

INSTITUTO TECNOLÓGICO Y DE ESTUDIOS
SUPERIORES DE MONTERREY

CAMPUS MONTERREY

DIVISION DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA
PROGRAMA DE GRADUADOS EN INGENIERIA



TECNOLÓGICO
DE MONTERREY.

ADAPTACION Y APLICACION DE UN INDICE DE
CALIDAD DEL AGUA ARMONIZADO (ICAA)

TESIS

PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL
PARA OBTENER EL GRADO ACADEMICO DE:
MAESTRO EN CIENCIAS
ESPECIALIDAD EN SISTEMAS AMBIENTALES

POR:

HUMBERTO CALDERON ZUNIGA

MONTERREY, N. L.

DICIEMBRE DE 2009

INSTITUTO TECNOLÓGICO Y DE ESTUDIOS
SUPERIORES DE MONTERREY
CAMPUS MONTERREY
DIVISION DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA
PROGRAMA DE GRADUADOS EN INGENIERIA



**TECNOLÓGICO
DE MONTERREY.®**

ADAPTACION Y APLICACION DE UN INDICE DE
CALIDAD DEL AGUA ARMONIZADO (ICAA)

TESIS

PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL
PARA OBTENER EL GRADO ACADEMICO DE:
MAESTRO EN CIENCIAS
ESPECIALIDAD EN SISTEMAS AMBIENTALES

POR:

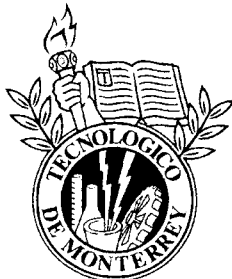
HUMBERTO CALDERON ZUNIGA

MONTERREY, N. L.

DICIEMBRE DE 2009

INSTITUTO TECNOLÓGICO Y DE ESTUDIOS SUPERIORES DE MONTERREY

**CAMPUS MONTERREY
DIVISIÓN DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
PROGRAMA DE GRADUADOS EN INGENIERÍA**



**TECNOLÓGICO
DE MONTERREY.®**

**ADAPTACIÓN Y APLICACIÓN DE UN ÍNDICE DE CALIDAD DEL AGUA
ARMONIZADO (ICAA)**

TESIS

**PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL GRADO
ACADEMICO DE:**

**MAESTRO EN CIENCIAS
ESPECIALIDAD EN SISTEMAS AMBIENTALES**

POR:

HUMBERTO CALDERÓN ZÚÑIGA

MONTERREY, N. L.

DICIEMBRE DE 2009

ÍNDICE GENERAL

| | |
|---|-----------|
| RESUMEN..... | 7 |
| 1.INTRODUCCIÓN..... | 9 |
| 1.1. Antecedentes..... | 9 |
| 1.2. Justificación..... | 12 |
| 2.OBJETIVOS | 14 |
| 3.MARCO TEÓRICO | 16 |
| 3.1. Orígenes del índice de calidad del agua..... | 16 |
| 3.2. Evolución de los índices de calidad del agua..... | 18 |
| 3.3. Formulaciones matemáticas de índices de calidad del agua..... | 21 |
| 3.4. Adaptación de un Índice de Calidad del Agua Armonizado..... | 29 |
| 4.METODOLOGÍA..... | 34 |
| 4.1. Revisión del estado del arte..... | 34 |
| 4.2. Selección de la metodología para el desarrollo de un ICA..... | 34 |
| 4.3. Selección de parámetros..... | 34 |
| 4.4. Preparación del modelo matemático..... | 35 |
| 4.5. Definición de la escala..... | 36 |
| 4.6. Preparación del programa de cómputo para la estimación de un ICAA..... | 36 |
| 4.7. Aplicación a un estudio de caso..... | 37 |
| 5.RESULTADOS Y DISCUSIÓN..... | 40 |
| 5.1. Revisión del estado del arte..... | 40 |
| 5.2. Selección de la metodología para el desarrollo de un ICAA..... | 41 |
| 5.3. Selección de parámetros..... | 43 |
| 5.4. Preparación del modelo matemático..... | 46 |
| 5.5. Definición de la escala..... | 48 |
| 5.6. Preparación del programa de cómputo para la estimación de un ICAA..... | 49 |
| 5.7. Aplicación a un estudio de caso..... | 55 |
| 6.CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES | 77 |
| 6.1. Conclusiones..... | 77 |
| 6.2. Recomendaciones..... | 78 |
| 7.REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 80 |

APÉNDICE "A"

Magnitudes de parámetros de cada punto monitoreado por año84

APÉNDICE "B"

Porcentaje de información faltante del ICAA para cada uso de agua..... 108

APÉNDICE "C"

Magnitudes de parámetros para cada río en el año 2006 114

APÉNDICE "D"

Índices de Calidad del Agua Armonizados en el año 2006 por uso de agua..... 122

ÍNDICE DE TABLAS

| | |
|--|-----------|
| <i>Tabla 1: Línea del tiempo de la adaptación del ICA. Fuente: Modificado de la Universidad de Pamplona.....</i> | <i>21</i> |
| <i>Tabla 2: Parámetros para el ICA geométrico.....</i> | <i>24</i> |
| <i>Tabla 3: Parámetros y límites permisibles para el uso de agua potable bajo Normas Oficiales Mexicanas.....</i> | <i>44</i> |
| <i>Tabla 4: Parámetros y límites permisibles para el uso de riego agrícola bajo Normas Oficiales Mexicanas.....</i> | <i>45</i> |
| <i>Tabla 5: Parámetros y límites permisibles para el uso de recreación con contacto primario bajo Normas Oficiales Mexicanas.....</i> | <i>45</i> |
| <i>Tabla 6: Parámetros y límites permisibles para la protección de la vida acuática bajo Normas Oficiales Mexicanas y criterios ecológicos.....</i> | <i>46</i> |
| <i>Tabla 7: Localización de cada punto monitoreado para los datos históricos.....</i> | <i>57</i> |
| <i>Tabla 8: Caracterización del agua para uno de los puntos monitoreados en los datos históricos.....</i> | <i>57</i> |
| <i>Tabla 9: Descripción de la localización de cada uno de los puntos monitoreados en el Río Coahuayana para los meses de Julio y Diciembre del 2006.....</i> | <i>59</i> |
| <i>Tabla 10: Descripción de la localización de cada uno de los puntos monitoreados en el Río Armería para los meses de Julio y Diciembre del 2006.....</i> | <i>59</i> |
| <i>Tabla 11: Descripción de la localización de cada uno de los puntos monitoreados en el Río Marabasco para los meses de Julio y Diciembre del 2006.....</i> | <i>59</i> |
| <i>Tabla 12: Caracterización del agua (parámetros físico-químicos) para uno de los ríos monitoreados en los meses de Julio y Diciembre del 2006.....</i> | <i>60</i> |
| <i>Tabla 13: Caracterización del agua (metales pesados) para uno de los ríos monitoreados en los meses de Julio y Diciembre del 2006.....</i> | <i>61</i> |
| <i>Tabla 14: Caracterización del agua (pesticidas organoclorados) para uno de los ríos monitoreados en los meses de Julio y Diciembre del 2006.....</i> | <i>62</i> |
| <i>Tabla 15: Caracterización del agua (pesticidas organofosforados) para uno de los ríos monitoreados en los meses de Julio y Diciembre del 2006.....</i> | <i>63</i> |
| <i>Tabla 16: Índices de Calidad del Agua Geométricos.....</i> | <i>65</i> |
| <i>Tabla 17: Magnitudes de parámetros del punto Derivadora Callejones, año 1990. ..</i> | <i>65</i> |
| <i>Tabla 18: Magnitudes de parámetros del Río Coahuayana, Diciembre del 2006.....</i> | <i>65</i> |
| <i>Tabla 19: ICAA para el agua potable.....</i> | <i>66</i> |
| <i>Tabla 20: ICAA para el riego agrícola.....</i> | <i>66</i> |

| | |
|--|----|
| Tabla 21: ICAA para la recreación con contacto primario..... | 67 |
| Tabla 22: ICAA para la protección de la vida acuática. | 68 |
| Tabla 23: Índices de Calidad del Agua Armonizados para cada uno de los diferentes usos en los meses de julio y diciembre del año 2006..... | 71 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| Figura 1 Escala del ICA para diferentes usos del agua..... | 23 |
| Figura 2 Representación matemática de la metodología del CCME..... | 29 |
| Figura 3: Escala del ICAA para cualquier uso del agua..... | 32 |
| Figura 4: Descripción del programa de cómputo “Intro”..... | 49 |
| Figura 5: Marco teórico del programa de cómputo “MT”..... | 50 |
| Figura 6: Normas del programa para cada uso de agua “Límites”..... | 51 |
| Figura 7: Datos de entrada para el programa de cómputo “INPUT”..... | 52 |
| Figura 8: Resultados calculados con el programa de cómputo “Resultados”..... | 53 |
| Figura 9: Parámetros que faltaron de medirse en cada uso del agua “Par Faltan”..... | 54 |
| Figura 10: Cantidad de veces que falló cada parámetro medido “Par Fallidos”..... | 55 |
| Figura 11: Ubicación de los puntos monitoreados para los datos históricos..... | 56 |
| Figura 12: Ubicación de los puntos monitoreados en los meses de Julio y Diciembre del 2006..... | 58 |
| Figura 13: Comparación de diferentes sitios de monitoreo a través del tiempo, para recreación con contacto primario..... | 69 |
| Figura 14: Comparación de diferentes sitios de monitoreo para riego agrícola, en los años 1994, 1995 y 1996..... | 70 |
| Figura 15: Comparación de la calidad del agua en diferentes usos, para cada sitio de monitoreo en el año de 1996..... | 71 |
| Figura 16: ICAA para la recreación con contacto primario, julio del 2006..... | 71 |
| Figura 17: ICAA para la recreación con contacto primario, diciembre del 2006..... | 72 |
| Figura 18: Comparación de los ICAA en los diferentes usos del agua a lo largo de los tres ríos monitoreados en julio del 2006..... | 74 |
| Figura 19: Comparación de los ICAA en los diferentes usos del agua a lo largo de los tres ríos monitoreados en diciembre del 2006..... | 75 |

| | |
|--|----|
| Tabla 21: ICAA para la recreación con contacto primario..... | 67 |
| Tabla 22: ICAA para la protección de la vida acuática. | 68 |
| Tabla 23: Índices de Calidad del Agua Armonizados para cada uno de los diferentes usos en los meses de julio y diciembre del año 2006..... | 71 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| Figura 1 Escala del ICA para diferentes usos del agua..... | 23 |
| Figura 2 Representación matemática de la metodología del CCME..... | 29 |
| Figura 3: Escala del ICAA para cualquier uso del agua..... | 32 |
| Figura 4: Descripción del programa de cómputo “Intro”..... | 49 |
| Figura 5: Marco teórico del programa de cómputo “MT”..... | 50 |
| Figura 6: Normas del programa para cada uso de agua “Límites”..... | 51 |
| Figura 7: Datos de entrada para el programa de cómputo “INPUT”..... | 52 |
| Figura 8: Resultados calculados con el programa de cómputo “Resultados”..... | 53 |
| Figura 9: Parámetros que faltaron de medirse en cada uso del agua “Par Faltan”..... | 54 |
| Figura 10: Cantidad de veces que falló cada parámetro medido “Par Fallidos”..... | 55 |
| Figura 11: Ubicación de los puntos monitoreados para los datos históricos..... | 56 |
| Figura 12: Ubicación de los puntos monitoreados en los meses de Julio y Diciembre del 2006..... | 58 |
| Figura 13: Comparación de diferentes sitios de monitoreo a través del tiempo, para recreación con contacto primario..... | 69 |
| Figura 14: Comparación de diferentes sitios de monitoreo para riego agrícola, en los años 1994, 1995 y 1996..... | 70 |
| Figura 15: Comparación de la calidad del agua en diferentes usos, para cada sitio de monitoreo en el año de 1996..... | 71 |
| Figura 16: ICAA para la recreación con contacto primario, julio del 2006..... | 71 |
| Figura 17: ICAA para la recreación con contacto primario, diciembre del 2006..... | 72 |
| Figura 18: Comparación de los ICAA en los diferentes usos del agua a lo largo de los tres ríos monitoreados en julio del 2006..... | 74 |
| Figura 19: Comparación de los ICAA en los diferentes usos del agua a lo largo de los tres ríos monitoreados en diciembre del 2006..... | 75 |

RESUMEN

Existen diferentes métodos para determinar la calidad del agua pero todos parten de la caracterización del agua de los análisis de las muestras en laboratorio. Estos análisis incluyen parámetros microbiológicos, físico-químicos, metales pesados y pesticidas. Teniendo la caracterización del agua, tenemos todos los datos de entrada para determinar la calidad del agua. Existen metodologías que únicamente utilizan parámetros microbiológicos y físico-químicos, dejando una gran incertidumbre por no evaluar otros parámetros de interés para el uso del agua como pueden ser algunos metales pesados y pesticidas, inclusive en ocasiones no se toman en cuenta todos los parámetros físico-químicos necesarios.

La metodología más utilizada en el mundo es la del Índice de Calidad del Agua Geométrico (ICAG). En esta metodología ya se tienen establecidos 2 parámetros microbiológicos y 13 parámetros físico-químicos para la evaluación. Estos parámetros fueron seleccionados por un panel de expertos quienes a su vez también jerarquizaron los parámetros y les otorgaron un peso específico. Se utiliza la misma lista de parámetros para determinar la calidad del agua para cualquier uso así como los mismos pesos específicos y límites permisibles, variando únicamente la escala para los resultados.

El Índice de Calidad del Agua Armonizado (ICAA) se obtiene mediante una metodología muy flexible que permite determinar la calidad del agua permitiendo que el interesado decida: los parámetros de cualquier tipo a evaluar, los límites permisibles de los parámetros y las repeticiones de cada monitoreo según el uso que dedica emplearle a la fuente de agua.

Se llevó a cabo un estudio de caso en el Estado de Colima, evaluando la calidad de sus principales ríos, mostrando los alcances y la flexibilidad del ICAA. Para el cálculo de los resultados se elaboró un programa de cómputo en la plataforma de Microsoft Office Excel 2007.

CAPÍTULO 1

INTRODUCCIÓN

1. INTRODUCCIÓN

1.1. Antecedentes

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 (León, 1991).

“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) fueron los primeros en generar una metodología unificada para el cálculo de un Índice de Calidad del Agua (ICA)” (León, 1991).

Existen diferentes métodos para determinar la calidad de un cuerpo de agua por medio de sumas aritméticas y geométricas, pero estos métodos son muy simplificados y sacrifican mucha información valiosa.

Los modelos que existen en la actualidad manejan una cantidad de parámetros muy pobre y son utilizados con la misma importancia para cualquier uso del agua. Los parámetros medidos solo son biológicos y físico-químicos, descartando todos los metales pesados y pesticidas, por lo que los ICAs no son valores representativos. La cantidad y la jerarquía de los parámetros han sido determinadas por medio de votaciones entre expertos en el tema, y dependiendo del número de parámetros que se utilicen, cambiará la ponderación de cada parámetro, por lo que siempre hay variaciones (Brown, 1970).

Posteriormente con trabajos de mayor envergadura, la Fundación Nacional de Saneamiento (NSF por sus siglas en inglés), realizó un estudio en 1970 para evaluar el ICA con base en nueve parámetros que son coliformes fecales, pH, DBO₅, nitratos, fosfatos, turbidez, sólidos disueltos totales, oxígeno disuelto y el cambio de la temperatura (SNET, 2007). Dinius (1972), presenta un trabajo con once parámetros donde incluye oxígeno disuelto, DBO₅, pH, coliformes totales, coliformes fecales, cloruros, dureza total, alcalinidad, conductividad eléctrica, color y diferencia de temperatura; en 1987 agrega otro parámetro a su trabajo que son los nitratos. El Instituto de Ingeniería de la UNAM (1974), presenta otro trabajo con 12 parámetros los cuales incluyen oxígeno disuelto, DBO₅, pH, coliformes totales, coliformes fecales, nitratos, amonios, fosfatos, fenoles, y la diferencia de temperatura (León, 1991).

