguas, aunque existen particularidades:

- Los valores presentes de leve contaminación se deben, en el caso de la zona norte a los altos niveles de bacterias coliformes que existen, restringiéndose a actividades de no inmersión, ya que las inmersivas pueden producir enfermedades si se tiene mucho contacto con las bacterias, esto concuerda con lo mencionado en la tabla 3
- La presencia de nitratos influye en las actividades recreativas, al no disponer información de que el origen de estos nitratos sea por contaminación con hidrocarburos que pueden afectar a la piel de la persona que entre en contacto con ella.

4.4 Conclusiones

La valorización de un recurso es un trabajo interdisciplinario, que requiere del trabajo de ingenieros, químicos, biólogos, geógrafos y otros estudiosos del recurso a valorar para poder tener un resultado que represente un reflejo de la realidad del estado en el que se encuentra el elemento que se estudia. El papel del geógrafo aquí, representa el estudio de las relaciones entre diversos elementos dentro del sistema para buscar factores tanto humanos como naturales que permitan explicar el origen del estado en el que se encuentra un recurso natural, para poder dar recomendaciones para mitigar y mejorar la gestión y el uso de un recurso, en razón de las necesidades presentes en la sociedad. No hay que olvidar que el estudio de la Geografía, y en especial en el enfoque de los recursos naturales, el ser humano no puede pasar desapercibido, ya que es el mismo ser humano el que le da el valor de recurso natural a aquellos elementos que le rodea, y si no se conservan y tratan de forma adecuada, este recurso se puede extinguir.

En el caso del agua, por su importancia para prácticamente todas las actividades humanas, su valorización no es tarea fácil ni labor que una sola persona pueda realizar, por lo que este trabajo es un reflejo de las capacidades, habilidades y conocimientos que un geógrafo puede ofrecer para una labor tan importante como lo planteado en esta tesis. La capacidad de síntesis y de estudio de variables individuales tanto naturales como humanas y sus relaciones con otras permiten al geógrafo tener un aporte en estudios de esta naturaleza, aunque muchas veces para alcanzar esto sea necesario el retomar elementos y metodologías provenientes de otras ciencias, como en este caso el manejo de un Índice de Calidad, que,

adecuándose a los métodos y conocimientos de la Geografía, permite dar un análisis integral de los resultados y en conjunto con la herramienta cartográfica, incide de mejor forma a comprender el manejo, control y conservación de un recurso.

En lo que respecta al presente trabajo, en nuestro estudio de caso en la laguna “La Ventosa”, el aplicarse un Índice de Calidad del Agua como el elaborado por Dinius en 1987 en conjunto con las entrevistas, recorridos en campo y la elaboración y análisis de cartografía, permitió tener un panorama no solo de las posibles fuentes de contaminación, también aclaró por qué se utiliza de cierto modo el agua, las deficiencias que se tienen para el correcto abasto del recurso para cubrir las necesidades que se tienen y los campos de acción que se pueden llevar a cabo para mejorar su calidad y permitir mejores usos.

En lo que respecta al trabajo realizado, se concluye que el objetivo principal se cumplió, ya que se valorizó adecuadamente y desde enfoques cualitativos (entrevistas y recorridos de campo) y cuantitativos (la aplicación del ICA), el estado del agua en el municipio de Salina Cruz, haciendo ver las diversas problemáticas que el recurso agua tiene en esta demarcación, sin dejar de lado la visión geográfica. La hipótesis fue confirmada, ya que el recurso agua está bajo una alta presión debido a las condiciones de su entorno como los espacios urbanos y la planta petroquímica, las cuales, debido a una serie de deficiencias tanto en la red de distribución y tratamiento tras el manejo del recurso como en la disponibilidad que el recurso tiene por sus cualidades fisicoquímicas, genera una necesidad mayor del recurso, requiriéndose acciones que permitan mejorar la disponibilidad, calidad y manejo del recurso agua en la zona.

Una de estas acciones necesarias es un monitoreo constante en la laguna “La Ventosa”, debido a las actividades y funciones ecosistémicas ejerce, al igual que se requiere de otros muestreos con un mayor número de muestras tomadas. Si bien se tuvo un panorama adecuado para inferir el estado de los indicadores dentro de la laguna, un mayor muestreo permitirá un mejor reflejo de la realidad y la identificación de otros puntos de posible afectación que, debido a la interpolación, pudieron quedar fuera y así no tener un reflejo claro de la realidad.

La red de abasto de recurso y de captación de aguas grises y negras tiene deficiencias que requieren de una acción efectiva para una correcta satisfacción de las necesidades que una población en crecimiento requiere, como es el caso del municipio, aunque existen elementos naturales como el relieve de la ciudad que dificulta esta labor.

Tampoco hay que dejar de lado la importancia del trabajo cartográfico, ya que permite un mejor análisis del estado del recurso y su actualización constante en base a las mediciones cuantitativas y cualitativas que se realicen en el área da pauta para el entendimiento de factores que, debido a la naturaleza de los elementos medidos, no pueden visualizarse claramente. La síntesis y análisis de forma cartográfica de la información permite establecer mejores planes de mejora y conservación no solo del recurso agua, sino también de cualquier otro recurso o fenómeno que tenga una expresión espacial, el cual forma parte de nuestro objeto de estudio.

5. Bibliografía

- Abbasi, T., y Abbasi, S. A. (2012). *Water Quality Indices*. Amsterdam: Elsevier Science.
- American Public Health Association (1995). *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (19 ed.). Washington DC.
- Babot, I., y Simler, L. (1970). *Pollution des eaux souterraines: Etude Bibliographique*. Estrasburgo.
- Bain, M. B., y Stevenson, N. J. (1999). *Aquatic habitat assessment: common methods*. Estados Unidos: American Fisheries Society.
- Bertrand, C., y Bertrand, G. (2006). *Geografía del Medio Ambiente. El sistema GTP: Geosistema, Territorio y Paisaje*. España: Universidad de Granada.
- Bocco, G., y Urquijo, P. S. (2013). Geografía ambiental: reflexiones teóricas y práctica institucional. *Región y Sociedad*, 25(56), pp.75–102, de <http://www.scielo.org.mx/pdf/regsoc/v25n56/v25n56a3.pdf>.
- Bolaños Guillen, A., Pérez López, M., y Garza Cano, E. (2014). *Tutorial de Análisis de Agua: Análisis de Dureza Total por titulación con EDTA*. Recuperado el 9 de agosto de 2016, de <http://arturobola.tripod.com/dureza.htm>.
- Burres, E. (2010). *Standard Operating Procedure (SOP) 3.3.2.1: Measuring Nitrogen*. Recuperado el 14 de agosto de 2016, de http://www.waterboards.ca.gov/water_issues/programs/swamp/docs/cwt/guidance/3321.pdf.
- California Environmental Protection Agency (CAPA) (2010a). *Color of Water Fact Sheet*. Recuperado el 08 de agosto de 2016, de http://www.waterboards.ca.gov/water_issues/programs/swamp/docs/cwt/guidance/3159.pdf.
- California Environmental Protection Agency (CAPA) (2010b). *Folleto Informativo Conductividad Eléctrica/Salinidad*. Recuperado el 8 de agosto de 2016, de http://www.waterboards.ca.gov/water_issues/programs/swamp/docs/cwt/guidance/3130sp.pdf.

- California Environmental Protection Agency (CAPA) (2010c). *Folleto Informativo Oxígeno Disuelto (OD)*. Recuperado el 7 de agosto de 2016, de http://www.waterboards.ca.gov/water_issues/programs/swamp/docs/cwt/guidance/3110sp.pdf.
- California Environmental Protection Agency (CAPA) (2010d). *Folleto Informativo pH*. Recuperado el 8 de agosto de 2016, de http://www.waterboards.ca.gov/water_issues/programs/swamp/docs/cwt/guidance/3140sp.pdf.
- California Environmental Protection Agency (CAPA) (2010e). *Folleto Informativo Temperatura*. Recuperado el 8 de agosto de 2016, de http://www.waterboards.ca.gov/water_issues/programs/swamp/docs/cwt/guidance/3120sp.pdf.
- Castizo Ramírez, A. R. (2007). *Calidad del Agua de las Lagunas y Rios del Municipio de Paraíso, Tabasco, en el año 2001*. Tesis, Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad de México. Recuperado el 12 de abril de 2016, de <http://132.248.9.195/pd2007/0618938/Index.html>.
- Centers for Disease Control and Prevention (2006). *Questions & Answers: Sickness caused by E. coli*. Recuperado el 16 de agosto de 2016, de http://www.cdc.gov/ecoli/es/qa_ecoli_sickness.htm.
- Centro Mexicano de Derecho Ambiental (2006). *El agua en México: lo que todas y todos debemos saber* (1 ed.). México: CEMDA.
- CONABIO (2012). *Zonas Marítimas Prioritarias: 38. Laguna Mar Muerto*. Recuperado el 24 de septiembre de 2016, de http://www.conabio.gob.mx/conocimiento/regionalizacion/doctos/rmp_038.html.
- Conagua (2014). *Normas Oficiales Mexicanas: NOM-001-SEMARNAT-1996 NOM-002-SEMARNAT-1996 NOM-003-SEMARNAT-1997*. Recuperado el 31 de marzo de 2016, de <http://www.conagua.gob.mx/CONAGUA07/Noticias/NormasOficialesMexicanas.pdf>.

