

2003 B – 2009 A

300445878

UNIVERSIDAD DE GUADALAJARA

**CENTRO UNIVERSITARIO DE CIENCIAS BIOLÓGICAS Y
AGROPECUARIAS**

DIVISIÓN DE CIENCIAS BIOLÓGICAS Y AMBIENTALES



**Estudios de la contaminación de los recursos hídricos
en la cuenca del Rio Blanco, previos a la construcción
de una hidroeléctrica en Veracruz, México.**

**TRABAJO DE TITULACIÓN EN LA MODALIDAD DE TESIS QUE
PARA OBTENER EL TÍTULO DE:**

LICENCIADO EN BIOLOGÍA

PRESENTA:

CINTIHA BARAJAS GARCÍA

ZAPOPAN JALISCO; JULIO 2010

TESIS/CUCBA



Universidad de Guadalajara
Centro Universitario de Ciencias Biológicas y Agropecuarias

Coordinación de carrera de Licenciado en Biología

C. Cintia Barajas García
Presente.

Manifestamos a usted que con esta fecha ha sido aprobado su tema de titulación en la modalidad de: **TESIS E INFORMES** opción **TESIS** con el título: "Estudios de la contaminación de los recursos hídricos en la cuenca del Río Blanco, previos a la construcción de una hidroeléctrica en Veracruz, México." para obtener la Licenciatura en Biología.

Al mismo tiempo le informamos que ha sido aceptado como Director de dicho trabajo a: **Dr. Javier García Velasco** y como asesor al **M.C. Sergio Honorio Contreras Rodríguez**.

Sin más por el momento, reciba un cordial saludo.

ATENTAMENTE
"PIENSA Y TRABAJA".
"2009, Año del Bicentenario de Charles Darwin"
Las Agujas, Zapopan, Jal., 19 de octubre de 2009.




DRA. GEORGINA ADRIANA QUIROZ ROCHA
PRESIDENTE DEL COMITÉ DE TITULACIÓN


BIOL. MARGARITO MORA NÚÑEZ
SECRETARIO DEL COMITÉ DE TITULACIÓN

DRA. TERESA DE JESÚS ACEVES ESQUIVIAS
 PRESIDENTE DEL COMITÉ DE TITULACIÓN
 LICENCIATURA EN BIOLOGÍA
 CUCBA
 P R E S E N T E

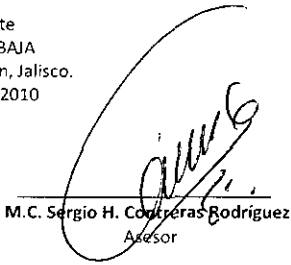
Nos permitimos informar a usted que habiendo revisado el trabajo de titulación, modalidad **TESIS E INFORMES**, opción **TESIS** con el título: **"Estudios de la contaminación de los recursos hídricos de la cuenca del Río Blanco, previos a la construcción de una hidroeléctrica en Veracruz, México."** que realizó la pasante **Cintia Barajas Garcia**, con número de código **300445878** consideramos que ha quedado debidamente concluido, por lo que ponemos a su consideración el escrito final para autorizar su impresión.

Sin otro particular quedamos de usted con un cordial saludo.

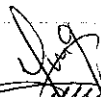


Atentamente
PIENSA Y TRABAJA
 Las agujas, Zapopan, Jalisco.
 19 de julio del 2010

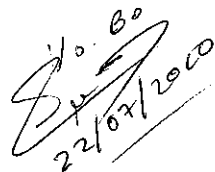


Dr. Javier García Velasco
 Director del trabajo



M.C. Sergio H. Contreras Rodríguez
 Asesor

Nombre completo de los Sinodales asignados por el Comité de Titulación	Firma de aprobado	Fecha de aprobación
Martha Georgina Orozco M		20 Julio 2010
Adolfo Cárdenas Ontivero		20-07-10
MA. CRUZ ARRIAGA QUIROGA		22/07/10


 22/07/2010

AGRADECIMIENTOS

A Dios, por darme la oportunidad de lograr llegar a concluir esta etapa de mi vida y comenzar una nueva.

Al Dr. Javier García Velasco, por darme esta gran oportunidad, por sus enseñanzas, su valioso apoyo, asesoría y paciencia en la realización de este trabajo de tesis.

A Ing. Contreras por su apoyo, paciencia y valiosa asesoría en este trabajo de tesis.

A Ana luz de la torre por ser mi amiga y acompañarme en los momentos más difíciles y estar siempre hay cuando la necesitaba.

A Beatriz Rodríguez Pérez por su amistad, apoyo, paciencia y valiosa asesoría en este trabajo de tesis.

A mis sinodales, por su apoyo y consejos.

A Frania, María, Angélica, Miriam y Guadalupe por su amistad y consejos en esta etapa de mi vida.

A todos y cada uno de estas personas, que contribuyeron para la culminación de este trabajo mis más sinceros agradecimientos.

He llegado al final de este camino y en mi han quedado marcadas huellas profundas de éste recorrido.

*A mis padres: J. Félix y Ma. De los Ángeles por todo el amor,
Apoyo que me han dado.*

*A mis hermanos: Iliana, Angel y Félix por el apoyo y ser mis grandes
amigos.*

*A mi Abuelita por darme amor, comprensión, y no perder la fe en todo este
tiempo.*

*A toda mi familia por estar hay en los momentos más difíciles y fáciles
apoyándome y motivándome a seguir*

*A mis mejores amigos que aunque ya no están entre nosotros sé que no me
abandonan y estarán cerca de mi en todo momento Lily y Diego siempre los
llevaré en mi corazón.*

Sin ustedes no lo habría logrado ¡Gracias!

Contenido

I. INTRODUCCION	7
1.1 Los estudios de impacto ambiental	7
1.2 Impacto Ambiental y Tipos	9
1.3 La Calidad Del Agua	11
1.4 Principales indicadores de calidad del agua	12
1.5 Principales grupos de contaminantes en el agua	14
1.6 La calidad del agua en México	20
II. ANTECEDENTES	24
2.1 Descripción de la obra hidráulica a construir	27
III. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	29
IV. OBJETIVOS	30
V. METODOLOGÍA	31
5.1 Localización del área de estudio	32
5.2 Protocolo de muestreo de agua	33
5.3 Analítica de agua	38
5.4 Protocolo de muestreo y análisis de plancton	40
5.5 Calculo del índice de calidad del agua	42
5.6 Legislación utilizada en el análisis y la discusión de resultados	42
VI. RESULTADOS	43
6.1 Datos meteorológicos y de campo	43
6.2 Resultados de análisis microbiológicos	49
6.3 Resultados de fisicoquímicos	51
6.4 Resultados de plaguicidas y metales pesados	61
6.5 Resultados de nutrientes y DQO	67
6.6 Resultados de índice de calidad del agua	71
6.7 Porcentaje de parámetros fuera de norma	72
6.8 Resultados del estudio de plancton	79
6.9 Limitantes de uso en el agua estudiada	86
VII DISCUSIÓN	89
IX CONCLUSIONES	92
X BIBLIOGRAFÍA	93
XI ANEXOS	98

11.1 Anexo fotográfico de muestreo e instrumentación.....	98
11.1 Anexo fotográfico de organismos fitoplanctonicos y zooplanctonicos	124
11.3 Procedimiento para el cálculo del índice de calidad del agua (ICA)	132

INDICE DE TABLAS

Tabla 1 tipos de impactos que se pueden presentar en un estudio de impacto ambiental.	10
Tabla 2. Químicos Inorgánicos contaminantes del agua.....	14
Tabla 3. Químicos orgánicos contaminantes del agua.....	15
Tabla 4. Microorganismos contaminantes del agua	16
Tabla 5. Radio nucleídos contaminantes del agua	16
Tabla 6. Contaminantes, procesos y fuentes que afectan la calidad del agua	16
Tabla 7 Regiones y cuencas en el Estado de Veracruz.	24
Tabla 8 Ubicación de las estaciones de muestreo estudiadas.	32
Tabla 9 Especificaciones técnicas de muestreo y preservación del agua (NOM-AA-14-1980). Abreviaturas; p (plástico), pH (potencial de hidrogeno), s (vidrio enjuagado con solventes orgánicos; interior de la tapa del envase recubierta con teflón), v (vidrio) ne (no especificado en la norma).	34
Tabla 10. Parámetros evaluados en agua.....	38
Tabla 11 calculo cuantitativo de fitoplancton.....	41
Tabla 12 Georreferenciación	43
Tabla 13 Datos meteorológicos.....	44
Tabla 14 Datos tomados en campo.....	45
Tabla 15 Análisis microbiológico.	49
Tabla 16 Resultados Fisicoquímicos (mg/l).....	51
Tabla 17 Resultados de metales pesados	61
Tabla 18 Resultados de plaguicidas (mg/l).....	66
Tabla 19 Nutrientes (mg/l).....	67
Tabla 20. Resultados de Índice de Calidad del Agua	71
Tabla 21 Distribución de grupos taxonómicos de zooplancton de todos los sitios de muestreo.	86
Tabla 22 Limitantes de uso en la calidad del agua estudiada.	87
Tabla 23 Clasificación de la calidad del agua encontrada en el estudio en forma de ICA.	91
Tabla 24 Normalización de aluminio, arsénico y cadmio	133
Tabla 25 Normalización de Cromo hexavalente, color y conductividad.....	134
Tabla 26 Normalización de pH, dureza total y oxígeno disuelto	135
Tabla 27 Normalización de coliformes totales y fecales y cloruros.....	136
Tabla 28 Normalización de temperatura, turbiedad y sólidos disueltos.....	137
Tabla 29 Normalización de mercurio, hierro y manganeso	138

Tabla 30 Normalización de plomo.....	138
Tabla 31 Peso a asignar a los parámetros.....	139

INDICE DE FIGURAS

Figura 1 Calidad del agua según indicador DBO5 (2007).....	23
Figura 2 Regiones y cuencas en el Estado de Veracruz.....	25
Figura 3 Descripción de las obras a construir en el proyecto hidroeléctrico El Naranjal".	28
Figura 4 Diagrama de flujo.....	31
Figura 5 Ubicación por imagen satelital de las estaciones de muestreo.	33
Figura 6. pH.....	46
Figura 7. Temperatura del agua.....	46
Figura 8. Conductividad.....	47
Figura 9. Salinidad.....	47
Figura 10. Oxígeno disuelto.....	48
Figura 11. Coliformes totales.....	50
Figura 12. Coliformes fecales.....	50
Figura 13. Dureza total.....	53
Figura 14. Cloruros.....	53
Figura 15. Fenoles.....	54
Figura 16. Nitrógeno amoniacal.....	54
Figura 17. Fluoruros.....	55
Figura 18. Sulfatos.....	55
Figura 19. Sólidos sedimentables.....	56
Figura 20. Sólidos totales.....	56
Figura 21. Sólidos suspendidos totales.....	57
Figura 22. Sólidos disueltos totales.....	57
Figura 23. Sustancias Activas al Azul de Metileno (Detergentes).....	58
Figura 24. Color.....	58
Figura 25. Turbiedad.....	59
Figura 26. Clorofila.....	59
Figura 27. Grasas y aceites.....	60
Figura 28. Alcalinidad total.....	60
Figura 29. Aluminio.....	62
Figura 30. Bario.....	62
Figura 31. Níquel.....	63
Figura 32. Hierro.....	63
Figura 33. Manganeseo.....	64
Figura 34. Silicio.....	64
Figura 35. Mercurio.....	65
Figura 36. Sodio.....	65
Figura 37. Fósforo.....	68

Figura 38. DQO	68
Figura 39. Nitratos	69
Figura 40. Nitritos	69
Figura 41. Nitrógeno total	70
Figura 42. Fosfatos.....	70
Figura 43. Índice de calidad del Agua (ICA).....	71
Figura 44. Porcentaje de parámetros fuera de norma en Tecamalucan.....	72
Figura 45. Porcentaje de parámetros fuera de norma en P.H. Moctezuma.....	73
Figura 46. Porcentaje de parámetros fuera de norma en Metlac.....	74
Figura 47. Porcentaje de parámetros fuera de norma en Juan Antonio.....	75
Figura 48. Porcentaje de parámetros fuera de norma en Tequecholapa.....	76
Figura 49. Porcentaje de parámetros fuera de norma en La Laja.....	77
Figura 50. Porcentaje de parámetros fuera de norma en Paso del Rosario.....	78
Figura 51. Distribución de grupos taxonómicos de fitoplancton Tecamalucan.....	79
Figura 52 Análisis cuantitativo fitoplanctónico de la muestra 1 Tecamalucan.....	79
Figura 53. Distribución de grupos taxonómicos de fitoplancton P.H. Moctezuma.....	80
Figura 54 Análisis cuantitativo fitoplanctónico de la muestra 2 P.H. Moctezuma.....	80
Figura 55. Distribución de grupos taxonómicos de fitoplancton Metlac.....	81
Figura 56 Análisis cuantitativo fitoplanctónico de la muestra 3 Metlac.....	81
Figura 57. Distribución de grupos taxonómicos de fitoplancton Juan Antonio.....	82
Figura 58 Análisis cuantitativo fitoplanctónico de la muestra 4 Juan Antonio.....	82
Figura 59. Distribución de grupos taxonómicos de fitoplancton Tequecholapa.....	83
Figura 60 Análisis cuantitativo fitoplanctónico de la muestra 5 Tequecholapa.....	83
Figura 61. Distribución de grupos taxonómicos de fitoplancton La Laja.....	84
Figura 62 Análisis cuantitativo fitoplanctónico de la muestra 6 La Laja.....	84
Figura 63. Distribución de grupos taxonómicos de fitoplancton Paso del Rosario.....	85
Figura 64 Análisis cuantitativo fitoplanctónico de la muestra 7 Paso del Rosario.....	85
Figura 65 criterios de clasificación de la calidad del agua.....	87
Figura 66 Clasificación del agua según el ICA. CNA.....	90
Figura 67. Inicio de muestreo Río Blanco Veracruz.....	98
Figura 68 Toma de muestra estación Tecamalucan.....	98
Figura 69. Medición de transparencia en Tecamalucan.....	99
Figura 70. Estación Tecamalucan.....	99
Figura 71. Medición de datos fisicoquímicos.....	100
Figura 72. Filtrado de plancton.....	100
Figura 73. Muestra estación Hidroeléctrica Moctezuma.....	101
Figura 74. Río Blanco.....	101
Figura 75.Espuma abundante en Hidroeléctrica Moctezuma.....	102
Figura 76.Toma de muestra en estación Hidroeléctrica Moctezuma.....	102
Figura 77. Toma de muestras para análisis microbiológico.....	103
Figura 78. Toma de muestras de sedimentos.....	103
Figura 79.Presencia de macroinvertebrados planarias y quironomidos.....	104
Figura 80. Estación Hidroeléctrica Moctezuma.....	104
Figura 81. Muestra estación Metlac.....	105
Figura 82. Muestra estación Metlac.....	105
Figura 83. Traslado de material en estación Metlac.....	106

Figura 84. Filtrado de plancton muestra estacion Metiac.....	106
Figura 85. Muestra estación Juan Antonio.....	107
Figura 86. Muestra estación Juan Antonio.....	107
Figura 87. Toma de muestra estación Juan Antonio.....	108
Figura 88. Toma de muestra para análisis microbiológico.....	108
Figura 89. Filtrado de plancton estación Juan Antonio.....	109
Figura 90. Filtrado de plancton Juan Antonio.....	109
Figura 91. Muestra estación Tequecholapa.....	110
Figura 92. Toma de muestra para oxígeno disuelto.....	110
Figura 93. Toma de muestra para oxígeno disuelto en estación Tequecholapa.....	111
Figura 94. Toma de muestra estación Tequecholapa.....	111
Figura 95. Toma de parámetros fisicoquímicos en estación Tequecholapa.....	112
Figura 96. Muestra estación Paso del Rosario.....	112
Figura 97. Toma de muestra para análisis microbiológico.....	113
Figura 98. Toma de clorofila muestra en estación pasó del rosario.....	113
Figura 99. Toma de parámetros fisicoquímicos.....	114
Figura 100. Toma de muestra estación La Laja.....	114
Figura 101. Toma de datos meteorológicos muestra en estación la laja.....	115
Figura 102. Muestra estación La Laja.....	115
Figura 103. Filtrado de plancton muestra en estación la laja.....	116
Figura 104. Toma de sedimentos en estación la laja.....	116
Figura 105. Muestra estación La Laja.....	117
Figura 106. Entrega de muestra para analisis microbiologico, nutrientes, clorofila.....	117
Figura 107 Medicion de color, Aqua Tester.....	118
Figura 108 Turbidímetro.....	118
Figura 109 Espectrofotometro para medicion de fluoruros.....	119
Figura 110 Equipo para análisis de nitrógeno.....	119
Figura 111 Espectrofotómetro de masas ICP.....	120
Figura 112 Analisis de clóruos.....	120
Figura 113 Análisis de nitritos y nitratos.....	121
Figura 114 Análisis de fenoles.....	121
Figura 115 Entrega de muestras al laboratorio de Centro de Estudios y Proyectos Ambientales (CEPA).....	122
Figura 116 Cromatógrafo de líquidos.....	122
Figura 117 Cromatógrafo de gases.....	123
Figura 118 Navicula sp.....	124
Figura 119. Spirogyra condensata.....	124
Figura 120. Ulothrix sp.....	125
Figura 121. Chlorella sp.....	125
Figura 122. Microcystis aeruginosa.....	126
Figura 123. Synedra ulna.....	126
Figura 124. Chlorophyta filamentosas.....	127
Figura 125. Vorticella sp.....	127
Figura 126 Closterium sp.....	128
Figura 127. Euglena sp.....	128
Figura 128. Tardigrado.....	129

Figura 129. Nostoc sp.	129
Figura 130. Denticula sp.	130
Figura 131. Oscillatoria sp.	130
Figura 132. Euglenacus	131
Figura 133. Batrachospermun	131
Figura 134 Clasificaciones de los usos del agua en base al valor de Índice de Calidad Del Agua (ICA)	140

I. INTRODUCCION

1.1 Los estudios de impacto ambiental

A través de la historia de la humanidad, la acción del hombre sobre la naturaleza ha generado e inducido modificaciones de las que por mucho tiempo ha ignorado su efecto. Los productos de la ciencia y la industria (procesos de extracción-explotación de los recursos naturales y procesos científicos que generan su conocimiento, transformación y síntesis artificial) constituyen una cadena de aciertos y errores que la sociedad padece o disfruta, sin mayor conciencia de ello.

De pronto resulta obvio que ciertas prácticas de aprovechamiento de la naturaleza y sus riquezas, conllevan efectos que alteran la estabilidad de los ecosistemas, afectan la sustentabilidad de los recursos naturales y actúan sobre la salud de los seres vivos en forma negativa.

En México, la Evaluación del Impacto Ambiental (EIA) es uno de los instrumentos de la política ambiental con aplicación específica e incidencia directa en las actividades productivas, que permite plantear opciones de desarrollo que sean compatibles con la preservación del medio ambiente y la conservación de los recursos naturales. A lo largo de las dos últimas décadas ha logrado constituirse en una de las herramientas esenciales para prevenir, mitigar y restaurar los daños al ambiente y a los recursos renovables del país y ha evolucionado con el propósito de garantizar un enfoque preventivo que ofrezca certeza pública acerca de la viabilidad ambiental de diversos proyectos de desarrollo.

La EIA tiene sus bases jurídicas en las disposiciones que al respecto establece la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente y su Reglamento en Materia de Evaluación del Impacto Ambiental. Así, la EIA (2000) está dirigida a efectuar el análisis detallado de los diversos proyectos de desarrollo y del sitio donde se pretenden realizar, con el propósito de identificar y cuantificar los impactos ambientales que puede ocasionar su ejecución. De esta manera, es posible establecer la factibilidad ambiental del proyecto (análisis de costo-beneficio y de viabilidad ambiental) y, en su caso, determinar las condiciones para su ejecución y las medidas de prevención y mitigación de los impactos ambientales, que será necesario tomar para evitar o reducir al mínimo los efectos negativos sobre el ambiente.

Aunque este instrumento de la política ambiental es relativamente nuevo, con el tiempo ha sufrido modificaciones de índole técnica, administrativa, jurídica y conceptual. También ha ido cambiando en forma sustancial su importancia dentro del esquema general de protección de los recursos naturales de México, lo cual se refleja en la estructura de los organismos que han sido responsables de aplicarlo.

En la actualidad, la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) es la dependencia de la administración pública federal responsable de la ejecución de la evaluación del impacto ambiental, cuyo Reglamento Interior, en su artículo 27, atribuye a la Dirección General de Impacto y Riesgo Ambiental la responsabilidad de “evaluar y resolver las manifestaciones de impacto ambiental y los estudios de riesgo de las obras o actividades competencia de la Federación y expedir, cuando proceda, las autorizaciones para su realización”. Así mismo, el Reglamento Interior de la SEMARNAT en su artículo 39, fracción IX, atribuye a las Delegaciones Federales, dentro de su circunscripción territorial, la responsabilidad de llevar a cabo el procedimiento de EIA “de conformidad con lo previsto en las disposiciones jurídicas aplicables, siguiendo los lineamientos internos de carácter técnico y administrativo, sistemas y procedimientos establecidos por las unidades administrativas centrales de la Secretaría”.

En este sentido, la EIA es una de las principales herramientas preventivas para el manejo de estrategias en la administración del medio ambiente y se trata de un procedimiento administrativo para la revisión y el control de los proyectos por realizar, que se respalda en la ejecución de estudios técnicos ambientales. Actualmente este procedimiento se realiza a través de la evaluación y resolución de las Manifestaciones de Impacto Ambiental (en sus modalidades particular y regional), así como, de los Informes Preventivos de las obras o actividades señaladas en el artículo 28 de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente (1988).

La Evaluación de Impacto Ambiental (EIA) es uno de los instrumentos de política ambiental que existen en México para plantear opciones de desarrollo que sean compatibles con la preservación del ambiente y la conservación de los recursos naturales. Este instrumento en específico es de carácter preventivo y, por lo tanto, permite a la autoridad, a través de la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT), establecer las condiciones a las que se sujetarán las obras y actividades que puedan causar desequilibrios

ecológicos o rebasar los límites y condiciones previstas en las disposiciones aplicables.(SEMARNAT, 2010).

1.2 Impacto Ambiental y Tipos

Se define impacto ambiental como la “Modificación del ambiente ocasionada por la acción del hombre”. El instrumento Evaluación de Impacto Ambiental (EIA) se orienta a los impactos ambientales que eventualmente podrían ser provocados por obras o actividades que se encuentran en etapa de proyecto (impactos potenciales), o sea que no han sido iniciadas. De aquí el carácter preventivo del instrumento. Existen diversos tipos de impactos ambientales, pero fundamentalmente se pueden clasificar, de acuerdo a su origen, en los provocados por:

1. El aprovechamiento de recursos naturales ya sean renovables, tales como el aprovechamiento forestal o la pesca; o no renovables, tales como la extracción del petróleo o del carbón.
2. Contaminación. Todos los proyectos que producen algún residuo (peligroso o no), emiten gases a la atmósfera o vierten líquidos al ambiente.
3. Ocupación del territorio. Los proyectos que al ocupar un territorio modifican las condiciones naturales por acciones tales como desmonte, compactación del suelo y otras.

Asimismo, existen diversas clasificaciones de impactos ambientales de acuerdo a sus atributos; los ejemplos se presentan en la tabla1:

Tabla 1 tipos de impactos que se pueden presentar en un estudio de impacto ambiental.

Positivo o Negativo	En términos del efecto resultante en el ambiente.
Directo o Indirecto	Si es causado por alguna acción del proyecto o es resultado del efecto producido por la acción.
Acumulativo	Es el efecto que resulta de la suma de impactos ocurridos en el pasado o que están ocurriendo en el presente.
Sinérgico	Se produce cuando el efecto conjunto de impactos supone una incidencia mayor que la suma de los impactos individuales.
Residual	El que persiste después de la aplicación de medidas de mitigación.
Temporal o Permanente	Si por un período determinado o es definitivo.
Reversible o Irreversible	Dependiendo de la posibilidad de regresar a las condiciones originales.
Continuo o Periódico	Dependiendo del período en que se manifieste.

Fuente: SEMARNAT (2010)

La SEMARNAT emitió una guía para elaborar la manifestación de impacto ambiental modalidad regional de proyectos de generación, transmisión y transformación de energía eléctrica, en la cual en su contenido se detallan los aspectos a incluir, y que de manera simplificada son:

1. Datos generales del proyecto.
2. Descripción de las obras o actividades y, en su caso, de los programas o planes parciales de desarrollo.
3. Vinculación con los instrumentos de planeación y ordenamientos jurídicos aplicables.
4. Descripción del sistema ambiental regional y señalamiento de tendencias del desarrollo y deterioro de la región.
5. Identificación, descripción y evaluación de los impactos ambientales, acumulativos y residuales del sistema ambiental regional.
6. Estrategias para la prevención y mitigación de impactos ambientales, acumulativos y residuales del sistema ambiental regional.
7. Pronósticos ambientales regionales y, en su caso, evaluación de alternativas.

8. Identificación de los instrumentos metodológicos y elementos que sustentan los resultados de la manifestación de impacto ambiental. (SEMARNAT 2010a)

En este contexto, el trabajo a presentar se inserta como parte del apartado 4, donde la calidad del agua forma parte de la caracterización del medio físico.

1.3 La Calidad Del Agua

Se considera contaminación cuando la composición o el estado del agua están modificados, directa o indirectamente ya sea por el hombre o por eventos de la naturaleza (Hutchinson, 1957). Los nutrientes son indispensables para la vida y la presencia de flora y fauna acuáticas y solo se dan en cuerpos de agua con un cierto nivel trófico. Cuando un río o un lago reciben descargas de aguas residuales o agrícolas, con altos contenidos de nutrientes, puede producirse una fertilización excesiva de las aguas. Ello provoca el envejecimiento prematuro del cuerpo receptor, con la consecuente pérdida de oxígeno disuelto y proliferación de malezas acuáticas (Wetzel, 1981).

El ambiente se daña seriamente debido a la contaminación del agua, muchos organismos que viven y se reproducen en el agua son afectados por la contaminación de la misma, esto puede alternativamente lastimar el ciclo vital de otras especies animales y vegetales acuáticos. Por otro lado es importante señalar que la presencia o ausencia de algunos microorganismos en los sistemas acuáticos son indicadores de calidad o ausencia de la misma, esto es conocido como biomonitoreo (Margalef, 1986).