Para la agrupación de los parámetros existen dos técnicas básicas; las denominadas aritméticas y las multiplicativas. 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 (León, 1991).

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. Esta metodología se sigue

usando bajo las mismas especificaciones hasta hoy en día en muchos países (León, 1991).

La debilidad de los modelos anteriores en la actualidad radica en el número reducido de parámetros, exclusión de parámetros importantes como metales pesados y pesticidas y en la utilización generalizada de parámetros para juzgar la calidad del agua de cualquiera que sea la fuente, cuando el uso de determinados parámetros no es requerido para ciertos usos finales que se le dará al agua. Esto hace que los resultados generados por el ICA presenten sesgo al juzgar la calidad del agua de una fuente determinada. Por otro lado, la asignación de pesos de importancia a los diferentes parámetros, se basa en muchos de ellos, en procesos subjetivos soportados por la experiencia de expertos que le restan sistematicidad y objetividad al procedimiento de cálculo del ICA.

Recientemente el Consejo Canadiense de Ministros de Medio Ambiente (CCME por sus siglas en francés), propuso una nueva metodología para determinar un Índice de Calidad del Agua Armonizado (ICAA) para cuerpos superficiales y subterráneos. En esta nueva metodología se usa un modelo matemático más preciso el cual es utilizado en Canadá y no está limitado por la cantidad de parámetros. En agosto del 2007, países como Argentina, Bolivia, Brasil, Chile, Costa Rica, Cuba, El Salvador, México, Perú, República Dominicana, Uruguay y Venezuela, en un evento internacional que se llevó a cabo en Brasil, acordaron que el ICAA era más adecuado por su metodología estadística. Ellos decidieron utilizar los siguientes parámetros: pH, oxígeno disuelto, DBO_5 , fósforo total, nitrógeno amoniacal, nitritos, conductividad, sólidos disueltos totales, sólidos suspendidos totales, coliformes fecales, plomo, mercurio, cadmio, cromo, arsénico y cobre. A diferencia de los modelos anteriores, por medio de esta metodología es posible incorporar parámetros como pesticidas y metales pesados en la determinación del índice de calidad del agua. En este método no se asignan pesos específicos y los parámetros no tienen que estar jerarquizados para asignar diferentes porcentajes del ICA a cada uno de

ellos. También es posible modificar los límites permisibles sin alterar el modelo matemático (UCLA, 2007).

Así, en este trabajo se desarrolla un índice de calidad del agua armonizado (ICAA) basado en la formulación matemática del CCME. Adicionalmente se implementa su utilización a través de la preparación de un programa de cómputo en la plataforma Excel y se evaluarán las aguas superficiales del Estado de Colima.

El ICAA y el programa de cómputo se aplican en la evaluación e la calidad de las aguas superficiales del Estado de Colima utilizando para tal fin la información histórica de los años 1990, 1992, 1994, 1995 y 1996; así mismo, resultados de monitoreos realizados en campo en los meses de julio y diciembre de 2006. Los usos de agua considerados en el estudio fueron: agua potable, riego agrícola, recreación con contacto primario y protección de la vida acuática. Se utilizaron Normas Oficiales Mexicanas (NOM) y los límites permisibles establecidos por ellas para la aplicación en cada uso.

1.2. Justificación

Considerando el acuerdo de los países Latinoamericanos para usar el modelo Canadiense y tomando en cuenta que desde 1978 el método usado por la Comisión Nacional del Agua es el multiplicativo sin ninguna modificación desde entonces, se hace necesario contar con un índice más objetivo, eficaz y preciso para evaluar la calidad de las aguas superficiales y subterráneas.

Esta metodología será de gran utilidad para las evaluaciones que realizan las dependencias de medio ambiente, los organismos encargados de la calidad del agua y el sector privado ya que obtendrán resultados más confiables y objetivos. En estas evaluaciones ya se tendrán considerados los metales pesados y pesticidas que las normas recomiendan que sean evaluados dependiendo el uso de agua así como únicamente los parámetros físico-químicos y microbiológicos que cada uso requiere.

CAPÍTULO 2

OBJETIVOS

2. OBJETIVOS

- 2.1. Revisar el estado del arte en materia de normatividad, metodologías, modelos matemáticos e índices de calidad del agua.
- 2.2. Valorar las ventajas y desventajas de las diferentes metodologías existentes.
- 2.3. Elegir la metodología más adecuada para la evaluación de la calidad de las fuentes de agua dependiendo de su uso final.
- 2.4. Definir los parámetros a considerar en el nuevo ICA de acuerdo a las normas existentes para cada uso de agua.
- 2.5. Preparar el modelo matemático con base a la metodología seleccionada que permita integrar los parámetros seleccionados.
- 2.6. Definir la escala de evaluación de la calidad del agua para los usos finales de la fuente.
- 2.7. Elaborar un programa computacional que permita realizar evaluaciones vía online.
- 2.8. Aplicar el modelo matemático y el programa de computo desarrollados a un estudio de caso.

CAPÍTULO 3

MARCO TEÓRICO

3. MARCO TEÓRICO

3.1. Orígenes del índice de calidad del agua.

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 (León, 1991).

A pesar de que los primeros estudios realizados para generar una metodología unificada para el cálculo de un Índice de Calidad del Agua (ICA) fueron realizados a finales de los años 60s por Horton y Liebman, fue hasta 1970 que la Fundación Nacional de Saneación (NSF por sus siglas en inglés) de Estados Unidos desarrolló un ICA por medio del uso de la técnica de investigación Delphi de la “Rand Corporation’s” (Brown, 1970).

Esta técnica se utiliza con paneles de expertos y para el desarrollo de este índice, se juntaron 142 expertos y se basó en tres estudios.

“En el primero, se probaron 35 variables de contaminación incluidos en el índice: los expertos opinaron sobre ellos y clasificaron los mismos en tres categorías de acuerdo a si el parámetro debía ser: no incluido, indeciso o incluido. Dentro de los incluidos debían dar una clasificación de 1 a 5, de acuerdo a su mayor o menor importancia, siendo uno la calificación más significativa. Igualmente tuvieron la oportunidad de incluir más variables” (Pamplona, 2008).

“En un segundo estudio, se dio la evaluación comparativa de las respuestas dadas por todos los expertos, de tal manera que se modificaran las respuestas si se determinaba conveniente. Como resultados de este segundo estudio, nueve fueron las variables identificadas de mayor importancia: oxígenos disueltos, coliformes fecales, pH, DBO₅, nitratos, fosfatos, desviación de la temperatura, turbidez y sólidos totales” (Pamplona, 2008).

Finalmente, en el tercer estudio, los participantes fueron cuestionados sobre el desarrollo de una curva de valoración para cada variable. Los niveles de calidad de agua tuvieron un rango de 0 a 100 que fueron localizadas en las ordenadas y los diferentes niveles de las variables en las abscisas. Cada participante realizó la curva que pensó que representaba la variación de la calidad del agua, causada por el nivel de contaminación de las variables. Estas curvas fueron conocidas como “Relaciones Funcionales” o “Curvas de Función” (Pamplona, 2008).

“Los investigadores promediaron todas las curvas para producir, de la misma manera, una curva promedio para cada contaminante. Luego las curvas fueron graficadas a través del uso de la media aritmética con un límite de confianza del 80% sobre este valor medio. Límites de confianza cercanos a la media representaba un contaminante variable, hecho que se verificaba en los estudios, mientras que límites de confianza amplios representaba desacuerdos entre las respuestas” (Pamplona, 2008).

“Cabe destacar que dos grupos de variables requirieron procedimientos especiales: los pesticidas y las sustancias tóxicas; los cuales generalmente no son incluidos en el ICA pero pueden ser evaluados si se requiere. En este caso, si la concentración detectable de pesticidas de todo tipo excediera la cantidad de 0.1 mg/L, el ICA automáticamente podría ser cero” (Pamplona, 2008).

Para el establecimiento de los pesos para los subíndices, era importante que los pesos sumaran uno basándose en las valoraciones dadas por los expertos. Para

lograr esto se calcularon promedios aritméticos de las valoraciones para todas las variables; los pesos temporales eran calculados dividiendo la importancia de cada parámetro sobre la valoración del peso de la variable de mayor importancia. Así los pesos temporales eran divididos individualmente entre la suma de los pesos temporales, lo que produjo los pesos finales (Pamplona, 2008).

Es importante mencionar que de los 142 miembros del panel de expertos, 102 respondieron completamente el primer cuestionario. De estos, solo 94 fueron regresados a tiempo. De los 94 que respondieron a tiempo, sólo 77 completaron y regresaron el segundo cuestionario. El tercer cuestionario sólo 70 miembros del panel de expertos lo completaron a tiempo (Brown, 1970).

Finalmente, para calcular el índice de calidad del agua, se usa una suma lineal ponderada de los subíndices o una función de agregación del producto ponderado. Existen diferentes formas de agrupación de este índice de las cuales las más destacadas son por medio de un promedio aritmético ponderado (Índice de Calidad del Agua Aritmético, ICAS) y por medio de un promedio geométrico ponderado (Índice de Calidad del Agua Geométrico, ICAG) (Pamplona, 2008).

3.2. Evolución de los índices de calidad del agua.

Dentro de los índices generales de común utilización se encuentra los de Horton, Brown, Prati, Mcduffi, Dinius y el INDIC-SEDUE. En los de usos específicos están los de O'connors (pesca, vida silvestre y abastecimiento público), Walski (recreacional) y Stoner (Abastecimiento público e Irrigación) (Pamplona, 2008). A continuación se mencionan los avances más relevantes en la adaptación de un ICA.

- Horton (1965) y Liebman (1969) fueron los primeros en generar una metodología unificada para el cálculo del Índice de Calidad del Agua (ICA)" (León, 1991).

- La Fundación Nacional de Saneamiento (NSF por sus siglas en inglés), realizó un estudio en 1970 para evaluar el ICA con base en nueve parámetros que son coliformes fecales, pH, DBO₅, nitratos, fosfatos, turbidez, sólidos disueltos totales, oxígeno disuelto y el cambio de la temperatura (SNET, 2007).
- Dinius (1972), presenta un trabajo con once parámetros donde incluye oxígeno disuelto, DBO₅, pH, coliformes totales, coliformes fecales, cloruros, dureza total, alcalinidad, conductividad eléctrica, color y diferencia de temperatura; en 1987 agrega otro parámetro a su trabajo que son los nitratos.
- El Instituto de Ingeniería (1974), presenta otro trabajo con 12 parámetros los cuales incluyen oxígeno disuelto, DBO₅, pH, coliformes totales, coliformes fecales, nitratos, amonios, fosfatos, fenoles, y la diferencia de temperatura (León, 1991).
- 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 1978 Ott, presenta una discusión sobre la teoría de índices ambientales y su desarrollo como también una revisión sobre los índices de la época. En cuanto a la ponderación, 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 (León, 1991).
- El Departamento de Calidad Ambiental de Oregon en 1980, desarrolló su propio índice a partir del NSF, sin embargo, su aplicación fue discontinua dada

la dificultad de su cálculo en computadores de primera generación.

- González, 1980: El índice INDIC-SEDUE fue el primero en desarrollarse y aplicarse en México y en Jalisco, tuvo un uso común en la antigua Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología en el Departamento de Prevención y Control de la Contaminación Ambiental de la Subdelegación de Ecología de la Delegación SEDUE-JALISCO. Este ICA está basado en el índice desarrollado por Dinius y adaptado y modificado por la Dirección General de Protección y Ordenación Ecológica (DGPOE) de SEDUE.
- 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. Esta metodología se sigue usando bajo las mismas especificaciones hasta hoy en día en muchos países (León, 1991).
- El Consejo Canadiense de Ministros de Medio Ambiente (CCME por sus siglas en francés), propuso una nueva metodología para determinar un Índice de Calidad del Agua para cuerpos superficiales y subterráneos. En esta nueva metodología se usa un modelo matemático más preciso el cual es utilizado en Canadá y no está limitado por la cantidad de parámetros. Este índice fue desarrollado por Rocchini y Swain en 1995 y mejorado por Wright et al. en 1999.
- En agosto del 2007, países como Argentina, Bolivia, Brasil, Chile, Costa Rica, Cuba, El Salvador, México, Perú, República Dominicana, Uruguay y Venezuela, en un evento internacional que se llevó a cabo en Brasil, acordaron que el ICAA era el más adecuado por su metodología estadística y

se decidió utilizar los siguientes parámetros: pH, oxígeno disuelto, DBO₅, fósforo total, nitrógeno amoniacal, nitritos, conductividad, sólidos disueltos totales, sólidos suspendidos totales, coliformes fecales, plomo, mercurio, cadmio, cromo, arsénico y cobre.

Tabla 1: Línea del tiempo de la adaptación del ICA. Fuente: Modificado de la Universidad de Pamplona.

| AÑO | AUTOR | AÑO | AUTOR | AÑO | AUTOR |
|------------|-------------------------|------------|-------------------------|------------|-----------------------|
| 1965 | Horton | 1978 | Yu y Fogel | 1994 | Dojlido et al. |
| 1968 | Dalkey | 1978 | Stoner | 1995 | SAFE |
| 1969 | Liebman | 1978 | Ott | 1995 | Rocchini y Swain |
| 1970 | NSF | 1979 | Provencher y Lamontagne | 1996 | Van Helmond y Breukel |
| 1970 | Brown et al. | 1979 | Joung et al. | 1996 | Mitchell et al. |
| 1971 | Prati et al. | 1980 | González | 1996 | BCWQI |
| 1972 | O'Connor | 1980 | DCAO | 1997 | Ramírez et al. |
| 1972 | Dinus | 1980 | Ball y Church | 1997 | Petersen |
| 1974 | Walski y Parker | 1983 | Bhargava | 1997 | Montoya |
| 1974 | Instituto de Ingeniería | 1985 | Couillard y Lefevre | 1998 | Ramírez y Viña |
| 1974 | Harkins | 1987 | Smith | 1999 | Wright et al. |
| 1975 | Inhaber | 1987 | House y Ellis | 1999 | Stambuk-Giljanovc |
| 1975 | Deininger | 1987 | Dinus | 1999 | Ramírez et al. |
| 1975 | NAS | 1990 | León | 2000 | Mitchell y Stapp |
| 1976 | Landwehr | 1991 | Alberti y Parker | 2000 | IDEAM |
| 1976 | IAWR | 1992 | Kung et al. | 2001 | Cude |
| 1977 | Shaefer y Janardan | 1992 | Guzmán y Merino | 2005 | Ramírez et al. |

3.3. Formulaciones matemáticas de índices de calidad del agua.

La primera formulación matemática que agrupaba un índice de calidad del agua, resultó por medio de un promedio aritmético ponderado que se debe a Brown et al. (1970). Esta formulación genera un Índice de Calidad del Agua Aritmético, ICAS.

$$ICAS = \sum_{i=1}^n Q_i W_i \dots \dots \dots (1)$$

Con n el número de parámetros elegidos. Q_i es la calidad del parámetro (i), en función de su concentración y cuya calificación oscila entre 0 y 100, Σ representa la operación aritmética de las variables Q multiplicadas por W_i (Brown, 1970).