- Conagua (2016). *Registro Público de Derechos de Agua (REPDA)*. Recuperado el 2 de marzo de 2017, de <http://www.gob.mx/conagua/acciones-y-programas/registro-publico-de-derechos-de-agua-repda-55190>.
- Dinius, S. H. (1987). Design of an Index of Water Quality. *Journal of the American Water Resources Association*, 23(5), pp.833–843.
- Dubost, B. (2010). *El Trabajo de Campo*. México. Recuperado el 16 de septiembre de 2016, de <http://segmento.itam.mx/Administrador/Uploader/material/TRABAJO%20DE%20CAMPO.PDF>.
- Echeverri-Arias, J. A., Manrique-Losada, B., Moreno, F. J., y Bravo, A. (2009). Mejoramiento de imágenes usando funciones de base radial. *Ingenierías Universidad de Medellín*, 8(15), pp.21–28. Recuperado el 14 de abril de 2017, de <http://www.scielo.org.co/pdf/rium/v8n15s1/v8n15s1a03.pdf>.
- Espinal-Carreón, T., Sedeño-Díaz, J. E., y López-López, E. (2013). Evaluación de la Calidad del Agua en la Laguna de Yuriria, Guanajuato, México, Mediante Técnicas multivariadas: Un Análisis de Valoración para Dos Épocas 2005 - 2009 - 2010. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 29(3), pp.147–163. Recuperado el 20 de julio de 2016, de <http://www.scielo.org.mx/pdf/rica/v29n3/v29n3a2.pdf>.
- Espinoza-García, A. C., Aguilar-Medina, M. J., y Mazari-Hiriart, M. (2010). Calidad, Una Limitante más para la Disponibilidad del Agua. En A. Ibarra-Aguilar (Ed.), *Calidad del Agua, Un Enfoque Multidisciplinario* (1 ed., pp. 25–54). Ciudad de México: UNAM.
- ESRI (2016). *Uso de las funciones de base radial*. Recuperado el 12 de abril de 2017, de <https://pro.arcgis.com/es/pro-app/help/analysis/geostatistical-analyst/how-radial-basis-functions-work.htm>.
- FAO (2004). *Inventario Forestal Nacional: Manual de Campo*. Recuperado el 17 de septiembre de 2016, de http://www.fao.org/docrep/008/ae578s/AE578S04.htm#P455_18747.

- Fortis-Hernandez, M., Huerta-Garcia, A., Segura-Castruita, M. A., García-Hernandez, J. L., Leos-Rodríguez, J., García-Salazar, A., y Valdez-Cepeda, R. (2010). Validación de cuatro modelos de interpolación para cartografía nitrato y amonio en suelo. *Terra Latinoamericana*, 28(4), pp.371–379. Recuperado el 14 de abril de 2017, de <http://www.redalyc.org/pdf/573/57318502009.pdf>.
- Fuentes, F. y Massol, A. (2002). *Parametros Fisicoquímicos: Salinidad*. Recuperado el 16 de abril de 2017, de Universidad de Puerto Rico: <http://www.uprm.edu/biology/profs/massol/manual/p2-salinidad.pdf>.
- Georgia Adopt-A-Stream (2004). *Manual de Monitoreo Biológico y Químico en Arroyos*. Recuperado el 07 de agosto de 2016, de http://georgiaadoptastream.com/Manuals_etc/Spanish/quimico_biologico.pdf.
- González-Lozano, M. C., Méndez-Rodríguez, L. C., López-Veneroni, D. G., y Vázquez-Botello, A. (2006). Evaluación de la Contaminación en Sedimentos del Área Portuaria y Zona Costera de Salina Cruz, Oaxaca, México. *Interciencia*, 31(9), pp.647–656. Recuperado el 12 de abril de 2016, de http://www.scielo.org.ve/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0378-18442006000900007.
- González-Meléndez, V., Caicedo-Quintero, O., y Aguirre-Ramirez, N. (2013). Aplicación de los índices de calidad de agua NSF, DINIUS y BMWP en la quebrada La Ayurá, Antioquia, Colombia. *Gestión y Ambiente*, 16(1), pp.97–108.
- Goyenola, G. (2007). *Oxígeno Disuelto*. Recuperado el 05 de abril de 2017, de Red Mapsa: http://imasd.fcien.edu.uy/difusion/educamb/propuestas/red/curso_2007/cartillas/tematicas/OD.pdf.
- INEGI (2006). *Conjunto de Datos Edafológicos: Escala 1:250000* (2.0 ed.). México: INEGI. Recuperado el 02 de febrero de 2017, de http://www.inegi.org.mx/geo/contenidos/reclnat/edafologia/vectorial_serieii.aspx.
- INEGI (2009). *Prontuario de información geográfica municipal de los Estados Unidos Mexicanos: Salina Cruz, Oaxaca*. Recuperado el 20 de septiembre de

- 2016, de <http://www3.inegi.org.mx/sistemas/mexicocifras/datos-geograficos/20/20079.pdf>.
- INEGI (2010). *Conjunto de Datos, Red Hidrográfica Nacional: Escala 1:50000* (2.0 ed.). México: INEGI. Recuperado el 24 de enero de 2017, de http://www.inegi.org.mx/geo/contenidos/topografia/regiones_hidrograficas.aspx.
- INEGI (2011). *Censo de Población y Vivienda 2010*. Recuperado el 04 de febrero de 2017, de INEGI: <http://www.inegi.org.mx/est/contenidos/proyectos/ccpv/cpv2010/>.
- INEGI (2014). *Carta Topográfica "Salina Cruz" E15C83: Escala 1:50 000 Proyección UTM Transversal de Mercator*. Mexico: INEGI. Recuperado el 16 de septiembre de 2016, de <http://www3.inegi.org.mx/sistemas/biblioteca/ficha.aspx?upc=702825207281>.
- Kampa, E., y Hansen, W. (2004). *Heavily modified water bodies: Identification and designation including case studies in Europe*. Berlin, Londres: Springer.
- La Mora-Covarrubias, A. de, Quiñonez-Martinez, M., Sosa-Cerecedo, M., Soto-Cruz, R., y Lebgue-K, T. (2007). Estudio de la Calidad del Agua del Río Bravo en el Área de Influencia de Cd. Juárez, Chihuahua - El Paso, Texas. En Universidad Autónoma de Chihuahua (Ed.), *Memorias en Extenso* (1 ed., pp. 453–459). Chihuahua.
- León-Vizcaíno, L. F. (1991). *Índices de Calidad del Agua (ICA), Forma de Estimarlos y Aplicación en la Cuenca Lerma-Chapala*. Recuperado el 20 de julio de 2016, de <https://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/6147/1/ICA%20Forma%20de%20estimarlos.pdf>.
- Lin, H. (2010). Earth's Critical Zone and hydrogeology: concepts, characteristics, and advances. *Hydrology and Earth System Sciences*, 14(1), pp.25–45. Recuperado el 3 de febrero de 2017, de <http://www.hydrol-earth-syst-sci.net/14/25/2010/hess-14-25-2010.pdf>.

- Linares-Llamas, P. y Romero-López, C. (2008). *Economía y Medio Ambiente: herramientas de valoración ambiental*. Recuperado el 10 de febrero de 2018, de <https://www.iit.comillas.edu/pedrol/documents/becker08.pdf>.
- Luciana, C. (2017). *Cierran presa del Istmo 3 meses antes del estiaje*. Recuperado el 03 de marzo de 2017, de <http://www.nvinoticias.com/nota/51244/cierran-presa-del-istmo-3-meses-antes-del-estiaje-es-una-sequia-historica-aseguran>.
- Maderey-Rascón, L. E. (2005). *Principios de Hidrogeografía, Estudio del ciclo hidrológico* (1 ed.). *Textos Universitarios: Vol. 1*. México: UNAM.
- Manzo, D. (2014). *Se extiende en Oaxaca derrame de hidrocarburos*. Recuperado el 19 de julio de 2016, de <http://www.jornada.unam.mx/2014/10/23/estados/038n3est>.
- Mateo-Rodríguez, J. M. (2005). La Cuestión Ambiental desde una Visión Sistémica. *Ideas Ambientales*. (2). Recuperado el 31 de marzo de 2016, de http://salonvirtual.upel.edu.ve/pluginfile.php/20399/mod_resource/content/0/LA_CUESTION_AMBIENTAL_DESDE_UNA_VISION_SISTEMICA.pdf.
- Mazari-Hiriat, M. (2003). El Agua como Recurso. *Como Ves*. (54). Recuperado el 28 de febrero de 2017, de <http://www.comoves.unam.mx/numeros/indice/54>.
- Morales-Luque, G. (2010). *Evaluación de la Calidad del Agua en el Río Magdalena, D.F. como Servicio Ecosistémico*. Tesis, Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad de México. Recuperado el 12 de abril de 2016, de <http://132.248.9.195/ptd2010/abril/0656580/Index.html>.
- Moreno, H. (2008). *Busca refinería de Salina Cruz nueva fuente de agua*. Recuperado el 4 de marzo de 2017, de <http://www.jornada.unam.mx/2008/06/18/index.php?section=estados&article=042n2est>.
- Moreno-García, M. A. (2015). *Afectaciones a la Biota por la Actividad de PEMEX en las Costas de Salina Cruz, Oaxaca*. Tesis, Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad de México. Recuperado el 12 de abril de 2016, de <http://132.248.9.195/ptd2015/marzo/305339980/Index.html>.