La calidad del agua interesa desde diversos puntos de vista:

- Utilización fuera del lugar donde se encuentra (agua potable, usos domésticos, urbanos e industriales, riego)
- Utilización del curso o masa de agua (actividades recreativas: baño, remo, pesca, etc.)
- Como medio acuático, que acoge especies animales y vegetales

Por lo tanto, hablar de calidad del agua siempre conlleva a integrar el factor utilización para una correcta ponderación de la expresión, dado que sus características de composición pueden indicar que son aptas para unos usos determinados y excluyentes para otros. Una

definición de la contaminación del agua dice que el medio acuático está contaminado cuando la composición o el estado del agua están modificados, directa o indirectamente, por el hombre, de modo que se presta menos fácilmente a todas o algunas de las utilidades para las que podría servir en su estado natural (Ministerio de Medio ambiente, 2000).

En la determinación de la disponibilidad del agua en un país, no solamente es necesario saber que cantidad de agua está a nuestro alcance en las diferentes fases del ciclo hidrológico, además, deben conocerse las características físico - químicas y bacteriológicas para estar en condiciones de darle uso en diferentes actividades productivas y como agua potable en el abastecimiento a poblaciones (Margalef, 1991).

Los criterios y normas de calidad del agua pueden definirse como los niveles o concentraciones que deben respetarse para un uso determinado, según el instituto nacional de ecología. Existen diversos usos que pueden darse al agua, pero aquellos que involucran criterios de calidad del agua son principalmente los siguientes: abastecimiento para sistemas de agua potable e industrias alimenticias, usos recreativos, conservación de la flora y fauna, uso agrícola e industrial, acuicultura y riego. El manejo de la calidad del agua se mejora con la aplicación de normas de calidad para cuerpos receptores y descargas de aguas residuales.

1.4 Principales indicadores de calidad del agua

La manera de estimar la calidad del agua consiste en la definición de índices o ratios de las medidas de ciertos parámetros físicos, químicos o biológicos en la situación real y en otra situación que se considere admisible o deseable y que viene definida por ciertos estándares o criterios.

Los parámetros físicos más importantes son la transparencia, turbidez, color, olor, sabor, temperatura, conductividad eléctrica y pH.

Los parámetros químicos son los más importantes para definir la calidad del agua, existe una extensa lista de ellos siendo posible agruparles en:

Sustancias presentes naturalmente y sustancias vertidas artificialmente. Como no hay un límite bien marcado entre unas y otras, ya que muchas pueden proceder de ambas fuentes (nitrógeno, fenoles, etc.), las estimaciones deberán hacerse en función de diferencias de concentración y no de los valores absolutos.

Sustancias y caracteres estables, inestables, ligeramente estables. Esta agrupación se usa cuando hay que decidir los análisis u observaciones a realizar in situ en laboratorio móvil o en laboratorio permanente.

Sustancias presentes habitualmente en cantidades grandes (iones más importantes, oxígeno disuelto, etc., y algunos contaminantes, como detergentes y derivados del petróleo) y sustancias presentes en cantidades pequeñas. Las primeras deberán ser analizadas con frecuencia y las segundas solo en la prospección preliminar o en observaciones muy detalladas.

Los parámetros biológicos incluyen diversas especies microbiológicas patógenas al hombre así como virus y diversos invertebrados. Últimamente se utilizan los llamados índices bióticos, que se construyen en función de la presencia de ciertas especies (taxones, más generalmente), que se comportan como indicadores de los niveles de contaminación, y las variaciones de la estructura de la comunidad biótica ocasionadas por la alteración del medio acuático (Ministerio de Medio ambiente, 2000).

La selección de los parámetros se puede determinar en función de los usos del agua, siendo los más comunes el uso doméstico, industrial, riego, recreo y vida acuática, variando el número y tipo de parámetros ya que las exigencias de calidad son diferentes.

Los estándares constituyen un punto de referencia para determinar la calidad del agua, y sufre de frecuentes revisiones a medida que se avanza en el estudio de las consecuencias de la contaminación y son, en todo caso, independientes del propio medio que se pretende estudiar, lo que lleva a pensar en la conveniencia de establecer estándares diferentes para contextos territoriales distintos. Por tales motivos existen diferentes estándares de calidad que cada país, región o comunidad adopta según sus criterios de seguridad establecidos.

En México las especificaciones de contaminantes y de calidad se señalan en los "Criterios Ecológicos de Calidad del Agua CCA-001-89" y la "NOM-127-SSA1-1994 "Salud Ambiental,

Agua Para Uso y Consumo Humano-límites Permisibles de Calidad y Tratamiento a que debe Someterse el Agua para su Potabilización”, (Anexo 1 y 2) los cuales presentan gran similitud con los principales lineamientos que en esta materia existen en diversos países tanto de América como de Europa.

1.5 Principales grupos de contaminantes en el agua

El agua puede recibir diversos agentes contaminantes, en función de múltiples fuentes generadoras, tanto de actividades antrópicas como naturales que se pueden presentar en la cuenca, en las tablas 2 a 5 se enumeran algunos de los principales contaminantes, su principal origen y efectos (Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos, 2000).

En la tabla 6 se describen algunos de los principales procesos de contaminación y sus efectos.

Tabla 2. Químicos Inorgánicos contaminantes del agua

Contaminante	Concentración (mg/L)	Nivel de acción (mg/L)	Exposición que supera el MFL
Arsénico	ninguno ⁵	0.05	Lesiones en la piel; trastornos circulatorios; alto riesgo de cáncer.
Asbestos (fibras >10 micrómetros)	7 millones de fibras por litro (MFL)	7 MFL	Alto riesgo de desarrollar pólipos intestinales benignos.
Cadmio	0.005	0.005	Lesiones renales.
Cromo (total)	0.1	0.1	Dermatitis alérgica.
Cobre	1.3	Nivel de acción=1.3; TT ⁶	Exposición a corto plazo: molestias gastrointestinales. Exposición a largo plazo: lesiones hepáticas o renales. Aquellos con enfermedad de Wilson deben consultar a su médico si la cantidad de cobre en el agua superara el nivel de acción.
Cianuro (como cianuro libre)	0.2	0.2	Lesiones en sistema nervioso o problemas de tiroides
Flúor	4.0	4.0	Enfermedades óseas (dolor y fragilidad ósea) Los niños podrían sufrir de dientes

Plomo	Cero	Nivel de acción=0.015; TT ⁶	manchados Bebés y niños: retardo en desarrollo físico o mental; los niños podrían sufrir leve déficit de atención y de capacidad de aprendizaje. Adultos: trastornos renales; hipertensión
Mercurio (Inorgánico)	0.002	0.002	Lesiones renales
Nitrato (medido como nitrógeno)	10	10	Los bebés de menos de seis meses que tomen agua que contenga mayor concentración de nitratos que el NMC, podrían enfermarse gravemente; si no se los trata, podrían morir. Entre los síntomas se incluye dificultad respiratoria y síndrome de bebé cianótico (azul).
Selenio	0.05	0.05	Caída del cabello o de las uñas; adormecimiento de dedos de manos y pies; problemas circulatorios.
Talio	0.0005	0.002	Caída del cabello; alteración de la sangre; trastornos renales, intestinales o hepáticos.

Fuente: Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos, 2000.

Tabla 3. Químicos orgánicos contaminantes del agua

Contaminante	MNMC (mg/L) ¹	MNC o TT (mg/L) ¹	Posibles efectos sobre la salud por exposición que supere el NMC
Benceno	cero	0.005	Anemia; trombocitopenia; alto riesgo de cáncer.
Benzo(a)pireno	cero	0.0002	Dificultades para la reproducción; alto riesgo de cáncer.
Tetracloruro de carbono	cero	0.005	Trastornos hepáticos; alto riesgo de cáncer.
Glifosato	0.7	0.7	Trastornos renales; dificultades para la reproducción.
Bifenilos policlorados (PCB)	cero	0.0005	Cambios en la piel; problemas de la glándula timo; inmunodeficiencia; dificultades para la reproducción o problemas en el sistema nervioso; alto riesgo de cáncer.
Estireno	0.1	0.1	Trastornos hepáticos, renales o circulatorios.

Fuente: Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos, 2000.

Tabla 4. Microorganismos contaminantes del agua

Contaminante	MNMC (mg/L)	NMC ² o TT ³ (mg/L) ⁴	Posibles efectos sobre la salud por exposición que supera el NMC
<i>Giardia lamblia</i>	cero	TT ⁸	Trastornos gastrointestinales (diarrea, vómitos, dolor abdominal intenso).
<i>Legionella</i>	cero	TT ⁸	Enfermedad de los legionarios, un tipo de neumonía ⁹ .
Coliformes totales (incluye coliformes fecales y <i>E. coli</i>)	cero	5.0% ¹⁰	Por sí mismos, los coliformes no constituyen una amenaza para la salud; su determinación se usa para indicar si pudiera haber presentes otras bacterias posiblemente nocivas ¹¹ .
Virus (entéricos)	cero	TT ⁸	Trastornos gastrointestinales (diarrea, vómitos, retortijones).

Fuente: Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos, 2000.

Tabla 5. Radio nucleídos contaminantes del agua

Contaminante	MNMC (mg/L)	NMC ² o TT ³ (mg/L)	Posibles efectos sobre la salud por exposición que supera el NMC
Emisores de partículas beta y de fotones.	ninguno ⁵	4 milirems por año (mrem/año)	Alto riesgo de cáncer.
Actividad bruta de partículas alfa	ninguno ⁵	15 picocuries por litro (pCi/l)	Alto riesgo de cáncer.
Radio 226 y Radio 228 (combinados)	ninguno ⁵	5 pCi/l	Alto riesgo de cáncer.

Fuente: Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos, 2000.

Tabla 6. Contaminantes, procesos y fuentes que afectan la calidad del agua

Contaminantes y procesos	Descripción	Fuentes
Contaminantes orgánicos	Se descomponen en el agua y disminuyen el oxígeno disuelto, induciendo la eutrofización.	Fuentes industriales, domésticas, asentamientos humanos.
Nutrientes	Incluyen principalmente fosfatos y nitratos, su incremento en el agua induce a una eutrofización. Se originan	Fuentes industriales, agrícolas, domésticas, escurrientía.

	de desechos humanos y animales, detergentes y escorrentía de fertilizantes agrícolas.	
Metales pesados	Se originan principalmente alrededor de centros industriales y mineros. También pueden provenir de actividades militares o a través de lixiviados.	Fuentes industriales, mineras, asentamientos humanos, actividades militares.
Contaminación microbiológica	Desechos domésticos no tratados, criaderos de animales (E. coli, protistos, amebas, etc.).	Fuentes municipales.
Compuestos tóxicos orgánicos	Químicos industriales, plásticos, pesticidas agrícolas, hidrocarburos de petróleo, hidrocarburos poli cíclicos generados de la combustión del petróleo. Compuestos orgánicos persistentes (POP) como químicos disruptores endocrinos, cianotoxinas, compuestos órgano estánicos de pinturas antinscrustantes.	Fuentes industriales, asentamientos humanos, escorrentía agrícola
Químicos traza y compuestos farmacéuticos	Desechos hospitalarios, son sustancias peligrosas no removidos necesariamente por los tratamientos convencionales y han sido reconocidos con disruptores endocrinos y carcinogénicos.	Industria química y farmacia.
Partículas suspendidas	Pueden ser orgánicas o inorgánicas y se originan principalmente de prácticas agrícolas y del cambio en el uso de la tierra, como deforestación, conversión de pendientes en pastizales originando erosión.	Industria, asentamientos humanos, escorrentía agrícola y cambios en el uso de la tierra.
Desechos nucleares	Incluye una gama amplia de radio núcleos utilizados en fines pacíficos.	Plantas nucleares, fallout radioactivo, ensayos nucleares, desechos hospitalarios, desechos industriales
Salinización	Se produce por la presencia de sales en los suelos y drenajes inadecuados. También ocurre por afloramiento de agua proveniente de zonas altas, donde se riega (lavado de sales).	Presencia de sales en los suelos, la que aflora por carecerse de un buen drenaje, irrigación con agua salobre, agua de yacimientos secundarios de petróleo.
Acidificación	Está relacionada con un pH bajo del agua dado por la deposición sulfúrica producida por la actividad industrial y por las emisiones urbanas.	Fuentes industriales y fuentes municipales.

Fuente: Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos, 2000.

Notas a las tablas:

Meta del Nivel Máximo del Contaminante (MNMN) Es el nivel de un contaminante en el agua potable por debajo del cual no se conocen o no se esperan riesgos para la salud. Los MNMN permiten contar con un margen de seguridad y no son objetivos de salud pública obligatorios.

Nivel Máximo del Contaminante (NMC) - Es el máximo nivel permitido de un contaminante en agua potable. Los NMC se establecen tan próximos a los MNMN como sea posible, usando para ello la mejor tecnología de tratamiento disponible y teniendo en cuenta también los costos. Los NMC son normas obligatorias.

Técnica de Tratamiento (TT) Proceso obligatorio, cuya finalidad es reducir el nivel de un contaminante dado en el agua potable.

Las unidades se expresan en miligramos por litro (mg/L) a menos que se indique otra cosa.

Los MNMN se establecieron luego de la Enmienda de 1986 a la Ley de Agua Potable Segura. El estándar para este contaminante se fijó antes de 1986. Por lo tanto, no hay MNMN para este contaminante.

El plomo y el cobre se regulan mediante una Técnica de Tratamiento que exige la implementación de sistemas que controlen el poder corrosivo del agua. El nivel de acción sirve como un aviso para que los sistemas de agua públicos tomen medidas adicionales de tratamiento si los niveles de las muestras de agua superan en más del 10 % los valores permitidos. Para el cobre, el nivel de acción es 1.3 mg/L y para el plomo es 0.015mg/L.

Todos y cada uno de los sistemas de agua deben declarar al estado, por escrito, que si se usa acrilamida y/o epíclorhidrina para tratar agua, la combinación (o producto) de dosis y cantidad de monómero no supera los niveles especificados, a saber: acrilamida = 0.05% dosificada a razón de 1 mg/L (o su equivalente); epíclorhidrina = 0.01% dosificada a razón de 20 mg/L (o su equivalente).

La Regla de Tratamiento de Agua de Superficie requiere que los sistemas que usan agua de superficie o subterránea bajo influencia directa de agua de superficie, (1) desinfecten el agua y (2) filtren el agua o realicen el mismo nivel de tratamiento que aquellos que filtran el agua.

El tratamiento debe reducir los niveles de *Giardia lamblia* (parásito) en un 99.9% y los virus en un 99.99%. La *Legionella* (bacteria) no tiene límite, pero la EPA considera que si se inactivan la *Giardia* y los virus, la *Legionella* también estará controlada. En ningún momento la turbidez (enturbiamiento del agua) puede superar las 5 unidades nefelométricas de turbidez ("NTU") [los sistemas filtrantes deben asegurar que la turbidez no supera 1 NTU (0.5 NTU para filtración convencional o directa) en al menos el 95% de las muestras diarias de cualquier mes]; HPC- no más de 500 colonias por mililitro.

La Enfermedad de los Legionarios se produce cuando las personas susceptibles inhalan un aerosol que contiene *Legionella*, no cuando se bebe agua que contiene *Legionella*, (las duchas, grifos de agua caliente, jacuzzis y equipos de enfriamiento, tales como torres de enfriamiento y acondicionadores de aire, producen aerosoles). Algunos tipos de *Legionella* pueden provocar un tipo de neumonía llamada Enfermedad de los Legionarios. La *Legionella* también puede provocar una enfermedad mucho menos grave llamada fiebre Pontiac. Los síntomas la fiebre Pontiac pueden incluir: dolores musculares, cefaleas, tos, náuseas, mareos y otros síntomas.

En un mes dado, no pueden detectarse más de 5.0% de muestras con coliformes totales positivas. Para sistemas de agua en los que se recogen menos de 40 muestras de rutina por mes, no puede detectarse más de una muestra con coliformes totales positiva. Toda muestra que presente coliformes totales debe analizarse para saber si presenta *E. Coli* o coliformes fecales, a fin de determinar si hubo contacto con heces fecales humanas o de animales (coliformes fecales y *E. Coli* son parte del grupo de coliformes totales).

Coliformes fecales y *E. coli* son bacterias cuya presencia indica que el agua podría estar contaminada con heces fecales humanas o de animales. Los microbios que provocan enfermedades (patógenos) y que están presentes en las heces, causan diarrea, retortijones, náuseas, cefaleas u otros síntomas. Estos patógenos podrían representar un riesgo de salud muy importante para bebés, niños pequeños y personas con sistemas inmunológicos gravemente comprometidos.

1.6 La calidad del agua en México

La calidad ambiental tiene que ver en mucho con la escasez, con la demanda, con el uso del agua, pero también tiene que ver de manera muy importante con las características propias del país, éstas son únicas en esa variabilidad fisiográfica y climática que se presenta y todo esto tiene que ver con la disponibilidad real más que con la disponibilidad teórica de agua en el país.

Como parte de esta fisiografía o de esa climatología se observa como varía la precipitación pluvial en el país. El promedio de escurrimiento de 772 mm, pero dicha precipitación se presenta en México en sólo cinco meses aproximadamente y esto se refleja sobre la cantidad que escurre por los cuerpos de agua, la cantidad que se infiltra, y evidentemente sobre la calidad del recurso. Ortiz, A., 1975

Siguiendo con esto, el 67% de la precipitación se presenta entre julio y septiembre, lo que dificulta enormemente su aprovechamiento y de acuerdo con la precipitación anual promedio que va desde 1941 al 2000 se observa que sólo en la zona del sureste se tiene alta precipitación y en la zona noroeste del país son escasas las precipitaciones que inciden sobre la disponibilidad del recurso.

Esta problemática asociada a la calidad del agua se observa también en términos de disponibilidad. Junto con los datos de una media mundial de 1700 m³ por habitante por año se observa que en México se presenta una variabilidad del orden de 5000 m³, aparentemente México está muy bien pertrechado por la parte de agua, sin embargo cuando se ve la influencia sobre estas cuestiones de la disponibilidad se encuentra que en la zona del noroeste presenta disponibilidades de 100 m³ por habitante por año y en la zona del sureste son 17,000 m³ por habitante por año. En otras palabras, el promedio de 5000 m³ por habitante por año, no se toma en cuenta todas estas variabilidades de la problemática asociada. (De la Lanza G. y J. L. García. 2002).

Por otra parte, la presión que se tiene sobre el recurso es muy alta hacia el norte- noroeste y en cambio en el sur-sureste del país prácticamente no se tiene presión. Pero si se observa

en el Valle de México se observa que la presión es todavía más intensa por esa sobreexplotación que existe o esa demanda que se presenta.

En términos de los usos del agua en el país, anualmente se utilizan 72 mil millones de m³. De éstos el 78% lo usa la agricultura, el uso público urbano, el uso pecuario y la industria consumen el otro 28 %. Del total del agua disponible, las aguas subterráneas abastecen casi un tercio o un poco más. El 70% de la población se abastece de aguas subterráneas, un tercio de la superficie total regada está hecha con ellas y la mitad de la demanda de la industria se abastece con estas, por esta razón se consideran estratégicas y son tan cuidadas en el país.

En términos de las aguas residuales, en México se generan alrededor de 420 m³ cada segundo, de estas las municipales generan 250 m³/s y las no municipales generan el resto (170 m³/s). Los giros industriales que generan mayor cantidad en volumen son la acuicultura, la industria del azúcar, la industria del petróleo, la industria química y otros servicios, pero cuando se ve la cantidad de carga orgánica que aportan los giros industriales, la acuicultura prácticamente no aporta contaminación y entonces la industria del azúcar, petróleo y demás son las mayores aportadoras. O sea que no hay una correlación entre cantidad y calidad. Pero ¿qué producen?, desde luego una degradación intensa en la calidad del agua, impactos ecológicos diversos, pérdida del uso natural y abatimiento en la disponibilidad por afectación de la calidad.

Siguiendo con la problemática asociada a las aguas residuales, se tiene una baja capacidad de tratamiento, si bien hay esfuerzos enormes por incrementar estos niveles de tratamiento (24% en los usos municipales, 13% en los no municipales, básicamente la industria) ,el marco legal y normativo tiene ciertas limitaciones, la información que se dispone en muchos de estos casos es escasa porque la propia industria no quiere proporcionar los datos de lo que hace; el reúso es una de las cuestiones que está en bajo nivel y es una de las cosas que habrá que trabajar muchísimo, y las acciones de saneamiento son muchas veces frenadas por cuestiones económicas, políticas y sociales adversas a estos proyectos. Esto incide directamente en la degradación sobre la calidad, pérdida del uso consuntivo y el impacto ambiental que se tiene por este concepto.

En cuanto a la contaminación del agua superficial aquí se observa que la detección se da por una red nacional de monitoreo que opera la CNA desde hace más de treinta años, se hace hoy día en más de 215 cuerpos de agua, y se observa el comportamiento de la calidad del agua, la calidad del agua aceptable para cualquier tipo de uso es la que el 5% lo cual representa una pequeña cantidad de cuerpos de agua, la aceptable es del 22%, el agua poco contaminada representa un 49%, la contaminada 15%, la altamente contaminada 7% e incluso se tiene presencia de tóxicos en 2% (ese análisis se hace para cuerpos de agua donde se conoce que hay ese problema) no es una cosa generalizada en el país afortunadamente.

Dentro de los cuerpos de agua más contaminados llama la atención el primero de ellos, el Río Tijuana que en la parte mexicana se conjunta el agua y prácticamente en la zona de la frontera con Estados Unidos toda el agua del río Tijuana es tratada y después descargada al mar con un muy buen nivel de tratamiento, sin embargo en las partes mexicanas es donde no está muy debidamente tratada sino por un convenio internacional se trata en la frontera. De este modo se tiene información de la contaminación pero también del tratamiento en todo el país.

A pesar o quizás por esta influencia estratégica del agua subterránea se tiene una gran cantidad de acuíferos sobre-explotados que obviamente inciden en otras problemáticas: hay un cierto agotamiento de los manantiales y humedales, afectación a lagos, reducción de los caudales de los ríos; hay variaciones en la afectación de la vegetación nativa, afectación a los ecosistemas, en las zonas costeras se provoca la intrusión salina, migración de agua fósil más mineralizada y contaminación difusa de las zonas urbanas y agrícolas, todo esto como reflejo de parte de esa sobreexplotación de los acuíferos. En este sentido hay dos tipos de problemas asociados a la calidad del agua de las aguas subterráneas: a) por un lado están algunas cuestiones de contaminación natural como por ejemplo la disolución de sales arsenicales en la zona de la Comarca Lagunera y b) la presencia de otro tipo de sales en algunas zonas del país donde hay presencia de flúor, nitratos o de sólidos disueltos totales.

En cuanto las cuestiones costeras, muchas de estas aguas residuales son descargadas al mar, y aquí la variabilidad va desde zonas de descargas, zonas urbanas o algunos giros industriales que descargan en las zonas costeras. Por otra parte, los servicios públicos

generan aguas residuales que nos afectan cuando son aguas sin tratar y aparecen organismos que pueden parasitar y crear otro tipo de problemas asociados a la salud pública. (SEMARNAT 2010b). En la figura 1 se puede observar los términos de contaminación del agua en el país para el año 2007, expresado como DBO5.

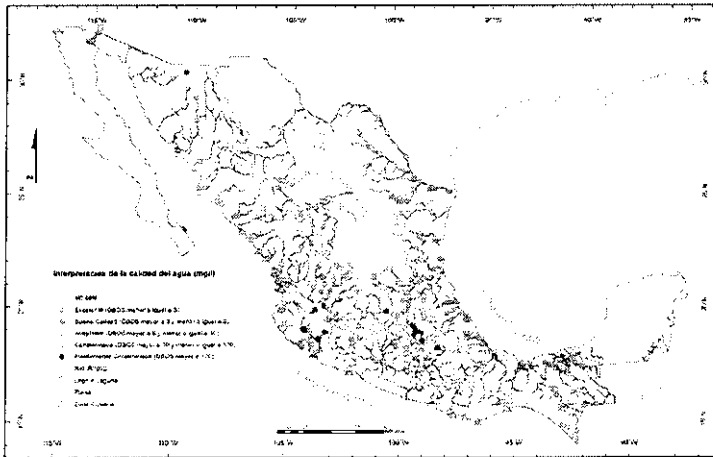


Figura 1 Calidad del agua según indicador DBO5 (2007).

FUENTE: CONAGUA. Subdirección General de Programación. Elaborado a partir de datos de la Subdirección General Técnica.

II. ANTECEDENTES

El potencial hídrico superficial del estado de Veracruz es de los más altos del país, al tener un escurrimiento superficial anual medio de 121 mil millones de m³, que representa el 33% de todo el escurrimiento superficial del país. (La precipitación media anual en el estado es de 1,484 milímetros, prácticamente el doble de la media nacional que es de 772 mm.), de esta cantidad, en Veracruz se generan 62.2 mil millones de m³, proviniendo el resto (58.9 mil millones de m³) de los estados colindantes de Tamaulipas, San Luís Potosí, Hidalgo, Puebla, Oaxaca y Tabasco. Los principales ríos del Estado, de Norte a Sur, son el Pánuco, Tuxpan, Cazones, Tecolutla, Nautla, Misantla, Actopan, La Antigua, Jamada-Cotaxtla, Blanco, Papaloapan con sus afluentes San Juan y Tesechoacán, Coatzacoalcos con su afluente Uxpanapa, y el Tonalá. Las corrientes principales son complementadas en la hidrografía estatal por una gran cantidad de cuerpos de agua y pequeños cauces

El estado de Veracruz se divide en 6 regiones hidrológicas y 14 cuencas, las cuales se enlistan y visualizan en la tabla 7 y figura 2.

Tabla 7 Regiones y cuencas en el Estado de Veracruz.

Región	Cuenca	% de la superficie estatal
Balsas	R. Atoyac	0.45
Pánuco	R. Pánuco	8.13
R. Tamesí		1.58
R. Moctezuma		3.72
Tuxpan-Nautla	R. Nautla y Otros	6.84
R. Tecolutla		2.38
R. Cazones		3.44
R. Tuxpan		5.66
R. Tamiagua		7.38
Papaloapan	R. Papaloapan	26.93
R. Jamapa y Otros		14.18
Coatzacoalcos	R. Tonalá y Lagunas del Camen y Machona	3.43
R. Coatzacoalcos		15.78
Grijalva-Usumacinta	R. Grijalva-Tuxtla Gutiérrez	0.10

FUENTE: INEGI (2000). Carta Hidrológica de Aguas Superficiales, 1:1000000.