Donde W_i son los pesos específicos asignados a cada parámetro i, y ponderados entre 0 y 1, de tal forma que se cumpla que:

$$\sum_{i=1}^n W_i = 1 \dots \dots \dots (2)$$

Posteriormente, se desarrollo la agrupación numérica del ICA, con técnicas multiplicativas y ponderadas con la asignación de pesos específicos que se debe a Brown et al. (1973), se obtiene a partir de una media geométrica. Esta formulación genera un Índice de Calidad del Agua Geométrico, ICAG:

$$ICA = \prod_{i=1}^n Q_i^{W_i} \dots \dots \dots (3)$$

Con n el número de parámetros elegidos. Q_i es la calidad del parámetro (i), en función de su concentración y cuya calificación oscila entre 0 y 100, Π representa la operación multiplicativa de las variables Q elevadas a la W_i (León, 1991).

Donde W_i siguen siendo los pesos específicos asignados a cada parámetro i, y ponderados entre 0 y 1, de tal forma que se cumpla que:

$$\sum_{i=1}^n W_i = 1$$

El ICA que arrojan ambas situaciones es un número entre 0 y 100 que califica la calidad, a partir del cual y en función del uso del agua, permite estimar el nivel de contaminación. Hay que recordar que en 1976, Landwehr y Denninger demostraron que las técnicas multiplicativas era superiores que las aritméticas debido a la sensibilidad en la variación de los parámetros (León, 1991).

En la figura 1 se muestran los rangos de calificación del ICA en función del uso del agua.

| ICA | Agua Potable | Agricultura | Pesca y Vida Acuática | Industrial | Recreativo |
|----------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|
| 90 - 100 | Excelente | Excelente | Excelente | Excelente | Excelente |
| 80 - 90 | Aceptable | Aceptable | Excelente | Aceptable | Excelente |
| 70 - 80 | Levemente Contaminada | Aceptable | Excelente | Aceptable | Excelente |
| 60 - 70 | Levemente Contaminada | Levemente Contaminada | Aceptable | Levemente Contaminada | Aceptable |
| 50 - 60 | Levemente Contaminada | Levemente Contaminada | Levemente Contaminada | Levemente Contaminada | Aceptable |
| 40 - 50 | Contaminada | Levemente Contaminada | Levemente Contaminada | Levemente Contaminada | Levemente Contaminada |
| 30 - 40 | Contaminada | Levemente Contaminada | Contaminada | Levemente Contaminada | Levemente Contaminada |
| 20 - 30 | Contaminada | Contaminada | Contaminada | Contaminada | Contaminada |
| 10 - 20 | Fuertemente Contaminada | Contaminada | Contaminada | Contaminada | Contaminada |
| 0 - 10 | Fuertemente Contaminada | Fuertemente Contaminada | Fuertemente Contaminada | Fuertemente Contaminada | Fuertemente Contaminada |

| Escala de Calidad del Agua | | | | | |
|----------------------------|-----------|-----------------------|-------------|-------------------------|----------|
| Excelente | Aceptable | Levemente Contaminada | Contaminada | Fuertemente Contaminada | Excesiva |

Figura 1 Escala del ICA para diferentes usos del agua. Fuente: Modificada del IMTA.

En la Tabla 2, se muestran las unidades de los parámetros biológicos y físico-químicos y los valores de los pesos específicos W_i considerados en ambas ecuaciones para obtener el ICA.

Tabla 2: Parámetros para el ICA geométrico. Fuente: Modificada de León, L. F.

| PESOS ESPECÍFICOS DE LOS PARÁMETROS | | | |
|-------------------------------------|---|------------------|------------|
| No. | Parámetro (unidad) | Símbolo | Valor de W |
| 1 | Oxígeno Disuelto (mg/L) | OD | 0.103 |
| 2 | Demanda Bioquímica de Oxígeno (mg/L) | DBO ₅ | 0.096 |
| 3 | Demanda Química de Oxígeno (mg/L) | DQO | 0.053 |
| 4 | Grado Acidez/Alcalinidad | pH | 0.063 |
| 5 | Sólidos Suspendidos (mg/L) | SST | 0.033 |
| 6 | Coliformes Totales (#/100ml) | ColiT | 0.083 |
| 7 | Coliformes Fecales (#/100ml) | ColiF | 0.143 |
| 8 | Nitratos (mg/L) | NO ₃ | 0.053 |
| 9 | Amonios (mg/L) | NH ₃ | 0.043 |
| 10 | Fosfatos (mg/L) | PO ₄ | 0.073 |
| 11 | Fenoles (µg/L) | Fenol | 0.033 |
| 12 | Diferencia de Temperatura (°C) | ΔT | 0.043 |
| 13 | Alcalinidad como CaCO ₃ (mg/L) | AlcT | 0.055 |
| 14 | Dureza como CaCO ₃ (mg/L) | DurT | 0.058 |
| 15 | Cloruros (mg/L) | Clor | 0.068 |

Las ecuaciones de sensibilidad en donde, como función de la concentración del parámetro, se lee la calificación de la calidad Q(i) y se obtienen (Cázares, 2002):

1.) Oxígeno Disuelto (mg/L)

$$IC(1) = 0.82 \frac{100(OD)}{9.2} + 10.56 \dots \dots \dots (4)$$

Si $OD \geq 10 \rightarrow IC(1) = 100$

2.) DBO₅ (mg/L)

$$IC(2) = 108[DBO_5^{-0.3494}] \dots \dots \dots (5)$$

Si $DBO \leq 1.25 \rightarrow IC(2) = 100$

3.) DQO (mg/L)

$$IC(3) = [0.000294(DQO) + 0.0087618]^{-1} \dots \dots \dots (6)$$

Si $DQO \leq 4.2 \rightarrow IC(3) = 100$

4.) pH

Si $pH < 6.9 \rightarrow IC(4) = 10^{[0.683+0.1856(pH)]} \dots \dots \dots (7a)$

Si $pH > 7.1 \rightarrow IC(4) = 10^{[3.65-0.2216(pH)]} \dots \dots \dots (7b)$

Si $7.1 \geq pH \geq 6.9 \rightarrow IC(4) = 100$

5.) SST (mg/L)

$Si\ 8.5 < SST \leq 150 \rightarrow IC(5) = -19.1287 Ln(SST) + 141.061 \dots\dots\dots (8a)$

$Si\ SST > 150 \rightarrow IC(5) = 335.4017(SST^{-0.44912}) \dots\dots\dots (8b)$

$Si\ SST \leq 8.5 \rightarrow IC(5) = 100$

6.) Coliformes Totales (NMP/100mL)

$IC(6) = 136(NMP^{-0.1311}) \dots\dots\dots (9)$

$Si\ \frac{NMP}{100} \leq 10.5 \rightarrow IC(6) = 100$

7.) Coliformes Fecales (NMP/100mL)

$IC(7) = 106(NMP^{-0.1286}) \dots\dots\dots (10)$

$Si\ NMP \leq 1.58 \rightarrow IC(7) = 100$

8.) Nitratos (mg/L)

$IC(8) = 125(NO_3^{-0.2718}) \dots\dots\dots (11)$

$Si\ NO_3 \leq 2 \rightarrow IC(8) = 100$

9.) Amonia (mg/L)

$Si\ NH_3 > 28 \rightarrow IC(9) = 1$

$Si\ 0.03 < NH_3 \leq 28 \rightarrow IC(9) = -14.2973 Ln(NH_3) + 48.9912 \dots\dots\dots (12)$

$Si\ NH_3 \leq 0.03 \rightarrow IC(9) = 100$

10.) Fosfatos (mg/L)

$Si\ PO_4 > 9 \rightarrow IC(10) = 1$

$Si\ 3 < PO_4 \leq 9 \rightarrow IC(10) = -5.25(PO_4) + 50.25 \dots\dots\dots (13a)$

$Si\ 0.03 < PO_4 \leq 3 \rightarrow IC(10) = -13.9786 Ln(PO_4) + 52.428 \dots\dots\dots (13b)$

$Si\ PO_4 \leq 0.03 \rightarrow IC(10) = 100$

11.) Fenoles ($\mu\text{g/L}$)

$$\text{Si } Fen > 1,000 \quad \rightarrow IC(11) = 0.5$$

$$\text{Si } 0.1 < Fen \leq 1,000 \quad \rightarrow IC(11) = -10.9062 \ln(Fen) + 75.8154 \dots \dots (14)$$

$$\text{Si } Fen \leq 0.1 \quad \rightarrow IC(11) = 100$$

12.) Diferencia de Temperatura ($^{\circ}\text{C}$)

$$IC(12) = 10(2.004 - .0382\Delta T) \dots \dots \dots (15)$$

$$\text{Si } \Delta T \leq 0.11 \quad \rightarrow IC(12) = 100$$

13.) Alcalinidad (mg/L como CaCO_3)

$$IC(13) = 110(ALC^{-0.1342}) \dots \dots \dots (16)$$

$$\text{Si } ALC \leq 2.04 \quad \rightarrow IC(13) = 100$$

14.) Dureza (mg/L como CaCO_3)

$$IC(14) = 552(DUR^{-0.4488}) \dots \dots \dots (17)$$

$$\text{Si } DUR \leq 45 \quad \rightarrow IC(14) = 100$$

15.) Cloruros (mg/L)

$$IC(15) = 391(CL^{-0.348}) \dots \dots \dots (18)$$

$$\text{Si } CL \leq 50.5 \quad \rightarrow IC(15) = 100$$

Agrupando los parámetros se entiende que:

$$ICA = IC(1)^{0.103} * IC(2)^{0.096} * IC(3)^{0.053} * IC(4)^{0.063} * IC(5)^{0.033} * IC(6)^{0.083} * \\ IC(7)^{0.143} * IC(8)^{0.053} * IC(9)^{0.043} * IC(10)^{0.073} * IC(11)^{0.033} * IC(12)^{0.043} * \\ IC(13)^{0.055} * IC(14)^{0.058} * IC(15)^{0.068} \dots \dots \dots (19)$$

Asociado al valor numérico del ICA se definen 6 rangos de estado de calidad del agua: (E) Excelente; (A) Aceptable; (LC) Levemente Contaminada; (C) Contaminada; (FC) Fuertemente Contaminada y (EC) Excesivamente Contaminada (León, 1991).

La descripción del ICA es como se escribe a continuación.

a) Uso como Fuente de Agua Potable

90-100 E - No requiere purificación para consumo.

80-90 A - Purificación menor requerida.

70-80 LC- Dudoso su consumo sin purificación.

50-70 C - Tratamiento potabilizador necesario.

40-50 FC- Dudosa para consumo.

0-40 EC- Inaceptable para consumo.

b) Uso en Agricultura

90-100 E - No requiere purificación para riego.

70-90 A - Purificación menor para cultivos que requieran alta calidad de agua.

50-70 LC- Utilizable en mayoría de cultivos.

30-50 C - Tratamiento requerido para la mayoría de los cultivos.

20-30 FC- Uso solo en cultivos muy resistentes.

0-20 EC- Inaceptable para riego.

c) Uso en Pesca y Vida Acuática

70-100 E - Pesca y vida acuática abundante.

60-70 A - Límite para peces muy sensitivos.

50-60 LC- Dudosa la pesca sin riesgos de salud.

40-50 C - Vida acuática limitada a especies muy resistentes.

30-40 FC- Inaceptable para actividad pesquera.

0-30 EC- Inaceptable para vida acuática.

d) Uso Industrial

90-100 E - No se requiere purificación.

70-90 A - Purificación menor para industrias que requieran alta calidad de agua para operación.

50-70 LC - No requiere tratamiento para mayoría de industrias de operación normal.

30-50 C - Tratamiento para mayoría de usos.

20-30 FC- Uso restringido en actividades burdas.

0-20 EC- Inaceptable para cualquier industria.

e) Uso Recreativo

70-100 E - Cualquier tipo de deporte acuático.

50-70 A - Restringir los deportes de inmersión, precaución si se ingiere dada la posibilidad de presencia de bacterias.

40-50 LC- Dudosa para contacto con el agua.

30-40 C - Evitar contacto, sólo con lanchas.

20-30 FC- Contaminación visible, evitar cercanía

0-20 EC- Inaceptable para recreación.

Un aspecto que se considera importante, es la posible escasez de datos completos en un monitoreo, por lo que en la metodología de estimación del ICAG se considera que al faltar el valor de alguno de los parámetros, su peso específico se reparte en forma proporcional entre los restantes, excluyéndolo del operador multiplicativo en el momento de estimar el ICAG. Por ejemplo, queremos realizar el estudio de la calidad de un cuerpo de agua en el cual se piensan medir 10 diferentes parámetros y hacer 5 repeticiones de cada uno. Resulta que uno de los parámetros no se pudo medir por cuestiones técnicas y que en 2 de los muestreos faltaron 2 parámetros adicionales porque no se determinaron correctamente (León, 1991). Para obtener el ICAG será necesario modificar los pesos específicos de los parámetros en la siguiente forma:

- Identificar cuales parámetros se midieron de los 15 que están establecidos en la metodología del ICAG.
- Sumar el peso específico de los parámetros que no se midieron.
- Repartir la suma de los pesos específicos de los parámetros no medidos de manera proporcional entre los que si se midieron.

Un aspecto negativo de hacer esta distribución de los pesos específicos es que no sería correcto comparar los valores de los ICAGs ya que han sufrido modificaciones que no fueron constantes. Una solución a esto sería eliminar los parámetros que en uno de sus casos no se tenga medición para que de esta manera la distribución de los pesos específicos sea constante en cada muestreo.

3.4. Adaptación de un Índice de Calidad del Agua Armonizado.

Por las desventajas anteriores, el Consejo Canadiense de Ministros de Medio Ambiente (CCME), propuso una metodología alternativa para determinar el Índice de Calidad del Agua Armonizado (ICAA) para cuerpos superficiales y subterráneos. Esta formulación fue propuesta por la "British Columbia Ministry of Environment, Lands and Parks" en 1995 y modificada por "Alberta Environment" en el 2001. El índice está compuesto por tres elementos como se muestra en la figura 2 (Wright, 1999).

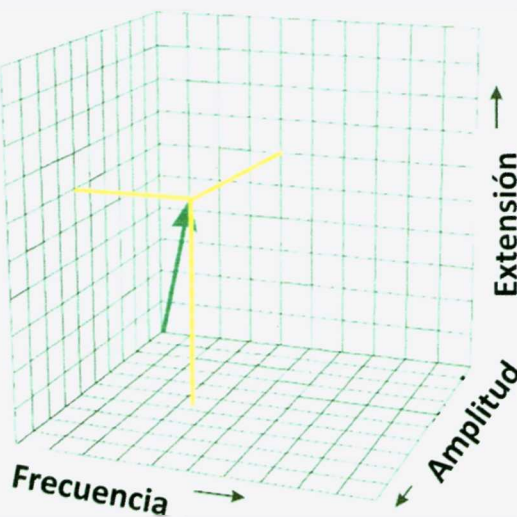


Figura 2 Representación matemática de la metodología del CCME.
Fuente modificada del CCME.

- Extensión (F_1): El número de variables que no están dentro de los límites permisibles de cada parámetro.
- Frecuencia (F_2): El número de veces que estas variables no están dentro de los límites permisibles de cada parámetro.
- Amplitud (F_3): La cantidad por la que se excede cada parámetro que no cumple con los límites permisibles.

El índice determina un número entre 0 y 100, siendo 0 la peor calidad del agua y 100 la mejor calidad del agua. Este rango está dividido por una escala en 5 categorías donde aparecen los criterios generales de la calidad del agua.