- NVI Noticias (2016). *Solo 30 % de las aguas negras son tratadas*. Recuperado el 05 de marzo de 2017, de <http://www.nvinoticias.com/nota/5314/solo-30-de-las-aguas-negras-son-tratadas>.
- Oram, B. (2014). *Hard Water Hardness Calcium Magnesium Water Corrosion Mineral Scale*. Recuperado el 16 de abril de 2017, de Water Research Center: <http://www.water-research.net/index.php/water-treatment/tools/hard-water-hardness>.
- PEMEX (2014). *Diagnósticos Municipales PACMA: Salina Cruz, Oaxaca*. Recuperado el 20 de septiembre de 2016, de https://pacma.org.mx/solicitudes/files/diagnostico/Diagnostico_20079_Salina_Cruz_Oax.pdf.
- Pulido-Bosch, A. (2003). Los Agentes Contaminantes y la protección de los Acuíferos. En A. Pulido-Bosch & Á. Vallejos-Izquierdo (Eds.), *Gestión y Contaminación de Recursos Hídricos* (1 ed., pp. 93–111). Almería.
- Rueda-Velazquez, R. (27 de marzo de 2017). Entrevista con el Regidor de Agua y Saneamiento Ambiental sobre la situación del Agua en Salina Cruz.
- Ruiz-Morales, J. (27 de marzo de 2017). Entrevista con el Administrador de Agua Potable de la Comisión Estatal del Agua (CEA) del Estado de Oaxaca, Salina Cruz.
- s/n (2014). *Derrame de hidrocarburo contamina playa de Salina Cruz*. Recuperado el 19 de julio de 2016, de <http://noticieros.televisa.com/mexico-estados/1410/derrame-hidrocarburo-contamina-playa-salina-cruz/>.
- Sánchez-Sepúlveda, H. U. (2011). *Calidad del Agua y Contexto Social como Base para la Planeación y Gestión en Cuencas Periurbanas. El Caso del Río Chiquito, Morelia, Michoacán*. Tesis, Universidad Nacional Autónoma de México, Morelia. Recuperado el 12 de abril de 2016, de <http://132.248.9.195/ptd2012/marzo/0677825/Index.html>.
- Saushkin, Y. G., y Smirnov, A. M. (1968). Geosistemas y Geoestructuras. *Revista de la Univ.Est.de Moscú*. (5), pp.11–23.

Secretaría de Economía (2000). *NMX-AA-093-SCFI-2000 Análisis de Agua - Determinación de la Conductividad Electrolítica - Método de Prueba*. Recuperado el 15 de agosto de 2016, de http://lasa.ciga.unam.mx/monitoreo/images/biblioteca/46%20NMX-AA-093-SCFI-2000_Conductividad.pdf.

Secretaría de Economía (2001a). *NMX-AA-012-SCFI-2001 Análisis de Agua - Determinación de Oxígeno Disuelto en Aguas Naturales, Residuales y Residuales Tratadas - Método de Prueba*. Recuperado el 8 de agosto de 2016, de <http://www.conagua.gob.mx/CONAGUA07/Noticias/NMX-AA-012-SCFI-2001.pdf>.

Secretaría de Economía (2001b). *NMX-AA-028-SCFI-2001 Análisis de Agua - Determinación de la Demanda Bioquímica de Oxígeno en Aguas Naturales, Residuales (DBO5) y Residuales Tratadas - Método de Prueba*. Recuperado el 8 de agosto de 2016, de <http://www.conagua.gob.mx/CONAGUA07/Noticias/NMX-AA-028-SCFI-2001.pdf>.

Secretaría de Economía (2001c). *NMX-AA-036-SCFI-2001 Análisis de Agua - Determinación de Acidez y Alcalinidad en Aguas Naturales, Residuales y Residuales Tratadas - Método de Prueba*. Recuperado el 8 de agosto de 2016, de http://lasa.ciga.unam.mx/monitoreo/images/biblioteca/42%20NMX-AA-036-SCFI-2001_Acidez_alcalinidad.pdf.

Secretaría de Economía (2001d). *NMX-AA-045-SCFI-2001 Análisis de Agua - Determinación de Color Platino Cobalto en Aguas Naturales, Residuales y Residuales Tratadas - Método de Prueba* *DE AGUA - DETERMINACIÓN DE COLOR PLATINO COBALTO EN AGUAS NATURALES, RESIDUALES Y RESIDUALES TRATADAS - MÉTODO DE PRUEBA*. Recuperado el 16 de agosto de 2016, de <http://www.conagua.gob.mx/CONAGUA07/Noticias/NMX-AA-045-SCFI-2001.pdf>.

Secretaría de Economía (2001e). *NMX-AA-072-SCFI-2001 Análisis de Agua - Determinación de Dureza Total en Aguas Naturales, Residuales y Residuales Tratadas - Método de Prueba*. Recuperado el 9 de agosto de 2016, de

http://lasa.ciga.unam.mx/monitoreo/images/biblioteca/45%20NMX-AA-072-SCFI-2001_Dureza.pdf.

Secretaría de Economía (2001f). *NMX-AA-073-SCFI-2001 Análisis de Agua - Determinación de Cloruros Totales en Aguas Naturales, Residuales y Residuales Tratadas - Método de Prueba*. Recuperado el 16 de agosto de 2016, de <http://www.conagua.gob.mx/CONAGUA07/Noticias/NMX-AA-073-SCFI-2001.pdf>.

Secretaría de Economía (2001g). *NMX-AA-079-SCFI-2001 Análisis de Agua - Determinación de Nitratos en Aguas Naturales, Residuales y Residuales Tratadas - Método de Prueba*. Recuperado el 16 de agosto de 2016, de <http://www.conagua.gob.mx/CONAGUA07/Noticias/NMX-AA-079-SCFI-2001.pdf>.

Secretaría de Economía (2011). *NMX-AA-008-SCFI-2011 Análisis de Agua - Determinación del pH - Método de Prueba*. Recuperado el 15 de agosto de 2016, de http://lasa.ciga.unam.mx/monitoreo/images/biblioteca/41%20NMX-AA-008-SCFI-2011_pH.pdf.

Secretaría de Economía (2013). *NMX-AA-007-SCFI-2013 Análisis de Agua - Medición de la Temperatura en Aguas Naturales, Residuales y Residuales Tratadas - Método de Prueba*. Recuperado el 15 de agosto de 2016, de http://lasa.ciga.unam.mx/monitoreo/images/biblioteca/40%20NMX-AA-007-SCFI-2013_Temperatura.pdf.

Secretaría de Economía (2015). *NMX-AA-042-SCFI-2015 Análisis de Agua - Enumeración de Organismos Coliformes Totales, Organismos Coliformes Fecales (Termotolerantes) y "Escherichia coli" - Método del Número más Probable en Tubos Múltiples*. Recuperado el 16 de agosto de 2016, de <http://www.conagua.gob.mx/CONAGUA07/Noticias/nmx-aa-042-scfi-2015.pdf>.

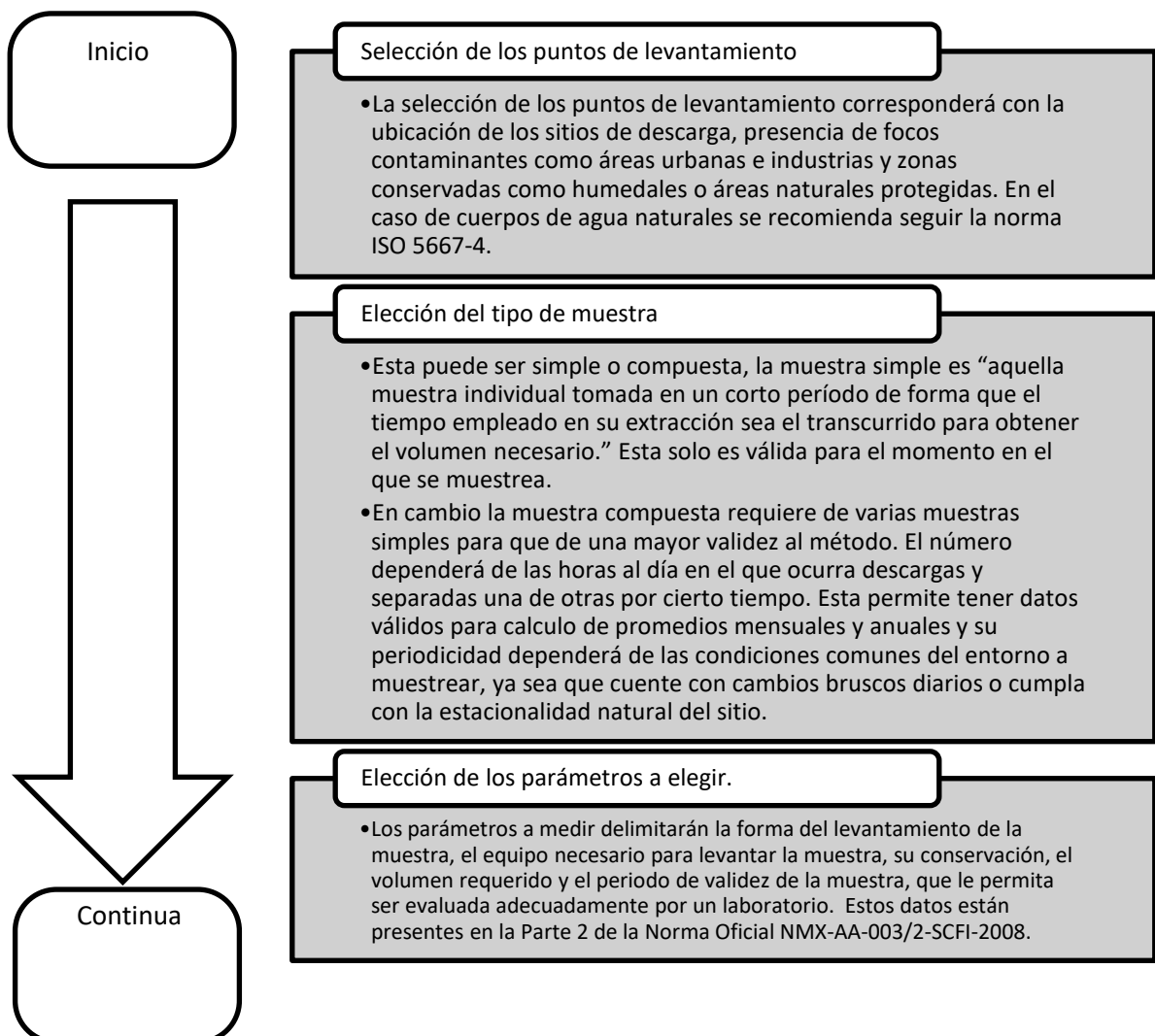
Secretaría de Gobernación (2012). *Sistema Nacional de Información Municipal*. Recuperado el 20 de septiembre de 2016, de <http://www.snim.rami.gob.mx/>.