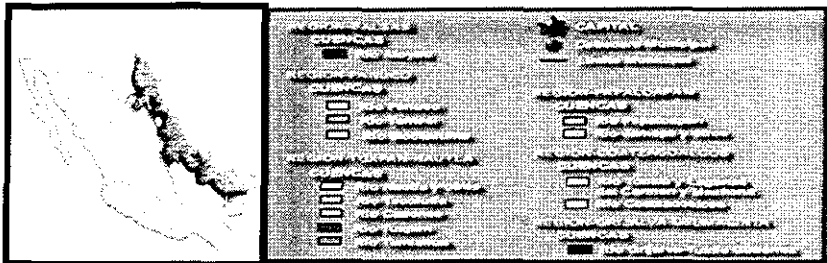


Figura 2 Regiones y cuencas en el Estado de Veracruz.

Fuente: <http://mapserver.inegi.gob.mx>

El sistema fluvial del río Papaloapan es el de mayor importancia en el país por su caudal, después del sistema Grijalva-Usumacinta. Su escurrimiento medio anual es aproximadamente de 47 000 millones de metros cúbicos. Vierte sus aguas al Golfo de México a través de la Laguna de Alvarado.

La cuenca del río Papaloapan cuenta con abundantes recursos naturales; tierras propias para la agricultura y ganadería; corrientes que pueden ser aprovechadas para riego y para aprovechamientos hidráulicos, extensos bosques y selvas exuberantes. El subsuelo contiene mantos petrolíferos y en la zona montañosa existe gran variedad de minerales metálicos y no metálicos. En las sabanas de la planicie costera se opera el distrito de riego de río Blanco, unidades Joaquín y Piedras Negras que cubre una superficie de 30 000 ha. (Pereyra, 1985).

Río blanco forma parte de las doce cuencas tributarias del río papaloapan.

La cuenca hidrológica del Río Blanco (en el cual se realiza el presente estudio), se encuentra ubicada políticamente en el estado de Veracruz y en pequeñas porciones del estado de Puebla. Esta cuenca forma parte de Región Hidrológica No. 28 denominada Cuenca del Río Papaloapan. Tiene una población de 837,893 hab. (Censo INEGI 2000), con una superficie de 3,130 Km² y 6.87% de la Cuenca del Papaloapan, con 32 municipios.

El río Blanco, nace en la Sierra de Zongolica en las faldas del Pico de Orizaba y va a desembocar directamente a la laguna de Alvarado. La demanda agrícola requiere un volumen de 534.71 hm³, de los cuales 354.88 hm³ son aprovechados en la cuenca del Río Blanco y 107.42 hm³ en la cuenca del Salado las más importantes de la región. La demanda para el uso público urbano es de 107.06 hm³; de los cuales 49.47 hm³ son aprovechados en la cuenca del Río Blanco.

En sus márgenes se concentra el mayor porcentaje de población. La instalación del corredor industrial en la zona de Córdoba-Orizaba en el Estado de Veracruz es el de mayor volumen concesionado y permite a la cuenca del Río Blanco representar el 87% del volumen total industrial concesionado de 486.87 hm³. En el caso de otros usos consuntivos como son el doméstico, servicios y múltiple, la demanda es de 0.1220 hm³, 163.04 hm³ y 120.84 hm³, respectivamente. (Jaquez, 2005)

Dentro de los principales contaminantes del agua en el Río Blanco se encuentra las aguas residuales domésticas, estiércol, residuos alimenticios, algunos residuos industriales, los plaguicidas, plásticos, detergentes, residuos industriales, aceites, ácidos, sales, metales tóxicos, nutrientes vegetales, cenizas, arenas, gravillas, sólidos provenientes de la erosión de los suelos, residuos de nucleoeletricas, medicina nuclear, organismos patógenos como las bacterias y los virus, así como la maleza acuática como los lirios, algas y otros vegetales. La planta industrial en el estado de Veracruz (Petrotera, eléctrica, azucarera, de la celulosa), también contribuye significativamente a la contaminación de los cuerpos de agua. El mayor

uso del agua en este sector corresponde a operaciones de enfriamiento. Las filtraciones de petróleo crudo o productos elaborados, constituyen los principales contaminantes de este sector, los cuales generan una alta demanda química y bioquímica de oxígeno.

2.1 Descripción de la obra hidráulica a construir.

En la cuenca hidrológica río Papalopan existen ocho subcuencas; en una de estas se encuentra el Proyecto Hidroeléctrico El Naranjal, específicamente en la del río Blanco. El Proyecto Hidroeléctrico El Naranjal, se localiza al Sur de la ciudad de Córdoba, Veracruz, con las obras de contención a 8.5 Km. y las de generación a 19 Km. al SW y SE, respectivamente. Este proyecto se ubica en una región que demanda energía eléctrica por la gran actividad industrial que se viene desarrollando en los últimos años.

Contempla la utilización de los ríos Blanco y Metlac, cuyo gasto medio anual es de 42 m³/seg. Aproximadamente. Estos ríos serán derivados mediante obras asociadas a la boquilla, tales como una Cortina tipo "Indio" de 9 m de altura, dos Ataguías de desvío en cada río, así como estructuras desgravadoras en margen derecha e izquierda.

Se desarrollará una obra de conducción con secciones variables según el tramo correspondiente que la compone; será construido en la margen izquierda con una pendiente de 0.0003 a lo largo de 21.335 Km., esta obra incluye dos Sifones de 42 y 160 m de carga respectivamente. Esta obra de conducción terminará en un Tanque Regulador (TR) de 2.84 millones m³ de capacidad y tendrá un piso en la cota 696 msnm.

Después de almacenada el agua en el tanque, esta se conducirá a través de una rampa y se controlará por medio de un Pozo de Oscilación (PO) para hacerla llegar a una Casa de Maquinas Exterior (CME). La carga aprovechable del proyecto será del orden de 264.5m, una capacidad instalada de 240 MW y una generación media anual de 676 GWh.

Previendo la contaminación de manantiales y el hecho de desarrollarse en zonas agrícolas pobladas, así como las características geológicas del terreno, se construirá el canal de conducción desde la obra de toma hasta el TR de forma cerrada a concreto; de este modo se evitará que se use como tiradero de basura y desechos agrícolas, así como la invasión por derrumbe en los tramos de corte. La obra de Conducción incluye obras asociadas, éstas

III. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La importancia de cuidar y conservar los cuerpos de agua radica en el papel que estos juegan en los ecosistemas, ya que ayudan para suministro de agua de ciudades y cabeceras municipales, pesca, recreación, belleza del entorno, regulador de clima, hábitat de especies endémicas y migratorias, control de inundaciones y generación hidroeléctrica.

Las industrias, cercas de estos cuerpos de agua, utilizan el medio líquido para principalmente enfriar o limpiar maquinaria, procesar materia prima o alimentos, desechos agrícolas, fertilizantes y aguas negras; Las descargas de estas pueden contener elementos de difícil remoción y asimilación en los sistemas de tratamiento biológico y en los ecosistemas acuáticos. (Jiménez, 2002).

Dadas las problemáticas de contaminación del agua que se presentan en México, es necesario atender las principales afectaciones que estos procesos manifiestan en el uso y gestión del agua, por lo que la correcta actuación en evaluaciones ambientales permitirá que los factores sociales y de gobierno puedan manejar una información que les facilite, enriquezca o motive a tomar decisiones responsables en el tema de la gestión del agua.

Se tiene actualmente contemplada la posible construcción de una hidroeléctrica en el río Blanco, en Veracruz, lo que en términos de gestión del agua es un evento de gran importancia dadas sus alteraciones al sistema hídrico, por lo que se plantea en este proyecto la evaluación de la calidad del agua en este sistema de cuenca hidrológica, que ya presenta daños a la calidad importante y el reto es generar información de actualidad que sea considerada en los estudios de impacto ambiental que la legislación requiere, a fin de cumplir con los procedimientos convencionales que se aplican en el país.

IV. OBJETIVOS

1. Identificar la contaminación fisicoquímica y bacteriológica en la cuenca del Río Blanco, considerando en estudio el Río Blanco en los puntos: P.H. Moctezuma, La Laja y Paso del Rosario y sus afluentes: Río Metlac, Río Tequecholapa, y Río Juan Antonio, en el área de influencia a la construcción de una hidroeléctrica en Veracruz, México.
2. Estudiar las poblaciones de plancton (fitoplancton y zooplancton), en los sitios descritos anteriormente.
3. Elaborar el Índice de Calidad del Agua (ICA) para los sitios estudiados.
4. Evaluar los resultados con la normativa vigente, enumerando las limitantes de uso derivados de la calidad del agua estudiada.

V. METODOLOGÍA

El diseño metodológico del presente estudio es de tipo observacional descriptivo, y el diagrama de flujo se presenta en la figura 4:

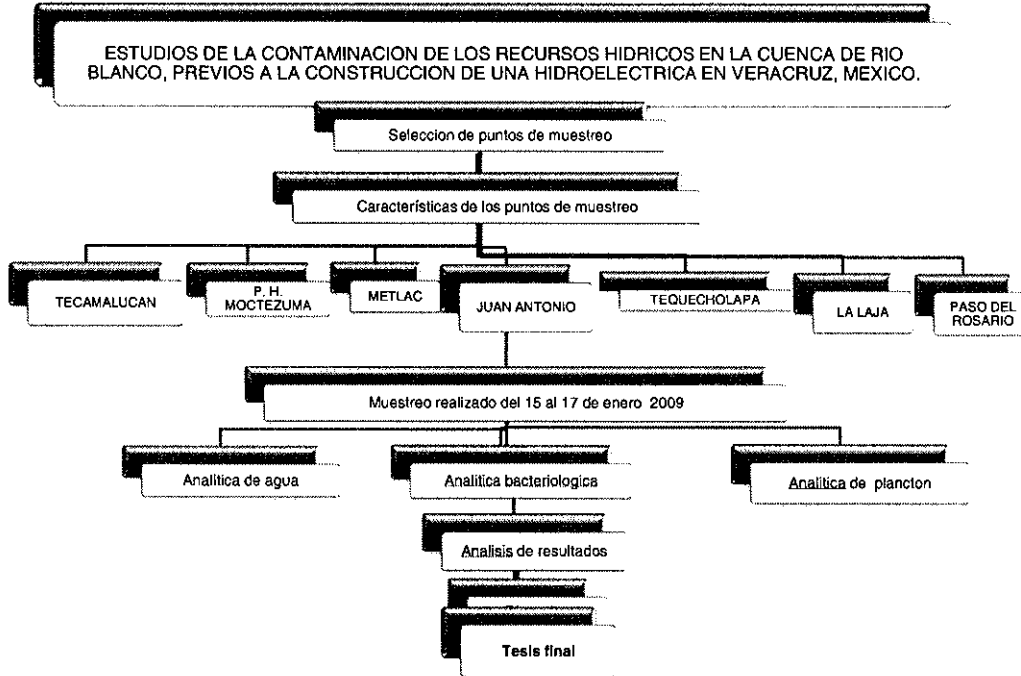


Figura 4 Diagrama de flujo

5.1 Localización del área de estudio

Con la finalidad de conocer las dinámicas de carga contaminante que en los principales cuerpos de agua se presentan en el área de estudio, se seleccionaron como puntos de muestreo siguiendo la dirección de los ríos y aportes de cargas contaminantes de poblaciones (se consideraron 7 muestras de agua y 7 de sedimento). Se tomaron 4 muestras de Río Blanco (Tecamalucan, PH: Moctezuma, La Laja y Paso del Rosario y tres de afluentes (Río Metlac, Río Juan Antonio y Río La Laja). La ubicación de los puntos de muestreo se presenta en la tabla 8. La ubicación por imagen satelital se presenta en la figura 5.

Tabla 8 Ubicación de las estaciones de muestreo estudiadas.

Estación de muestreo	N	W
P. H. Moctezuma	18° 50' 10.2"	097° 02' 00.6"
Metlac	18° 50' 16.8"	096° 59' 00.9"
Juan Antonio	18° 48' 41.9"	096° 59' 16.0"
Tequecholapa	18° 47' 51.1"	096° 56' 00.3"
La Laja	18° 45' 41.2"	096° 49' 03.3"
Paso del Rosario	18° 44' 39.4"	096° 41' 57.0"

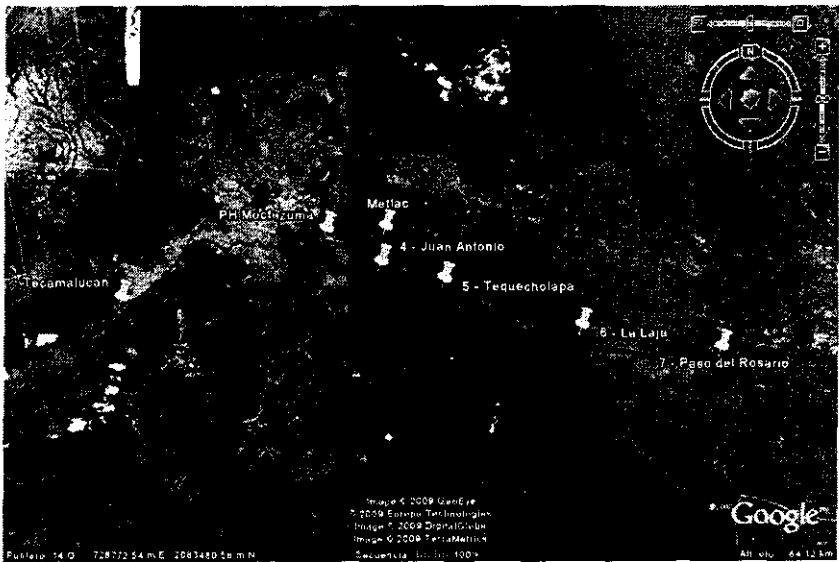


Figura 5 Ubicación por imagen satelital de las estaciones de muestreo.

El desarrollo metodológico se llevará a cabo según las siguientes fases: 1. protocolo de muestreo de agua y sedimento, 2. analítica de agua y sedimento y evaluación de resultados.

Para el estudio de la calidad del agua, sedimentos y poblaciones fitoplanctónicas y zooplanctónicas, se aplicaron los siguientes criterios metodológicos, los cuales en su mayoría son metodologías de normas oficiales mexicanas y/o métodos internacionalmente aceptados. (NOM-127-SSA1-1994)

5.2 Protocolo de muestreo de agua.

Actualmente no existen normas absolutas para la elección de puntos para recoger las muestras ya que esa selección está íntimamente relacionada a las condiciones locales, que varían de acuerdo al lugar. Para el presente trabajo se localizó los puntos estratégicos para

muestreo por medio de mapas cartográficos, GPS, fotografías satelitales y visitas a los propios lugares. Por lo cual para la determinación de calidad de agua y plancton, se seleccionaron siete estaciones de estudio.

Se determinó en cada punto de muestreo: Coordenadas, Hora, Altitud (msnm), Presión atmosférica (Hpa), Viento (m/s), Nubosidad (%), Humedad relativa (%), Temperatura ambiente (°C), Temperatura de agua (°C), Profundidad (m), pH (pH), Conductividad (µs/cm), Salinidad (%), Sólidos disueltos totales (mg/L), Color aparente, Materia flotante, Presencia de peces, Olor y Oxígeno Disuelto.

El muestreo de agua y sedimento se realizó según los lineamientos técnicos establecidos en los Métodos Normalizados. Para el Análisis de Aguas Potables y Residuales, APHA, AWWA-WDCF (1992), y los lineamientos técnicos establecidos en la Norma Oficial Mexicana NOM-AA-14-1980 "Cuerpos receptores, muestreo", Las especificaciones técnicas para cada uno de los parámetros a evaluar se resumen en la tabla 9.

La totalidad de las muestras se tomaran en frascos de plástico y vidrio, se preservaron las fracciones y su traslado al laboratorio se realizara manteniendo una temperatura menor a 4 grados centígrados.

Tabla 9 Especificaciones técnicas de muestreo y preservación del agua (NOM-AA-14-1980). Abreviaturas; p (plástico), pH (potencial de hidrogeno), s (vidrio enjuagado con solventes orgánicos; interior de la tapa del envase recubierta con teflón), v (vidrio) ne (no especificado en la norma).

Parámetro	Material de envase	Volumen mínimo (ml)	Preservación	Tiempo máx. De almacén.
2,4-D	s	1000	Refrigerar de 4 a 10° C; adicionar 1000 mg/l; de ácido ascórbico, si se detecta cloro residual. Extraídos los plaguicidas con solventes el tiempo de almacenamiento máximo será 40 días.	7 d
Aldrin	s	1000	Refrigerar de 4 a 10° C; adicionar 1000 mg/l; de ácido ascórbico, si se detecta cloro residual. Extraídos los plaguicidas con solventes el tiempo de almacenamiento máximo será 40 días.	7 d
Alcalinidad total	p,v	200	Refrigerar de 4 a 10° C y en la oscuridad	14 d

Aluminio	p,v	1000	Enjuagar el envase con HNO ₃ 1 + 1; adicionar HNO ₃ a pH<2; para metales disueltos, filtrar inmediatamente y adicionar HNO ₃ a pH<2	180 d
Arsénico	p,v	200	Refrigerar de 4 a 10° C y en la oscuridad	14 d
Benceno	s	1000	Refrigerar de 4 a 10° C; adicionar 1000 mg/l; de ácido ascórbico, si se detecta cloro residual. Extraídos los plaguicidas con solventes el tiempo de almacenamiento máximo será 40 días.	7 d
CO ₂ Como CaCO ₃	p,v	200	Refrigerar de 4 a 10° C y en la oscuridad	14 d
Cadmio	p,v	1000	Enjuagar el envase con HNO ₃ 1 + 1; adicionar HNO ₃ a pH<2; para metales disueltos, filtrar inmediatamente y adicionar HNO ₃ a pH<2	180 d
Calcio como CaCO ₃	p,v	100	Refrigerar de 4 a 10° C y en la oscuridad	14 d
Cianuros	p,v	1000	Adicionar NaOH a pH>12; refrigerar de 4 a 10° C en la oscuridad.	14 d
Cloruros	p,v	200	Refrigerar de 4 a 10° C y en la oscuridad	48 h
Clordano	s	1000	Refrigerar de 4 a 10° C; adicionar 1000 mg/l; de ácido ascórbico, si se detecta cloro residual. Extraídos los plaguicidas con solventes el tiempo de almacenamiento máximo será 40 días.	7 d
Coliformes				
Color	p,v	100	Refrigerar de 4 a 10° C y en la oscuridad	48 h
Conductividad	p,v	200	Refrigerar de 4 a 10° C y en la oscuridad	28 d
Cromo hexavalente				
Cromo	p,v	1000	Enjuagar el envase con HNO ₃ 1 + 1; adicionar HNO ₃ a pH<2; para metales disueltos, filtrar inmediatamente y adicionar HNO ₃ a pH<2	180 d
Dieldrin	s	1000	Refrigerar de 4 a 10° C; adicionar 1000 mg/l; de ácido ascórbico, si se detecta cloro residual. Extraídos los plaguicidas con solventes el tiempo de almacenamiento máximo será 40 días.	7 d
DBO ₅	ne			
DQO	ne			

DDT	s	1000	Refrigerar de 4 a 10° C; adicionar 1000 mg/l; de ácido ascórbico, si se detecta cloro residual. Extraídos los plaguicidas con solventes el tiempo de almacenamiento máximo será 40 días.	7 d
Dureza total	p,v	100	Refrigerar de 4 a 10° C y en la oscuridad	14 d
Epoxido de heptacloro	s	1000	Refrigerar de 4 a 10° C; adicionar 1000 mg/l; de ácido ascórbico, si se detecta cloro residual. Extraídos los plaguicidas con solventes el tiempo de almacenamiento máximo será 40 días.	7 d
Fenoles	p,v	300	Adicionar h2so4 a pH<2 y refrigerar de 4 a 10° C	28 d
Fosfatos	ne			
Fósforo	ne			
Grasas y aceites	ne			
HCO3 como CaCO3	p,v	200	Refrigerar de 4 a 10° C y en la oscuridad	14 d
Heptacloro	s	1000	Refrigerar de 4 a 10° C; adicionar 1000 mg/l; de ácido ascórbico, si se detecta cloro residual. Extraídos los plaguicidas con solventes el tiempo de almacenamiento máximo será 40 días.	7 d
Hexaclorobenceno	s	1000	Refrigerar de 4 a 10° C; adicionar 1000 mg/l; de ácido ascórbico, si se detecta cloro residual. Extraídos los plaguicidas con solventes el tiempo de almacenamiento máximo será 40 días.	7 d
Hierro	p,v	1000	Enjuagar el envase con HNO3 1 + 1; adicionar HNO3 a pH<2; para metales disueltos, filtrar inmediatamente y adicionar HNO3 a pH<2	180 d
Huevos de Helmintos	p	5000	Refrigerar a 4°C	60 d
Lindano	s	1000	Refrigerar de 4 a 10° C; adicionar 1000 mg/l; de ácido ascórbico, si se detecta cloro residual. Extraídos los plaguicidas con solventes el tiempo de almacenamiento máximo será 40 días.	7 d
Magnesio como CaCO3	p,v	100	Refrigerar de 4 a 10° C	28 d
Manganeso	p,v	1000	Enjuagar el envase con HNO3 1 + 1; adicionar HNO3 a pH<2; para metales disueltos, filtrar inmediatamente y adicionar HNO3 a pH<2	180 d
Metales en general	p,v	1000	Enjuagar el envase con HNO3 1 + 1; adicionar HNO3 a pH<2; para metales disueltos, filtrar inmediatamente y adicionar HNO3 a pH<2	180 d

Nitratos	p,v	100	Refrigerar de 4 a 10° C y en la oscuridad	48 h
Nitritos	p,v	100	Refrigerar de 4 a 10° C y en la oscuridad	48 h
Nitrógeno amoniacal	p,v	500	Adicionar H ₂ SO ₄ a pH<2 y refrigerar de 4 a 10° C y en la oscuridad	28 d
Nitrógeno Total	p,v	500	Adicionar H ₂ SO ₄ a pH<2 refrigerar de 4 a 10° C y en la oscuridad	28 d
pH	p,v	---	Analizar inmediatamente	---
Plomo	p,v	1000	Enjuagar el envase con HNO ₃ 1 + 1; adicionar HNO ₃ a pH<2; para metales disueltos, filtrar inmediatamente y adicionar HNO ₃ a pH<2	180 d
Plaguicidas	s	1000	Refrigerar de 4 a 10° C; adicionar 1000 mg/l; de ácido ascórbico, si se detecta cloro residual. Extraídos los plaguicidas con solventes el tiempo de almacenamiento máximo será 40 días.	7 d
Sólidos Totales	p,v	1000	Refrigerar de 4 a 10° C y en la oscuridad	7 d
Sólidos Disueltos Totales	p,v	1000	Refrigerar de 4 a 10° C y en la oscuridad	7 d
Sólidos sedimentables	p,v	1000	Refrigerar de 4 a 10° C y en la oscuridad	7 d
Sólidos suspendidos Totales	p,v	1000	Refrigerar de 4 a 10° C y en la oscuridad	7 d
Sulfatos	p,v	100	Refrigerar de 4 a 10° C y en la oscuridad	28 d
Sustancias activas al azul metileno	p,v	200	Refrigerar de 4 a 10° C y en la oscuridad	48 h
Talio	p,v	1000	Enjuagar el envase con HNO ₃ 1 + 1; adicionar HNO ₃ a pH<2; para metales disueltos, filtrar inmediatamente y adicionar HNO ₃ a pH<2	180 d
Temperatura	p,v	---	Determinar inmediatamente	---
Tolueno	s	1000	Refrigerar de 4 a 10° C; adicionar 1000 mg/l; de ácido ascórbico, si se detecta cloro residual. Extraídos los plaguicidas con solventes el tiempo de almacenamiento máximo será 40 días.	7 d
Trihalometanos	s	25	Refrigerar de 4 a 10° C y en la oscuridad	
Turbiedad	p,v	100	Refrigerar de 4 a 10° C y en la oscuridad	48 h
Xileno	s	1000	Refrigerar de 4 a 10° C; adicionar 1000 mg/l; de ácido ascórbico, si se detecta cloro residual. Extraídos los plaguicidas con solventes el tiempo de almacenamiento máximo será 40 días.	5 d

5.3 Analítica de agua

Las muestras de agua se analizaron conforme a los procedimientos establecidos para cada parámetro en la normativa oficial mexicana, así como a los métodos establecidos por la APHA-AWWA-WDCF (1992). Los parámetros a evaluar y la metodología realizada se presentan en la Tabla 10.