Para poder obtener el índice del CCME es necesario calcular primero los 3 factores antes mencionados como se muestra a continuación (Wright, 1999):

El primer factor, extensión (F_1), es el porcentaje de variables que no cumplen con los límites permisibles por lo menos una vez en el periodo de tiempo considerado (número de variables fallidas), en relación al número total de variables medidas.

$$F_1 = \left(\frac{\text{Número de variables fallidas}}{\text{Número total de variables}} \right) \times 100 \dots \dots \dots (20)$$

El segundo factor, frecuencia (F_2), representa el porcentaje de muestras individuales que no cumplen con los límites permisibles (muestras fallidas).

$$F_2 = \left(\frac{\text{Número de muestras fallidas}}{\text{Número total de muestras}} \right) \times 100 \dots \dots \dots (21)$$

Cuando se pretende tener un valor menor al límite permisible, se dice que el objetivo es un máximo y los coeficientes de desviación (excursión) son el número de veces por el que una concentración individual es mayor que el límite permisible.

$$\sigma_i = \left(\frac{\text{Valor fallido}_i}{\text{Objetivo}_i} \right) - 1 \dots \dots \dots (22a)$$

Cuando se pretende tener un valor mayor al límite permisible, se dice que el objetivo es un mínimo y los coeficientes de desviación (excursión) son el número de veces por el que una concentración individual es menor que el límite permisible.

$$\sigma_i = \left(\frac{\text{Objetivo}_i}{\text{Valor fallido}_i} \right) - 1 \dots \dots \dots (22b)$$

La suma normalizada de los coeficientes de desviación (SNCE por sus siglas en francés), es la suma de todos los coeficientes de desviación (excursiones) divididas

entre el número total de muestras incluyendo el número de muestras que si cumplen con el objetivo.

$$SNCE = \frac{\sum_{i=1}^n \sigma_i}{\text{Número total de muestras}} \dots\dots\dots (23)$$

El tercer factor, amplitud (F_3), es calculado mediante una función asintótica que escala la suma normalizada de los coeficientes de desviación en un rango de 0 a 100.

$$F_3 = \left(\frac{SNCE}{0.01SNCE + 0.01} \right) \dots\dots\dots (24)$$

Una vez calculados los tres factores, se calcula el ICA mediante una suma vectorial como si cada factor fuera un vector en un espacio tridimensional. El divisor normaliza los valores obtenidos en un rango de 0 a 100, donde 0 representa la peor calidad del agua y 100 la mejor calidad del agua.

$$ICA = 100 - \left(\frac{\sqrt{F_1^2 + F_2^2 + F_3^2}}{1.732} \right) \dots\dots\dots (25)$$

Donde: $0.01\sqrt{100^2 + 100^2 + 100^2} = 1.732$

La escala de evaluación del ICA considera las siguientes categorías:

- a) 95-100 Excelente: Nunca o raramente sobrepasan las recomendaciones.
- b) 80-94.9 Buena: Se sobrepasa raramente y por poco las recomendaciones.
- c) 65-79.9 Satisfactoria: Se sobrepasa a veces y tal vez mucho las recomendaciones.
- d) 45-64.9 Dudosa: A menudo y/o de manera importante excede las recomendaciones.
- e) 0-44.9 Mala: Se excede habitualmente y/o de manera importante las recomendaciones.

| ICA | Escala | |
|-----------|---------------|--|
| 95 - 100 | Excelente | Nunca o raramente sobrepasan las recomendaciones |
| 90 - 94.9 | Buena | Se sobrepasa raramente y por poco las recomendaciones |
| 85 - 89.9 | | |
| 80 - 84.9 | Satisfactoria | Se sobrepasa a veces y tal vez mucho las recomendaciones |
| 75 - 79.9 | | |
| 70 - 74.9 | | |
| 65 - 69.9 | Dudosa | A menudo y/o de manera importante excede las recomendaciones |
| 60 - 64.9 | | |
| 55 - 59.9 | | |
| 50 - 54.9 | | |
| 45 - 49.9 | | |
| 40 - 44.9 | Mala | Se excede habitualmente y/o de manera importante las recomendaciones |
| 35 - 39.9 | | |
| 30 - 34.9 | | |
| 25 - 29.9 | | |
| 20 - 24.9 | | |
| 15 - 19.9 | | |
| 10 - 14.9 | | |
| 5 - 9.9 | | |
| 0 - 4.9 | | |

Figura 3: Escala del ICAA para cualquier uso del agua. Fuente: Modificada del CCME.

CAPÍTULO 4

METODOLOGÍA

4. METODOLOGÍA

La metodología utilizada en este trabajo se describe a continuación.

4.1. Revisión del estado del arte.

Se revisó y recopiló información disponible en internet, revistas científicas, libros y noticias de todo el mundo en materia de Índices de Calidad del Agua (ICAs) y normalización aplicable.

4.2. Selección de la metodología para el desarrollo de un ICA.

De acuerdo con experiencias reportadas alrededor del mundo relacionadas con el uso práctico de los ICAs, se evaluaron las ventajas y desventajas de diversas metodologías disponibles. De acuerdo con estas evaluaciones, la metodología más ventajosa fue seleccionada. Los criterios que se usaron para la evaluación fueron:

- a) Potencial del modelo matemático para manejar información compleja para la calidad del agua.
- b) Objetividad de la metodología para la selección de parámetros con sus límites permisibles, variables, coeficientes y rangos de las escalas.
- c) Complejidad del cálculo.
- d) Flexibilidad en la aplicación del modelo bajo diferentes situaciones.
- e) Confiabilidad de la metodología.
- f) Facilidad en la comunicación de los resultados.

4.3. Selección de parámetros.

Una vez que se seleccionó la metodología más favorable, se seleccionaron algunos usos para las fuentes de agua y así formular un índice de calidad del agua armonizado (ICAA). De acuerdo con esta selección, las normas internacionales y

mexicanas así como recomendaciones para la calidad del agua fueron revisadas para cada uso del agua. Las variables contenidas en tales normas y recomendaciones constituyen los parámetros del ICAA.

4.4. Preparación del modelo matemático.

De acuerdo con la metodología seleccionada en el punto 2 y los límites permisibles establecidos en las normas y recomendaciones, la formulación matemática del ICAA fue preparada tomando en cuenta las siguientes consideraciones:

- a) Antes de que se calcule el índice, es necesario definir el cuerpo de agua, el periodo de tiempo, las variables, y los objetivos.
- b) El cuerpo de agua del cual se desea obtener su calidad, se puede definir por un punto de monitoreo a través del tiempo o por un número de puntos de monitoreo a través del cuerpo del agua.
- c) Es necesario contar con suficientes datos en las estaciones de monitoreo para el buen funcionamiento del modelo.
- d) Entre mayor sea la cantidad de puntos monitoreados, más generales serán las conclusiones.
- e) Es posible combinar los resultados de un punto monitoreado en diferentes años, aún cuando la información de los parámetros resulte ser incompleta.
- f) El modelo matemático requiere que por lo menos se tengan cuatro parámetros muestreados y un mínimo de cuatro repeticiones por cada uno.
- g) No existe un número máximo de parámetros o de muestras.
- h) Se requiere seleccionar apropiadamente los parámetros para evaluar la calidad del agua en una región en particular con el fin de que el índice genere resultados significativos.
- i) Es necesario evaluar todos los parámetros recomendados por las normas para generar resultados más confiables.

4.5. Definición de la escala.

Se definió una misma escala para evaluar la calidad de los diferentes usos de agua y esta va de 0 a 100 con los siguientes rangos:

- a) Excelente (95-100): Nunca o raramente sobrepasan las recomendaciones.
- b) Buena (80-94.9): Se sobrepasa raramente y por poco las recomendaciones.
- c) Satisfactoria (65-79.9): Se sobrepasa a veces y tal vez mucho las recomendaciones.
- d) Dudosa (45-64.9): A menudo y/o de manera importante excede las recomendaciones.
- e) Mala (0-44.9): Se excede habitualmente y/o de manera importante las recomendaciones.

4.6. Preparación del programa de cómputo para la estimación de un ICAA.

De acuerdo con los pasos anteriores, se preparó un programa computacional usando Excel como plataforma. El programa se desarrolló garantizando tres aspectos importantes, facilidad en la alimentación de datos, capacidad para analizar una enorme cantidad de información y facilidad en la comunicación de resultados. El programa se estructuró en cinco secciones:

- a) Introducción. Incluye una breve descripción sobre el programa.
- b) Marco teórico. Describe el modelo matemático usado.
- c) Parámetros y sus límites permisibles. Permite ingresar los parámetros o sus límites permisibles establecidos en normas o recomendaciones que se utilizarán para cada uso del agua. El usuario define las normas o recomendaciones que se utilizarán basados en las regulaciones del país donde se aplique el ICAA.
- d) Ingreso de datos. Consiste en una matriz que permite introducir los resultados de la caracterización del agua. La matriz cuenta con espacio

para ingresar las características de hasta 12 muestras de agua, las cuales serán analizadas para cada uso de agua.

- e) Resultados. Esta sección consiste en tablas y gráficos que resumen los resultados calculados para el ICAA. También se incluyen algunas estadísticas relacionadas con el número de parámetros considerados por los estándares o guías solicitadas para cada uso, la cantidad de datos usados, los parámetros ausentes y la cantidad de datos fallidos por parámetro para cada uso del agua.

4.7. Aplicación a un estudio de caso.

Finalmente se aplicó esta metodología y el programa de cómputo desarrollado en un estudio de caso donde se evaluaron las aguas superficiales de los principales ríos del estado de Colima, México y adoptando el siguiente procedimiento:

- a) Generación de la información de la calidad del agua.
 - Se recopiló información histórica de los monitoreos realizados en los años de 1990, 1992, 1994, 1995 y 1996 por diferentes dependencias como la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA), el Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA), la Comisión Estatal del Agua de Colima (CEAC), el Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática (INEGI), las Instituciones de Educación Superior y los Organismos Operadores de los Servicios de Agua Potable y Alcantarillado de Colima.
 - Debido a la limitación de la información histórica, tanto en cantidad como calidad, se realizaron dos monitoreos adicionales en los meses de Julio y Diciembre del 2006, antes y después de la temporada de lluvias. Se definieron 29 puntos de monitoreo a lo largo de los 3 principales ríos (Armería, Marabasco y Coahuayana), incluyendo los 9

puntos con registros históricos. Se caracterizaron 13 parámetros físico-químicos, incluyendo algunos metales pesados y pesticidas más comunes que se usan en la región. Las determinaciones analíticas se realizaron utilizando los Métodos Estándar para el Análisis de Agua y Aguas Residuales (APHA-AWWA-WPCF, 1989).

b) Aplicación del programa de cómputo.

- Se revisaron y validaron los datos históricos, eliminando la información de años incompletos, así como parámetros que no se analizaron.
- Se alimentó el programa de cómputo con los datos históricos, revisados y validados, y se calculó el ICAA para cada punto de monitoreo y para cada año. Con esto se determinó la evolución en el tiempo de la calidad del agua para cada punto monitoreado.
- Se alimentó el programa de cómputo con la información generada en los meses de Julio y Diciembre del 2006, y se calculó el ICAA para cada río. Con esto se determinó la calidad de cada uno de los cuerpos de agua en ambos meses.

CAPÍTULO 5

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1. Revisión del estado del arte.

Se revisaron cerca de 50 artículos en materia de índices de calidad del agua. Estos artículos básicamente agrupaban 2 metodologías: el Índice de Calidad del Agua Geométrico (ICAG) que se basa en técnicas multiplicativas como son sumatorias geométricas y el índice del CCME que utiliza técnicas estadísticas.

La mayoría de la literatura disponible se refiere al ICAG. Esta metodología comenzó a desarrollarse a finales de los años 60s cuando solo se utilizaban sumatorias aritméticas por lo cual se le conocía como Índice de Calidad del Agua Aritmético. Años más tarde, Landwehr y Denninger (1976), demostraron la superioridad del cálculo a través de técnicas multiplicativas, que son mucho más sensibles a la variación de los parámetros que las técnicas aritméticas, por lo que reflejaban con mayor precisión un cambio de calidad y fue entonces cuando apareció el ICAG.

Expertos fueron mejorando esta metodología por más de 20 años, haciendo mejoras en la selección de parámetros, así como en la jerarquización para determinar los pesos específicos. Esta metodología aún es utilizada alrededor del mundo para evaluar la calidad de los cuerpos de agua. El resto de los artículos revisados hacen referencia al índice del CCME el cual únicamente ha sido utilizado por algunas provincias de Canadá.

Adicionalmente se revisaron normas de calidad del agua tanto para consumo humano como para otros usos en más de 20 países tales como México, Estados Unidos de América, Canadá y países de América Latina y Europa.

5.2. Selección de la metodología para el desarrollo de un ICAA.

Se evaluaron ventajas y desventajas de las dos metodologías reportadas en la literatura tomando en cuenta las experiencias reportadas en torno al uso práctico de los índices de la calidad del agua.

- a) De los dos grupos de metodologías encontrados, las técnicas multiplicativas tienen limitaciones en cuanto a la cantidad y calidad de la información que puede procesar. Evalúa únicamente una serie de datos para un punto determinado, lo que podemos interpretar como un vector de parámetros. Por otro lado, la formulación del CCME permite evaluar varias series de datos, es decir, permite valorar una matriz de datos.
- b) La selección de los parámetros, límites permisibles, variables y coeficientes en las técnicas multiplicativas se realizó utilizando la metodología DELPHI, desarrollada por la Corporación Rand en 1968. Esta metodología consistió en recopilar la opinión de un panel de 142 personas expertas en el manejo de la calidad del agua. Se realizó un proceso de la jerarquización de los criterios y opiniones de cada experto con lo cual seleccionaron los parámetros y pesos específicos para cada parámetro. Se eligieron 15 parámetros físico-químicos y microbiológicos (oxígeno disuelto, DBO, DQO, pH, SST, coliformes totales, coliformes fecales, NO_3 , NH_3 , PO_4 , fenoles, diferencia de temperatura, alcalinidad, dureza y cloruros) basándose principalmente en la calidad del agua para la vida acuática. Con el tiempo esta metodología ha sido muy criticada por la subjetividad que se incorpora en todo el proceso de establecimiento del índice.

La subjetividad anterior se superó en la metodología del CCME mediante una formulación estadística eficiente y flexible sin la necesidad de modificar la formulación matemática que permite hacer cambios en el tipo

de parámetros y en su valoración. Para la valoración de los parámetros basta con seleccionar una norma o recomendación de interés e incorporar los límites permisibles establecidos.

- c) Ambos modelos matemáticos usan operaciones sencillas como son sumas, restas, multiplicaciones y divisiones pero requieren de un programa computacional para poder analizar la gran cantidad de muestras de agua así como la evaluación de varios periodos de tiempo. El ICAG usa una sumatoria geométrica donde se integran únicamente los mismos 15 parámetros sin importar el uso de la fuente de agua. El índice del CCME usa métodos estadísticos sin un límite de parámetros considerando el uso de la fuente de agua y se evalúa cada parámetro con su límite permisible, integrando los resultados de todos los parámetros al final.

- d) El ICA se puede evaluar en dos situaciones distintas: la determinación del ICA por una serie de puntos monitoreados en un tiempo determinado o la evolución de la calidad del agua para un punto determinado a través del tiempo. El índice del CCME puede evaluar ambas situaciones mientras que el ICAG solo evalúa la evolución de un punto determinado a través del tiempo ya que solo puede manejar una sola serie de datos.

- e) Cuando se realizan monitoreos de agua, sabemos que en ocasiones existen errores en la medición de los parámetros en campo, se pierden muestras y se puede llegar a perder información en los análisis. También el factor económico juega un papel importante en estas mediciones ya que la medición de cada parámetro incrementa el costo del estudio. El ICAG obtiene resultados subjetivos por la naturalidad de su metodología a diferencia del índice del CCME. El principal problema se presenta cuando no tenemos una base de datos muy completa y hacen falta tanto parámetros como datos y es entonces cuando la confiabilidad del ICAG

empieza a perderse porque se tiene que cambiar las ponderaciones en los parámetros. El índice del CCME no jerarquiza los parámetros ni está limitado por un número de parámetros por lo que el modelo matemático no sufre cambios.