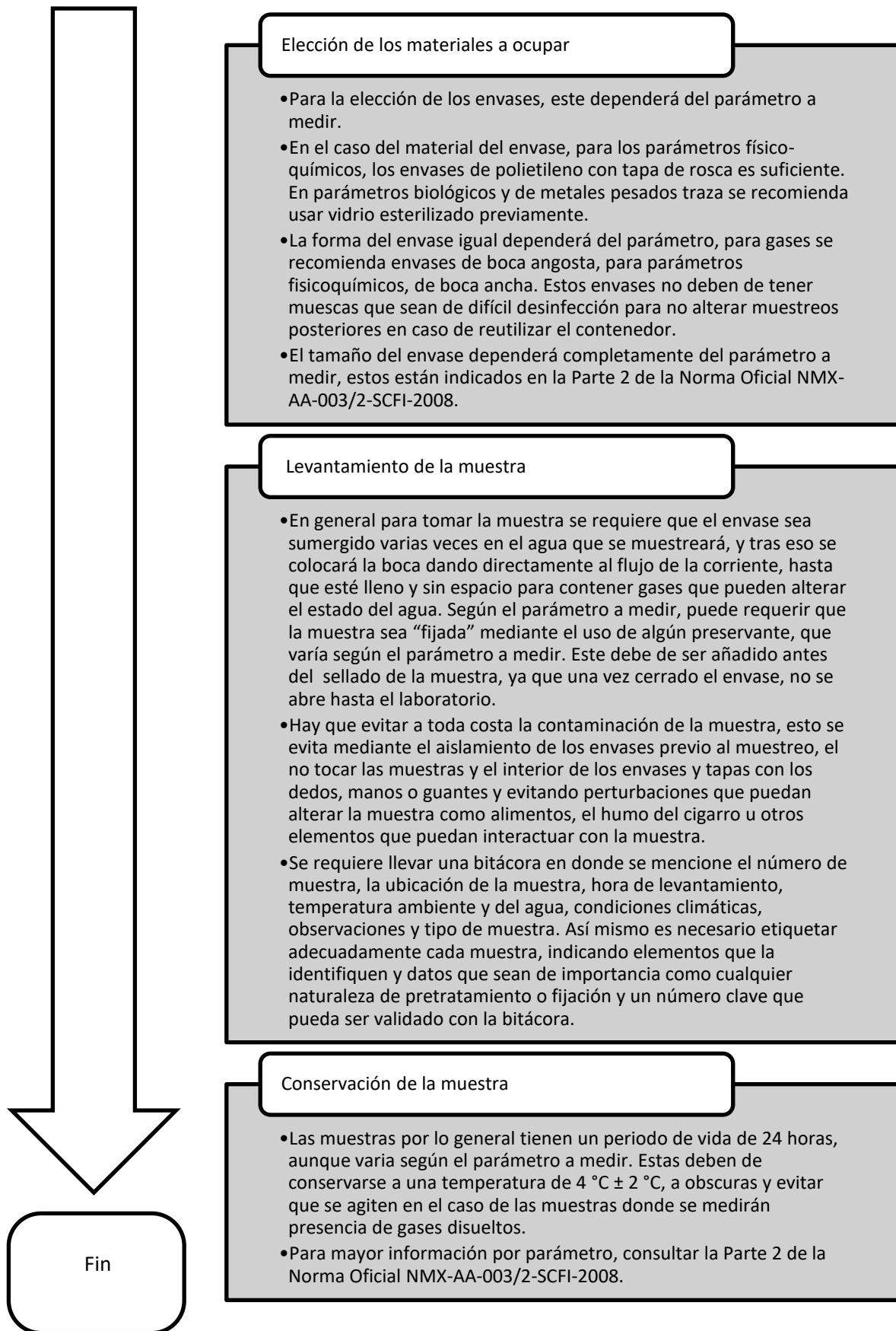
Sedeño-Díaz, J. E., y López-López, E. (2007). Water Quality in the Río Lerma, Mexico: An Overview of the Last Quarter of the Twentieth Century. *Water Resources Management*, 21(10), pp.1797–1812.

- SEMAR (2013). *Salina Cruz: Ficha Técnica*. Recuperado el 20 de septiembre de 2016, de <http://digaohm.semar.gob.mx/cuestionarios/cnarioSalinacruz.pdf>.
- SIAP (2016). *Sistema Integral de Información Geoespacial Agroalimentario y Pesquero SIIGAP*. Recuperado el 15 de febrero de 2017, de <http://cmgs.gob.mx:8080/gob/mapasdinamicos/>.
- Technische Universität Dresden (2015). *Climate Charts* [web]. Dresden. Recuperado el 8 de febrero de 2017, de <https://climatecharts.net/>.
- Torres, P., Cruz, C., Patiño, P., Escobar, J. C., y Pérez, A. (2010). Aplicación de índices de calidad de agua - ICA orientados al uso de la fuente para consumo humano. *Ingeniería e Investigación*, 30(3), pp.86–95. Recuperado el 20 de julio de 2016, de <http://www.scielo.org.co/pdf/iei/v30n3/v30n3a07.pdf>.
- Trincado, G., y Jaime, B. (1999). Aplicación de interpolación "Spline" cúbica en la estimación de volumen. *Bosque*, 20(2), pp.3–8. Recuperado el 13 de abril de 2017, de <http://mingaonline.uach.cl/pdf/bosque/v20n2/art01.pdf>.
- Universidad Nacional del Nordeste (2010). *Química General y Tecnológica - Trabajo Práctico N° 4: Volumetría de Precipitación*, de <http://ing.unne.edu.ar/pub/quimica/ab2/TP4.pdf>.
- USDA (2003). *National Water Quality Handbook*. Recuperado el 24 de marzo de 2016, de http://www.nrcs.usda.gov/Internet/FSE_DOCUMENTS/stelprdb1044775.pdf.
- USGS (2016). *The USGS Water Science School*. Recuperado el 27 de febrero de 2017, de USGS: <https://water.usgs.gov/edu/earthwherewater.html>.
- Vicencio de la Rosa, M. G., Villanueva Fierro, I., Pérez López, M. E., y Burciaga Siqueiros, M. E. (2007). Índice de Calidad del Agua del Río Mezquital de Durango. En Universidad Autónoma de Chihuahua (Ed.), *Memorias en Extenso* (1 ed., pp. 498–504). Chihuahua.

Anexo 1: Proceso general para la elaboración de un muestreo de agua.

En el presente anexo se exhibe la forma de realizar un muestreo de agua, basado de la NMX-AA-003-1980, Aguas Residuales-Muestreo, NMX-AA-003/1-SCFI-2008 Aguas Residuales – Muestreo Parte 1. Guía para el Diseño de Programas de Muestreo y Técnicas de Muestreo, NMX-AA-003/2-SCFI-2008 Aguas Residuales – Muestreo Parte 2. Guía para la Preservación y Manejo De Muestras de Agua y la NMX-AA-003/3-SCFI-2008 Aguas Residuales – Muestreo Parte 3 Guía para el Muestreo de Aguas Residuales, publicadas por la Secretaría de Economía.





Anexo 2: Memoria de cálculo del reparto proporcional de los nuevos pesos de los parámetros de cálculo del ICA Dinius (1987)

A continuación, se presentan las operaciones matemáticas realizadas para el cálculo de los nuevos pesos de los parámetros del ICA Dinius (1987).

$$\begin{aligned} \text{Peso OD} &= \left(\frac{n}{(\sum W) - n} * W_1 \right) + W_1 = \left(\frac{0.063}{1 - 0.063} * 0.109 \right) + 0.109 \\ &= \left(\frac{0.063}{0.937} * 0.109 \right) + 0.109 = 0.007 + 0.109 = 0.116 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Peso DBO} &= \left(\frac{n}{(\sum W) - n} * W_1 \right) + W_1 = \left(\frac{0.063}{1 - 0.063} * 0.097 \right) + 0.097 \\ &= \left(\frac{0.063}{0.937} * 0.097 \right) + 0.097 = 0.007 + 0.097 = 0.104 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Peso COLI} &= \left(\frac{n}{(\sum W) - n} * W_1 \right) + W_1 = \left(\frac{0.063}{1 - 0.063} * 0.090 \right) + 0.090 \\ &= \left(\frac{0.063}{0.937} * 0.090 \right) + 0.090 = 0.006 + 0.090 = 0.096 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Peso ECOLI} &= \left(\frac{n}{(\sum W) - n} * W_1 \right) + W_1 = \left(\frac{0.063}{1 - 0.063} * 0.116 \right) + 0.116 \\ &= \left(\frac{0.063}{0.937} * 0.116 \right) + 0.116 = 0.008 + 0.116 = 0.124 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Peso ALC} &= \left(\frac{n}{(\sum W) - n} * W_1 \right) + W_1 = \left(\frac{0.063}{1 - 0.063} * 0.063 \right) + 0.063 \\ &= \left(\frac{0.063}{0.937} * 0.063 \right) + 0.063 = 0.004 + 0.063 = 0.067 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Peso DUR} &= \left(\frac{n}{(\sum W) - n} * W_1 \right) + W_1 = \left(\frac{0.063}{1 - 0.063} * 0.065 \right) + 0.065 \\
 &= \left(\frac{0.063}{0.937} * 0.065 \right) + 0.065 = 0.004 + 0.065 = 0.069
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Peso CL} &= \left(\frac{n}{(\sum W) - n} * W_1 \right) + W_1 = \left(\frac{0.063}{1 - 0.063} * 0.074 \right) + 0.074 \\
 &= \left(\frac{0.063}{0.937} * 0.074 \right) + 0.074 = 0.005 + 0.074 = 0.079
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Peso CE} &= \left(\frac{n}{(\sum W) - n} * W_1 \right) + W_1 = \left(\frac{0.063}{1 - 0.063} * 0.079 \right) + 0.079 \\
 &= \left(\frac{0.063}{0.937} * 0.079 \right) + 0.079 = 0.005 + 0.079 = 0.084
 \end{aligned}$$