Tabla 10. Parámetros evaluados en agua

Parámetro	Unidad	Método de análisis
2,4-D	mg/L	NMX-AA-071-1981
Aldrin	mg/L	NMX-AA-071-1981
Alcalinidad total	mg/L CaCO ₃	NMX-AA-36-2001
Aluminio	mg/L	EPA-6010B
Arsénico	mg/L	EPA-6010B
Benceno	mg/L	EPA-6010B
Cadmio	mg/L	EPA-6010B
Calcio	mg/L	EPA-6010B
Cianuros	mg/L	NMX-AA-058-SCFI-2001
Cloruros	mg/L	NMX-AA-073-SCFI-2001
Clordano	mg/L	NMX-AA-071-1981
Coliformes	NMP/100ml	NOM-112-SSA1-1994
Color	Esc. Pt.-Co.	NMX-AA-045-SCFI-2001
Conductividad	µS/cm	NMX-AA-093-SCFI-2000
Cromo hexavalente	mg/L	NMX-AA-044-2001
Cromo total	mg/L	EPA-6010B
Dieldrin	mg/L	NMX-AA-071-1981
D.Q.O.	mg/L	NMX-AA-30-SCFI-2001
DBC5	mg/L	NMX-AA-028-SCFI-2001
DDT	mg/L	NMX-AA-071-1981

Durezas	mg/L CaCO ₃	NMX-AA-072-SCFI-2001
Epoxido de heptacloro	mg/l	NMX-AA-071-1981
Etil benceno	mg/l	NMX-AA-071-1981
Fenoles	mg/L	NMX-AA-050-SCFI-2001
Fosfatos	mg/L	NMX-AA-063-SCFI-2001
Fosforo ortofosfatos	Mg/L	NMX-AA-073-SCFI-2001
Fósforo	mg/L	NMX-AA-063-SCFI-2001
Grasas y Aceites	mg/L	NMX-AA-005-SCFI-2000
Heptacloro	mg/l	NMX-AA-071-1981
Hexaclorobenceno	mg/l	NMX-AA-071-1981
Hierro	mg/L	EPA-6010B
Lindano	mg/l	NMX-AA-071-1981
Manganeso	mg/L	EPA-6010B
Magnesio	mg/L	EPA-6010B
Mercurio	mg/L	EPA-6010B
Metoxicloro	mg/l	NMX-AA-071-1981
Nitratos	mg/L N-NO3	NOM-AA-079-SCFI-2001
Nitritos	mg/L N-NO2	EPA-354.1
Nitrógeno amoniacal	mg/L	NMX-AA-026-SCFI-2001
Nitrógeno total	mg/L	NMX-AA-026-SCFI-2001
Oxígeno Disuelto	mg/L	EPA 4500-O-C
pH	pH	NMX-AA-008-SCFI-2001
Plomo	mg/L	EPA-6010B
S. A. A. M.	mg/L	NMX-AA-039-SCFI-2001
Sólidos Totales	mg/l	NMX-AA-034-SCFI-2001
Sólidos Disueltos Totales.	mg/L	NMX-AA-034-SCFI-2001
Sólidos sedimentables	mg/L	NMX-AA-004-2000
Sólidos Suspendidos Totales.	Mg/L	NMX-AA-034-SCFI-2001

Sulfatos	mg/L SO ₄	NMX-AA-074-1981
Talio	mg/L	EPA-6010B
Temperatura	°C	EPA 2550-B
Tolueno	mg/L	NMX-AA-071-1981
Trihalometanos	mg/L	EPA 8260
Turbiedad	UTN	NMX-AA-038-SCFI-2001
Xileno	mg/L	NMX-AA-071-1981

5.4 Protocolo de muestreo y análisis de plancton

Los sitios de muestreo son los mismos que se describen en el apartado para calidad del agua, las muestras planctónicas fueron tomadas siguiendo los lineamientos técnicos descritos en APHA (1992). Para el análisis cuantitativo las muestras se obtuvieron por medio de filtración de 72 litros de agua una red de plancton con apertura de malla de 50 micras, se filtra la muestra para la obtención de un concentrado final, el material colectado se situó en frascos de plástico etiquetados con los datos correspondientes (lugar de muestro, fecha, estación de muestreo, volumen) posteriormente se preservó la muestra con formaldehído al 10 % v/v, proporción 1:10. Las muestras se procesaron, se realizó un análisis cualitativo, observación directa de muestra biológica por triplicado, observándose los organismos en vivo para la determinación de género- especie y la elaboración de un inventario taxonómico de fitoplancton y zooplancton.

El análisis cuantitativo se realizó utilizando un microscopio compuesto Carl Zeiss Axiostar y una cámara de Palmer de 0.1 ml mediante la técnica de conteo directo de organismos por litro. El cálculo aplicado fue el siguiente:

Tabla 11 calculo cuantitativo de fitoplancton

$$Na/mL = \frac{C * 1000mm^3}{L * D * W * S}$$

C=	numero de organismos contados	Length	50	mm
L=	largo de la celda (mm)	Depth	1	mm
D=	profundidad de la celda (mm)	Width	20	mm
W=	ancho de la celda (mm)	Strips	18	
S=	número de líneas contadas	Liters	1	
		ml	1000	

Se realizó el análisis cualitativo de Plancton para la determinación de especies y elaboración del Inventario taxonómico preliminar. La técnica para la realización del análisis cualitativo consiste en la lectura directa por triplicado de la misma muestra, observándose los organismos en vivo, utilizando un microscopio Carls Zeiss Axiostar plus, portaobjetos planos, cóncavos, cámara de Palmer, pipetas Pauster, cubreobjetos, pinzas, vaso de precipitado, para la observación de estructuras celulares diferenciales de cada grupo taxonómico se utilizaron las siguientes tinturas: Lugol ácido acético para la observación de cloroplastos en cyanophyceas, azul de crésil para mucílago de vainas de cyanophyceas, rojo congo definición de pared celular y núcleo de euglonophyceas, naranja de metilo y verde brillante para citoplasma de todas las divisiones, nigrosina para la diferenciación de vacuolas de gas , vaina y citoplasma de células en general, tinta china para la observación de flagelos, cilios, espinas de células en general.

5.5 Calculo del índice de calidad del agua

Se aplico la metodología descrita por Martínez de Bascaran (1979), la cual se detalla en el anexo 11.3

5.6 Legislación utilizada en el análisis y la discusión de resultados

Los datos obtenidos en el estudio se compararon con los límites establecidos en la Norma oficial mexicana NOM-127-SSA1-1994, "Salud ambiental, agua para uso y consumo humano- límites permisibles de calidad y tratamientos a que debe someterse el agua para su potabilización". Y los establecidos en el Acuerdo por el que se establecen los criterios ecológicos de calidad del agua CE-CCA-001/89, Fecha de publicación en Diario Oficial 13 de diciembre de 1989, Fecha de entrada en vigor 14 de diciembre de 1989.

VI. RESULTADOS

A continuación se presentan los resultados obtenidos según los análisis realizados.

6.1 Datos meteorológicos y de campo

Tabla 12 Georreferenciación

	N	W
TECAMALUCAN	18° 47' 03.1"	097° 12' 20.2"
P. H. MOCTEZUMA	18° 50' 10.2"	097° 02' 00.6"
METLAC	18° 50' 16.8"	096° 59' 00.9"
JUAN ANTONIO	18° 48' 41.9"	096° 59' 16.0"
TEQUECHOLAPA	18° 47' 51.1"	096° 56' 00.3"
LA LAJA	18° 45' 41.2"	096° 49' 03.3"
PASO DEL ROSARIO	18° 44' 39.4"	096° 41' 57.0"

En la tabla 12 se desglosan los puntos de muestreo y las coordenadas para su localización.

Tabla 13 Datos meteorológicos

	10:25	12:40	13:50	14:50	13:20	9:00	7:40
	15/01/2009	15/01/2009	15/01/2009	15/01/2009	15/01/2009	16/01/2009	16/01/2009
	14.8	19.2	20.1	20.8	20.1	20.6	21.1
	0.8	0	0	0	0	0	0
	100	100	100	100	100	100	100
	1206	697	636	679	554	280	143
	876	931.6	938.6	933.8	947.7	979.6	995.8
	13.1	16	16.9	17.4	18.2	17.1	18.2
	12	14	15	15.7	17.1	16	16.7
	85.6	73.5	75.1	73	83.9	84.9	89.5

En la tabla 13 destaca la temperatura de Tecamalucan con una mínima de 14.8 °C y máxima de 21.1°C en el Paso del Rosario, posiblemente esto se debe a la diferencia de altitud en ambos puntos ya que el sitio de muestreo denominado Tecamalucan se encuentra a una altura de 1206 m y Paso del Rosario se encuentra a 143 m.

Tabla 14 Datos tomados en campo

	pH	Temperatura del agua en °C	Conductividad en $\mu\text{S/cm}$	Salinidad (PPM)	Oxígeno disuelto en mg/l	Olor	Materia Rotas	Transparencia en cm
TECAMALUCAN	8.3	16.3	283	0.2	6.4	O.L.T	Solidos gruesos, plásticos	-
P. H. MOCTEZUMA	7.89	18	746	0.3	3.4	O.A.R.	Ausente	40
METLAC	8.57	17.6	315	0.1	7.95	Ausente	Ausente	-
JUAN ANTONIO	7.95	17.8	375	0.1	5.52	Ausente	Basura y plásticos	-
TEQUECHOLAPA	8.47	19.1	360	0.1	7.48	Ausente	Ausente	-
LA LAJA	8.26	18.1	530	0.2	8.4	Ausente	Ausente	-
PASO DEL ROSARIO	7.97	19	535	0.2	6.74	Ausente	Ausente	-

O.L.T. = Olor Ligero a Tierra, O.L.H. = Olor Ligero a Hierba

En la tabla 14 se destacan los resultados de las mediciones de conductividad donde se muestra que en los puntos de Tecamalucan, Metlac, Juan Antonio y Tequecholapa presentaron las mediciones mas bajas que posiblemente se debe a que son tributarios y se encuentran menos afectados por las industrias incluso por la población, quedando claramente definido que el punto denominado Tecamalucan sería el punto mas cercano al nacimiento del Rio Blanco. De la figura 6 a la figura 10 se pueden observar de una manera grafica los resultados de cada parámetro en los diferentes puntos de muestreo.

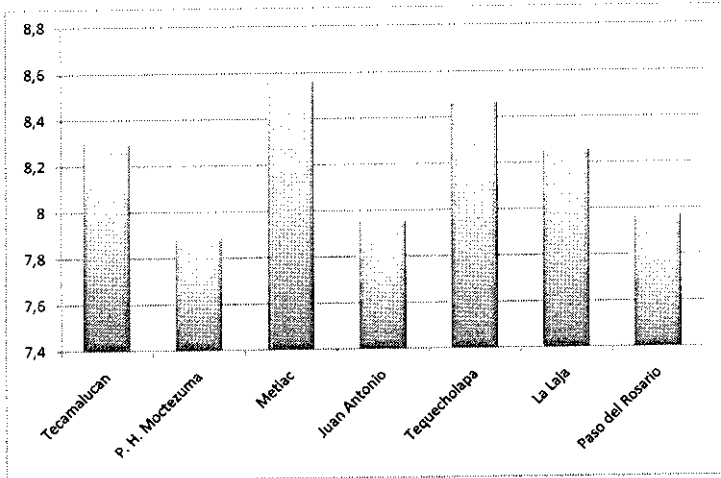


Figura 6. pH

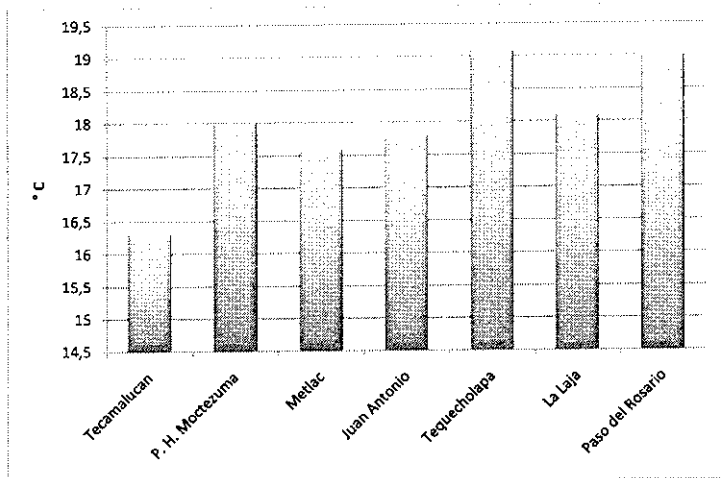


Figura 7. Temperatura del agua

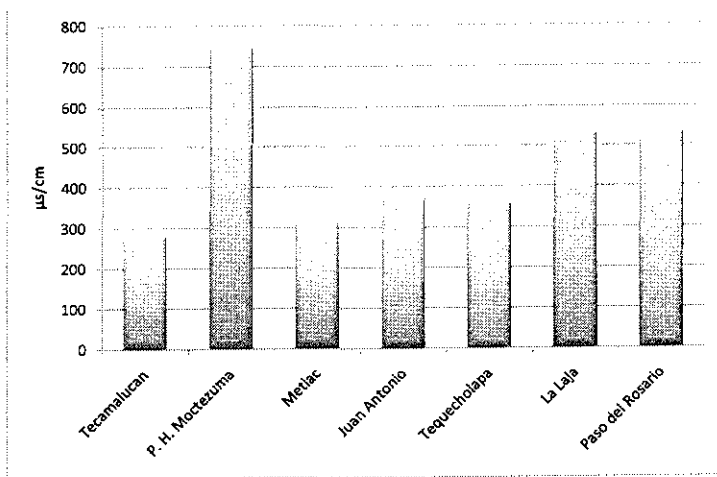


Figura 8. Conductividad

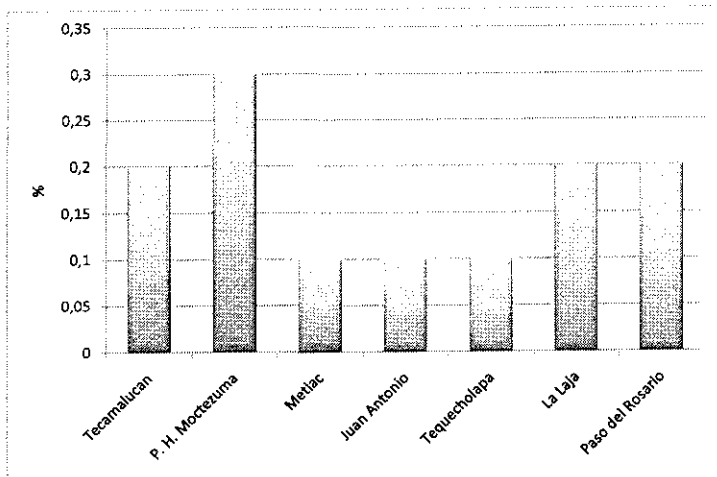


Figura 9. Salinidad

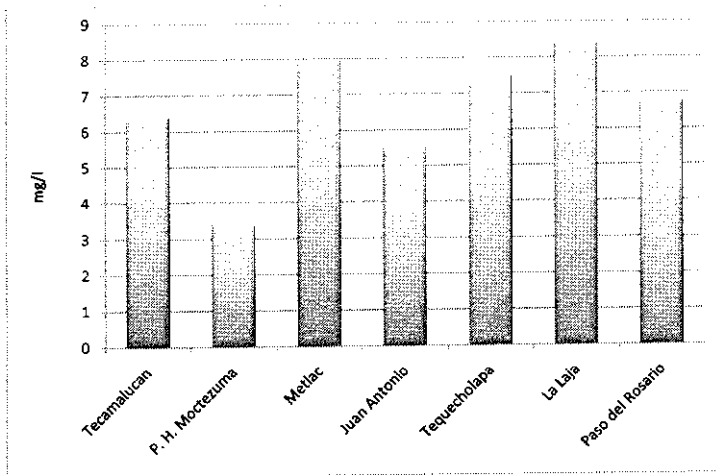


Figura 10. Oxígeno disuelto

6.2 Resultados de análisis microbiológicos

Tabla 15 Análisis microbiológico.

	Coliformes Totales en NMP/100 ml	Coliformes fecales en NMP/100 ml	Huevos de Helminto en Huf.
TECAMALUCAN	4.3×10^4	9.3×10^4	0
P. HEMOCTEZUMA	2.1×10^5	1.1×10^5	0
METLAC	9.3×10^4	9.3×10^4	0
JUAN ANTONIO	4.6×10^3	4.6×10^3	0
TEQUECHOLAPA	4.3×10^4	7.5×10^3	0
LA LAJA	3.9×10^2	1.5×10^3	0
PASO DEL ROSARIO	9.3×10^9	1.5×10^5	0

En la tabla 15 se observan los resultados del análisis bacteriológico, donde se destaca que en los 7 puntos de muestreo hay presencia de coliformes totales y fecales. Los puntos de muestreo en donde se presenta mayor número de coliformes totales fueron Metlac y Paso del Rosario, así mismo en los sitios Tecamalucan, Metlac y Tequecholapa hay mayor presencia de coliformes fecales, observando esto en las figuras 11 y 12.

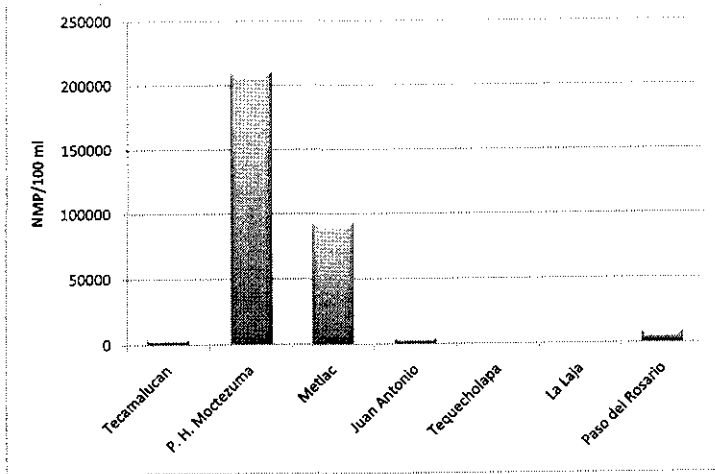


Figura 11. Coliformes totales

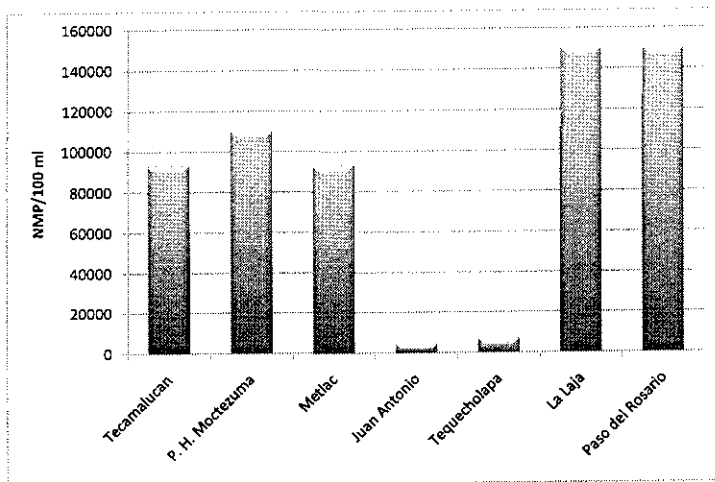


Figura 12. Coliformes fecales

6.3 Resultados de fisicoquímicos

Tabla 16 Resultados Fisicoquímicos (mg/l)

	Calcio	Dureza total	Cloruro	Fenoles	Fluoruro amoniacal	Fluoruro	Sulfato	Tetraammonio	Sodio nitrato	Sodio total	Sodio aspartato	Sodio dietilfosfato	SAAH
TECAMALUCAN	<0.05	97.66	5.33	0.0784	<0.657	0.9132	4.2898	<0.1	<0.1	288	156	166.5	<0.05
P. H. MOCTEZUMA	<0.05	54.93	26.65	0.0689	0.938	1.6711	19.722	<0.1	0.1	320	22	342	0.2359
METLAC	<0.05	61.04	0.888	<0.05	<0.657	1.5717	5.0815	<0.1	0.1	228	44	187	<0.05
JUAN ANTONIO	<0.05	86.46	2.22	<0.05	<0.657	1.3348	2.5167	<0.1	<0.1	218	46	187	<0.05
TEQUECHOLAPA	<0.05	81.09	5.33	<0.05	<0.657	1.1643	2.1587	<0.1	<0.1	220	90	178	<0.05
LA LAJA	<0.05	106.51	13.325	<0.05	202	1.9917	10.301	<0.1	0.2	266	184	265	0.0749
PASO DEL ROSARIO	<0.05	107.25	13.77	<0.5	1.45	0.8235	11.791	<0.1	0.1	246	82	267	0.0831

Continuación de la tabla 16

Fisicoquímicos (Continuación)	Color (Unid. Co-Pt)	Turbiedad (UTN)	Clorofila (mg/m ³)	Grasas y aceites (mg/l)	Alcalinidad total (mg/l, CaCO ₃)
TECAMALUCAN	5	2.80	1.1	<0.10	234.025
P. H. MOCTEZUMA	>50	10.3	1.5	<0.10	388.55
METLAC	5	1.95	2.0	<0.10	179.63
JUAN ANTONIO	20	2.20	4.9	<0.10	230.23
TEQUECHOLAPA	0	0.82	1.2	<0.10	234.025
LA LAJA	>50	3.25	1.8	0.2	302.335
PASO DEL ROSARIO	<50	2.28	2.0	<34.2	298.54

En la tabla 16 se presentan los resultados del análisis fisicoquímico realizado, se destaca la presencia de sulfatos, sólidos disueltos totales, SAAM y Color, los cuales presentan valores altos en los puntos de muestreo denominados P.H Moctezuma, La Laja y Paso del Rosario (figuras 18, 22, 23 y 24).