- f) Las dos metodologías usan distintas escalas para la evaluación de sus resultados. En el ICAG se reporta un solo valor como resultado y se utiliza una escala distinta para evaluar cada uso del agua. El índice del CCME reporta un ICAA para cada uso de la fuente de agua y cada uno se verifica en una misma escala establecida.

5.3. Selección de parámetros.

En base al análisis anterior la metodología más adecuada es la del CCME denominada en lo sucesivo Índice de Calidad del Agua Armonizado (ICAA). Una vez que se seleccionó la metodología más adecuada para formular el índice de calidad del agua, se seleccionó los parámetros a considerar en la formulación del índice utilizando las Normas Oficiales Mexicanas (NOM-001-SEMARNAT-1996, NOM-003-SEMARNAT-1997 y NOM-127-SSA1-1994) para los siguientes usos: agua potable, riego agrícola, recreación con contacto primario y protección de la vida acuática.

empieza a perderse porque se tiene que cambiar las ponderaciones en los parámetros. El índice del CCME no jerarquiza los parámetros ni está limitado por un número de parámetros por lo que el modelo matemático no sufre cambios.

- f) Las dos metodologías usan distintas escalas para la evaluación de sus resultados. En el ICAG se reporta un solo valor como resultado y se utiliza una escala distinta para evaluar cada uso del agua. El índice del CCME reporta un ICAA para cada uso de la fuente de agua y cada uno se verifica en una misma escala establecida.

5.3. Selección de parámetros.

En base al análisis anterior la metodología más adecuada es la del CCME denominada en lo sucesivo Índice de Calidad del Agua Armonizado (ICAA). Una vez que se seleccionó la metodología más adecuada para formular el índice de calidad del agua, se seleccionó los parámetros a considerar en la formulación del índice utilizando las Normas Oficiales Mexicanas (NOM-001-SEMARNAT-1996, NOM-003-SEMARNAT-1997 y NOM-127-SSA1-1994) para los siguientes usos: agua potable, riego agrícola, recreación con contacto primario y protección de la vida acuática.

Tabla 3: Parámetros y límites permisibles para el uso de agua potable bajo Normas Oficiales Mexicanas. Fuente: Modificado de la NOM-127-SSA1-1994.

| Agua Potable (NOM-127-SSA1-1994) | | | | | |
|--|----------|-----------------|------------------------------------|------------|-----------------|
| Parámetros | Unidades | Recomendaciones | Parámetros | Unidades | Recomendaciones |
| Acido 2,4 Diclorofenoxiacético (2,4-D) | mg/l | 0.03 | Hexaclorobenceno | mg/l | 0.0001 |
| Aldrin | mg/l | 0.00003 | Manganeso (Mn) | mg/l | 0.15 |
| Alfa Total | Bq/l | 0.1 | Mercurio (Hg) | mg/l | 0.001 |
| Aluminio (Al) | mg/l | 0.2 | Metoxicloro | mg/l | 0.02 |
| Arsénico (As) | mg/l | 0.01 | Nitratos (NO3) | mg/l | 10 |
| Bario (Ba) | mg/l | 0.7 | Nitritos (NO2) | mg/l | 0.05 |
| Beta Total | Bq/l | 1 | Nitrógeno Amoniacal | mg/l | 0.5 |
| BHC, Gamma-HCH (Lindano) | mg/l | 2 | Plomo (Pb) | mg/l | 0.01 |
| Cadmio (Cd) | mg/l | 0.005 | Sodio (Na) | mg/l | 200 |
| Cianuro (CN-) | mg/l | 0.07 | Sólidos Disueltos Totales (SDT) | mg/l | 1000 |
| Clordano | mg/l | 0.0002 | SAAM | mg/l | 0.5 |
| Cloruros (Cl-) | mg/l | 250 | Sulfatos (SO4) | mg/l | 400 |
| Cobre (Cu) | mg/l | 2 | Trihalometanos Totales | mg/l | 0.2 |
| Color | Pt-Co | 20 | Turbiedad en Condiciones Naturales | UES | 5 |
| Cromo Total | mg/l | 0.05 | Zinc (Zn) | mg/l | 5 |
| Diclorodifeniltricloroetano (DDT) | mg/l | 0.001 | Cloro Residual | mg/l | 0.2 - 1.0 |
| Dieldrin | mg/l | 0.00003 | Coliformes Fecales (CF) | NPM/100 ml | 0.1 |
| Dureza Total como CaCO3 | mg/l | 500 | Coliformes Totales (CT) | NPM/100 ml | 0.1 |
| Fenoles o Compuestos Fenólicos | mg/l | 0.001 | *Olor | 0 | 1 |
| Fierro (Fe) | mg/l | 0.3 | Potencial Hidrógeno (pH) | | 6.5 - 8.5 |
| Fluoruros (F-) | mg/l | 1.5 | *Sabor | 0 | 1 |
| Heptacloro y Epóxido de Heptacloro | mg/l | 0.00003 | | | |

*Se utiliza el valor de 0 para representar una característica agradable y el valor de 1 para representar una característica desagradable.

Tabla 4: Parámetros y límites permisibles para el uso de riego agrícola bajo Normas Oficiales Mexicanas. Fuente: Modificado de la NOM-001-SEMARNAT-1996.

| Riego Agrícola (NOM-001-SEMARNAT-1996) | | |
|---|-----------------|------------------------|
| Parámetros | Unidades | Recomendaciones |
| Arsénico (As) | mg/l | 0.2 |
| Cadmio (Cd) | mg/l | 0.2 |
| Cianuro (CN ⁻) | mg/l | 2 |
| Cobre (Cu) | mg/l | 4 |
| Cromo Total | mg/l | 1 |
| Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5) | mg/l | 150 |
| Fósforo Total | mg/l | 20 |
| Grasas y Aceites | mg/l | 15 |
| Mercurio (Hg) | mg/l | 0.01 |
| Níquel (Ni) | mg/l | 2 |
| Nitrógeno Total | mg/l | 40 |
| Plomo (Pb) | mg/l | 0.5 |
| Sólidos Sedimentables (SS) | ml/l | 1 |
| Sólidos Suspendidos Totales (SST) | mg/l | 150 |
| Zinc (Zn) | mg/l | 10 |
| Coliformes Fecales (CF) | NMP/100 ml | 1000 |
| Huevos de Helminto | (h/l) | 1 |
| **Materia Flotante | 0 | 1 |
| Potencial Hidrógeno (pH) | | 5.0 - 10.0 |

**Se utiliza el valor de 0 en ausencia de materia flotante y el valor de 1 si se identifica materia flotante.

Tabla 5: Parámetros y límites permisibles para el uso de recreación con contacto primario bajo Normas Oficiales Mexicanas. Fuente: Modificado de la NOM-003-SEMARNAT-1997.

| Recreación con Contacto Primario (NOM-003-SEMARNAT-1997) | | |
|---|-----------------|------------------------|
| Parámetros | Unidades | Recomendaciones |
| Arsénico (As) | mg/l | 0.2 |
| Cadmio (Cd) | mg/l | 0.2 |
| Cianuro (CN ⁻) | mg/l | 2 |
| Cobre (Cu) | mg/l | 4 |
| Cromo Total | mg/l | 1 |
| Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5) | mg/l | 20 |
| Grasas y Aceites | mg/l | 15 |
| Mercurio (Hg) | mg/l | 0.01 |
| Níquel (Ni) | mg/l | 2 |
| Plomo (Pb) | mg/l | 0.5 |
| Sólidos Suspendidos Totales (SST) | mg/l | 20 |
| Zinc (Zn) | mg/l | 10 |
| Coliformes Fecales (CF) | NMP/100 ml | 240 |
| Huevos de Helminto | (h/l) | 1 |
| **Materia Flotante | 0 | 1 |
| Potencial Hidrógeno (pH) | | 5.0 - 10.0 |

Tabla 6: *Parámetros y límites permisibles para la protección de la vida acuática bajo Normas Oficiales Mexicanas y criterios ecológicos. Fuente: Modificado de la NOM-001-SEMARNAT-1996.*

| Protección de Vida Acuática (NOM-001-SEMARNAT-1996) | | |
|---|------------|-----------------|
| Parámetros | Unidades | Recomendaciones |
| Arsénico (As) | mg/l | 0.1 |
| Cadmio (Cd) | mg/l | 0.1 |
| Cianuro (CN ⁻) | mg/l | 1 |
| Cobre (Cu) | mg/l | 4 |
| Cromo Total | mg/l | 0.5 |
| Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5) | mg/l | 150 |
| Fósforo Total | mg/l | 5 |
| Grasas y Aceites | mg/l | 15 |
| Mercurio (Hg) | mg/l | 0.005 |
| Níquel (Ni) | mg/l | 2 |
| Nitrógeno Total | mg/l | 15 |
| Plomo (Pb) | mg/l | 0.2 |
| Sólidos Sedimentables (SS) | ml/l | 1 |
| Sólidos Suspendedos Totales (SST) | mg/l | 150 |
| Temperatura en Condiciones Naturales | °C | 40 |
| Zinc, Zn | mg/l | 10 |
| Oxígeno Disuelto (OD) | mg/l | 5 |
| Coliformes Fecales, CF | NMP/100 ml | 1000 |
| Huevos de Helminto | (h/l) | 1 |
| **Materia Flotante | 0 | 1 |
| Potencial Hidrógeno pH | | 5.0 - 10.0 |

5.4. Preparación del modelo matemático.

La formulación matemática del ICAA consistirá de las ecuaciones 20 a 25 descritas en el marco teórico por la "British Columbia Ministry of Environment, Lands and Parks" en 1995 y modificada posteriormente por "Alberta Environment" en el 2001. Este modelo matemático está compuesto por 3 factores: la extensión (F_1), la frecuencia (F_2) y la amplitud (F_3).

El primer factor, la extensión (F_1):

$$F_1 = \left(\frac{\text{Número de variables fallidas}}{\text{Número total de variables}} \right) \times 100$$

Tabla 6: *Parámetros y límites permisibles para la protección de la vida acuática bajo Normas Oficiales Mexicanas y criterios ecológicos. Fuente: Modificado de la NOM-001-SEMARNAT-1996.*

| Protección de Vida Acuática (NOM-001-SEMARNAT-1996) | | |
|---|------------|-----------------|
| Parámetros | Unidades | Recomendaciones |
| Arsénico (As) | mg/l | 0.1 |
| Cadmio (Cd) | mg/l | 0.1 |
| Cianuro (CN-) | mg/l | 1 |
| Cobre (Cu) | mg/l | 4 |
| Cromo Total | mg/l | 0.5 |
| Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5) | mg/l | 150 |
| Fósforo Total | mg/l | 5 |
| Grasas y Aceites | mg/l | 15 |
| Mercurio (Hg) | mg/l | 0.005 |
| Níquel (Ni) | mg/l | 2 |
| Nitrógeno Total | mg/l | 15 |
| Plomo (Pb) | mg/l | 0.2 |
| Sólidos Sedimentables (SS) | ml/l | 1 |
| Sólidos Suspendedos Totales (SST) | mg/l | 150 |
| Temperatura en Condiciones Naturales | °C | 40 |
| Zinc, Zn | mg/l | 10 |
| Oxígeno Disuelto (OD) | mg/l | 5 |
| Coliformes Fecales, CF | NMP/100 ml | 1000 |
| Huevos de Helminto | (h/l) | 1 |
| **Materia Flotante | 0 | 1 |
| Potencial Hidrógeno pH | | 5.0 - 10.0 |

5.4. Preparación del modelo matemático.

La formulación matemática del ICAA consistirá de las ecuaciones 20 a 25 descritas en el marco teórico por la "British Columbia Ministry of Environment, Lands and Parks" en 1995 y modificada posteriormente por "Alberta Environment" en el 2001. Este modelo matemático está compuesto por 3 factores: la extensión (F_1), la frecuencia (F_2) y la amplitud (F_3).

El primer factor, la extensión (F_1):

$$F_1 = \left(\frac{\text{Número de variables fallidas}}{\text{Número total de variables}} \right) \times 100$$

El segundo factor, la frecuencia (F_2):

$$F_2 = \left(\frac{\text{Número de muestras fallidas}}{\text{Número total de muestras}} \right) \times 100$$

El tercer factor, la amplitud (F_3):

$$F_3 = \left(\frac{SNCE}{0.01SNCE + 0.01} \right)$$

Donde la suma normalizada de coeficientes de desviación (SNCE):

$$SNCE = \frac{\sum_{i=1}^n \sigma_i}{\text{Número total de muestras}}$$

Y la excursión es determinada de 2 formas:

Cuando uno busca obtener un valor mayor al límite permisible (máximo):

$$\sigma_i = \left(\frac{\text{Valor fallido}_i}{\text{Objetivo}_i} \right) - 1$$

O cuando se busca obtener un valor menor al límite permisible (mínimo):

$$\sigma_i = \left(\frac{\text{Objetivo}_i}{\text{Valor fallido}_i} \right) - 1$$

Finalmente calculamos el ICAA mediante una suma vectorial de los tres factores.

$$ICAA = 100 - \left(\frac{\sqrt{F_1^2 + F_2^2 + F_3^2}}{1.732} \right)$$

$$\text{Donde: } 0.01\sqrt{100^2 + 100^2 + 100^2} = 1.732$$

Es importante mencionar que para tener mejores resultados, la literatura recomienda incluir por lo menos cuatro parámetros y un mínimo de cuatro repeticiones. En este modelo matemático no se tiene un límite máximo de parámetros ya que éste depende del número de parámetros considerados en las normas utilizadas para cada uso.

5.5. Definición de la escala.

Se seleccionó la escala que utiliza el Índice de Calidad del Agua Armonizado.

| ICA | Escala | |
|-----------|---------------|--|
| 95 - 100 | Excelente | Nunca o raramente sobrepasan las recomendaciones |
| 90 - 94.9 | Buena | Se sobrepasa raramente y por poco las recomendaciones |
| 85 - 89.9 | | |
| 80 - 84.9 | Satisfactoria | Se sobrepasa a veces y tal vez mucho las recomendaciones |
| 75 - 79.9 | | |
| 70 - 74.9 | | |
| 65 - 69.9 | Dudosa | A menuo y/o de manera importante excede las recomendaciones |
| 60 - 64.9 | | |
| 55 - 59.9 | | |
| 50 - 54.9 | | |
| 45 - 49.9 | | |
| 40 - 44.9 | Mala | Se excede habitualmnete y/o de manera importante las recomendaciones |
| 35 - 39.9 | | |
| 30 - 34.9 | | |
| 25 - 29.9 | | |
| 20 - 24.9 | | |
| 15 - 19.9 | | |
| 10 - 14.9 | | |
| 5 - 9.9 | | |
| 0 - 4.9 | | |

Figura 3: Escala del ICAA para cualquier uso del agua. Fuente: Modificada del CCME.

Es importante mencionar que para tener mejores resultados, la literatura recomienda incluir por lo menos cuatro parámetros y un mínimo de cuatro repeticiones. En este modelo matemático no se tiene un límite máximo de parámetros ya que éste depende del número de parámetros considerados en las normas utilizadas para cada uso.