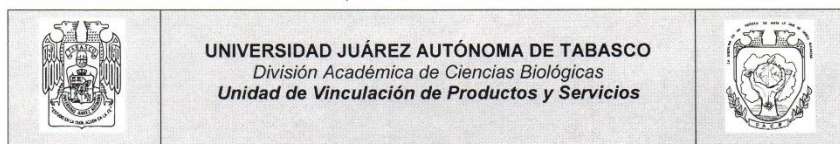
$$\begin{aligned}
 \text{Peso PH} &= \left(\frac{n}{(\sum W) - n} * W_1 \right) + W_1 = \left(\frac{0.063}{1 - 0.063} * 0.077 \right) + 0.077 \\
 &= \left(\frac{0.063}{0.937} * 0.077 \right) + 0.077 = 0.005 + 0.077 = 0.082
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Peso N} &= \left(\frac{n}{(\sum W) - n} * W_1 \right) + W_1 = \left(\frac{0.063}{1 - 0.063} * 0.090 \right) + 0.090 \\
 &= \left(\frac{0.063}{0.937} * 0.090 \right) + 0.090 = 0.006 + 0.090 = 0.096
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Peso T} &= \left(\frac{n}{(\sum W) - n} * W_1 \right) + W_1 = \left(\frac{0.063}{1 - 0.063} * 0.077 \right) + 0.077 \\
 &= \left(\frac{0.063}{0.937} * 0.077 \right) + 0.077 = 0.005 + 0.077 = 0.082
 \end{aligned}$$

Anexo 3: Resultados de las pruebas de laboratorio de las muestras

A continuación se presentan los resultados brutos de las pruebas realizadas por el laboratorio de la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco de los sitios muestreados. Los valores de los puntos 6 y 7 no están incluidos en esta tesis ya que corresponden a un cuerpo de agua que se descartó en un análisis de la información posterior.



Villahermosa Tabasco a 08 de diciembre de 2016.

JOSE BENJAMIN NARANJO ÁVAREZ
ESTUDIANTE DE LA UNAM
PRESENTE

Por medio del presente, le hago entrega del reporte de resultados correspondiente a análisis de laboratorio de Oxígeno Disuelto, Demanda Bioquímica de Oxígeno, Coliformes totales, Alcalinidad total como CaCO₃, Dureza Total como CaCO₃, Cloruros, Conductividad Eléctrica, Potencial de Hidrogeno, Nitratos y Escherichia Coli, realizados a siete muestras de agua.

El análisis fue realizado en atención a su solicitud de servicios y según consta en la cotización No. CVS/BIOL/010/2016 emitida el 18 de noviembre de 2016.

Estaremos atentos a cualquier duda o aclaración de su parte.

Sin otro particular por el momento, aprovecho para enviarle un cordial saludo.

ATENTAMENTE


M. EN C. EDUARDO J. MOGUEL ORDOÑEZ
COORDINADOR

C.c.p. Archivo



UNIVERSIDAD JUÁREZ AUTÓNOMA DE TABASCO
 División Académica de Ciencias Biológicas
 Coordinación de Vinculación y Servicios
 Área de Laboratorio



INFORME DE RESULTADOS

ID ext:CVS/BIOL/010/2016
 ID int: CVS-LAB-048-16

NOMBRE DEL CLIENTE: C. JOSÉ BENJAMÍN NARANJO ÁLVAREZ
 DIRECCIÓN: NO PROPORCIONADA
 INFORMACIÓN DE LA MUESTRA: MUESTRAS DE AGUA TOMADAS POR EL CLIENTE EN EL PTO. DE SALINA CRUZ, OAXACA
 FECHA DE INGRESO AL LABORATORIO: 2016-11-30
 FECHA DE INFORME: 2016-12-08

PARÁMETRO: NITRATOS

MÉTODO: NMX-AA-079-SCFI-2001

FECHA MUESTREO	FECHA ANÁLISIS	No. DE MUESTRA	IDENTIFICACIÓN	RESULTADO mg/L N-NO ₃
2016-11-29	2016-11-30	0352	1	0.033
2016-11-29	2016-11-30	0353	2	0.173
2016-11-29	2016-11-30	0354	3	0.103
2016-11-29	2016-11-30	0355	4	0.782
2016-11-29	2016-11-30	0356	5	0.030
2016-11-29	2016-11-30	0357	6	0.144
2016-11-29	2016-11-30	0358	7	0.408

L.D. = 0.008 mg/l N-NO₃

PARAMETRO: DUREZA TOTAL

MÉTODO: NMX-AA-072-SCFI-2001

FECHA MUESTREO	FECHA ANÁLISIS	No. DE MUESTRA	IDENTIFICACIÓN	RESULTADO mg/L CaCO ₃
2016-11-29	2016-12-05	0352	1	4648.8
2016-11-29	2016-12-05	0353	2	3822.3
2016-11-29	2016-12-05	0354	3	3512.4
2016-11-29	2016-12-05	0355	4	516.5
2016-11-29	2016-12-05	0356	5	3822.3
2016-11-29	2016-12-05	0357	6	51652.9
2016-11-29	2016-12-05	0358	7	51652.9

L.D. = 3.2 mg/L CaCO₃

PARAMETRO: OXÍGENO DISUELTO

MÉTODO: NMX-AA-012-SCFI-2001

FECHA MUESTREO	FECHA ANÁLISIS	No. DE MUESTRA	IDENTIFICACIÓN	RESULTADO mg O ₂ /L
2016-11-29	2016-11-30	0352	1	0.18
2016-11-29	2016-11-30	0353	2	0.20
2016-11-29	2016-11-30	0354	3	0.18
2016-11-29	2016-11-30	0355	4	0.18
2016-11-29	2016-11-30	0356	5	0.22
2016-11-29	2016-11-30	0357	6	0.03
2016-11-29	2016-11-30	0358	7	0.00

L.D. = 0.15 mg O₂/L



INFORME DE RESULTADOS

PARÁMETRO: ALCALINIDAD TOTAL

MÉTODO: NMX-AA-036-SCFI-2001

FECHA MUESTREO	FECHA ANÁLISIS	No. DE MUESTRA	IDENTIFICACIÓN	RESULTADO mg/L CaCO ₃
2016-11-29	2016-11-30	0352	1	293.2
2016-11-29	2016-11-30	0353	2	279.5
2016-11-29	2016-11-30	0354	3	290.9
2016-11-29	2016-11-30	0355	4	372.7
2016-11-29	2016-11-30	0356	5	202.3
2016-11-29	2016-11-30	0357	6	2803.0
2016-11-29	2016-11-30	0358	7	1553.0

L.D. = 3.9 mg/L CaCO₃

PARÁMETRO: CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA

MÉTODO: NMX-AA-093-SCFI-2000

FECHA MUESTREO	FECHA ANÁLISIS	No. DE MUESTRA	IDENTIFICACIÓN	RESULTADO µS/cm
2016-11-29	2016-11-30	0352	1	29436.0
2016-11-29	2016-11-30	0353	2	27724.0
2016-11-29	2016-11-30	0354	3	28211.3
2016-11-29	2016-11-30	0355	4	1867.7
2016-11-29	2016-11-30	0356	5	33073.3
2016-11-29	2016-11-30	0357	6	167676.7
2016-11-29	2016-11-30	0358	7	221616.7

L.D. = 5.2 µS/cm

PARÁMETRO: CLORUROS TOTALES

MÉTODO: NMX-AA-073-SCFI-2001

FECHA MUESTREO	FECHA ANÁLISIS	No. DE MUESTRA	IDENTIFICACIÓN	RESULTADO mg/L Cl ⁻
2016-11-29	2016-11-30	0352	1	10975.9
2016-11-29	2016-11-30	0353	2	10498.7
2016-11-29	2016-11-30	0354	3	11453.1
2016-11-29	2016-11-30	0355	4	954.4
2016-11-29	2016-11-30	0356	5	9544.2
2016-11-29	2016-11-30	0357	6	152707.7
2016-11-29	2016-11-30	0358	7	197565.6

L.D. = 12.3 mg/L Cl⁻



INFORME DE RESULTADOS

ID ext:CVS/BIOL/010/2016
ID int: CVS-LAB-048-16

PARÁMETRO: DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO MÉTODO: NMX-AA-028-SCFI-2001

FECHA MUESTREO	FECHA ANÁLISIS	No. DE MUESTRA	IDENTIFICACIÓN	RESULTADO mg O ₂ /L
2016-11-29	2016-11-30	0352	1	2.2
2016-11-29	2016-11-30	0353	2	2.0
2016-11-29	2016-11-30	0354	3	1.6
2016-11-29	2016-11-30	0355	4	1.2
2016-11-29	2016-11-30	0356	5	1.8
2016-11-29	2016-11-30	0357	6	1.6
2016-11-29	2016-11-30	0358	7	1.2

L.D. = 0.8 mg O₂/L

PARAMETRO: POTENCIAL DE HIDRÓGENO MÉTODO: NMX-AA-008-SCFI-2011

FECHA MUESTREO	FECHA ANÁLISIS	No. DE MUESTRA	IDENTIFICACIÓN	RESULTADO Unidades de pH
2016-11-29	2016-11-30	0352	1	8.33
2016-11-29	2016-11-30	0353	2	8.38
2016-11-29	2016-11-30	0354	3	8.45
2016-11-29	2016-11-30	0355	4	8.17
2016-11-29	2016-11-30	0356	5	9.16
2016-11-29	2016-11-30	0357	6	6.44
2016-11-29	2016-11-30	0358	7	6.14