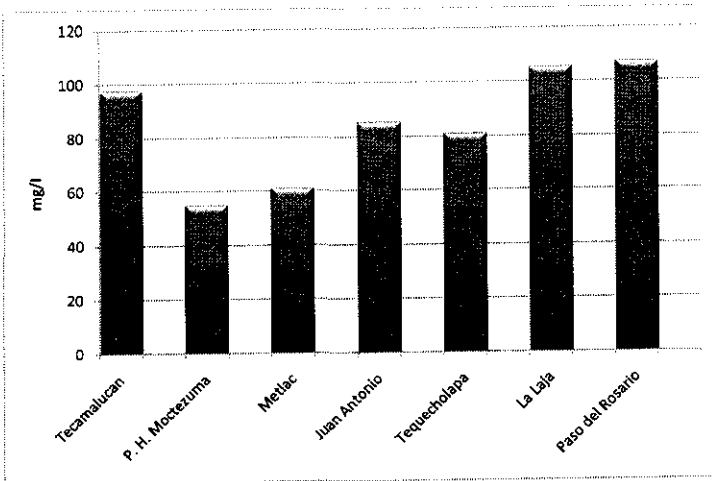


Figura 13. Dureza total

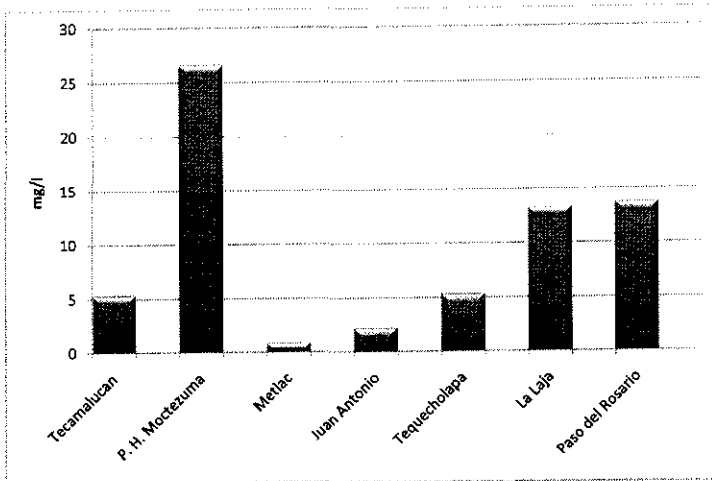


Figura 14. Cloruros

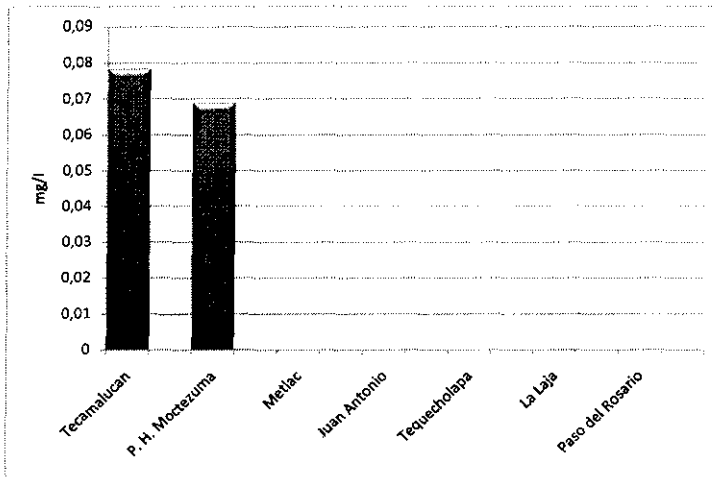


Figura 15. Fenoles

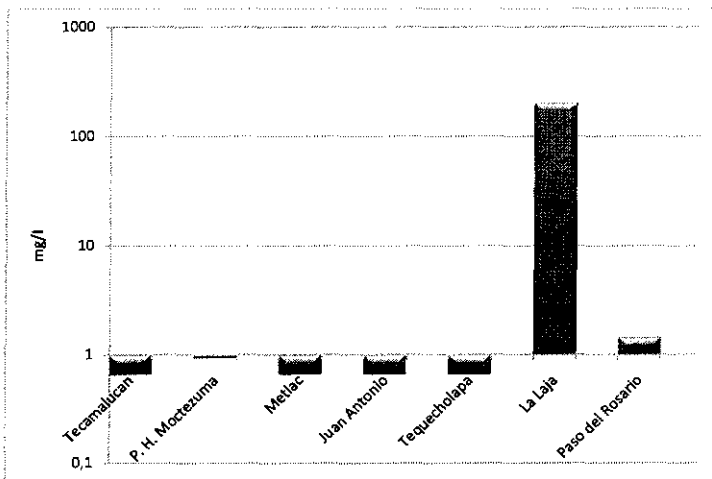


Figura 16. Nitrógeno amoniaca

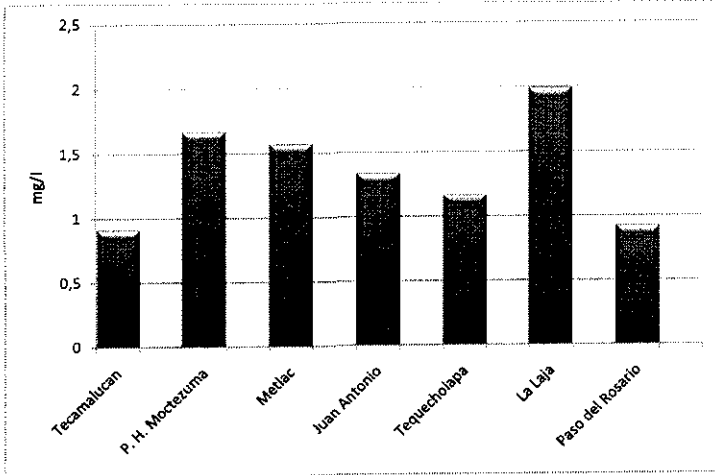


Figura 17. Fluoruros

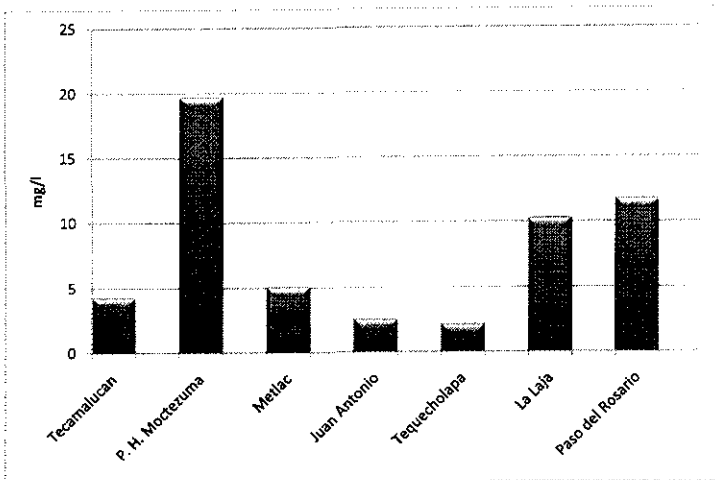


Figura 18. Sulfatos

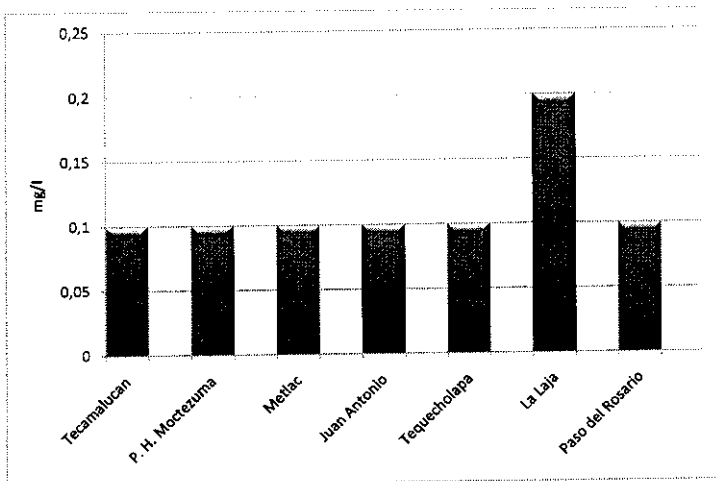


Figura 19. Sólidos sedimentables

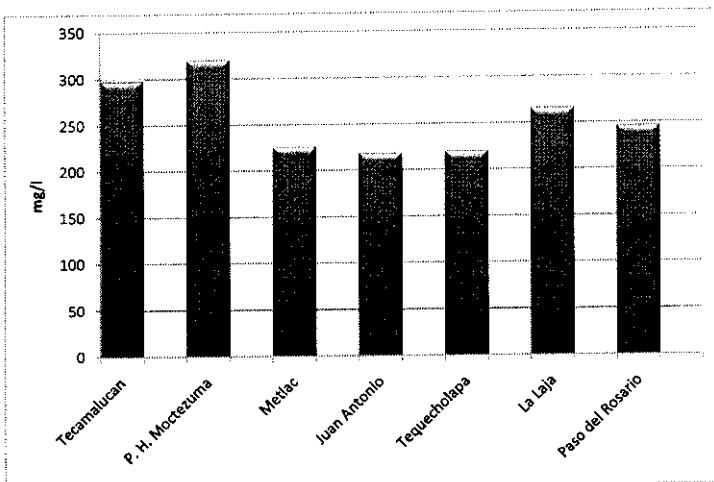


Figura 20. Sólidos totales

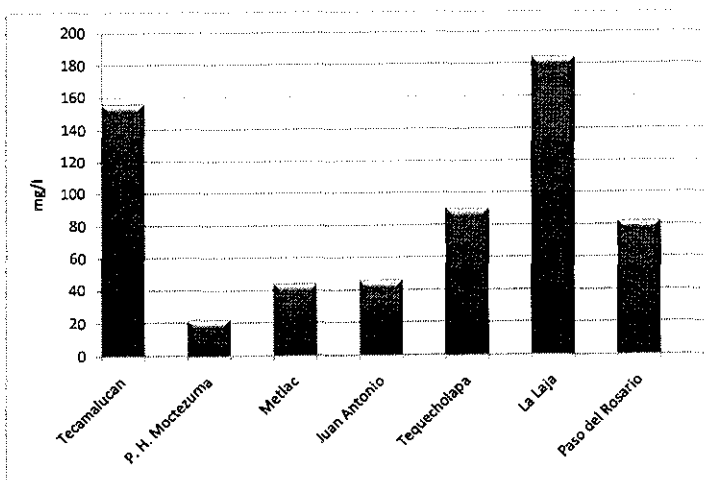


Figura 21. Sólidos suspendidos totales

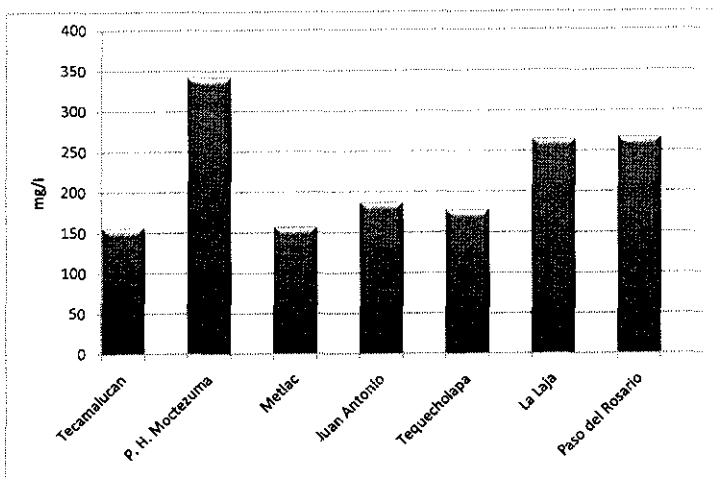


Figura 22. Sólidos disueltos totales

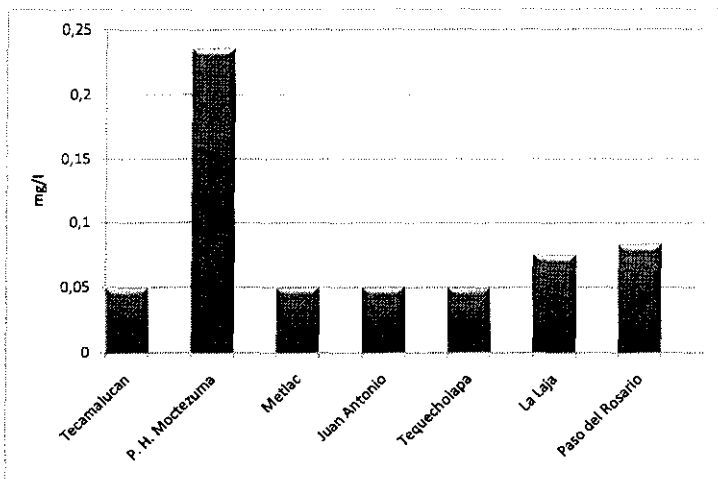


Figura 23. Sustancias Activas al Azul de Metileno (Detergentes)

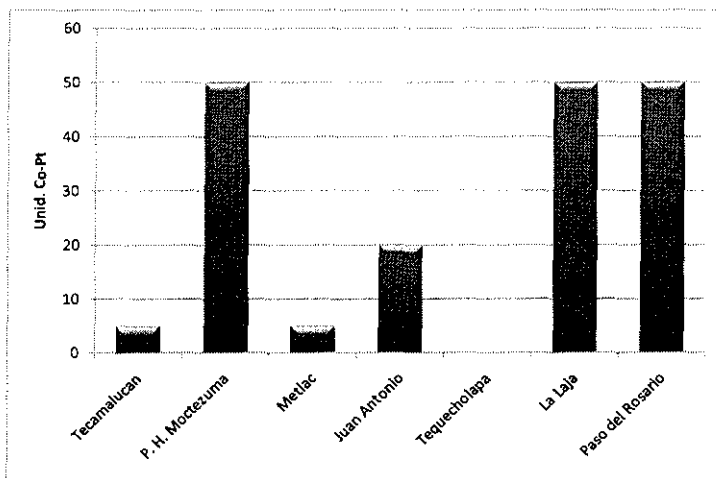


Figura 24. Color

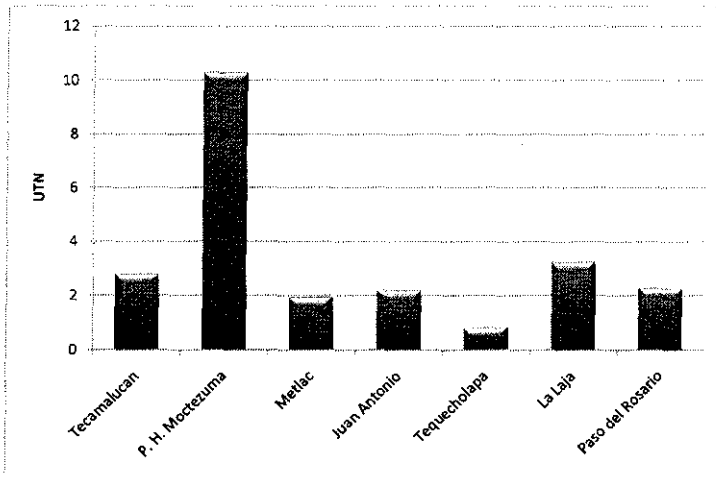


Figura 25. Turbiedad

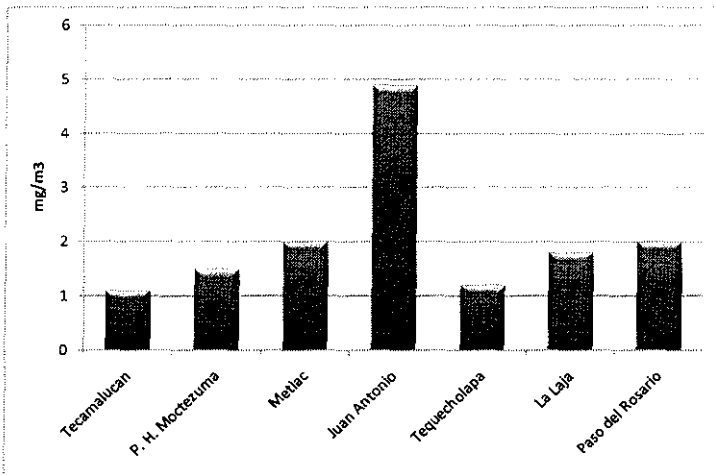


Figura 26. Clorofila

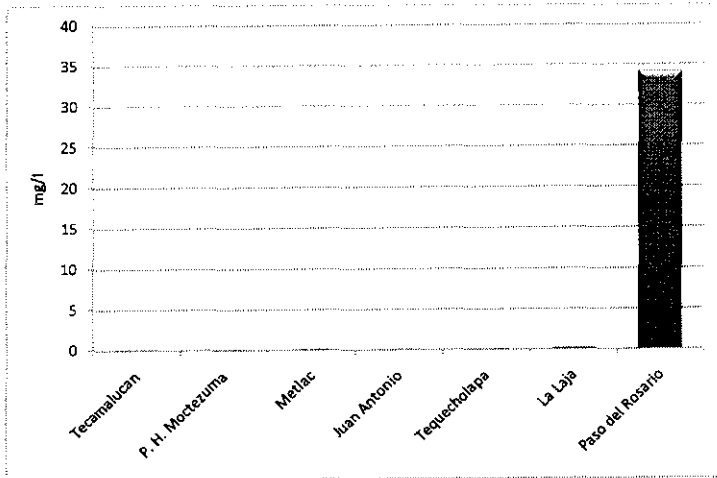


Figura 27. Grasas y aceites

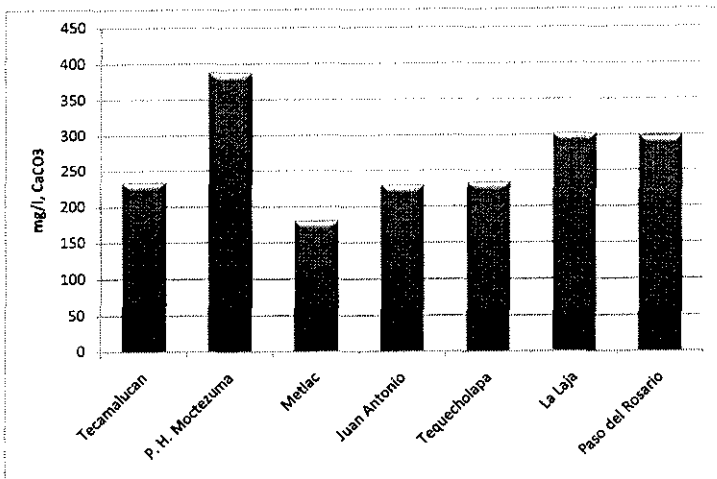


Figura 28. Alcalinidad total

6.4 Resultados de plaguicidas y metales pesados

Tabla 17 Resultados de metales pesados

1.215	<0.0042	0.0507	<0.0001	<0.0002	<0.0019	<0.0038	0.4963	0.0369	8.92	<0.001	<0.0014	68.8	<0.0001
1.346	<0.0042	0.0337	<0.0001	<0.0002	<0.0019	<0.0035	0.642	0.0726	12.88	<0.001	<0.0014	77.8	<0.0001
1.394	<0.0042	0.0415	<0.0001	<0.0001	<0.0019	<0.0036	0.3289	0.0374	14.40	<0.001	<0.0014	66.91	<0.0001
1.642	<0.0042	0.0367	<0.0001	<0.0002	<0.0019	<0.0035	0.766	0.0811	4.715	<0.001	<0.0014	64.2	<0.0001
1.774	<0.0042	0.0348	<0.0001	<0.0001	<0.0019	<0.0035	0.886	0.0486	4.679	<0.001	<0.0014	57.4	<0.0001
2.187	<0.0042	0.0285	<0.0001	<0.0001	<0.0019	<0.0035	0.832	0.0771	15.69	<0.001	<0.0014	72.8	<0.0001
2.203	<0.0042	0.0240	<0.0001	<0.0001	<0.0019	<0.0035	0.734	0.0689	10.10	<0.00004	<0.0014	71.3	<0.0001

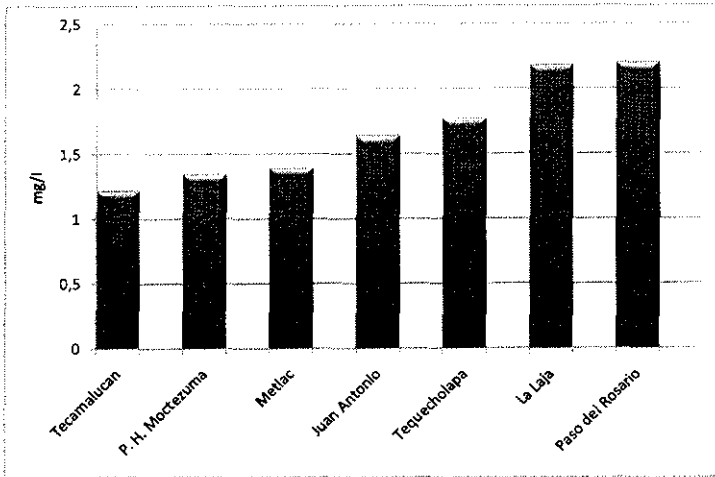


Figura 29. Aluminio

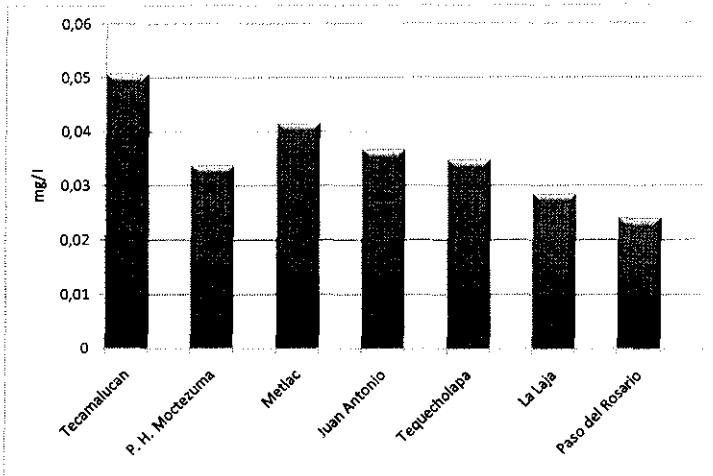


Figura 30. Bario

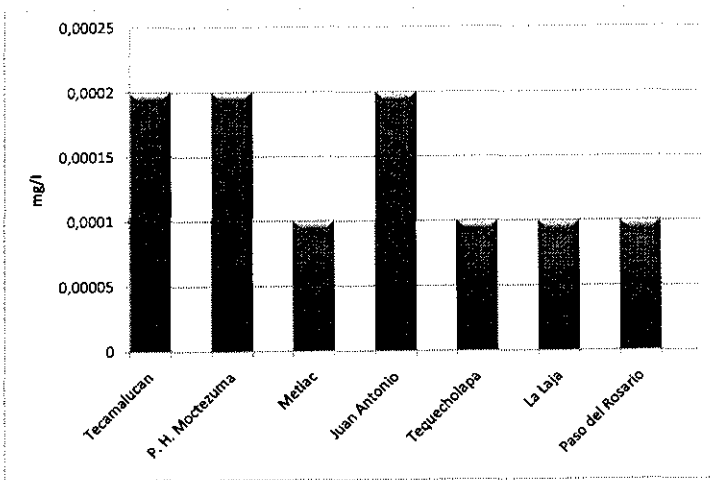


Figura 31. Niquel

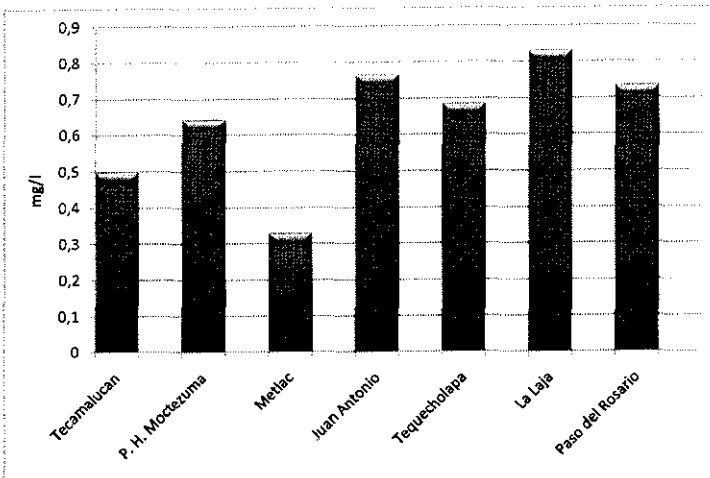


Figura 32. Hierro

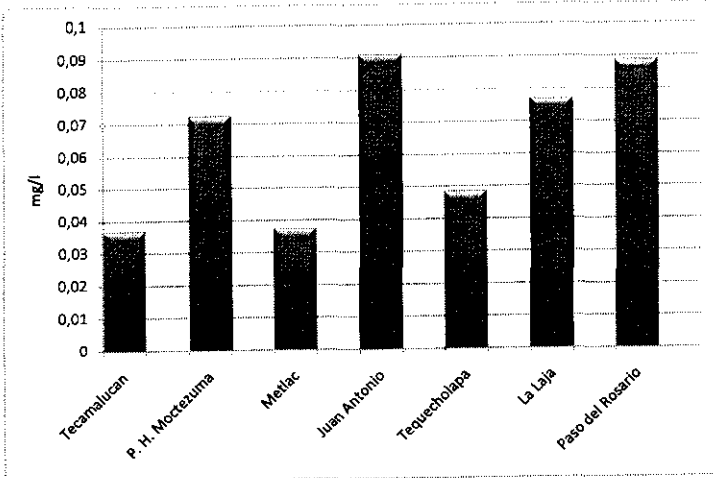


Figura 33. Manganeso

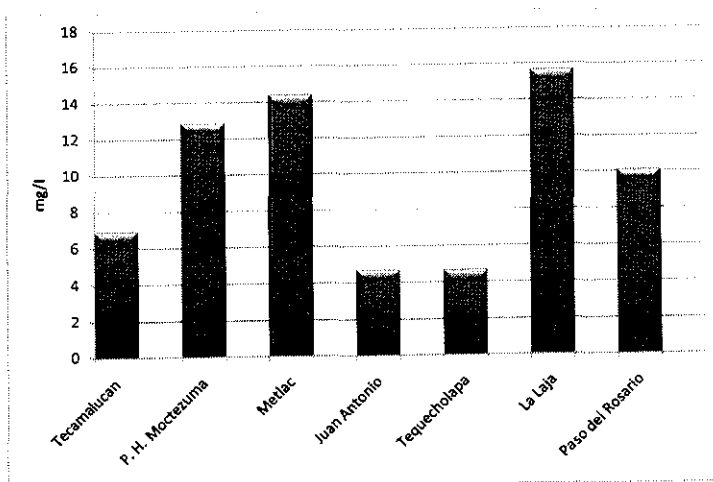


Figura 34. Silicio

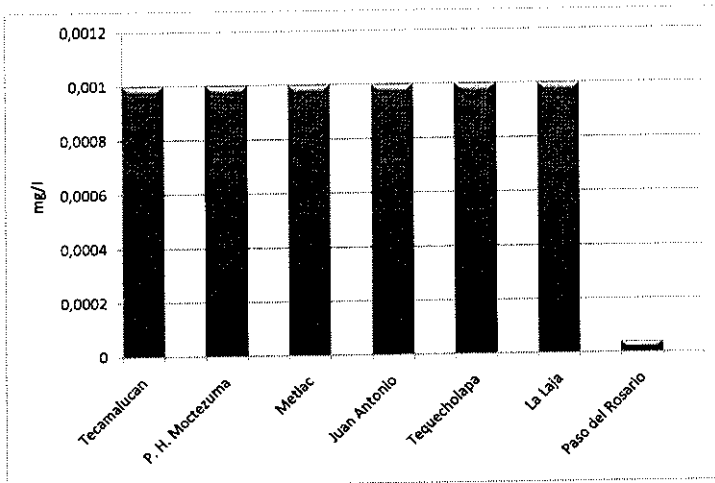


Figura 35. Mercurio

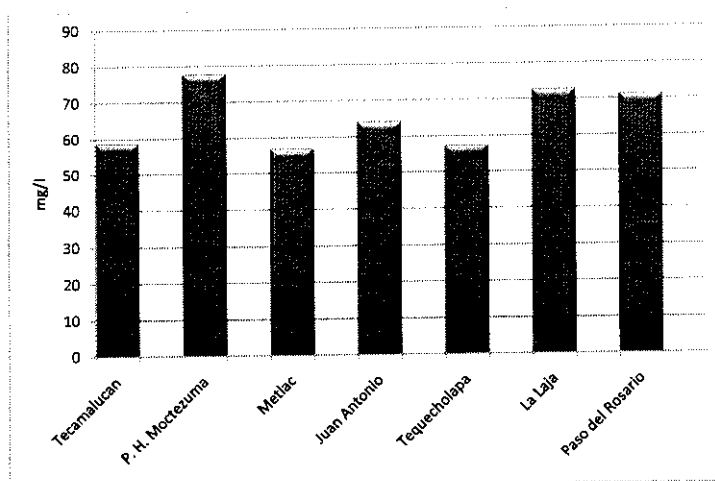


Figura 36. Sodio

Tabla 18 Resultados de plaguicidas (mg/l)

	Lindano	Aldrin	Dieldrin	Clordano	DDT	Hexacloro-benceno	2,4D	Heptacloro	Epóxido de heptacloro	Metoxicloro
TECAMALUCÁN	< 0.002	< 0.00003	< 0.00003	< 0.0002	< 0.001	< 0.001	< 0.03	< 0.00003	< 0.00003	< 0.02
P. H. MOCTEZUMA	< 0.002	< 0.00003	< 0.00003	< 0.0002	< 0.001	< 0.001	< 0.03	< 0.00003	< 0.00003	< 0.02
MIETLAC	< 0.002	< 0.00003	< 0.00003	< 0.0002	< 0.001	< 0.001	< 0.03	< 0.00003	< 0.00003	< 0.02
JUAN ANTONIO	< 0.002	< 0.00003	< 0.00003	< 0.0002	< 0.001	< 0.001	< 0.03	< 0.00003	< 0.00003	< 0.02
TEOUECHOLAPA	< 0.002	< 0.00003	< 0.00003	< 0.0002	< 0.001	< 0.001	< 0.03	< 0.00003	< 0.00003	< 0.02
LA LAJA	< 0.002	< 0.00003	< 0.00003	< 0.0002	< 0.001	< 0.001	< 0.03	< 0.00003	< 0.00003	< 0.02
PASO DEL ROSARIO	< 0.002	< 0.00003	< 0.00003	< 0.0002	< 0.001	< 0.001	< 0.03	< 0.00003	< 0.00003	< 0.02

Como se presenta en la tabla 18 los resultados de plaguicidas están por debajo del límite de detección, no presentan datos significativos.