5.5. Definición de la escala.

Se seleccionó la escala que utiliza el Índice de Calidad del Agua Armonizado.

| ICA | Escala | |
|-----------|---------------|--|
| 95 - 100 | Excelente | Nunca o raramente sobrepasan las recomendaciones |
| 90 - 94.9 | Buena | Se sobrepasa raramente y por poco las recomendaciones |
| 85 - 89.9 | | |
| 80 - 84.9 | | |
| 75 - 79.9 | Satisfactoria | Se sobrepasa a veces y tal vez mucho las recomendaciones |
| 70 - 74.9 | | |
| 65 - 69.9 | | |
| 60 - 64.9 | Dudosa | A menuo y/o de manera importante excede las recomendaciones |
| 55 - 59.9 | | |
| 50 - 54.9 | | |
| 45 - 49.9 | | |
| 40 - 44.9 | | |
| 35 - 39.9 | Mala | Se excede habitualmnete y/o de manera importante las recomendaciones |
| 30 - 34.9 | | |
| 25 - 29.9 | | |
| 20 - 24.9 | | |
| 15 - 19.9 | | |
| 10 - 14.9 | | |
| 5 - 9.9 | | |
| 0 - 4.9 | | |

Figura 3: Escala del ICAA para cualquier uso del agua. Fuente: Modificada del DCME.

5.6. Preparación del programa de cómputo para la estimación de un ICAA.

El ICAA se obtiene con una serie de cálculos muy mecanizados por lo que un programa de cómputo facilitaría este procedimiento. Existen muchas plataformas para elaborar programas de cómputo similares al que se requiere pero para este caso se utilizaron hojas de cálculo usando Microsoft Office Excel. Se seleccionó esta plataforma porque es una de las más sencillas de utilizar para introducir la información en las bases de datos. El programa está estructurado en cinco secciones:

- a) Introducción. Una breve descripción sobre el funcionamiento del programa, también se hace mención a la institución en la que se elaboró el programa, aparece el nombre del autor y se comentan los alcances del programa. En la figura 4 se muestra como aparece esta parte el programa.

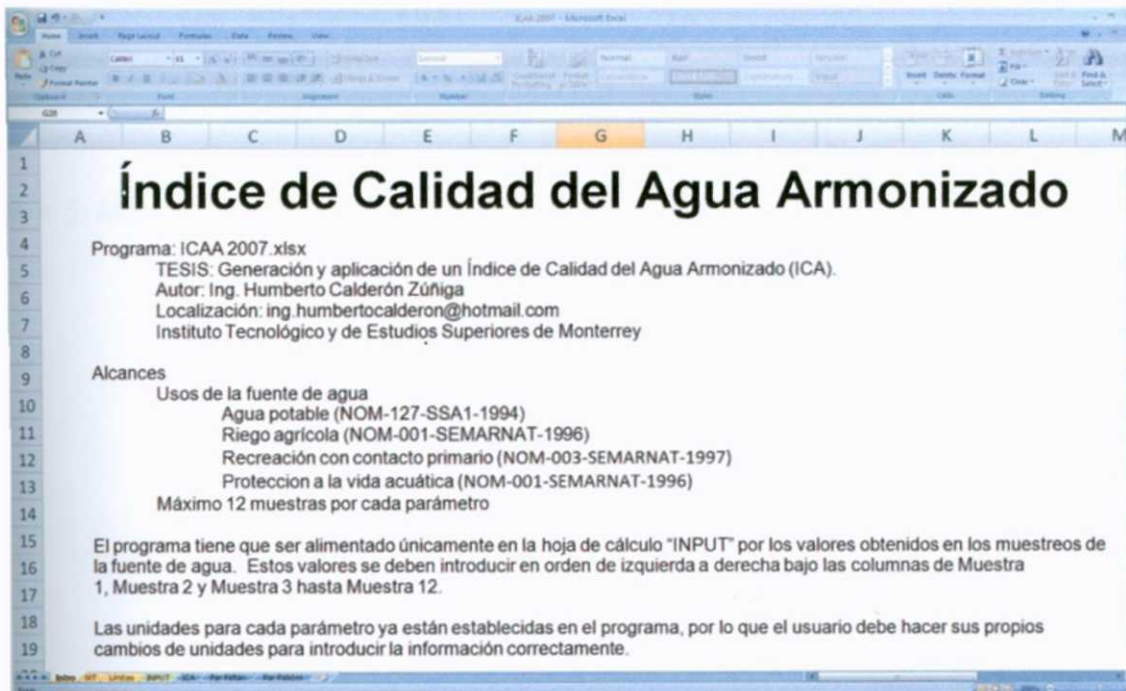


Figura 4: Descripción del programa de cómputo "Intro".

- b) Marco teórico. Se describe el modelo matemático que se utiliza para calcular el ICAA. Aparecen las ecuaciones necesarias para los cálculos y la descripción de cada una de las variables. En la figura 5 se muestra como aparece esta parte el programa.

Ecuaciones del ICA Armonizado

$$ICA = 100 - \left[\frac{\sqrt{F_1^2 + F_2^2 + F_3^2}}{1.732} \right] \qquad \frac{\sqrt{100^2 + 100^2 + 100^2}}{100} = 1.732$$

$$F_1 = \frac{NPNC}{NTP} * 100$$

$$F_2 = \frac{NINC}{NTMP} * 100$$

$$F_3 = \frac{SNCE}{0.01 * SNCE + 0.01}$$

$$SNCE = \frac{\sum_{i=1}^n \sigma}{NTR}$$

$$\sigma = \begin{cases} \frac{RNC_i}{N_j} - 1 & \text{Si } RNC_i < N_j \\ \frac{N_j}{RNC_i} - 1 & \text{Si } RNC_i \geq N_j \end{cases}$$

Figura 5: Marco teórico del programa de cómputo "MT".

c) Parámetros y sus límites permisibles. Se establecen las normas o recomendaciones para cada uso del agua. Se especifican los parámetros que se necesitan medir por uso de agua, las unidades en las que se necesitan reportar las mediciones y los límites permisibles. En la figura 6 se muestra como aparece esta parte el programa.

| Agua Potable (NOM-127-SSA1-1994) | | | Riego |
|--|----------|-----------------|------------------------|
| Parámetros | Unidades | Recomendaciones | Parám |
| Acido 2,4 Diclorofenoxiacético (2,4-D) | mg/l | 0.03 | Arsénico (As) |
| Aldrin | mg/l | 0.00003 | Cadmio (Cd) |
| Alfa Total | Bq/l | 0.1 | Cianuro (CN-) |
| Aluminio (Al) | mg/l | 0.2 | Cobre (Cu) |
| Arsénico (As) | mg/l | 0.01 | Cromo Total |
| Bario (Ba) | mg/l | 0.7 | Demanda Bioquímica |
| Beta Total | Bq/l | 1 | Fósforo Total |
| BHC, Gamma-HCH (Lindano) | mg/l | 2 | Grasas y Aceites |
| Cadmio (Cd) | mg/l | 0.005 | Mercurio (Hg) |
| Cianuro (CN-) | mg/l | 0.07 | Níquel (Ni) |
| Clordano | mg/l | 0.0002 | Nitrógeno Total |
| Cloruros (Cl-) | mg/l | 250 | Plomo (Pb) |
| Cobre (Cu) | mg/l | 2 | Sólidos Sedimentables |
| Color | Pt-Co | 20 | Sólidos Suspendidos |
| Cromo Total | mg/l | 0.05 | Zinc (Zn) |
| Diclorodifeniltricloroetano (DDT) | mg/l | 0.001 | Coliformes Fecales (C) |
| Dieldrin | mg/l | 0.00003 | Huevos de Helminto |

Figura 6: Normas y recomendaciones del programa para cada uso de agua "Límites".

d) Entrada de datos. Consiste en una base de datos de hasta 12 repeticiones para los 143 parámetros que se registraron, que se alimenta con los resultados obtenidos de los monitoreos. Esta base de datos es una matriz de “i” parámetros y “j” muestras, donde “i” y “j” tienen que ser mayor a 4. Las mediciones tienen que ser introducidas en las unidades que aparecen por default para cada parámetro y en la columna correspondiente al número de medición que se realizó. Estas mediciones se introducen manualmente por el usuario. En la figura 7 se muestra como aparece esta parte el programa.

| No | Parámetros | Unidades | Muestra 1 | Muestra 2 | Muestra 3 | Muestra 4 |
|----|---|----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| 1 | Acido 2,4 Diclorofenoxiacético (2,4-D) | mg/l | | | | |
| 2 | Aldrin | mg/l | | | | |
| 3 | Alfa Total | Bq/l | | | | |
| 4 | Aluminio (Al) | mg/l | 0.89 | 0.25 | 0.47 | 1.13 |
| 5 | Arsénico (As) | mg/l | 0.003 | 0.003 | 0.003 | 0.003 |
| 6 | Bario (Ba) | mg/l | 0.12 | 0.12 | 0.12 | 0.12 |
| 7 | Beta Total | Bq/l | | | | |
| 8 | BHC, Gamma-HCH (Lindano) | mg/l | | | | |
| 9 | Cadmio (Cd) | mg/l | 0.005 | 0.005 | 0.005 | 0.005 |
| 10 | Cianuro (CN-) | mg/l | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.02 |
| 11 | Clordano | mg/l | | | | |
| 12 | Cloruros (Cl-) | mg/l | 385.25 | 385.25 | 323.61 | 400.6 |
| 13 | Cobre (Cu) | mg/l | 0.03 | 0.03 | 0.03 | 0.03 |
| 14 | Color | Pt-Co | 38.6 | 23.6 | 43 | 45 |
| 15 | Cromo Total | mg/l | 0.04 | 0.04 | 0.04 | 0.04 |
| 16 | Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅) | mg/l | 9.44 | 9.22 | 8.47 | 9.12 |
| 17 | Diclorodifeniltricloroetano (DDT) | mg/l | | | | |
| 18 | Dieldrin | mg/l | | | | |
| 19 | Dureza Total como CaCO ₃ | mg/l | 562.52 | 400.44 | 640.08 | 475.0 |

Figura 7: Datos de entrada para el programa de cómputo “INPUT”.

- e) Resultados. Los resultados se van generando al mismo tiempo que se van introduciendo los datos de entrada. Se obtienen tres tipos de resultados: el ICAA, el porcentaje de parámetros que faltaron de medirse y el porcentaje de datos que faltaron de medirse. Los resultados son reportados por uso de agua tanto de manera tabular como gráficamente. En la figura 8 se muestra como aparece esta parte el programa.

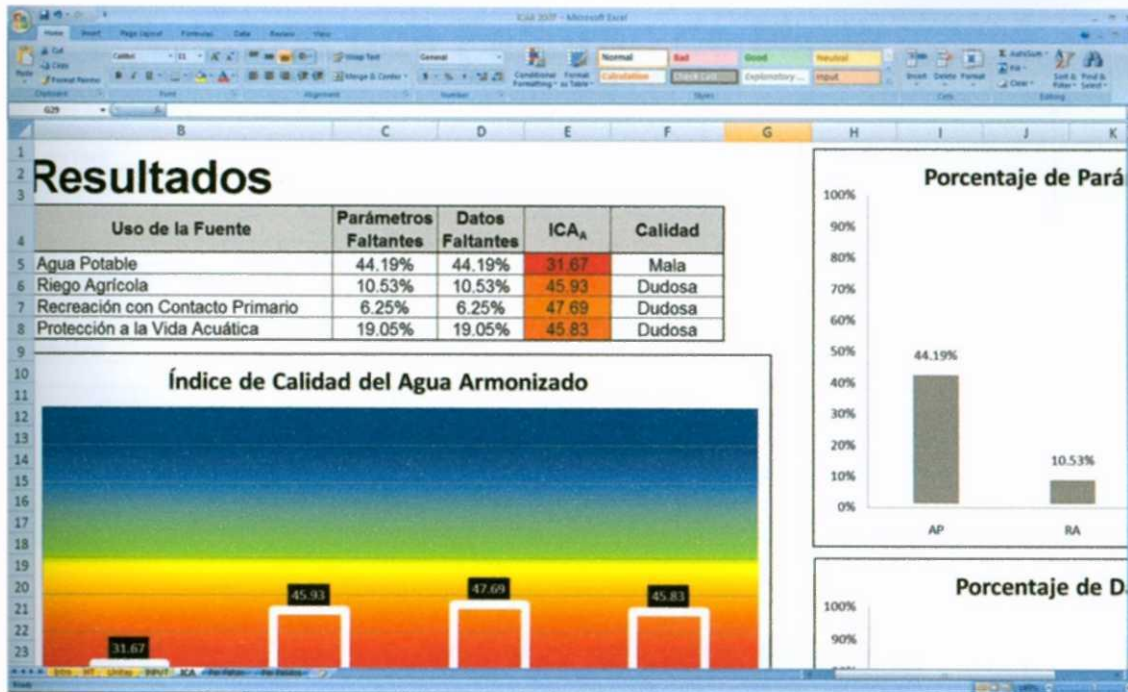


Figura 8: Resultados calculados con el programa de cómputo "Resultados".

El programa de cómputo presenta información adicional para complementar los resultados. Se presenta la lista de parámetros que faltaron de medirse para cada uso del agua. En la figura 9 se muestra como aparece esta parte el programa.

| | Agua Potable | Riego Agrícola | Recreación con Contacto Primario | Vida |
|----|--|-----------------|----------------------------------|-----------|
| 5 | Acido 2,4 Diclorofenoxiacético (2,4-D) | | | |
| 6 | Aldrin | | | |
| 7 | Alfa Total | | | |
| 8 | | | | |
| 9 | | | | |
| 10 | | | | |
| 11 | Beta Total | | | |
| 12 | BHC, Gamma-HCH (Lindano) | | | |
| 13 | | | | |
| 14 | | | | |
| 15 | Clordano | Nitrógeno Total | | Nitrógen |
| 16 | | | | |
| 17 | | | | |
| 18 | | | | |
| 19 | | | | Temperat |
| 20 | Didlorodifeniltricloroetano (DDT) | | Potencial Hidrógeno (pH) | |
| 21 | Dieldrin | | | Oxígeno D |

Figura 9: Lista de parámetros que faltaron de medirse para cada uso del agua “Par Faltan”

El programa de cómputo también muestra la cantidad de veces que falló cada uno de los parámetros muestreados para cada uso del agua. Esta información puede servir para tomar decisiones por parámetro medido, es decir que si un parámetro solo falló una vez, podría ser por algún error a la hora de medirlo, algún error a la hora de escribir el dato o bien que solo en un caso se excedió. También podemos analizar parámetros que fallaron en todas sus mediciones y entender el motivo de esta incidencia. En la figura 10 se muestra como aparece esta parte el programa.

| Agua Potable | | Riego Agrícola | | Falla |
|--------------|----------------|----------------|--------------------------------------|-------|
| Fallas | Parámetro | Fallas | Parámetro | |
| 6 | Aluminio (Al) | 0 | Arsénico (As) | 0 |
| 0 | Arsénico (As) | 0 | Cadmio (Cd) | 0 |
| 0 | Bario (Ba) | 0 | Cianuro (CN-) | 0 |
| 0 | | 0 | Cobre (Cu) | 0 |
| 0 | | 0 | Cromo Total | 0 |
| 0 | | 0 | Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5) | 0 |
| 0 | | 0 | Fósforo Total | 0 |
| 0 | | 0 | Grasas y Aceites | 0 |
| 0 | Cadmio (Cd) | 0 | Mercurio (Hg) | 0 |
| 0 | Cianuro (CN-) | 0 | Niquel (Ni) | 0 |
| 6 | Cloruros (Cl-) | 0 | | 6 |
| 0 | Cobre (Cu) | 0 | Plomo (Pb) | 0 |
| 6 | Color | 6 | Sólidos Sedimentables (SS) | 5 |
| 0 | Cromo Total | 6 | Sólidos Suspendedos Totales (SST) | 0 |
| | | 0 | Zinc (Zn) | 0 |
| | | 4 | Coliformes Fecales (CF) | 0 |

Figura 10: Cantidad de veces que falló cada parámetro medido "Par Fallidos".