L.D. = 0.02 Unidades de pH

PARAMETRO: COLIFORMES TOTALES MÉTODO: PROY-NMX-AA-042-SCFI-2011

FECHA MUESTREO	FECHA ANÁLISIS	No. DE MUESTRA	IDENTIFICACIÓN	RESULTADO NMP/100 ml
2016-11-29	2016-11-30	0352	1	40.0
2016-11-29	2016-11-30	0353	2	70.0
2016-11-29	2016-11-30	0354	3	40.0
2016-11-29	2016-11-30	0355	4	75000.0
2016-11-29	2016-11-30	0356	5	930.0
2016-11-29	2016-11-30	0357	6	<30
2016-11-29	2016-11-30	0358	7	<30



UNIVERSIDAD JUÁREZ AUTÓNOMA DE TABASCO
 División Académica de Ciencias Biológicas
 Coordinación de Vinculación y Servicios
 Área de Laboratorio



ID ext: CVS/BIOL/010/2016
ID int: CVS-LAB-048-16

INFORME DE RESULTADOS

PARAMETRO: *Escherichia coli*

MÉTODO: PROY-NMX-AA-042-SCFI-2011

FECHA MUESTREO	FECHA ANÁLISIS	No. DE MUESTRA	IDENTIFICACIÓN	RESULTADO NMP/100 ml
2016-11-29	2016-11-30	0352	1	<30
2016-11-29	2016-11-30	0353	2	70.0
2016-11-29	2016-11-30	0354	3	<30
2016-11-29	2016-11-30	0355	4	43000.0
2016-11-29	2016-11-30	0356	5	430.0
2016-11-29	2016-11-30	0357	6	<30
2016-11-29	2016-11-30	0358	7	<30

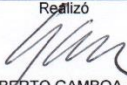
NMP = Número más probable

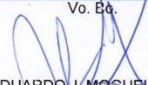
L.D. = Límite de Detección

MLD = Menor al Límite de Detección

N.A. = No Aplica

Certificación ISO 9001: 2008 (NMX-CC-9001-IMNC-2008) No. ATR0545. Vigencia: 2016/02/12

Realizó

 M.C. ROBERTO GAMBOA ALBECO
 Responsable de Laboratorio

Vo. Bo.

 M.C. EDUARDO J. MOGUEL ORDOÑEZ
 Coordinador de Vinculación y Servicios

Este informe que representa las características de la muestra recibida, mas no del universo de donde deriva, no podrá ser alterado o reproducido total o parcialmente sin autorización por

Anexo 4: Memoria de cálculo del porcentaje de saturación del oxígeno disuelto

A continuación, se presentan las operaciones matemáticas realizadas para el cálculo del porcentaje de saturación del oxígeno disuelto para cada una de las muestras, siguiendo lo comentado por Goyenola (2007). La tabla de valores máximos de oxígeno disuelto se presenta a continuación.

Temperatura del agua (en °C)	Máximo de Oxígeno disuelto (en mg/L)	Temperatura del agua (en °C)	Máximo de Oxígeno disuelto (en mg/L)
0	14.16	18	9.18
1	13.77	19	9.01
2	13.40	20	8.84
3	13.05	21	8.68
4	12.70	22	8.53
5	12.37	23	8.38
6	12.06	24	8.25
7	11.76	25	8.11
8	11.47	26	7.99
9	11.19	27	7.86
10	10.92	28	7.75
11	10.67	29	7.64
12	10.43	30	7.53
13	10.20	31	7.42
14	9.98	32	7.32
15	9.76	33	7.22
16	9.56	34	7.13
17	9.37	35	7.04

Fuente: Goyenola (2007), basado de Bain y Stevenson (1999)

Muestra 1

$$T = 27$$

$$OD = 0.18$$

$$ODM = 7.86$$

$$\%OD = \frac{OD}{ODM} * 100 = \frac{0.18}{7.86} * 100 = 0.0229 * 100 = 2.29$$

Muestra 2

$$T = 27$$

$$OD = 0.20$$

$$ODM = 7.86$$

$$\%OD = \frac{OD}{ODM} * 100 = \frac{0.20}{7.86} * 100 = 0.0254 * 100 = 2.54$$

Muestra 3

$$T = 27$$

$$OD = 0.18$$

$$ODM = 7.86$$

$$\%OD = \frac{OD}{ODM} * 100 = \frac{0.18}{7.86} * 100 = 0.0229 * 100 = 2.29$$

Muestra 4

$$T = 28$$

$$OD = 0.18$$

$$ODM = 7.75$$

$$\%OD = \frac{OD}{ODM} * 100 = \frac{0.18}{7.75} * 100 = 0.0232 * 100 = 2.32$$

Muestra 5

$$T = 29$$

$$OD = 0.22$$

$$ODM = 7.64$$

$$\%OD = \frac{OD}{ODM} * 100 = \frac{0.22}{7.64} * 100 = 0.0287 * 100 = 2.87$$

Muestra 6

$$T = 27$$

$$OD = 0.19$$

$$ODM = 7.86$$

$$\%OD = \frac{OD}{ODM} * 100 = \frac{0.19}{7.86} * 100 = 0.0254 * 100 = 2.54$$

Muestra 7

$$T = 28$$

$$OD = 0.17$$

$$ODM = 7.75$$

$$\%OD = \frac{OD}{ODM} * 100 = \frac{0.17}{7.75} * 100 = 0.0232 * 100 = 2.32$$

Anexo 5: Memoria de cálculo del ICA Dinius (1987) por punto de muestreo

A continuación, se presentan las operaciones matemáticas realizadas para el cálculo del ICA de Dinius (1987) para cada uno de los puntos de muestreo, desglosado por variable.

Muestra 1

$$ICA = \prod_{i=1}^n I_i^{W_i} = I_{OD}^{W_{OD}} * I_{DBO}^{W_{DBO}} * I_{COLI}^{W_{COLI}} * I_{ECOLI}^{W_{ECOLI}} * I_{ALC}^{W_{ALC}} * I_{DUR}^{W_{DUR}} * I_{CL}^{W_{CL}} * I_{CE}^{W_{CE}} * I_{pH}^{W_{pH}} * I_N^{W_N} * I_T^{W_T}$$

$$I_{OD}^{W_{OD}} = ((0.82 * OD) + 10.56)^{0.116} = ((0.82 * 2.290076336) + 10.56)^{0.116} \\ = 12.4378626^{0.116} = 1.340757886$$

$$I_{DBO}^{W_{DBO}} = (108 * DBO^{-0.3494})^{0.104} = (108 * 2.2^{-0.3494})^{0.104} = 81.99384844^{0.104} \\ = 1.578040815$$

$$I_{COLI}^{W_{COLI}} = (136 * COLI^{-0.1311})^{0.096} = (136 * 40^{-0.1311})^{0.096} = 83.8511153^{0.096} \\ = 1.530225325$$

$$I_{ECOLI}^{W_{ECOLI}} = (106 * (ECOLI)^{-0.1286})^{0.124} = (106 * (15)^{-0.1286})^{0.124} = 74.82737831^{0.124} \\ = 1.706111827$$

$$I_{ALC}^{W_{ALC}} = (110 * (ALC)^{-0.1342})^{0.067} = (110 * (293.2)^{-0.1342})^{0.067} = 51.32149287^{0.067} \\ = 1.303147099$$

$$I_{DUR}^{W_{DUR}} = (552 * (DUR)^{-0.4488})^{0.069} = (552 * (4648.8)^{-0.4488})^{0.069} = 12.4748835^{0.069} \\ = 1.191330922$$

$$I_{CL}^{W_{CL}} = (391 * (CL)^{-0.3480})^{0.079} = (391 * (10975.9)^{-0.3480})^{0.079} = 15.34983064^{0.079} \\ = 1.24071796$$

$$I_{CE}^{W_{CE}} = (506 * (CE)^{-0.3315})^{0.084} = (506 * (29436)^{-0.3315})^{0.084} = 16.70002789^{0.084} \\ = 1.2679125$$

$$Si \text{ pH} > 7.1 \therefore I_{pH}^{W_{pH}} = (10^{3.65-0.2216*(pH)})^{0.082} = (10^{3.65-0.2216*(8.33)})^{0.082} \\ = 70.91204337^{0.082} = 1.419341547$$

$$I_N^{W_N} = (125 * (N)^{-0.2718})^{0.096} = (125 * (0.033)^{-0.2718})^{0.096} = 315.9205844^{0.096} \\ = 1.738151099$$

$$I_T^{W_T} = (10^{2.004-0.0382(T_{aire}-T_{superficie})})^{0.082} = (10^{2.004-0.0382(31-27)})^{0.082} \\ = 143.4828518^{0.082} = 1.503971828$$

$$\therefore ICA = 1.340757886 * 1.578040815 * 1.530225325 * 1.706111827 * 1.303147099 \\ * 1.191330922 * 1.24071796 * 1.2679125 * 1.419341547 \\ * 1.738151099 * 1.503971828 = \mathbf{50.053}$$