6.5 Resultados de nutrientes y DQO

Tabla 19 Nutrientes (mg/l)

	Fosforo	DBO5	DQO	Ortofosfatos	Nitratos	Nitritos	Nitrógeno total	Fosfatos
TECAMALUCAN	< 0.37	<10	<5.0	< 0.3	1.02	< 0.0211	< 1.20	< 1.13
P. H. MOCÉZUMA	< 0.37	<10	10	< 0.3	0.193	< 0.0211	4.62	< 1.13
MEYLAC	< 0.37	<10	<5	< 0.3	0.944	0.0790	< 1.20	< 1.13
JUAN ANTONIO	< 0.37	<10	<5.0	< 0.3	0.439	0.0412	1.70	< 1.13
TEQUECHOLAPA	< 0.37	<10	100	< 0.3	0.724	< 0.0211	< 1.20	< 1.13
LA LAJA	0.50	<10	80	0.36	0.800	0.1464	3.91	1.155
PASO DEL ROSARIO	< 0.37	<10	60	< 0.3	< 0.132	0.1222	3.08	< 1.13

En la tabla 19 se destacan los valores más altos en los parámetros de fosfatos y fosforo en el punto denominado La Laja

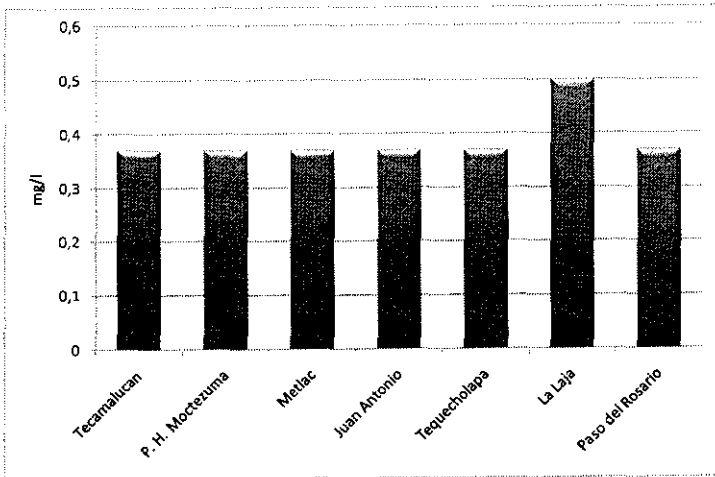


Figura 37. Fósforo

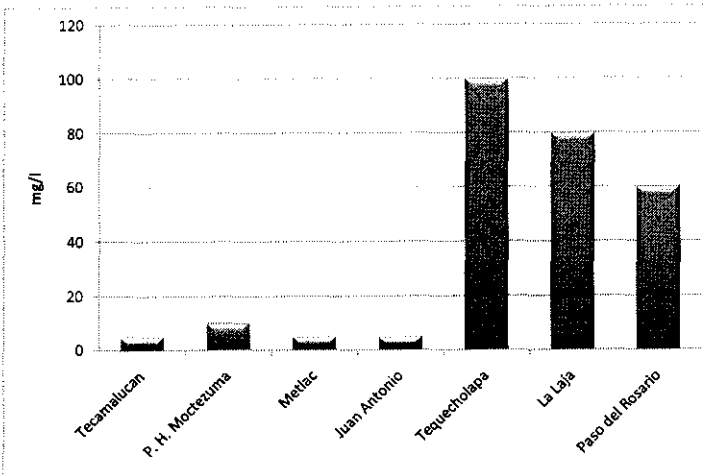


Figura 38. DQO

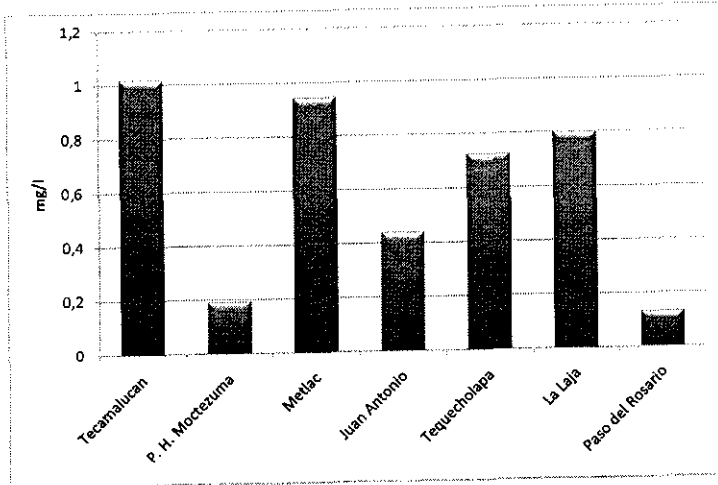


Figura 39. Nitratos

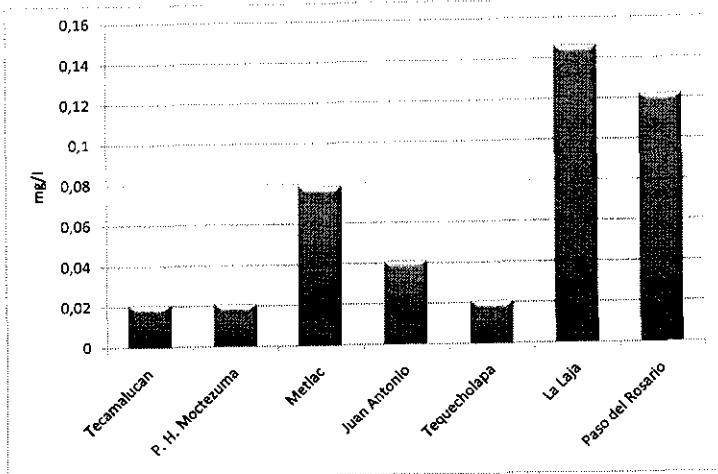


Figura 40. Nitritos

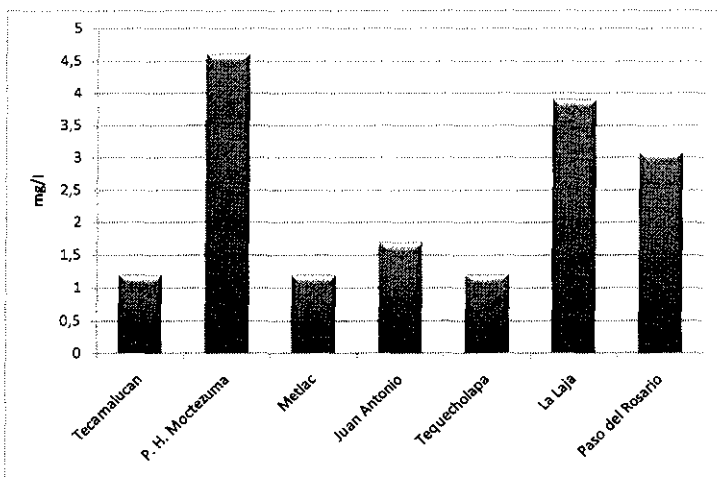


Figura 41. Nitrógeno total

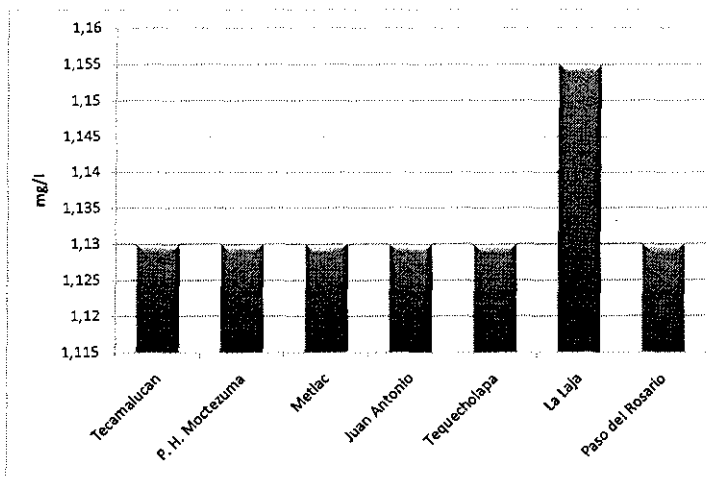


Figura 42. Fosfatos

6.6 Resultados de Índice de calidad del agua

Tabla 20. Resultados de Índice de Calidad del Agua

SITO	Índice
TECAMALUCAN	87.6
P. H. MOCTEZUMA	56.5
METLAC	89.4
JUAN ANTONIO	81.5
TEQUECHOLAPA	89.1
LA LAMA	57.4
PASO DEL ROSARIO	59.9

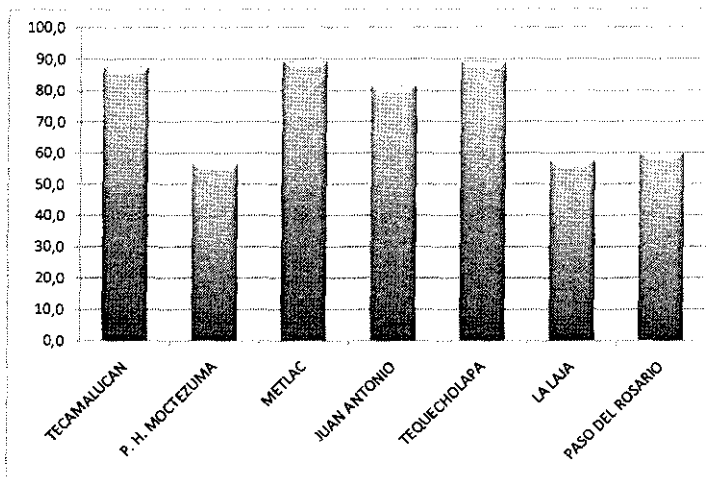
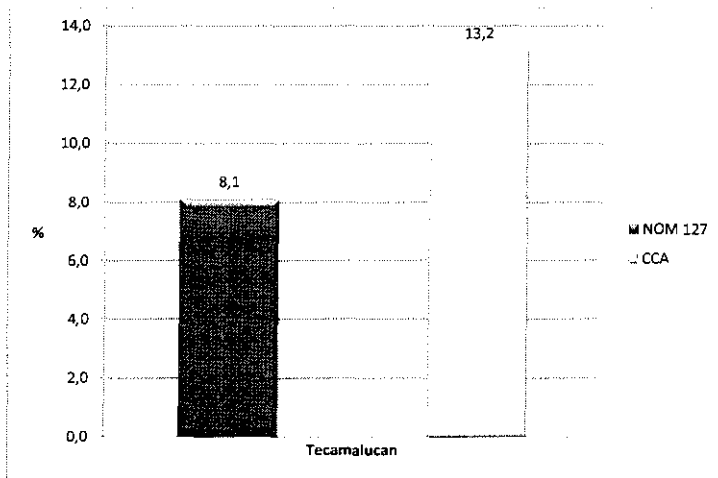


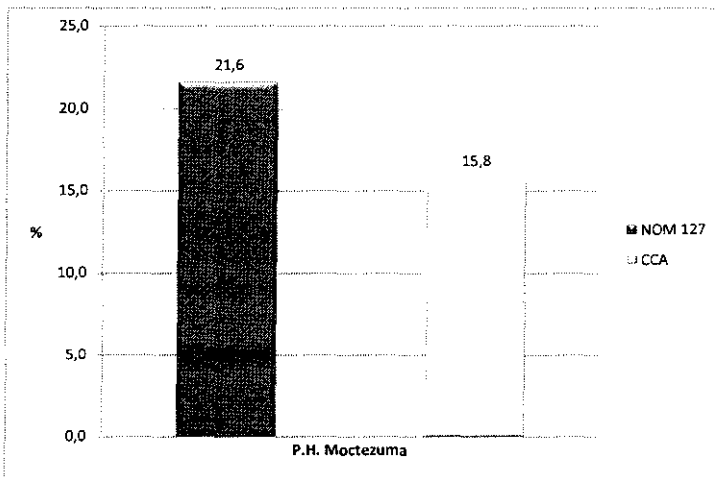
Figura 43. Índice de calidad del Agua (ICA)

6.7 Porcentaje de parámetros fuera de norma



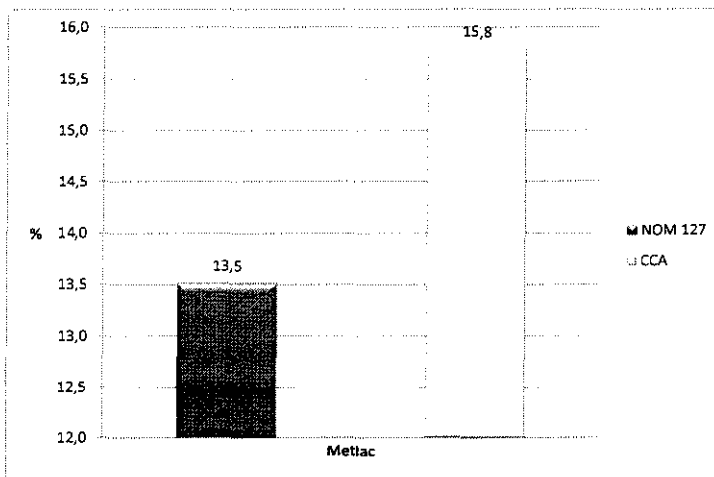
NOM-127-SSA1-1994	CCA-001-89
Aluminio	Aluminio
Hierro	Bario
Coliformes totales	Coliformes fecales
	Oxigeno disuelto
	Sulfatos

Figura 44. Porcentaje de parámetros fuera de norma en Tecamalucan.



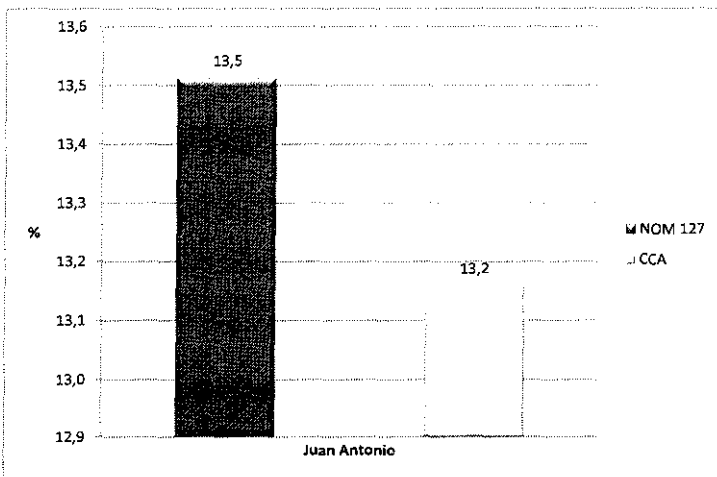
NOM-127-SSA1-1994	CCA-001-89
Aluminio	Nitrógeno amoniacal
Color	Fluoruros
Turbiedad	Sulfatos
Nitrógeno amoniacal	Aluminio
Hierro	Bario
Coliformes totales	Coliformes fecales
Coliformes fecales	
Fluoruros	

Figura 45. Porcentaje de parámetros fuera de norma en P.H. Moctezuma.



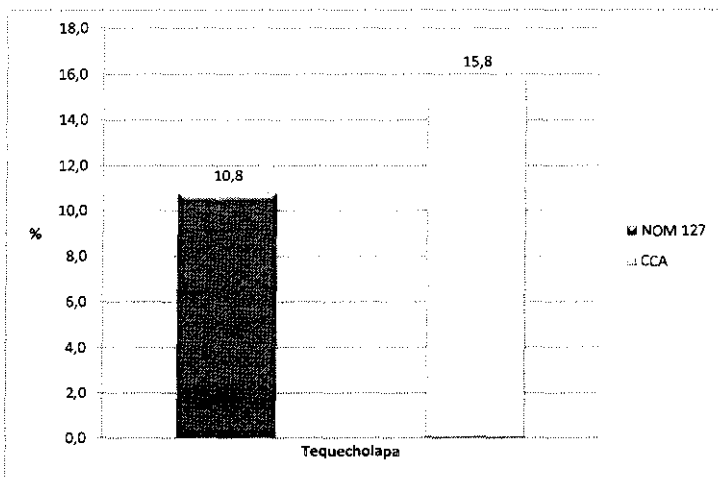
NOM-127-SSA1-1994	CCA-001-89
Fluoruros	Fluoruros
Aluminio	Sulfatos
Hierro	Aluminio
Coliformes totales	Bario
Coliformes fecales	Coliformes fecales

Figura 46. Porcentaje de parámetros fuera de norma en Metlac.



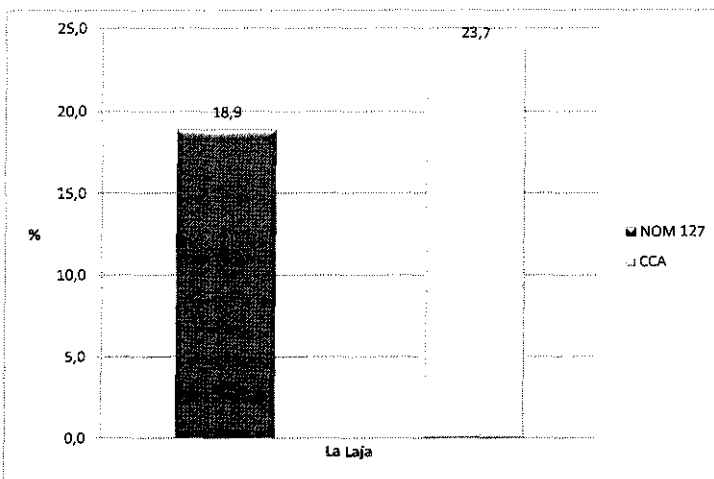
NOM-127-SSA1-1994	CCA-001-89
Color	Fluoruros
Aluminio	Sulfatos
Hierro	Aluminio
Coliformes totales	Bario
Coliformes fecales	Coliformes fecales

Figura 47. Porcentaje de parámetros fuera de norma en Juan Antonio.



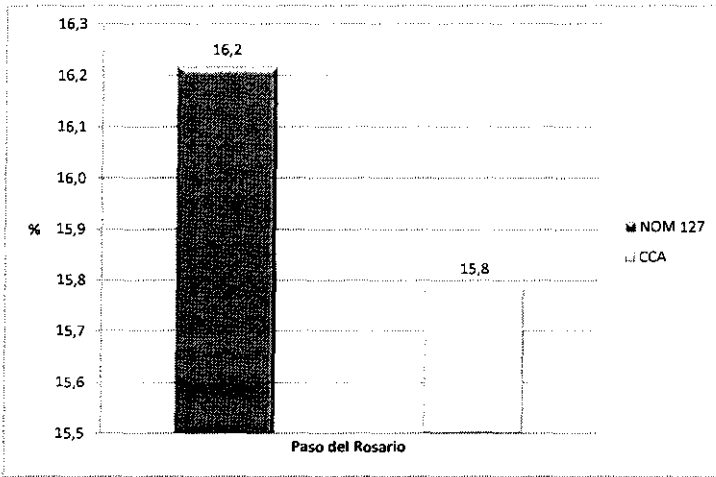
NOM-127-SSA1-1994	CCA-001-89
Aluminio	Oxígeno disuelto
Hierro	Fluoruros
Coliformes totales	Sulfatos
Coliformes fecales	Aluminio
	Bario
	Coliformes fecales

Figura 48. Porcentaje de parámetros fuera de norma en Tequecholapa.



NOM-127-SSA1-1994	CCA-001-89
Color	Oxígeno disuelto
Nitrógeno amoniacal	Fósforo
Fluoruros	Nitrógeno amoniacal
Aluminio	Fluoruros
Hierro	Sulfatos
Coliformes totales	Aluminio
Coliformes fecales	Coliformes fecales
	Fosfatos
	Bario

Figura 49. Porcentaje de parámetros fuera de norma en La Laja.



NOM-127-SSA1-1994	CCA-001-89
Color	Oxígeno disuelto
Nitrógeno amoniacal	Nitrógeno amoniacal
Aluminio	Sulfatos
Hierro	Aluminio
Coliformes totales	Bario
Coliformes fecales	Coliformes fecales

Figura 50. Porcentaje de parámetros fuera de norma en Paso del Rosario

6.8 Resultados del estudio de plancton

Se muestran los valores de fitoplancton para las 7 estaciones estudiadas, como sigue:

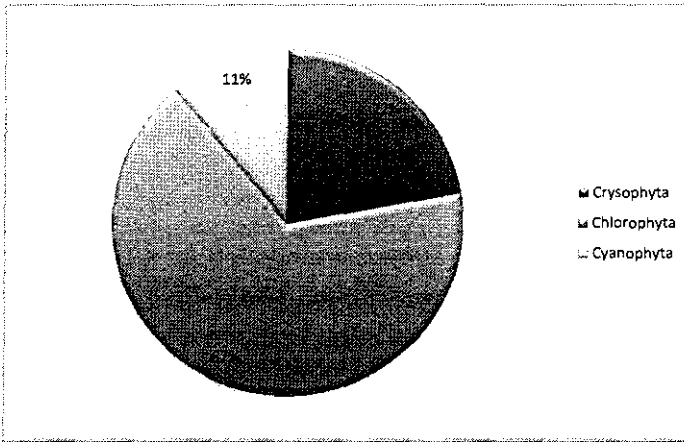


Figura 51. Distribución de grupos taxonómicos de fitoplancton Tecamalucan.

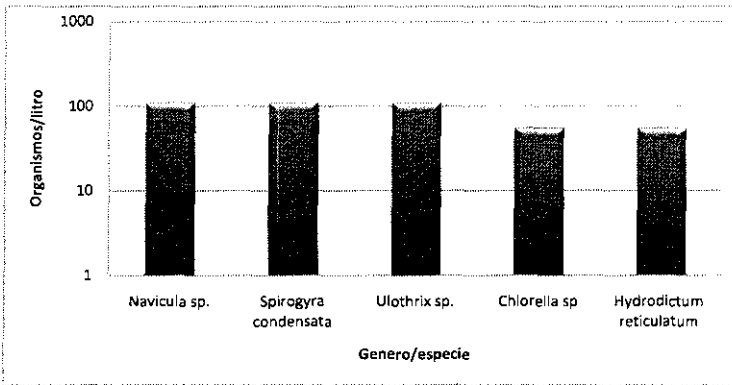


Figura 52 Análisis cuantitativo fitoplanctónico de la muestra 1 Tecamalucan

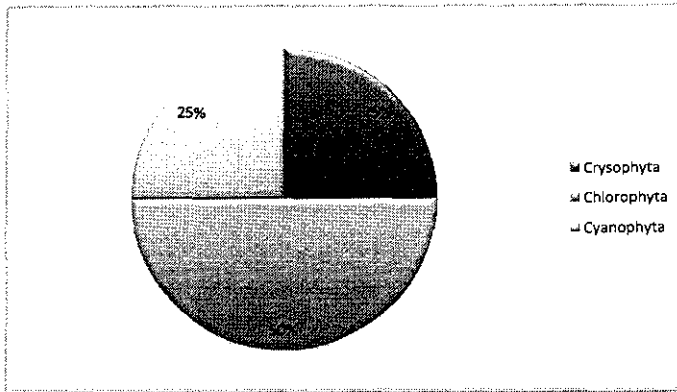


Figura 53. Distribución de grupos taxonómicos de fitoplancton P.H. Moctezuma.

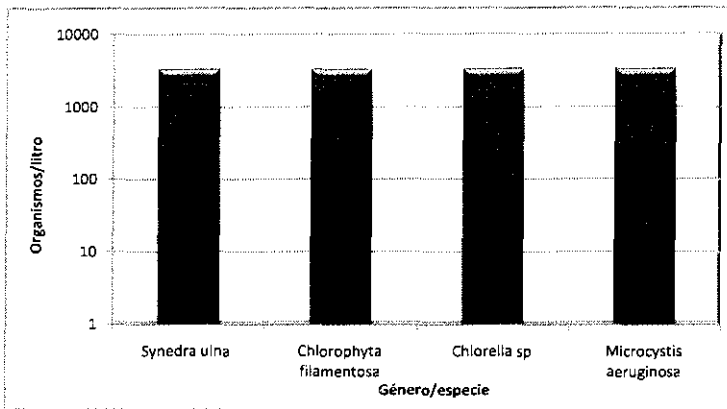


Figura 54 Análisis cuantitativo fitoplanctónico de la muestra 2 P.H. Moctezuma

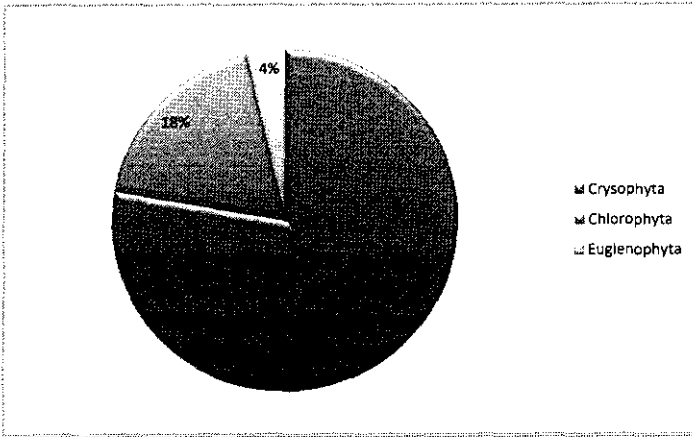


Figura 55. Distribución de grupos taxonómicos de fitoplancton Metlac

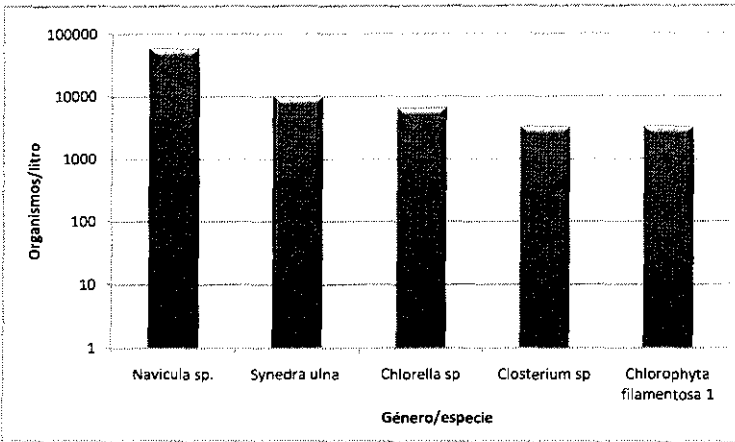


Figura 56 Análisis cuantitativo fitoplanctónico de la muestra 3 Metlac.

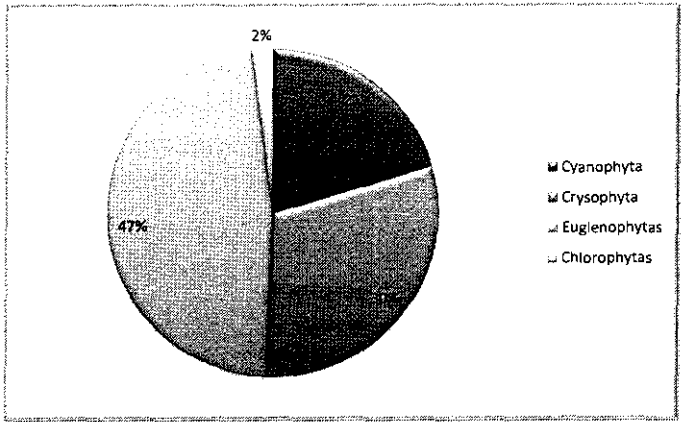


Figura 57. Distribución de grupos taxonómicos de fitoplancton Juan Antonio.

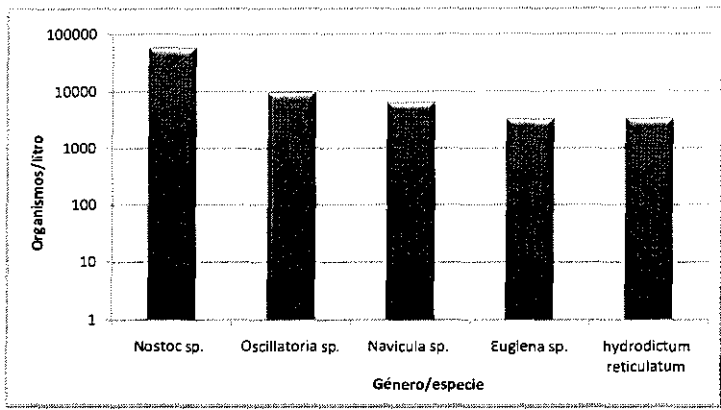


Figura 58 Análisis cuantitativo fitoplanctónico de la muestra 4 Juan Antonio.