5.7. Aplicación a un estudio de caso.

El estudio de caso tiene origen en el estado de Colima, México donde se evaluaron las aguas superficiales de sus principales ríos (Armería, Coahuayana y Marabasco). Se hizo un análisis histórico de los años 1990, 1992, 1994, 1995 y 1996 para conocer la evolución de la calidad del agua de los puntos monitoreados y se hizo

El programa de cómputo también muestra la cantidad de veces que falló cada uno de los parámetros muestreados para cada uso del agua. Esta información puede servir para tomar decisiones por parámetro medido, es decir que si un parámetro solo falló una vez, podría ser por algún error a la hora de medirlo, algún error a la hora de escribir el dato o bien que solo en un caso se excedió. También podemos analizar parámetros que fallaron en todas sus mediciones y entender el motivo de esta incidencia. En la figura 10 se muestra como aparece esta parte el programa.

| Agua Potable | | Riego Agrícola | | Falla |
|--------------|----------------|----------------|--------------------------------------|-------|
| Fallas | Parámetro | Fallas | Parámetro | |
| 6 | Aluminio (Al) | 0 | Arsénico (As) | 0 |
| 0 | Arsénico (As) | 0 | Cadmio (Cd) | 0 |
| 0 | Bario (Ba) | 0 | Cianuro (CN-) | 0 |
| 0 | | 0 | Cobre (Cu) | 0 |
| 0 | | 0 | Cromo Total | 0 |
| 0 | | 0 | Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5) | 0 |
| 0 | | 0 | Fósforo Total | 0 |
| 0 | | 0 | Grasas y Aceites | 0 |
| 0 | | 0 | Mercurio (Hg) | 0 |
| 0 | | 0 | Niquel (Ni) | 0 |
| 6 | Cloruros (Cl-) | 0 | Plomo (Pb) | 6 |
| 0 | Cobre (Cu) | 0 | | 0 |
| 6 | Color | 6 | Sólidos Sedimentables (SS) | 5 |
| 0 | Cromo Total | 6 | Sólidos Suspendedos Totales (SST) | 0 |
| | | 0 | Zinc (Zn) | 0 |
| | | 4 | Coliformes Fecales (CF) | 0 |

Figura 10: Cantidad de veces que falló cada parámetro medido "Par Fallidos".

5.7. Aplicación a un estudio de caso.

El estudio de caso tiene origen en el estado de Colima, México donde se evaluaron las aguas superficiales de sus principales ríos (Armería, Coahuayana y Marabasco). Se hizo un análisis histórico de los años 1990, 1992, 1994, 1995 y 1996 para conocer la evolución de la calidad del agua de los puntos monitoreados y se hizo

otro análisis para la calidad del agua de los principales ríos para el mes de julio y diciembre del año 2006.

a) Generación de la información para la calidad del agua.

- En la recopilación de la información histórica, se seleccionaron 9 puntos de monitoreo, ubicados en el mapa que aparece a continuación.

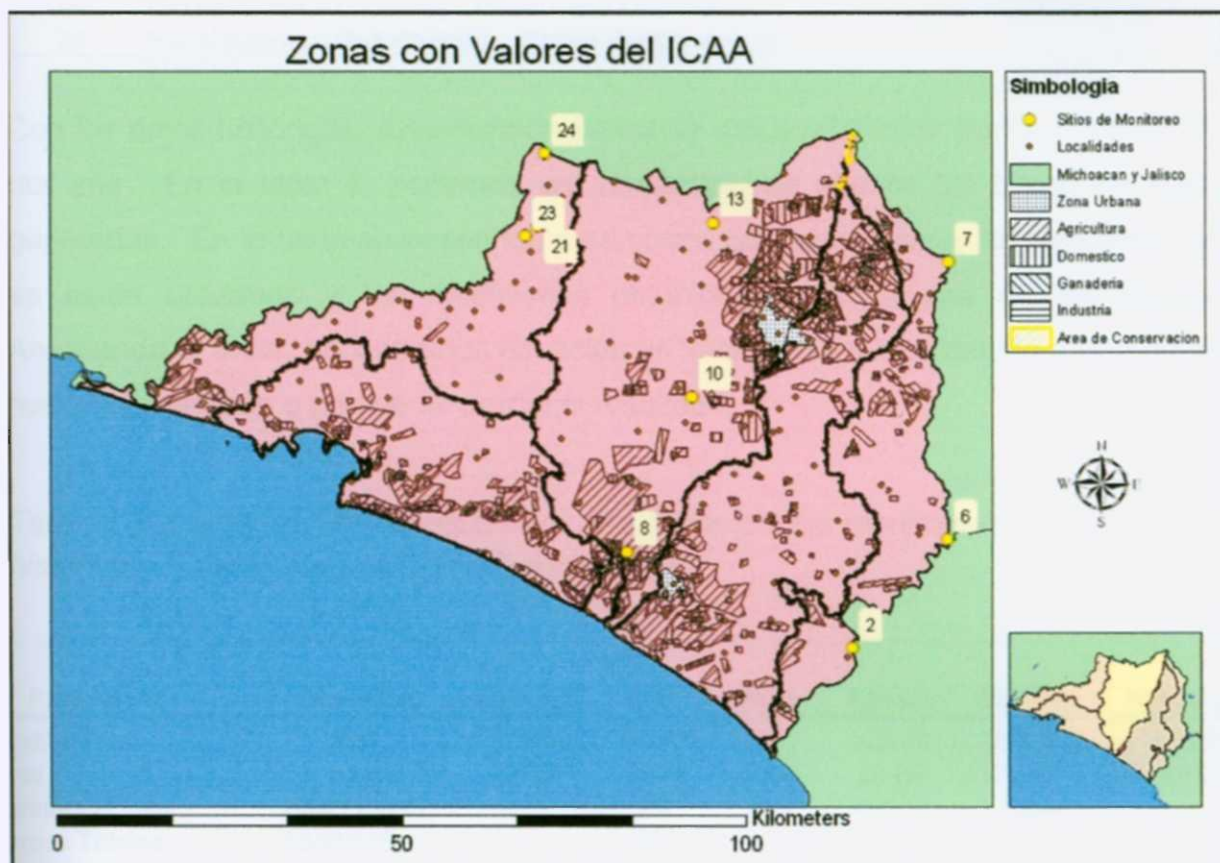


Figura 11: Ubicación de los puntos monitoreados para los datos históricos.

Tabla 7: Descripción de la localización de cada uno de los puntos monitoreados para los datos históricos.

| Punto | Punto de Muestreo |
|--------------|---|
| 2 | Río Coahuayana en Callejones (Derivadora Callejones) |
| 6 | Río Coahuayana aguas arriba confluencia con el Cajón (Paso Potrerillos) |
| 7 | Río Coahuayana límite Colima y Jalisco (Puente Naranja) |
| 8 | Estación Colimán (Puente Periquillos) |
| 10 | Río Armería, aguas arriba de la Derivadora Jala (Derivadora Jala) |
| 13 | Río Armería, en los límites de los Estados de Colima y Jalisco (Derivadora Peñitas) |
| 21 | Río Minatitlán (Puente Marabasco) |
| 23 | Río Marabasco (El Salto)... Presa Peña Colorados |
| 24 | Río Marabasco (Nacimiento)... Puente Pueblo Juárez |

Con los datos históricos, se generaron bases de datos para cada punto monitoreado por año. En la tabla 8, podemos ver el ejemplo de una de las bases de datos generadas. En la tabla aparecen los parámetros que se midieron, las unidades que se están utilizando y las mediciones obtenidas en cada uno de los meses. Analizando la tabla, encontramos espacios en vacíos, estos son debido a que no se realizó la medición o porque se perdió el resultado.

Tabla 8: Caracterización del agua para uno de los puntos monitoreados en los datos históricos. Fuente: Derivadora Callejones, 1992.

| Parámetro | Unidades | 1992 | | | | | |
|-----------------------------------|-----------------|----------------|--------------|-------------|---------------|----------------|------------------|
| | | Febrero | Abril | Mayo | Agosto | Octubre | Noviembre |
| Alcalinidad Total | mg/L | 176.00 | 167.00 | | 126.00 | 206.00 | 185.00 |
| Cloruros | mg/L | 27.00 | 47.00 | 47.00 | 26.00 | 22.00 | 33.00 |
| Coliformes Fecales | NMP/100mL | | 90 | 230 | 46000 | 9000 | |
| Coliformes Totales | NMP/100mL | | 230 | 750 | 46000 | 23000 | 4300 |
| DBO ₅ | mg/L | 1.00 | 2.40 | 3.60 | 4.00 | 4.00 | 1.20 |
| DQO | mg/L | 36.00 | 18.00 | 9.10 | 91.00 | 8.30 | 17.00 |
| Dureza Total (CaCO ₃) | mg/L | 168.00 | 203.00 | 302.00 | 135.00 | 243.00 | 189.00 |
| Nitratos | mg/L | 1.31 | 0.19 | 0.19 | 0.25 | 0.21 | 0.25 |
| Oxígeno Disuelto | mg/L | 5.90 | 3.60 | 4.40 | 6.10 | 6.30 | 6.90 |
| Sólidos Suspendidos | mg/L | 78.00 | 5.00 | 36.00 | 1028.00 | 532.00 | 13.00 |
| Temperatura | °C | | 26.40 | 30.50 | 28.50 | 21.00 | |

- En los monitoreos realizados para los meses de julio y diciembre del 2006, se seleccionaron 29 puntos los cuales incluyen los 9 anteriores y se ubican en el mapa que aparece a continuación.

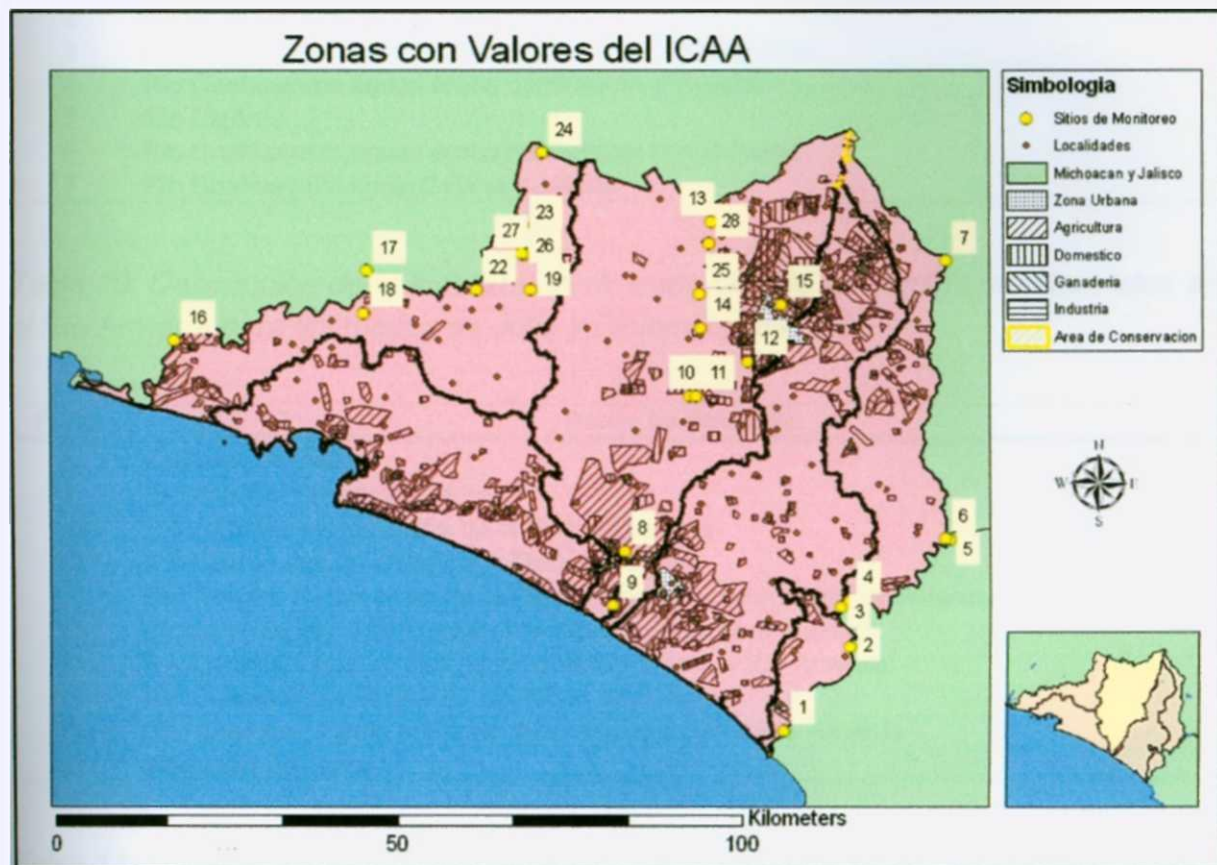


Figura 12: Ubicación de los puntos monitoreados en los meses de Julio y Diciembre del 2006.

A continuación se describirá cada uno de los puntos monitoreados de acuerdo al río al que pertenecen. Los puntos que se monitorearon para los datos históricos, se volvieron a usar en este monitoreo y son representados bajo el mismo número.

Tabla 9: Descripción de la localización de cada uno de los puntos monitoreados en el Río Coahuayana para los meses de Julio y Diciembre del 2006.

| Punto | Punto de Muestreo |
|--------------|---|
| 1 | Río Coahuayana Desembocadura |
| 2 | Río Coahuayana en Callejones |
| 3 | Río Salado aguas arriba confluencia con el Coahuayana |
| 4 | Río Coahuayana aguas arriba confluencia el Salado |
| 5 | Río Cajón |
| 6 | Río Coahuayana aguas arriba confluencia con el Cajón |
| 7 | Río Coahuayana límite Colima y Jalisco |

Tabla 10: Descripción de la localización de cada uno de los puntos monitoreados en el Río Armería para los meses de Julio y Diciembre del 2006.

| Punto | Punto de Muestreo |
|--------------|---|
| 8 | Estación Colimán |
| 9 | Río Armería Desembocadura |
| 10 | Río Armería, aguas arriba de la Derivadora Jala |
| 11 | Río Colima, aguas arriba de la Derivadora Jala |
| 12 | Río Colima, aguas abajo de las descargas de Colima y Villa de Álvarez |
| 13 | Río Armería, en los límites de los Estados de Colima y Jalisco. |
| 14 | Río Comala, aguas arriba de la confluencia con el Río Armería. |
| 15 | Río Colima aguas arriba de la Ciudad de Colima |
| 25 | Río Juluapan, aguas arriba de la confluencia con el Río Armería |
| 28 | Manantial Zacualpan |

Tabla 11: Descripción de la localización de cada uno de los puntos monitoreados en el Río Marabasco para los meses de Julio y Diciembre del 2006.

| Punto | Punto de Muestreo |
|--------------|---|
| 16 | Río Armería, en el puente Cihuatlán, aguas arriba de la confluencia con el Océano |
| 17 | Río Cuзалapa, aguas arriba de la confluencia con el río Marabasco |
| 18 | Río San José, aguas arriba de la confluencia con el río Marabasco |
| 19 | Arroyo La Truchas, aguas arriba de la confluencia con el Arroyo Las Mulas |
| 20 | Arroyo Las Mulas, aguas arriba de la confluencia con el Arroyo Las Truchas |
| 21 | Río Minatitlán (Puente-Marabasco) |
| 22 | Río Los Chicos, aguas arriba de la confluencia con el Río Marabasco. |
| 23 | Río Marabasco (El Salto) |
| 24 | Río Marabasco (Nacimiento) |
| 26 | Presa de Jales |
| 27 | Canal de descarga proveniente de Presa de Jales |
| 29 | Arroyo Las Mulas, aguas arriba de la descarga de la Presa de Jales. |

Con los datos generados por los monitoreos de los meses de Julio y Diciembre del 2006, se generaron bases de datos de ambos meses, para cada punto monitoreado por río. En las siguientes tablas, de la 12 a la 15, podemos ver un ejemplo de las bases de datos generadas para uno de los ríos en uno de los meses; con parámetros físico-químicos, metales pesados, pesticidas organoclorados y pesticidas organofosforados.