Muestra 2

$$ICA = \prod_{i=1}^n I_i^{W_i} = I_{OD}^{W_{OD}} * I_{DBO}^{W_{DBO}} * I_{COLI}^{W_{COLI}} * I_{ECOLI}^{W_{ECOLI}} * I_{ALC}^{W_{ALC}} * I_{DUR}^{W_{DUR}} * I_{CL}^{W_{CL}} * I_{CE}^{W_{CE}} * I_{pH}^{W_{pH}} * I_N^{W_N} * I_T^{W_T}$$

$$I_{OD}^{W_{OD}} = ((0.82 * OD) + 10.56)^{0.116} = ((0.82 * 2.544529262) + 10.56)^{0.116}$$

$$= 12.64651399^{0.116} = 1.343355147$$

$$I_{DBO}^{W_{DBO}} = (108 * DBO^{-0.3494})^{0.104} = (108 * 2^{-0.3494})^{0.104} = 84.77033023^{0.104}$$

$$= 1.583490375$$

$$I_{COLI}^{W_{COLI}} = (136 * COLI^{-0.1311})^{0.096} = (136 * 70^{-0.1311})^{0.096} = 77.91957145^{0.096}$$

$$= 1.519479948$$

$$I_{ECOLI}^{W_{ECOLI}} = (106 * (ECOLI)^{-0.1286})^{0.124} = (106 * (70)^{-0.1286})^{0.124} = 61.37991142^{0.124}$$

$$= 1.664778681$$

$$I_{ALC}^{W_{ALC}} = (110 * (ALC)^{-0.1342})^{0.067} = (110 * (279.5)^{-0.1342})^{0.067} = 51.65213126^{0.067}$$

$$= 1.30370989$$

$$I_{DUR}^{W_{DUR}} = (552 * (DUR)^{-0.4488})^{0.069} = (552 * (3822.3)^{-0.4488})^{0.069} = 13.62045829^{0.069}$$

$$= 1.198613749$$

$$I_{CL}^{W_{CL}} = (391 * (CL)^{-0.3480})^{0.079} = (391 * (10498.7)^{-0.3480})^{0.079} = 15.58911979^{0.079}$$

$$= 1.242234614$$

$$I_{CE}^{W_{CE}} = (506 * (CE)^{-0.3315})^{0.084} = (506 * (27724)^{-0.3315})^{0.084} = 17.03506477^{0.084}$$

$$= 1.270037679$$

Si $pH > 7.1$ $\therefore I_{pH}^{W_{pH}} = (10^{3.65-0.2216*(pH)})^{0.082} = (10^{3.65-0.2216*(8.38)})^{0.082}$

$$= 69.17035427^{0.082} = 1.416443978$$

$$I_N^{W_N} = (125 * (N)^{-0.2718})^{0.096} = (125 * (0.173)^{-0.2718})^{0.096} = 201.3766362^{0.096}$$

$$= 1.664573208$$

$$I_T^{W_T} = (10^{2.004-0.0382(T_{aire}-T_{superficie})})^{0.082} = (10^{2.004-0.0382(30-27)})^{0.082}$$

$$= 131.4014023^{0.082} = 1.493140012$$

$$\therefore ICA = 1.343355147 * 1.583490375 * 1.519479948 * 1.664778681 * 1.30370989$$

$$* 1.198613749 * 1.242234614 * 1.270037679 * 1.416443978$$

$$* 1.664573208 * 1.493140012 = \mathbf{46.703}$$

Muestra 3

$$ICA = \prod_{i=1}^n I_i^{W_i} = I_{OD}^{W_{OD}} * I_{DBO}^{W_{DBO}} * I_{COLI}^{W_{COLI}} * I_{ECOLI}^{W_{ECOLI}} * I_{ALC}^{W_{ALC}} * I_{DUR}^{W_{DUR}} * I_{CL}^{W_{CL}} * I_{CE}^{W_{CE}} * I_{pH}^{W_{pH}} * I_N^{W_N} * I_T^{W_T}$$

$$I_{OD}^{W_{OD}} = ((0.82 * OD) + 10.56)^{0.116} = ((0.82 * 2.290076336) + 10.56)^{0.116}$$

$$= 12.4378626^{0.116} = 1.340757886$$

$$\begin{aligned}
I_{DBO}^{WDBO} &= (108 * DBO^{-0.3494})^{0.104} = (108 * 1.6^{-0.3494})^{0.104} = 91.64404155^{0.104} \\
&= 1.596322797 \\
I_{COLI}^{WCOLI} &= (136 * COLI^{-0.1311})^{0.096} = (136 * 40^{-0.1311})^{0.096} = 83.8511153^{0.096} \\
&= 1.530225325 \\
I_{ECOLI}^{WECOLI} &= (106 * (ECOLI)^{-0.1286})^{0.124} = (106 * (15)^{-0.1286})^{0.124} = 74.82737831^{0.124} \\
&= 1.706111827 \\
I_{ALC}^{WALC} &= (110 * (ALC)^{-0.1342})^{0.067} = (110 * (290.9)^{-0.1342})^{0.067} = 51.37576217^{0.067} \\
&= 1.303239704 \\
I_{DUR}^{WDUR} &= (552 * (DUR)^{-0.4488})^{0.069} = (552 * (3512.4)^{-0.4488})^{0.069} = 14.14724963^{0.069} \\
&= 1.201773155 \\
I_{CL}^{WCL} &= (391 * (CL)^{-0.3480})^{0.079} = (391 * (11453.1)^{-0.3480})^{0.079} = 15.12416947^{0.079} \\
&= 1.239267597 \\
I_{CE}^{WCE} &= (506 * (CE)^{-0.3315})^{0.084} = (506 * (28211.3)^{-0.3315})^{0.084} = 16.93695211^{0.084} \\
&= 1.26941933 \\
Si\ pH > 7.1 : I_{pH}^{WpH} &= (10^{3.65-0.2216*(pH)})^{0.082} = (10^{3.65-0.2216*(8.45)})^{0.082} \\
&= 66.80362047^{0.082} = 1.412397316 \\
I_N^{WN} &= (125 * (N)^{-0.2718})^{0.096} = (125 * (0.103)^{-0.2718})^{0.096} = 231.8573433^{0.096} \\
&= 1.68726138 \\
I_T^{WT} &= (10^{2.004-0.0382(T_{aire}-T_{superficie})})^{0.082} = (10^{2.004-0.0382(29-27)})^{0.082} \\
&= 120.3372271^{0.082} = 1.482386209 \\
\therefore ICA &= 1.340757886 * 1.596322797 * 1.530225325 * 1.706111827 * 1.303239704 \\
&* 1.201773155 * 1.239267597 * 1.26941933 * 1.412397316 \\
&* 1.68726138 * 1.482386209 = \mathbf{48.635}
\end{aligned}$$

Muestra 4

$$\begin{aligned}
ICA &= \prod_{i=1}^n I_i^{W_i} = I_{OD}^{W_{OD}} * I_{DBO}^{W_{DBO}} * I_{COLI}^{W_{COLI}} * I_{ECOLI}^{W_{ECOLI}} * I_{ALC}^{W_{ALC}} * I_{DUR}^{W_{DUR}} * I_{CL}^{W_{CL}} * I_{CE}^{W_{CE}} * I_{pH}^{W_{pH}} * I_N^{W_N} \\
&* I_T^{W_T} \\
I_{OD}^{W_{OD}} &= ((0.82 * OD) + 10.56)^{0.116} = ((0.82 * 2.322580645) + 10.56)^{0.116} \\
&= 12.46451613^{0.116} = 1.3410918 \\
I_{DBO}^{W_{DBO}} &= (108 * DBO^{-0.3494})^{0.104} = (108 * 1.2^{-0.3494})^{0.104} = 101.3346165^{0.104} \\
&= 1.613020244 \\
I_{COLI}^{W_{COLI}} &= (136 * COLI^{-0.1311})^{0.096} = (136 * 75000^{-0.1311})^{0.096} = 31.21895608^{0.096} \\
&= 1.391684272 \\
I_{ECOLI}^{W_{ECOLI}} &= (106 * (ECOLI)^{-0.1286})^{0.124} = (106 * (43000)^{-0.1286})^{0.124} \\
&= 26.88077724^{0.124} = 1.50301731
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
I_{ALC}^{W_{ALC}} &= (110 * (ALC)^{-0.1342})^{0.067} = (110 * (372.7)^{-0.1342})^{0.067} = 49.69540733^{0.067} \\
&= 1.300329097 \\
I_{DUR}^{W_{DUR}} &= (552 * (DUR)^{-0.4488})^{0.069} = (552 * (516.5)^{-0.4488})^{0.069} = 33.44360732^{0.069} \\
&= 1.275681053 \\
I_{CL}^{W_{CL}} &= (391 * (CL)^{-0.3480})^{0.079} = (391 * (954.4)^{-0.3480})^{0.079} = 35.91125374^{0.079} \\
&= 1.326859809 \\
I_{CE}^{W_{CE}} &= (506 * (CE)^{-0.3315})^{0.084} = (506 * (1867.7)^{-0.3315})^{0.084} = 41.6593229^{0.084} \\
&= 1.36949541 \\
Si\ pH > 7.1 \therefore I_{pH}^{W_{pH}} &= (10^{3.65-0.2216*(pH)})^{0.082} = (10^{3.65-0.2216*(8.17)})^{0.082} \\
&= 76.78563851^{0.082} = 1.428653661 \\
I_N^{W_N} &= (125 * (N)^{-0.2718})^{0.096} = (125 * (0.782)^{-0.2718})^{0.096} = 133.6399848^{0.096} \\
&= 1.600290408 \\
I_T^{W_T} &= (10^{2.004-0.0382(T_{aire}-T_{superficie})})^{0.082} = (10^{2.004-0.0382(31-28)})^{0.082} \\
&= 131.4014023^{0.082} = 1.493140012 \\
\therefore ICA &= 1.3410918 * 1.613020244 * 1.391684272 * 1.50301731 * 1.300329097 \\
&* 1.275681053 * 1.326859809 * 1.36949541 * 1.428653661 \\
&* 1.600290408 * 1.493140012 = \mathbf{46.560}
\end{aligned}$$