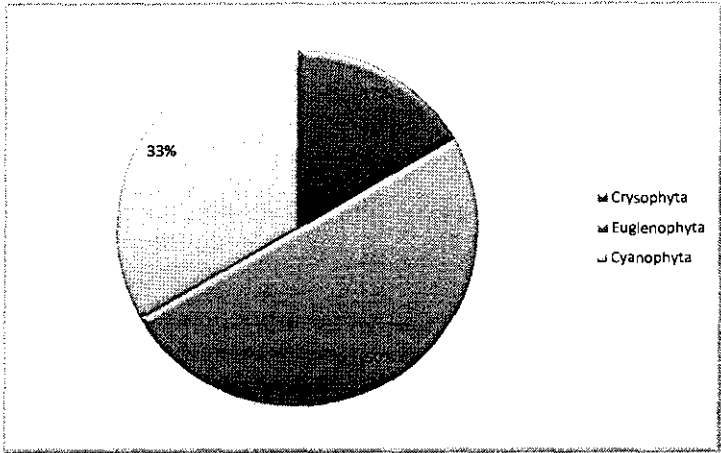


Figura 59. Distribución de grupos taxonómicos de fitoplancton Tequecholapa.

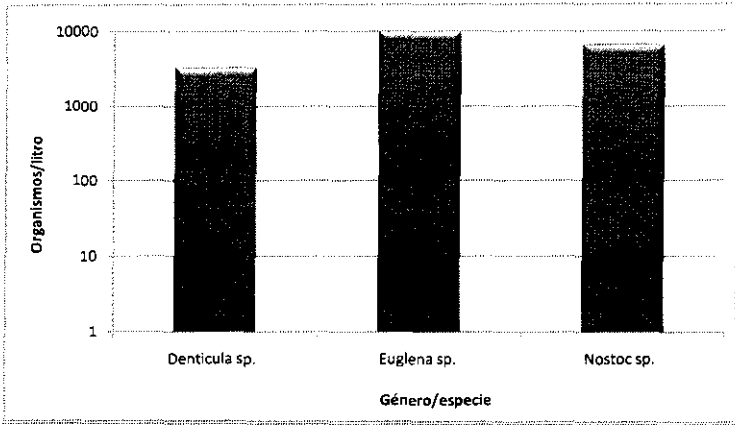


Figura 60 Análisis cuantitativo fitoplanctónico de la muestra 5 Tequecholapa.

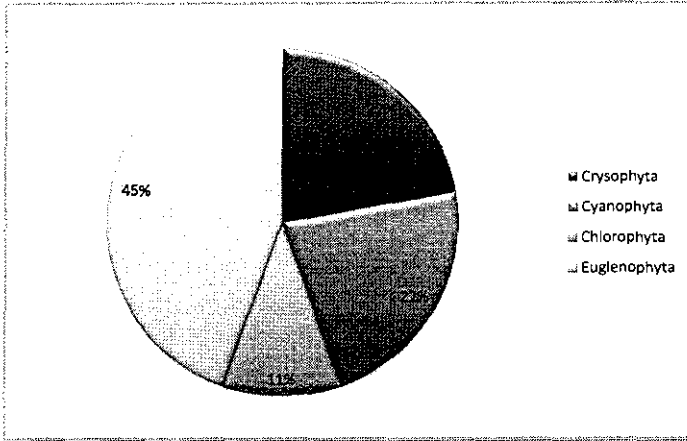


Figura 61. Distribución de grupos taxonómicos de fitoplancton La Laja.

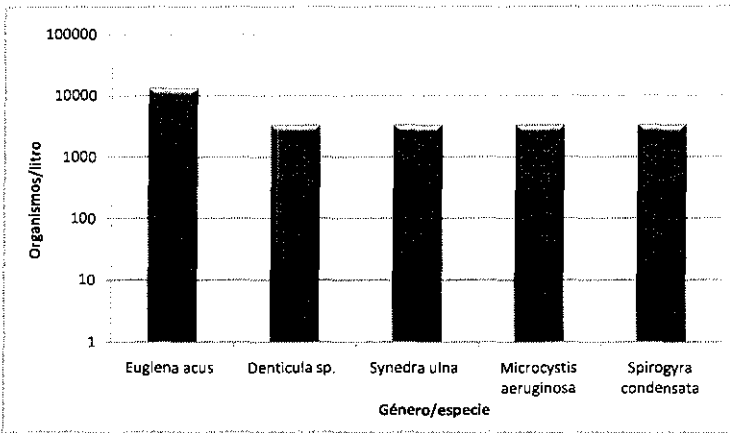


Figura 62 Análisis cuantitativo fitoplanctónico de la muestra 6 La Laja.

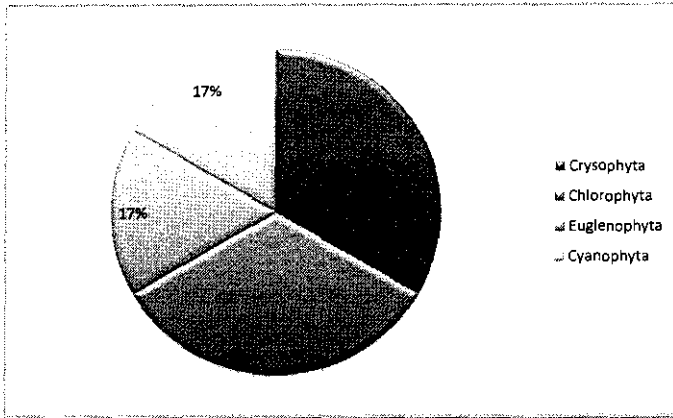


Figura 63. Distribución de grupos taxonómicos de fitoplancton Paso del Rosario.

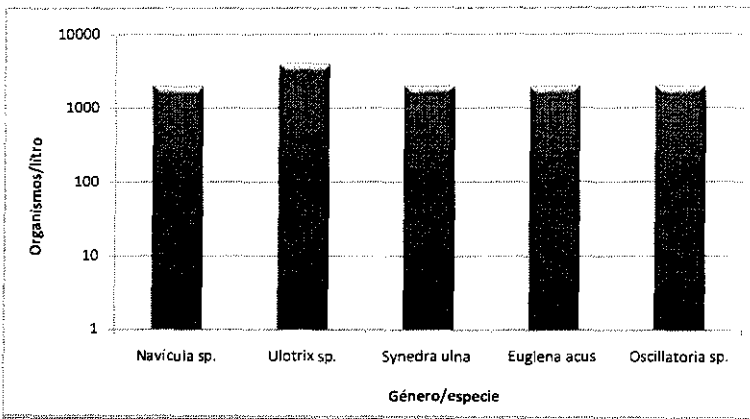


Figura 64 Análisis cuantitativo fitoplanctónico de la muestra 7 Paso del Rosario.

Tabla 21 Distribución de grupos taxonómicos de zooplancton de todos los sitios de muestreo.

Sitio de muestreo	Grupos taxonómicos de zooplancton	Phyllum	Numero de organismos
Tecamalucan	Larva Nauplio	Artropoda	4
P.H. Moctezuma	Vorticella sp.	Rotifera	8
Metlac	Vorticela sp.	Rotifera	1
	Ciliado	Rotifera	5
	Larva Nauplio	Artropoda	2
	Gusano	Artropoda	3
Juan Antonio	ninguno		ninguno
Tequecholapa	Larva Nauplio	Artropoda	1
La Laja	Vorticela sp.	Rotifera	86
	Ciliado	Rotifera	11
	Gusano	Artropoda	2
Paso del Rosario	Vorticella sp.	Rotifera	24
	Ciliado	Rotifera	8
	Gusano	Artropoda	4

6.9 Limitantes de uso en el agua estudiada

De acuerdo a los criterios de clasificación de la calidad del agua, las limitantes de uso para los intervalos de las categorías del ICA son: 0-39%, Altamente contaminado; 40-59%, Contaminado; 60-90% Levemente contaminado; 91-100% Aceptable. La Comisión Nacional del Agua genero un cuadro con las siguientes recomendaciones en su utilización según la calidad.

ICA	Uso Público	Recreo	Pesca y vida acuática	Industria Agrícola	Navegación	Transporte desechos tratados
100	Aceptable No requiere de purificación	Aceptable para todo tipo de depósitos acuáticos	Aceptable para todo tipo de organismos	Aceptable No requiere de purificación		
90	Requiere una ligera purificación			Requiere una ligera purificación		
80						
70	Mayor necesidad de tratamiento	Aceptable pero no recomendable	Excepto especies muy sensibles	Sin tratamiento para la industria normal	Aceptable para todo tipo de navegación	
60			Dudoso para especies sensibles			Aceptable para todo tipo de transporte de desechos tratados
50	Dudoso	Dudoso para contacto directo		Con tratamiento para la mayor parte de la industria		
40	Inaceptable	Sin contacto con el agua	Solo para organismos muy resistentes			
30		Muestra obvia de contaminación	Inaceptable	Uso muy restringido	Contaminado	
20		Inaceptable		Inaceptable	Inaceptable	
10						Inaceptable
0						

Figura 65 criterios de clasificación de la calidad del agua

Fuente: Semarnat, Comisión Nacional del agua, Gerencia de Saneamiento y Calidad del Agua, 2002.

Según el cuadro anterior, las limitantes de uso se describen en la tabla 24

Tabla 22 Limitantes de uso en la calidad del agua estudiada.

Estudios de la calidad del agua							
	Tecamaluacan	P. H. Moctezuma	Metlac	Juan Antonio	Tequecholapa	La Iaja	Paso del rosario
Usos del agua	Ica 87.6	Ica 66.5	Ica 89.4	Ica 81.5	Ica 89.1	Ica 67.4	Ica 59.9
Uso público	Mayor necesidad de tratamiento	dudoso	Mayor necesidad de tratamiento	Mayor necesidad de tratamiento	Mayor necesidad de tratamiento	dudoso	dudoso
recreo	Aceptable pero no recomendable	Aceptable pero no recomendable	Aceptable pero no recomendable	Aceptable pero no recomendable	Aceptable pero no recomendable	Aceptable pero no recomendable	Aceptable pero no recomendable
Pesca y vida acuática	Excepto especies muy sensibles	Excepto especies muy sensibles	Excepto especies muy sensibles	Excepto especies muy sensibles	Excepto especies muy sensibles	Dudoso para especies sensibles	Dudoso para especies sensibles

Industria agrícola	Requiere una ligera purificación	sin tratamiento para la industria normal	Requiere una ligera purificación	Requiere una ligera purificación	Requiere una ligera purificación	sin tratamiento para la industria normal	sin tratamiento para la industria normal
navegación	Aceptable para todo tipo de contaminación	Aceptable para todo tipo de contaminación	Aceptable para todo tipo de contaminación	Aceptable para todo tipo de contaminación	Aceptable para todo tipo de contaminación	Aceptable para todo tipo de contaminación	Aceptable para todo tipo de contaminación
Transporte desechos tratados	Aceptable para todo tipo de transporte de desechos	Aceptable para todo tipo de transporte de desechos	Aceptable para todo tipo de transporte de desechos	Aceptable para todo tipo de transporte de desechos	Aceptable para todo tipo de transporte de desechos	Aceptable para todo tipo de transporte de desechos	Aceptable para todo tipo de transporte de desechos

VII DISCUSIÓN

En la determinación de la disponibilidad del agua en un país, no solamente es necesario saber qué cantidad de agua está al alcance en las diferentes fases del ciclo hidrológico, además, deben conocerse las características físico – químicas, bacteriológicas y fitoplanctónicas para estar en condiciones de darle uso en diferentes actividades productivas y como agua potable en el abastecimiento a poblaciones, también es reconocido que el ambiente se daña seriamente debido a la contaminación del agua, muchos organismos que viven y se reproducen en el agua son afectados por la contaminación de la misma, esto puede alternativamente lastimar el ciclo vital de otras especies animales, vegetales y la condición de vida de seres humanos que se encuentren a su alrededor.

En este estudio se observa que la contaminación existe en la mayor parte de los ríos del país, entre ellos el río Blanco, ubicado en el estado de Veracruz, provocada principalmente por la industria de las ciudades de Nogales, Orizaba y Córdoba, ya que usan el río como vía de eliminación de sus desechos y sus caudales descienden, a los municipios de Acultzingo, Ciudad Mendoza, Nogales, Huiloapan de Cuauhtemoc, Río Blanco, R. Delgado, Orizaba, Ixtaczoquitlan, Fortín de las Flores, Naranjal, Coetzala, Amatlán, Cuichapa, Omealca, Cuitlahuac, Tierra Blanca, Tlalixcoyan desembocando en la Laguna de Alvarado. Tan grave es el caso, que en el año 2006, se registró la muerte de miles de peces, en esta cuenca hidrológica, ocasionada presuntamente por descargas de los residuos de los ingenios azucareros.

Los valores obtenidos en este estudio se puede observar cómo se va degradando esta calidad, en la parte más alta del río Blanco, esto es, cercano a su nacimiento en la estación Tecamalucan, el ICA es de 87.6, (hay que recordar que una calidad excelente corresponde a un valor de 100) para la siguiente estación P.H. Moctezuma es de 56.5, para la siguiente La Laja es de 57.4 y finalmente Paso del Rosario de 59.9. Lo que evidencia claramente la afectación de la calidad por los usos de los recursos hídricos. Cabe señalar que los procesos de dilución que ejercen los tributarios son importantes, ya que se observa como el río Metlac con

89.4 de ICA, el río Juan Antonio con 81.5 y el río Tequecholapa con 89.1, mejoran la calidad del agua.

En los sitios de monitoreo de los Ríos Papaloapan y Blanco el Índice de Calidad de Agua (ICA) para el año 2003, oscilaba de un 23 a un 60 lo que significa que se encuentra de contaminado a fuertemente contaminado en diferentes puntos de monitoreo de ambos ríos. Y si se comparan estos resultados con los del estudio, se observa que no cambia mucho la situación de contaminación en el río Blanco. CONAGUA, (2005).

Si se considera la clasificación de la calidad del agua, se observa cómo se presenta una buena calidad en afluentes, mientras que en las estaciones donde la carga contaminante es importante, la calidad decrece, en la tabla 25 se observa la clasificación correspondiente en base a los valores especificados en la figura 66.

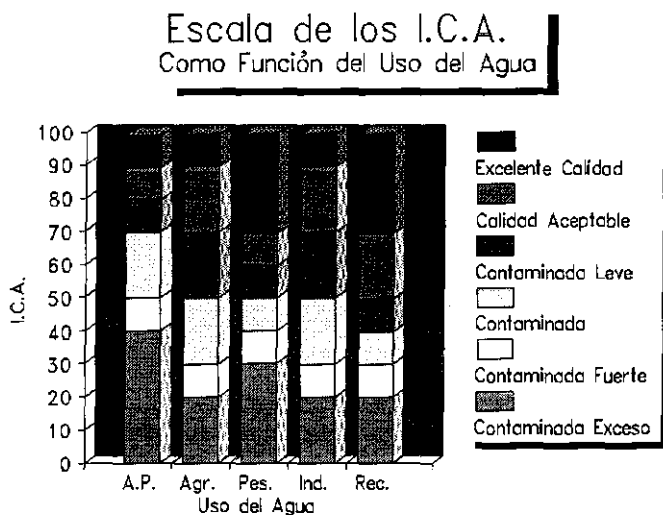


Figura 66 Clasificación del agua según el ICA. CNA.

IX CONCLUSIONES

1. La calidad del agua observada en el río blanco, es deficiente, lo que limita drásticamente los usos convencionales de ella, con valores de calidad expresados como Índice de calidad del agua (ICA) en el inicio de río de 87 y terminando en 59.
2. La principal contaminación observada es de tipo bacteriológico, seguida de fisicoquímica, y no se presentan plaguicidas.
3. Las poblaciones de plancton encontradas son muy reducidas, esto debido por la contaminación y por los procesos de dilución que se presentan, además de los caudales variables de este sistema hídrico en particular.
4. Los impactos que un proyecto hidroeléctrico puede presentar en un río no son evidentes en este caso, ya que la calidad del agua en el inicio del proyecto está seriamente afectada, incidiendo en los usos y en las funciones ecológicas del mismo.
5. La modificación del cauce normal del río Blanco, será el principal elemento a monitorear en un futuro, ya que en el proyecto se considera que el tributario Río Metlac seguirá aportando su caudal al río Blanco, las funciones ecológicas del mismo dependerán de este, por lo que la gestión de sus aguas será vital para la correcta funcionalidad del río Blanco hasta su desembocadura en la Laguna de Alvarado, ya como parte del río Papaloapan.

X BIBLIOGRAFÍA

1. Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (2000). Documento EPA 815-F-00-007.
2. Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (2000). Documento EPA 815-F-00-007.
3. Allan, JD. (1995). *Stream Ecology. Structure And Function Of Running Waters*. Chapman & Hal. London. América Latina. Cuarto Informe, capítulo 13.
4. Bodogog, I.; Polyak, K.; Hlavay, J. (1997). Determination Of Heavy **Metals** In Lake And River **Sediments** By Selective Leaching. *International Journal of Environmental Analytical Chemistry*. 66(2):79-94.
5. Campos T.S. 1995. Determinación del fitoplancton de la presa Ing. Elías González Chávez. Tesis de Licenciatura. Universidad de Guadalajara.
6. CE-CCA-001-89. (1989). Acuerdo Por El Que Se Establecen Los Criterios Ecológicos De Calidad Del Agua. Diario Oficial de la Federación. México.
7. CONAGUA, (2005), Mapa Hidrológico, escala 1:1 000 000. Sistema de Información Geográfica del Agua, Subgerencia de Programación de la Gerencia Regional Golfo Centro de la Comisión Nacional del Agua.
8. Consejo del Sistema Veracruzano del Agua 2006 Dr. Rolando Springall Galindo. <http://www.csva.gob.mx>
9. Darley W.M. 1987; Biología de las algas enfoque fisiológico; Limusa; México D.F. 236 p.
10. De la Lanza G. y J. L. García. 2002. Lagos y Presas de México, AGT. Editor, S.A. México, D.F.
11. Departamento de Hidrometeorología de la Facultad de Instrumentación Electrónica y Ciencias Atmosféricas, Universidad Veracruzana. Circuito Gonzalo Aguirre Beltrán s/n, zona universitaria, Xalapa, Veracruz. C. P. 91090. dpereyra@uv.mx

12. Domínguez, M. R., D. Pereyra, L. Gómez, I. Sosa y J. A. A. Pérez, (1999). Estimación de las características de Infiltración Puntual en los Diversos Suelos de la Cuenca del Río Ídolos y su Relación con la Infiltración Global de dicha Cuenca. Universidad Veracruzana e Instituto de Ingeniería de la UNAM. Informe Técnico del proyecto 0640P-A patrocinado por CONACYT, 53 pp.
13. Estudio de las Comunidades Planctónica, Béntónica y de Vegetación Acuática del Área de Influencia del P.H. Aguamilpa, Nayarit. 1994. UNAM, Instituto de Biología.
14. Estudio de Plancton, Bentos y Vegetación Acuática del Área de Influencia del P.H. Aguamilpa, Nayarit. 1993. UNAM, Instituto de Biología.
15. Estudio de Protección de Centrales Hidroeléctricas de las Fuentes de Contaminación que Afectan su Operación. De la P.H. Caracol, en el Estado de Guerrero. 1994. Consultoría Eco-Ingeniería S.A.
16. Estudio Geohidrológico para el Abastecimiento de Agua al Campamento del P.H. El Cajón Edo. De Nayarit. 1994. CFE, Superintendencia del Pacífico Norte. Subgerencia de Estudios Geológicos.
17. Estudio hidrológico de las microcuencas el Caracol y el Huilustre, estado de Jalisco, segunda etapa, erosión hídrica, colegio de postgraduados, montecillo, estado de México, diciembre del 2002, Pág. 5 a 8.
18. Ford, T.; Ryan, DK. (1992). Evaluation Of Heavy Metals In Water, Sediment And Organisms In Lake Chapala. Final Report Of The State Of Jalisco. Division of Applied Sciences, Harvard University. Cambridge, Massachusetts, 38 pp.
19. Guías para la Calidad del Agua Potable. Volumen 1. Recomendaciones. Organización Panamericana de la Salud. Organización Mundial de la Salud. 1985.
20. Guías para la Calidad del Agua Potable. Volumen 2. Criterios relativos a la salud y otra información de base. Organización Panamericana del Salud. 1987.
21. <http://mapserver.inegi.gob.mx>

22. Hutchinson, GE. (1957). *A Treatise On Limnology*, Vol. 1. Part. I. John Wiley & Sons. New York.
23. INEGI 2000. Carta Hidrológica de Aguas Superficiales, 1:1000000., Carta Topográfica, 1:50 000.
24. INEGI 2000. Carta Hidrológica de Aguas Superficiales, 1:1000000.
25. Jiménez Blanca E. 2002. *La contaminación ambiental en México, efectos y tecnología apropiada*; Editorial LIMUSA S.A de C.V. México, D.F.
26. Jiménez Cisneros B. 2001. *La contaminación Ambiental en México*. Ed. Limusa México DF.
27. Kraemer A. R, Choudhury K. y E. Kampa, 2001. *Protecting Water Resources: Pollution Prevention, Thematic Background Paper – International Conference on Freshwater Bonn 2001, Secretariat of the International Conference on Freshwater Bonn 2001 (Ed) Bonn, 2001, ([http://: www.water-2001.de](http://www.water-2001.de))*
28. Leon, LF. (1991). Índice de Calidad del Agua, ICA. Inf. # SH-9101/01, Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, México, 36 p.
29. Margalef, R. (1986). *Ecología*. Ed. Omega, Barcelona. España. 951 pp.
30. Margalef, R. (1991). *Teoría De Los Sistemas Ecológicos*. Ed. Barcanova. Barcelona. 184 pp.
31. Martínez de Bascaran, G. (1979). Establecimiento de una metodología para conocer la calidad del agua. *Bol. Inf. Medio Ambiente*, 9:30-51.
32. McIntosh, A. (1991). Trace Metals In Freshwater Sediments: A Review Of The Literature And An Assessment Of Research Needs. In: Newman MC, McIntosh AW (eds) *Metal Ecotoxicology: Concepts and Applications*. Lewis Publishers, Michigan, USA, pp. 243-260.
33. Ministerio de Medioambiente (2000). *Guía Para La Elaboración De Estudios Del Medio Físico, Contenido Y Metodología*. Ministerio del Medio Ambiente, Madrid, Centro de Publicaciones.
34. Nisbet, M.; Verneaux, J. (1970). Composantes Chimiques Des Eaux Courantes. *Ann. Limnol.* 2.

35. NOM-014-SSA-1993 (1993). Procedimientos Sanitarios Para El Muestreo De Agua Para Uso Y Consumo Humano En Sistemas De Abastecimiento De Agua Públicos Y Privados. Diario Oficial de la Federación. México. Norma Oficial Mexicana. Secretaria de Salud.
36. NOM-117-Ssa1-1994 (1994). Determinación De Cadmio, Arsénico, Plomo, Estaño, Cobre, Hierro, Zinc Y Mercurio En Alimentos, Agua Potable Y Agua Purificada Por Espectrometría De Absorción Atómica. Diario Oficial de la Federación. México. Norma Oficial Mexicana. Secretaria de Salud.
37. NOM-127-SSA1-1994. (1994). Salud Ambiental, Agua Para Uso y Consumo Humano-límites Permisibles de Calidad y Tratamiento a que debe Someterse el Agua para su Potabilización. Diario Oficial de la Federación. México. Norma Oficial Mexicana. Secretaria de Salud.
38. NOM-AA-14-1980 (1980). Cuerpos Receptores, Muestreo. Diario Oficial de la Federación. México. Norma Oficial Mexicana. Análisis de Agua.
39. Prescott G.W. 1973, Algae of the western great lakes area; Brown Company Publishers: USA.
40. Prescott G: W. 1978, The Key Picture Key Nature.
41. Resumen Ejecutivo del Estudio de Protección de Centrales Hidroeléctricas de las Fuentes de Contaminación que Afectan su Operación. De la P.H. Caracol, en el Estado de Guerrero. 1994. Consultoría Eco-Ingeniería S.A.
42. Revisión of the WHO Guidelines for Drinking-Water Quality. IPS. International Programme on Chemical Safety. United Nations Environment Programme. International Labour Organization. World Health Organization. 1991.
43. Ortiz, A., 1975. Algunos conceptos y criterios de clasificación de de los medios lacustres. An. Inst. Geog., Univ. Nal. Autón. México. México. XV: 129-138 pp.
44. S.A.R.H. 1993; Secretaría de Agricultura y Recursos Hidraulicos Manual de Microbiología y aplicaciones en los procesos biológicos de tratamientos de agua; México D.F.

45. SARH. 1993. En: Manual de microbiología y aplicaciones en los procesos biológicos de tratamientos en los procesos biológicos de agua México, D.F.
46. SEMARNAT (2010) Guías para trámites de Impacto Ambiental
47. SEMARNAT 2010. Pagina web consultada el 17/07/10
<http://www.semarnat.gob.mx/estados/colima/temas/Paginas/impactoambiental.aspx>.
48. SEMARNAT (2010a) Pagina web consultada el 17/07/10
(http://www.semarnat.gob.mx/tramitesyservicios/informaciondetramites/Impacto%20ambiental/GUIAS/REGIONALES/GUIAS/RMIA_energ_.pdf)
49. SEMARNAT (2010b). Pagina web consultada el 17/07/10
<http://www2.ine.gob.mx/publicaciones/estudios/397/castillo.html>
50. Smith G.H.; Claves de los géneros de algas de agua dulce; México D.F.; UNAM. 1950. Sufragio Efectivo. No Reelección. El Director General de Salud Ambiental, Gustavo Olaiz Fernández.- Rúbrica México, D.F.1995.
51. Sournia A. 1987; Phytoplankton manual; UNESCO; United Kingdom.
52. Tiffany L.H. Britton;; The algae of Illinois; New York.1952.
53. Wetzel, RG. (1981). Limnología. Editorial Omega. Barcelona. 334 pp.
54. WHO Guidelines for Drinking-Water Quality. Volume 1: Recommendations. World Health Organization. 1992.
55. WHO Guidelines for Drinking-Water Quality. Volume 2. Health Criteria and Other Supporting Information. Chapter 1: Microbiological Aspects. United Nations Environment Programme. International Labour Organization. World Health Organization. 1992.
56. Yacobson S. Catalogo e Iconografia de Cyanophyta de Venezuela, Universidad de Zulia, Venezuela. 1978.

XI ANEXOS

11.1 Anexo fotográfico de muestreo e instrumentación



Figura 67. Inicio de muestreo Rio Blanco Veracruz.



Figura 68 Toma de muestra estación Tecamalucan.



Figura 69. Medición de transparencia en Tecamalucan.



Figura 70. Estación Tecamalucan.



Figura 71. Medición de datos fisicoquímicos.



Figura 72. Filtrado de plancton.

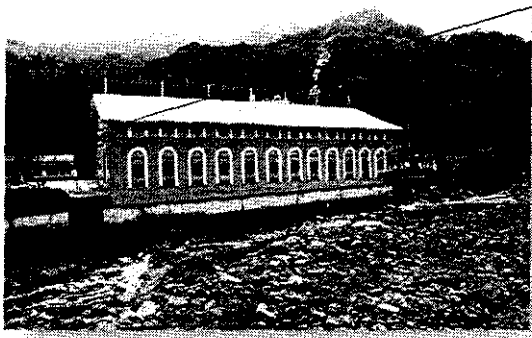


Figura 73. Muestra estación Hidroeléctrica Mochizuma.



Figura 74. Rio Blanco.



Figura 75. Espuma abundante en Hidroeléctrica Moctezuma.



Figura 76. Toma de muestra en estación Hidroeléctrica Moctezuma.



Figura 77. Toma de muestras para analisis microbiologico.



Figura 78. Toma de muestras de sedimentos.



Figura 79. Presencia de macroinvertebrados planarias y quironomidos.



Figura 80. Estación Hidroeléctrica Moctezuma



Figura 81. Muestra estación Metlac.



Figura 82. Muestra estación Metlac.



Figura 83. Traslado de material en estación Metlac.



Figura 84. Filtrado de plancton muestra estación Metlac.



Figura 85. Muestra estación Juan Antonio.



Figura 86. Muestra estación Juan Antonio.



Figura 87. Toma de muestra estación Juan Antonio



Figura 88. Toma de muestra para análisis microbiológico.



Figura 89. Filtrado de plancton estación Juan Antonio.



Figura 90. Filtrado de plancton Juan Antonio



Figura 91. Muestra estación Tequecholapa.

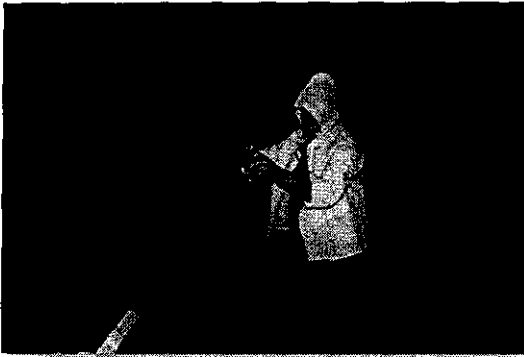


Figura 92. Toma de muestra para oxígeno disuelto.



Figura 93. Toma de muestra para oxígeno disuelto en estación Tequecholapa.



Figura 94. Toma de muestra estación Tequecholapa.



Figura 95. Toma de parámetros fisicoquímicos en estación Tequecholapa



Figura 96. Muestra estación Paso del Rosario.



Figura 97. Toma de muestra para análisis microbiológico.



Figura 98. Toma de clorofila muestra en estación pasó del rosario.



Figura 99. Toma de parámetros fisicoquímicos.



Figura 100. Toma de muestra estación La Laja



Figura 101. Toma de datos meteorológicos muestra en estación la Laja.



Figura 102. Muestra estación La Laja.



Figura 103. Filtrado de plancton muestra en estación la laja.



Figura 104. Toma de sedimentos en estación la laja.



Figura 105. Muestra estación La Laja.



Figura 106. Entrega de muestra para análisis microbiológico, nutrientes, clorofila.



Figura 107 Medicion de color, Aqua Tester.

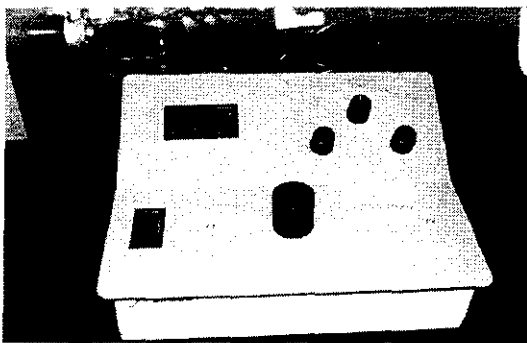


Figura 108 Turbidimetro

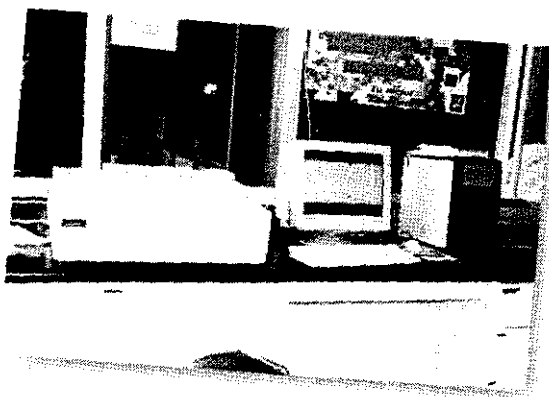


Figura 109 Espectrofotometro para medicion de fluoruros.

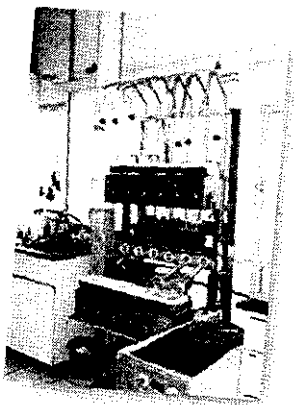


Figura 110 Equipo para análisis de nitrógeno.

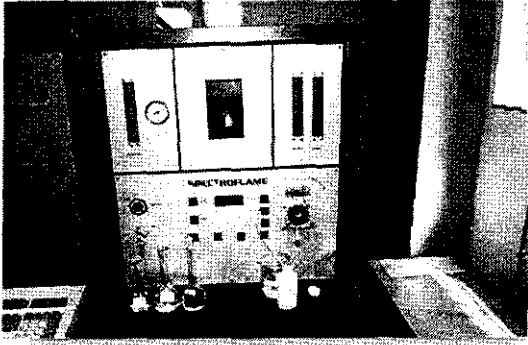


Figura 111 Espectrofotómetro de masas ICP.

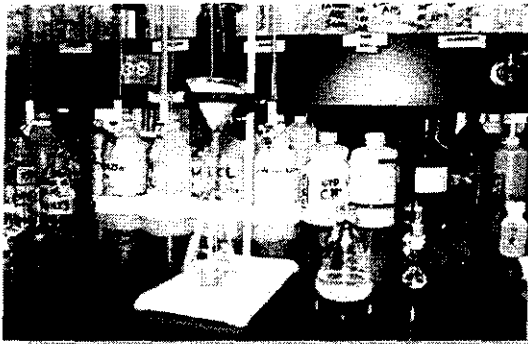


Figura 112 Analisis de cloruros

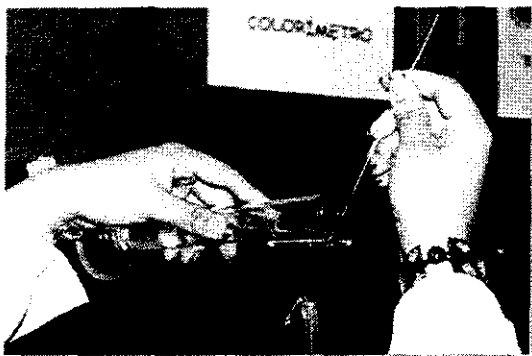


Figura 113 Análisis de nitritos y nitratos.

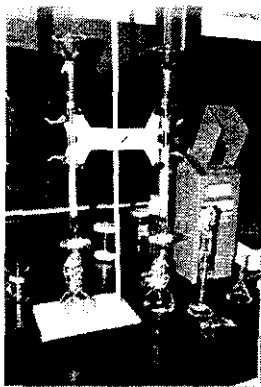


Figura 114 Análisis de fenoles.



Figura 115 Entrega de muestras al laboratorio de Centro de Estudios y Proyectos Ambientales (CEPA).

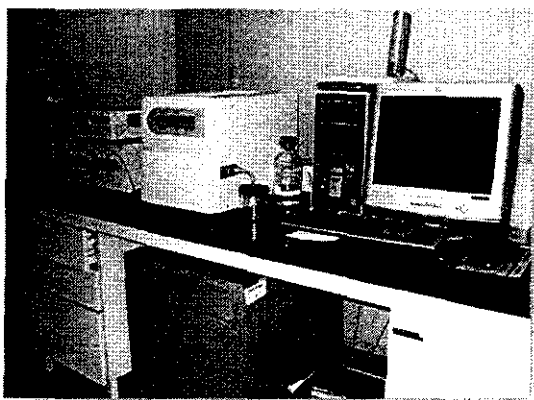


Figura 116 Cromatógrafo de líquidos.

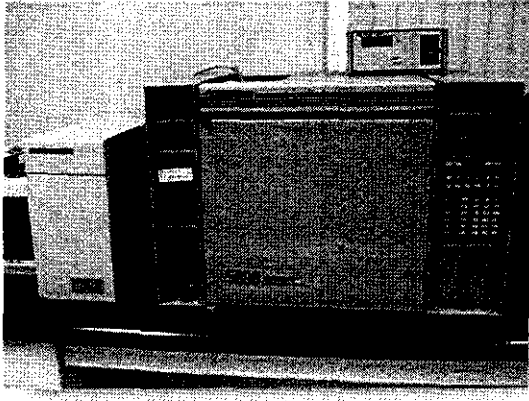


Figura 117 Cromatógrafo de gases.

11.1 Anexo fotográfico de organismos fitoplanctonicos y zooplanctonicos

Muestra 1

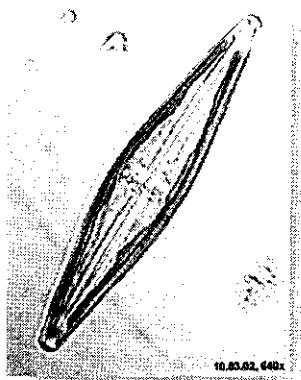


Figura 118 Navicula sp.

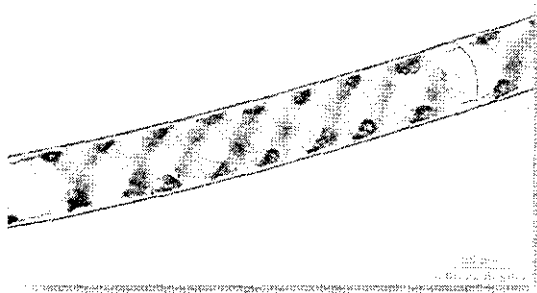


Figura 119. Spirogyra condensata

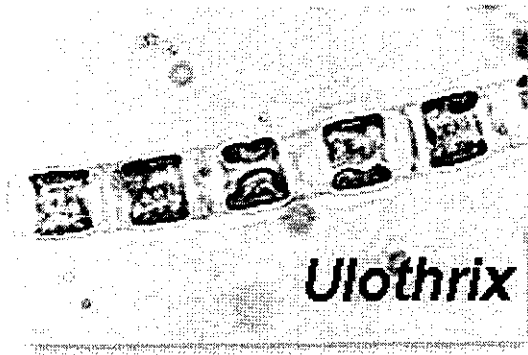


Figura 120. Ulothrix sp.



Figura 121. Chlorella sp

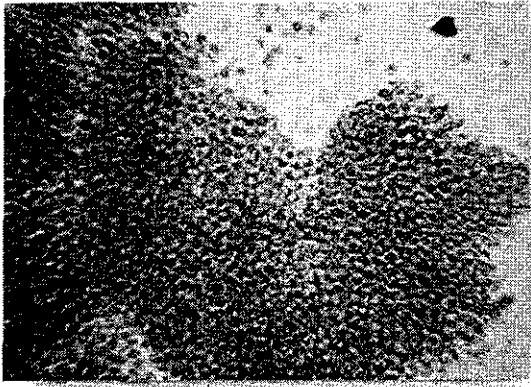


Figura 122. *Microcystis aeruginosa*

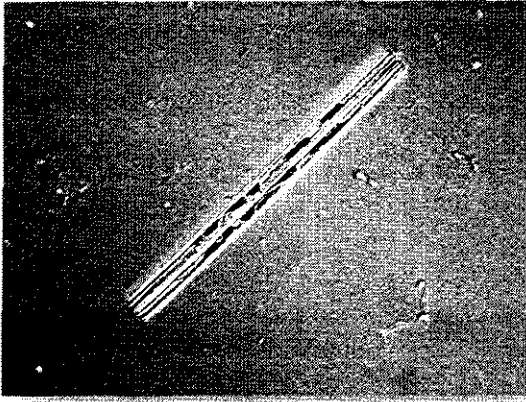


Figura 123. *Synedra ulna*



Figura 124. Chlorophyta filamentosa



Figura 125. Vorticella sp.



Figura 126 Closterium sp

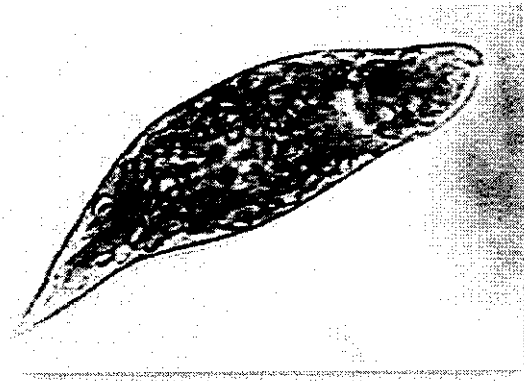


Figura 127. Euglena sp.



Figura 128. Tardigrado

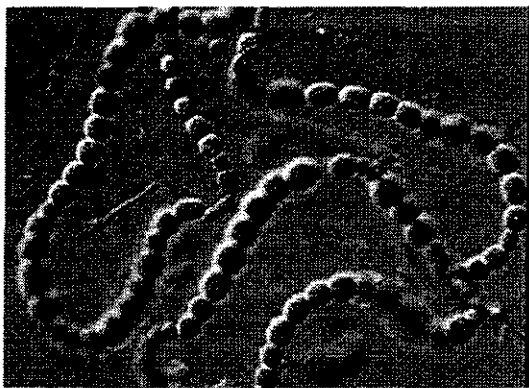


Figura 129. Nostoc sp.

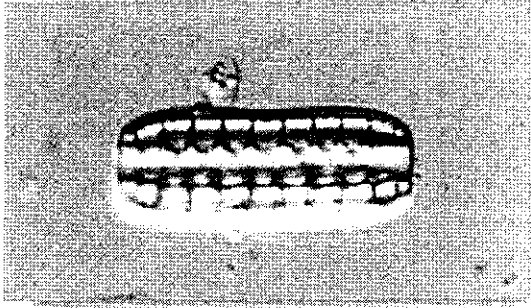


Figura 130. *Denticula* sp.

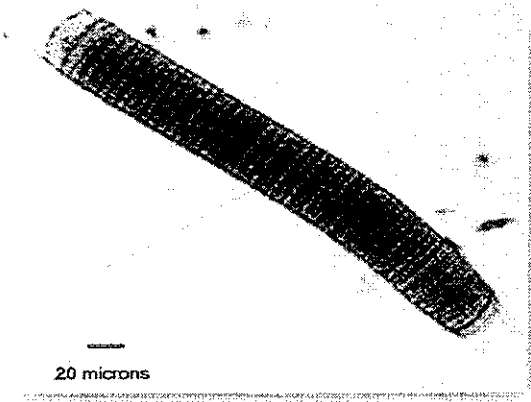


Figura 131. *Oscillatoria* sp.

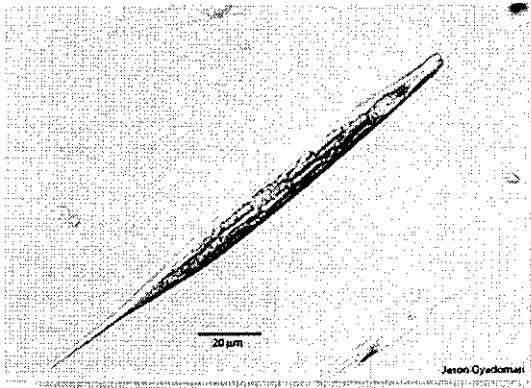


Figura 132. Euglenacus

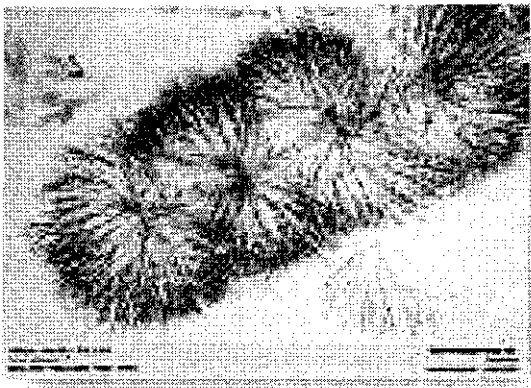


Figura 133. Batrachospermum

11.3 Procedimiento para el cálculo del índice de calidad del agua (ICA)

El Índice de Calidad del Agua (ICA), como forma de agrupación simplificada de algunos parámetros, indicadores de un deterioro en calidad del agua, es una manera de comunicar y evaluar la calidad de los cuerpos de agua. Sin embargo, para que dicho índice sea práctico debe de reducir la enorme cantidad de parámetros a una forma más simple, y durante el proceso de simplificación algo de información se sacrifica. Por otro lado si el diseño del ICA es adecuado, el valor arrojado puede ser representativo e indicativo del nivel de contaminación y comparable con otros para enmarcar rangos y detectar tendencias.

El monitoreo de un cuerpo de agua para detectar su grado de contaminación, conduce a obtener una inmensa cantidad de datos de varios parámetros, incluso dimensionalmente distintos, que hace difícil detectar patrones de contaminación. Horton (1965) y Liebman (1969) son los pioneros en el intento de generar una metodología unificada para el cálculo del ICA. Pratti (1971) presenta un trabajo con trece parámetros y Dinius (1987) realiza otro similar con once parámetros.

Para la agrupación de los parámetros existen dos técnicas básicas; las denominadas aritméticas y las multiplicativas (Brown, 1970). A su vez pueden o no ponderarse con pesos específicos para cada parámetro. Landwehr y Denninger (1976) demostraron la superioridad del cálculo a través de técnicas multiplicativas, que son mucho más sensibles que los aritméticos a la variación de los parámetros, por lo que reflejan con mayor precisión un cambio de calidad.

En cuanto a la ponderación, Ott (1978) indica que el asignar pesos específicos a los parámetros tiene el riesgo de introducir cierto grado de subjetividad en la evaluación, pero por otro lado sugiere que es importante una asignación racional y unificada de dichos pesos de acuerdo al uso del agua y de la importancia de los parámetros en relación al riesgo que implique el aumento o disminución de su concentración.

El intento más reciente para el diseño del ICA es el de Dinius (1987). En dicho trabajo y usando el método Delphi de encuestas (creado con el objeto de integrar efectivamente las opiniones de expertos y eliminar las desventajas colaterales de un proceso de comité), agrupó a un panel de expertos en cuestiones ambientales y diseñó, a partir de la evaluación e interacción de ellos, un ICA de tipo multiplicativo y con asignación de pesos específicos por parámetro.

Se desarrollara en este trabajo el Índice de Calidad del Agua propuesto por Martínez de Basarán (1979) que es ampliamente utilizado debido a su diseño sencillo y a que permite incluir n número de variables en la integración, previa

ponderación de su magnitud, siendo entonces aplicable a series de datos tanto numerosas como pequeñas. El índice proporciona un valor global de la calidad del agua, en función de los valores individuales de una serie de parámetros, para lo cual se realizan varias transformaciones numéricas en cada uno de los resultados a integrar. Para elaborar el ICA, se seleccionaran aquellos parámetros de calidad del agua más usuales en la evaluación de ríos y que se enumeran en los Criterios Ecológicos de Calidad del Agua (CE-CCA-001-89). Los procesos metodológicos a aplicar son:

El primer procedimiento será la normalización de los valores individuales que conforman el índice al establecer una correspondencia de los resultados obtenidos en cada uno de los parámetros con una escala variable de 0 a 100 que se construye en función de los valores límite establecidos. Se asume como valor de 100 % al que indica condiciones naturales u óptimas en un río, y el 50 % corresponde al máximo permitido. Una valoración menor al 50 % significa que existen limitantes de importancia para su utilización. La normalización de parámetros a aplicar se muestra en las tablas 24 a 30.

Tabla 24 Normalización de aluminio, arsénico y cadmio

Parámetro	Aluminio	Arsénico	Cadmio	Valoración
	0.4	0.1	0.01	0
	0.36	0.09	0.009	10
	0.32	0.08	0.008	20
	0.28	0.07	0.007	30
Valor	0.24	0.06	0.006	40
	0.2	0.05	0.005	50
Analítico	0.16	0.04	0.004	60
	0.12	0.03	0.003	70
	0.08	0.02	0.002	80
	0.04	0.01	0.001	90
	0	0	0	100
Unidad de Medida	mg/L	mg/L	mg/L	%

Tabla 25 Normalización de Cromo hexavalente, color y conductividad

Parámetro	Cromo Hexavalente	Color	Conductividad	Valoración
	1	>200	>16.000	0
	0.09	150	12.000	10
	0.08	100	8.000	20
	0.07	75	5.000	30
Valor	0.06	50	3.000	40
	0.05	20	2.500	50
Analítico	0.04	16	2.000	60
	0.03	12	1.500	70
	0.02	8	1.250	80
	0.1	4	1.000	90
	0	0	<750	100
Unidad de Medida	mg/L	Esc. Pt.-Co.	µmhos/cm	%

Tabla 26 Normalización de pH, dureza total y oxígeno disuelto

Parámetro	pH	Dureza Total	Oxígeno Disuelto	Valoración
	1/14	>1.500	0	0
	2/13	1.000	1	10
	3/12	800	2	20
	4/11	600	3	30
Valor	5/10	500	3.5	40
	6/9.5	400	4	50
Analítico	6.5	300	5	60
	9	200	6	70
	8.5	100	6.5	80
	8	50	7	90
	7	<25	7.5	100
Unidad de Medida	Unidad	mg/L CaCO ₃	mg/L	%

Tabla 27 Normalización de coliformes totales y fecales y cloruros

Parámetro	Coliformes Totales	Coliformes Fecales	Cloruros	Valoración
	>14.000	>14.000	>1.500	0
	10.000	10.000	1.000	10
	7.000	7.000	700	20
	5.000	5.000	500	30
Valor	4.000	4.000	300	40
	3.000	3.000	200	50
Analítico	2.000	2.000	150	60
	1.500	1.500	100	70
	1000	1000	50	80
	500	500	25	90
	<50	<50	0	100
Unidad de Medida	UFC/100 ml	UFC/100 ml	mg/L	%

Tabla 28 Normalización de temperatura, turbiedad y sólidos disueltos

Parámetro	Temperatura	Turbiedad	Sólidos Disueltos	Valoración
	>50/>-8	>100	>20.000	0
	45/-6	70	10.000	10
	40/-4	50	5.000	20
	36/-2	30	3.000	30
Valor	32/0	20	2.000	40
	30/5	10	1.500	50
Analítico	28/10	8	1.000	60
	26/12	6	750	70
	24/14	4	500	80
	22/15	2	250	90
	21 a 16	0	<100	100
Unidad de Medida	°C	UTN	mg/L	%

Tabla 29 Normalización de mercurio, hierro y manganeso

Parámetro	Mercurio	Hierro	Manganeso	Valoración
	0.002	0.6	0.3	0
	0.0018	0.54	0.27	10
	0.0016	0.48	0.24	20
	0.0014	0.42	0.21	30
Valor	0.0012	0.36	0.18	40
	0.001	0.3	0.15	50
Analítico	0.0008	0.24	0.12	60
	0.0006	0.18	0.09	70
	0.0004	0.12	0.06	80
	0.0002	0.6	0.03	90
	0	0	0	100
Unidad de Medida	mg/L	mg/L	mg/L	%

Tabla 30 Normalización de plomo

Parámetro	Plomo	Valoración
	0.05	0
	0.045	10
	0.04	20
	0.035	30

Valor	0.03	40
	0.025	50
Analítico	0.02	60
	0.015	70
	0.01	80
	0.05	90
	0	100
Unidad de Medida	mg/L	%

El segundo procedimiento será la asignación de un peso numérico a cada uno de los parámetros. En la tabla 33 se muestran los pesos a asignar.

Tabla 31 Peso a asignar a los parámetros

PESO ASIGNADO	PARÁMETRO
Valor máximo de 4	Conductividad, Oxígeno Disuelto, S.A.A.M. (Detergentes), Color, Mercurio
Valor medio de 3	Turbiedad, , Coliformes Totales y fecales, Arsénico, Cadmio, Cromo total, hierro, Manganeso, Plomo
Valor menor de 2	Sólidos Disueltos, Aluminio, Cromo hexavalente
Valor mínimo de 1	PH, Cloruros, Temperatura, Dureza Total

El tercer procedimiento ha sido aplicar la siguiente fórmula para el cálculo del índice de calidad del agua ICA:

$$ICA = \frac{\sum CiPi}{\sum Pi} \cdot k$$

Donde:

Ci = Valor porcentual asignado a los parámetros

Pi = Peso asignado a cada parámetro

k = Constante que varía de 1 a 0,25 según la contaminación aparente del agua, definida de la siguiente forma:

- 1,00 Para aguas claras sin aparente contaminación
- 0,75 Para aguas con ligero color, con espumas y ligera turbiedad aparentemente no natural
- 0,50 Para aguas con apariencia de estar contaminadas y con fuerte olor
- 0,25 Para aguas negras que presentan fermentaciones y olores

La interpretación de los valores obtenidos del ICA se realiza de acuerdo a la figura 134

CATEGORÍA DE CALIDAD DEL AGUA	
EXCELENTE	EXCESIVA
NO REQUIERE PURIFICACION PARA SU CONSUMO	NO REQUIERE DE TRATAMIENTO PARA RIEGO
REQUIERE PURIFICACION MENOR DADO SU CONSUMO EN PURIFICACION	TRATAMIENTO MENOR PARA CULTIVOS QUE REQUIEREN DE ALTA CALIDAD DE AGUA PARA RIEGO
TRATAMIENTO DE POTABILIZACION INDISPENSABLE	UTILIZABLE EN LA MAYORIA DE LOS CULTIVOS
BUDIDO PARA CONSUMO	TRATAMIENTO REQUERIDO PARA LA MAYORIA DE LOS CULTIVOS
INACEPTABLE PARA CONSUMO	SOLO PARA CULTIVOS MUY RESISTENTES (FRONTERALES)
	INACEPTABLE PARA RIEGO

Figura 134 Clasificaciones de los usos del agua en base al valor de Índice de Calidad Del Agua (ICA).

Fuente: León LF. (1991).