Muestra 5

$$\begin{aligned}
ICA &= \prod_{i=1}^n I_i^{W_i} = I_{OD}^{W_{OD}} * I_{DBO}^{W_{DBO}} * I_{COLI}^{W_{COLI}} * I_{ECOLI}^{W_{ECOLI}} * I_{ALC}^{W_{ALC}} * I_{DUR}^{W_{DUR}} * I_{CL}^{W_{CL}} * I_{CE}^{W_{CE}} * I_{pH}^{W_{pH}} * I_N^{W_N} \\
&* I_T^{W_T} \\
I_{OD}^{W_{OD}} &= ((0.82 * OD) + 10.56)^{0.116} = ((0.82 * 2.872062663) + 10.56)^{0.116} \\
&= 12.91509138^{0.116} = 1.346643178 \\
I_{DBO}^{W_{DBO}} &= (108 * DBO^{-0.3494})^{0.104} = (108 * 1.8^{-0.3494})^{0.104} = 87.94912888^{0.104} \\
&= 1.589536486 \\
I_{COLI}^{W_{COLI}} &= (136 * COLI^{-0.1311})^{0.096} = (136 * 930^{-0.1311})^{0.096} = 55.50994459^{0.096} \\
&= 1.4707842 \\
I_{ECOLI}^{W_{ECOLI}} &= (106 * (ECOLI)^{-0.1286})^{0.124} = (106 * (430)^{-0.1286})^{0.124} = 48.60062137^{0.124} \\
&= 1.617354337 \\
I_{ALC}^{W_{ALC}} &= (110 * (ALC)^{-0.1342})^{0.067} = (110 * (202.3)^{-0.1342})^{0.067} = 53.94212334^{0.067} \\
&= 1.30751798 \\
I_{DUR}^{W_{DUR}} &= (552 * (DUR)^{-0.4488})^{0.069} = (552 * (3822.3)^{-0.4488})^{0.069} = 13.62045829^{0.069} \\
&= 1.198613749 \\
I_{CL}^{W_{CL}} &= (391 * (CL)^{-0.3480})^{0.079} = (391 * (9544.2)^{-0.3480})^{0.079} = 16.11489204^{0.079} \\
&= 1.245493116
\end{aligned}$$

$$I_{CE}^{W_{CE}} = (506 * (CE)^{-0.3315})^{0.084} = (506 * (33073.3)^{-0.3315})^{0.084} = 16.06733007^{0.084} \\ = 1.263790492$$

$$Si\ pH > 7.1 \therefore I_{pH}^{W_{pH}} = (10^{3.65-0.2216*(pH)})^{0.082} = (10^{3.65-0.2216*(9.16)})^{0.082} \\ = 46.92885952^{0.082} = 1.372000262$$

$$I_N^{W_N} = (125 * (N)^{-0.2718})^{0.096} = (125 * (0.03)^{-0.2718})^{0.096} = 324.2115302^{0.096} \\ = 1.742481415$$

$$I_T^{W_T} = (10^{2.004-0.0382(T_{aire}-T_{superficie})})^{0.082} = (10^{2.004-0.0382(31-29)})^{0.082} \\ = 120.3372271^{0.082} = 1.482386209$$

$$\therefore ICA = 1.346643178 * 1.589536486 * 1.4707842 * 1.617354337 * 1.30751798 \\ * 1.198613749 * 1.245493116 * 1.263790492 * 1.372000262 \\ * 1.742481415 * 1.482386209 = \mathbf{44.515}$$

Muestra 6

$$ICA = \prod_{i=1}^n I_i^{W_i} = I_{OD}^{W_{OD}} * I_{DBO}^{W_{DBO}} * I_{COLI}^{W_{COLI}} * I_{ECOLI}^{W_{ECOLI}} * I_{ALC}^{W_{ALC}} * I_{DUR}^{W_{DUR}} * I_{CL}^{W_{CL}} * I_{CE}^{W_{CE}} * I_{pH}^{W_{pH}} * I_N^{W_N} \\ * I_T^{W_T}$$

$$I_{OD}^{W_{OD}} = ((0.82 * OD) + 10.56)^{0.116} = ((0.82 * 2.544529262) + 10.56)^{0.116} \\ = 12.64651399^{0.116} = 1.343355147$$

$$I_{DBO}^{W_{DBO}} = (108 * DBO^{-0.3494})^{0.104} = (108 * 2.1^{-0.3494})^{0.104} = 83.33747424^{0.104} \\ = 1.580698348$$

$$I_{COLI}^{W_{COLI}} = (136 * COLI^{-0.1311})^{0.096} = (136 * 1650^{-0.1311})^{0.096} = 51.490459^{0.096} \\ = 1.46020374$$

$$I_{ECOLI}^{W_{ECOLI}} = (106 * (ECOLI)^{-0.1286})^{0.124} = (106 * (760)^{-0.1286})^{0.124} = 45.16824716^{0.124} \\ = 1.602755571$$

$$I_{ALC}^{W_{ALC}} = (110 * (ALC)^{-0.1342})^{0.067} = (110 * (230.4)^{-0.1342})^{0.067} = 53.0087468^{0.067} \\ = 1.305984396$$

$$I_{DUR}^{W_{DUR}} = (552 * (DUR)^{-0.4488})^{0.069} = (552 * (3603.5)^{-0.4488})^{0.069} = 13.98560024^{0.069} \\ = 1.200815479$$

$$I_{CL}^{W_{CL}} = (391 * (CL)^{-0.3480})^{0.079} = (391 * (6026.2)^{-0.3480})^{0.079} = 18.91130962^{0.079} \\ = 1.261332737$$

$$I_{CE}^{W_{CE}} = (506 * (CE)^{-0.3315})^{0.084} = (506 * (28564)^{-0.3315})^{0.084} = 16.86733654^{0.084} \\ = 1.26897859$$

$$Si\ pH > 7.1 \therefore I_{pH}^{W_{pH}} = (10^{3.65-0.2216*(pH)})^{0.082} = (10^{3.65-0.2216*(8.56)})^{0.082} \\ = 63.24701013^{0.082} = 1.406061622$$

$$I_N^{W_N} = (125 * (N)^{-0.2718})^{0.096} = (125 * (0.65)^{-0.2718})^{0.096} = 140.52712554^{0.096} \\ = 1.608033157$$

$$I_T^{WT} = (10^{2.004-0.0382(T_{aire}-T_{superficie})})^{0.082} = (10^{2.004-0.0382(30-27)})^{0.082}$$

$$= 131.4014023^{0.082} = 1.493140012$$

$$\therefore ICA = 1.343355147 * 1.580698348 * 1.46020374 * 1.602755571 * 1.305984396$$

$$* 1.200815479 * 1.261332737 * 1.26897859 * 1.406061622$$

$$* 1.608033157 * 1.493140012 = \mathbf{42.113}$$

Muestra 7

$$ICA = \prod_{i=1}^n I_i^{W_i} = I_{OD}^{W_{OD}} * I_{DBO}^{W_{DBO}} * I_{COLI}^{W_{COLI}} * I_{ECOLI}^{W_{ECOLI}} * I_{ALC}^{W_{ALC}} * I_{DUR}^{W_{DUR}} * I_{CL}^{W_{CL}} * I_{CE}^{W_{CE}} * I_{pH}^{W_{pH}} * I_N^{W_N}$$

$$* I_T^{W_T}$$

$$I_{OD}^{W_{OD}} = ((0.82 * OD) + 10.56)^{0.116} = ((0.82 * 2.322580645) + 10.56)^{0.116}$$

$$= 12.46451613^{0.116} = 1.3410918$$

$$I_{DBO}^{W_{DBO}} = (108 * DBO^{-0.3494})^{0.104} = (108 * 2.3^{-0.3494})^{0.104} = 80.73020394^{0.104}$$

$$= 1.57550561$$

$$I_{COLI}^{W_{COLI}} = (136 * COLI^{-0.1311})^{0.096} = (136 * 830^{-0.1311})^{0.096} = 56.34401233^{0.096}$$

$$= 1.47289259$$

$$I_{ECOLI}^{W_{ECOLI}} = (106 * (ECOLI)^{-0.1286})^{0.124} = (106 * (370)^{-0.1286})^{0.124} = 49.54902619^{0.124}$$

$$= 1.621228624$$

$$I_{ALC}^{W_{ALC}} = (110 * (ALC)^{-0.1342})^{0.067} = (110 * (298.4)^{-0.1342})^{0.067} = 51.20055677^{0.067}$$

$$= 1.302940404$$

$$I_{DUR}^{W_{DUR}} = (552 * (DUR)^{-0.4488})^{0.069} = (552 * (3812.8)^{-0.4488})^{0.069} = 13.6356787^{0.069}$$

$$= 1.198706616$$

$$I_{CL}^{W_{CL}} = (391 * (CL)^{-0.3480})^{0.079} = (391 * (6987.4)^{-0.3480})^{0.079} = 17.9620097^{0.079}$$

$$= 1.256212901$$

$$I_{CE}^{W_{CE}} = (506 * (CE)^{-0.3315})^{0.084} = (506 * (26625)^{-0.3315})^{0.084} = 17.26501695^{0.084}$$

$$= 1.271474254$$

Si $pH > 7.1 \therefore I_{pH}^{W_{pH}} = (10^{3.65-0.2216*(pH)})^{0.082} = (10^{3.65-0.2216*(8.29)})^{0.082}$

$$= 72.3369178^{0.082} = 1.42166387$$

$$I_N^{W_N} = (125 * (N)^{-0.2718})^{0.096} = (125 * (0.078)^{-0.2718})^{0.096} = 250.0568177^{0.096}$$

$$= 1.699552405$$

$$I_T^{W_T} = (10^{2.004-0.0382(T_{aire}-T_{superficie})})^{0.082} = (10^{2.004-0.0382(30-28)})^{0.082}$$

$$= 120.3372271^{0.082} = 1.482386209$$

$$\therefore ICA = 1.3410918 * 1.57550561 * 1.47289259 * 1.621228624 * 1.302940404$$

$$* 1.198706616 * 1.256212901 * 1.271474254 * 1.42166387$$

$$* 1.699552405 * 1.482386209 = \mathbf{45.081}$$