Tabla 12: Caracterización del agua (parámetros físico-químicos) para uno de los ríos monitoreados en los meses de Julio y Diciembre del 2006. Fuente: Río Marabasco, Julio del 2006.

| Punto | T. (°C) | PH | O2 | DUREZA | ALCALINIDAD | SST | NITROGENO |
|-------|---------|------|------|------------------------|------------------------|------|------------------|
| | | | mg/l | TOTAL mg/l CaCO3 | TOTAL mg/l de CaCO3 | mg/l | MONIACAL mg/l |
| 16 | 36 | 8.26 | 7.48 | 382.82 | 309.16 | 117 | 4.63 |
| 17 | 28.1 | 7.8 | 4.27 | 47.71 | 91.3 | 1980 | 0.25 |
| 18 | 32.2 | 7.67 | 3.5 | 97.55 | 140.97 | 318 | 0.375 |
| 19 | 23.4 | 6.32 | 4.25 | 100.73 | 205.09 | 5 | 0.125 |
| 20 | 23.4 | 6.62 | 4.35 | 181.32 | 146.9 | 9 | 0.375 |
| 21 | 31.1 | 6.76 | 4.28 | 166.48 | 169.28 | 7 | 0.25 |
| 22 | 23.9 | 7.84 | 4.34 | 172.84 | 224.44 | 19 | 0.501 |
| 23 | 26.3 | 7.57 | 4.44 | 309.63 | 170.4 | 6 | 0.25 |
| 24 | 21.9 | 7.08 | 2.93 | 198.29 | 181.92 | 13 | 0.375 |
| 26 | 27 | 7.6 | 3.84 | 100.73 | 205.09 | 5 | 0.125 |
| 27 | 24.9 | 7.45 | 4.29 | 164.36 | 134.93 | 8 | |
| 29 | 23.6 | 7.5 | 4.73 | 201.47 | 207.32 | 9 | 0.25 |

Tabla 12: Caracterización del agua (parámetros físico-químicos) para uno de los ríos monitoreados en los meses de Julio y Diciembre del 2006. Fuente: Río Marabasco, Julio del 2006 (continuación).

| Punto | N-NITRATOS mg/l | FOSFATOS TOTALES mg/l | CLORUROS mg/l | DBO5 mg/l | DQO mg/l | C.T. NMP/100ml | C.F. NMP/100ml |
|-------|--------------------|-----------------------------|------------------|--------------|-------------|-------------------|-------------------|
| 16 | 1.2 | 1.35 | 39.77 | 3.24 | 15 | 900 | 900 |
| 17 | 0.9 | 5.2 | 11.85 | 22.71 | 40 | 1400000 | 1400000 |
| 18 | 0.8 | 4.13 | 22.4 | 19.47 | 27 | 2800000 | 2800000 |
| 19 | 1.2 | 2.5 | 32.5 | 11.89 | 17 | 540000 | 540000 |
| 20 | 1.2 | 1.8 | 15 | 1.29 | 6 | 940000 | 940000 |
| 21 | 1.5 | 3.4 | 14.35 | 8.06 | 22 | 340000 | 340000 |
| 22 | 0.4 | 4.3 | 14.59 | 8.87 | 15 | 1400000 | 1400000 |
| 23 | 0.8 | 4.8 | 16.1 | 9.3 | 16 | 5400000 | 5400000 |
| 24 | 0.9 | 0.7 | 15.85 | 9.08 | 15 | 140000 | 140000 |
| 26 | 1.2 | 2.5 | 32.5 | 11.89 | 17 | 110000 | 110000 |
| 27 | 0.8 | 1.3 | 21.14 | 14.71 | 89 | 540000 | 540000 |
| 29 | 0.9 | 1.6 | 13.35 | 5.84 | 12 | 1400000 | 1400000 |

Tabla 13: Caracterización del agua (metales pesados) para uno de los ríos monitoreados en los meses de Julio y Diciembre del 2006. Fuente: Río Marabasco, Julio del 2006.

| Punto | Bario mg/L | Cadmio mg/L | Plomo mg/L | Zinc mg/L |
|-------|---------------|----------------|---------------|--------------|
| 16 | 0.31 | 0.002 | 0.041 | 0.234 |
| 17 | 0.08 | 0.002 | 0.041 | 0.158 |
| 18 | 0.127 | 0.002 | 0.041 | 0.24 |
| 19 | 0.017 | 0.002 | 0.094 | 0.22 |
| 20 | 0.032 | 0.002 | 0.041 | 0.163 |
| 21 | 0.044 | 0.002 | 0.041 | 0.461 |
| 22 | 0.083 | 0.004 | 0.24 | 0.262 |
| 23 | 0.056 | 0.002 | 0.041 | 0.077 |
| 24 | 0.015 | 0.002 | 0.041 | 0.037 |
| 26 | 0.088 | 0.002 | 0.041 | 0.118 |
| 27 | 0.056 | 0.002 | 0.041 | 0.063 |
| 29 | 0.03 | 0.002 | 0.041 | 0.037 |

Tabla 14: Caracterización del agua (pesticidas organoclorados) para uno de los ríos monitoreados en los meses de Julio y Diciembre del 2006. Fuente: Río Marabasco, Julio del 2006.

| Punto | 4,4'-DDD mg/L | 4,4'-DDE mg/L | 4,4'-DDT mg/L | Aldrin mg/L | alfa-BHC mg/L | beta-BHC mg/L | Clordano mg/L |
|-------|------------------|------------------|------------------|----------------|------------------|------------------|------------------|
| 16 | 0.00005 | 0.00005 | 0.00006 | 0.00005 | 0.00005 | 0.00005 | 0.00005 |
| 17 | 0.00005 | 0.00005 | 0.00005 | 0.00005 | 0.00005 | 0.00005 | 0.00005 |
| 18 | 0.00005 | 0.00005 | 0.00005 | 0.00005 | 0.00005 | 0.00005 | 0.00005 |
| 19 | 0.00005 | 0.00005 | 0.00005 | 0.00005 | 0.00005 | 0.00005 | 0.00005 |
| 20 | 0.00005 | 0.00005 | 0.00005 | 0.00005 | 0.00005 | 0.00005 | 0.00005 |
| 21 | 0.00005 | 0.00005 | 0.00005 | 0.00005 | 0.00005 | 0.00005 | 0.00005 |
| 22 | 0.00005 | 0.00005 | 0.00005 | 0.00005 | 0.00005 | 0.00005 | 0.00005 |
| 23 | 0.00005 | 0.00005 | 0.00005 | 0.00005 | 0.00005 | 0.00005 | 0.00005 |
| 24 | 0.00005 | 0.00005 | 0.00005 | 0.00005 | 0.00005 | 0.00005 | 0.00005 |
| 26 | 0.00005 | 0.00005 | 0.00005 | 0.00005 | 0.00005 | 0.00005 | 0.00005 |
| 27 | 0.00005 | 0.00005 | 0.00005 | 0.00005 | 0.00005 | 0.00005 | 0.00005 |
| 29 | 0.00005 | 0.00005 | 0.00005 | 0.00005 | 0.00005 | 0.00005 | 0.00005 |

Tabla 14: Caracterización del agua (pesticidas organoclorados) para uno de los ríos monitoreados en los meses de Julio y Diciembre del 2006. Fuente: Río Marabasco, Julio del 2006 (continuación).

| Punto | delta-BHC mg/L | Dieldrin mg/L | Endosulfan I mg/L | Endosulfan II mg/L | Endosulfan Sulfato mg/L | Endrin mg/L | Endrin Aldehido mg/L |
|-------|-------------------|------------------|----------------------|-----------------------|-------------------------------|----------------|----------------------------|
| 16 | 0.00005 | 0.00005 | 0.00005 | 0.00005 | 0.00005 | 0.00005 | 0.00009 |
| 17 | 0.00005 | 0.00005 | 0.00005 | 0.00005 | 0.00005 | 0.00005 | 0.00006 |
| 18 | 0.00005 | 0.00005 | 0.00005 | 0.00005 | 0.00005 | 0.00005 | 0.00005 |
| 19 | 0.00005 | 0.00005 | 0.00005 | 0.00005 | 0.00005 | 0.00005 | 0.00005 |
| 20 | 0.00005 | 0.00005 | 0.00005 | 0.00005 | 0.00005 | 0.00005 | 0.00005 |
| 21 | 0.00005 | 0.00005 | 0.00005 | 0.00005 | 0.00005 | 0.00005 | 0.00005 |
| 22 | 0.00005 | 0.00005 | 0.00005 | 0.00005 | 0.00005 | 0.00005 | 0.00005 |
| 23 | 0.00005 | 0.00005 | 0.00005 | 0.00005 | 0.00005 | 0.00005 | 0.00005 |
| 24 | 0.00005 | 0.00005 | 0.00005 | 0.00005 | 0.00005 | 0.00005 | 0.00005 |
| 26 | 0.00005 | 0.00005 | 0.00005 | 0.00005 | 0.00005 | 0.00005 | 0.00005 |
| 27 | 0.00005 | 0.00005 | 0.00005 | 0.00005 | 0.00005 | 0.00005 | 0.00005 |
| 29 | 0.00005 | 0.00005 | 0.00005 | 0.00005 | 0.00005 | 0.00005 | 0.00005 |

Tabla 14: Caracterización del agua (pesticidas organoclorados) para uno de los ríos monitoreados en los meses de Julio y Diciembre del 2006. Fuente: Río Marabasco, Julio del 2006 (continuación).

| Punto | Endrin cetona mg/L | Heptacloro mg/L | Heptacloro epóxido mg/L | Hexaclorobenceno mg/L | Lindano mg/L | Metoxicloro mg/L | Toxafeno mg/L |
|-------|--------------------------|--------------------|-------------------------------|--------------------------|-----------------|---------------------|------------------|
| 16 | 0.00005 | 0.00005 | 0.00005 | 0.00005 | 0.00005 | 0.00005 | 0.00005 |
| 17 | 0.00005 | 0.00005 | 0.00005 | 0.00005 | 0.00005 | 0.00005 | 0.00005 |
| 18 | 0.00005 | 0.00005 | 0.00005 | 0.00005 | 0.00005 | 0.00005 | 0.00005 |
| 19 | 0.00005 | 0.00005 | 0.00005 | 0.00005 | 0.00005 | 0.00005 | 0.00005 |
| 20 | 0.00005 | 0.00005 | 0.00005 | 0.00005 | 0.00005 | 0.00005 | 0.00005 |
| 21 | 0.00005 | 0.00005 | 0.00005 | 0.00005 | 0.00005 | 0.00005 | 0.00005 |
| 22 | 0.00005 | 0.00005 | 0.00005 | 0.00005 | 0.00005 | 0.00005 | 0.00005 |
| 23 | 0.00005 | 0.00005 | 0.00005 | 0.00005 | 0.00005 | 0.00005 | 0.00005 |
| 24 | 0.00005 | 0.00005 | 0.00005 | 0.00005 | 0.00005 | 0.00005 | 0.00005 |
| 26 | 0.00005 | 0.00005 | 0.00005 | 0.00005 | 0.00005 | 0.00005 | 0.00005 |
| 27 | 0.00005 | 0.00005 | 0.00005 | 0.00005 | 0.00005 | 0.00005 | 0.00005 |
| 29 | 0.00005 | 0.00005 | 0.00005 | 0.00005 | 0.00005 | 0.00005 | 0.00005 |

Tabla 15: Caracterización del agua (pesticidas organofosforados) para uno de los ríos monitoreados en los meses de Julio y Diciembre del 2006. Fuente: Río Marabasco, Julio del 2006.

| Punto | Clorpirifos mg/L | Diazinon mg/L | Malatión mg/L | Metil Paratión mg/L | Permitrina mg/L |
|-------|---------------------|------------------|------------------|------------------------|--------------------|
| 16 | 0.002 | 0.002 | 0.002 | 0.002 | 0.002 |
| 17 | 0.002 | 0.002 | 0.002 | 0.002 | 0.002 |
| 18 | 0.002 | 0.002 | 0.002 | 0.002 | 0.002 |
| 19 | 0.002 | 0.002 | 0.002 | 0.002 | 0.002 |
| 20 | 0.002 | 0.002 | 0.002 | 0.002 | 0.002 |
| 21 | 0.002 | 0.002 | 0.002 | 0.002 | 0.002 |
| 22 | 0.002 | 0.002 | 0.002 | 0.002 | 0.002 |
| 23 | 0.002 | 0.002 | 0.002 | 0.002 | 0.002 |
| 24 | 0.002 | 0.002 | 0.002 | 0.002 | 0.002 |
| 26 | 0.002 | 0.002 | 0.002 | 0.002 | 0.002 |
| 27 | 0.002 | 0.002 | 0.002 | 0.002 | 0.002 |
| 29 | 0.002 | 0.002 | 0.002 | 0.002 | 0.002 |

Estas bases de datos primeramente se utilizaron para obtener los Índices de Calidad del Agua Geométricos (ICAG), programando una hoja de cálculo en la cual se tuvo

que hacer adaptaciones al modelo matemático por las diferentes distribuciones de los pesos específicos a la falta de parámetros y se obtuvieron los siguientes resultados:

Tabla 16: Índices de Calidad del Agua Geométricos.

| Año | ICAG para todos los usos | | | | | | | | |
|---------|--------------------------|-----------------|--------------------|---------------------|----------------------|------------------|----------------|--------------------|----------------------|
| | Derivadora Callejones | Derivadora Jala | Derivadora Peñitas | Paso de Potrerillos | Presa Peña Colorados | Puente Marabasco | Puente Naranja | Puente Periquillos | Puente Pueblo Juárez |
| 1990 | 57 | 55 | 66 | 61 | | 71 | 49 | 66 | |
| 1992 | 45 | 45 | 58 | 52 | | 54 | 42 | 59 | |
| 1994 | 67 | 61 | 69 | 64 | | 71 | 64 | 47 | |
| 1995 | 63 | 63 | 59 | 60 | | 68 | 59 | 62 | |
| 1996 | 82 | 61 | 75 | 66 | | 64 | 83 | 78 | |
| 2006-07 | 29 | 65 | 43 | 31 | | 56 | 34 | 49 | |
| 2006-12 | 77 | 77 | 73 | 74 | | 83 | 71 | 78 | |

*Los puntos en Presa Peña Colorados y Puente Pueblo Juárez no se midieron por falta de datos.

Analizando estos resultados podremos decidir qué tan representativos son realmente. El ICAG es un solo valor obtenido el cual se verifica en una escala que depende del uso del agua para conocer su grado de contaminación, recordando que se están evaluando los mismos parámetros para todos los usos del agua. Estos índices se calcularon únicamente con parámetros microbiológicos y físico-químicos. También cabe mencionar que el modelo matemático solo maneja una repetición de los resultados de cada monitoreo para cada índice por lo que fue necesario promediar los ICAG obtenidos en cada repetición para poder obtener un solo índice anual.

b) Aplicación del programa de cómputo.

- Se revisaron y validaron los datos históricos, eliminando la información de años incompletos, así como parámetros que raramente se analizaron. Esta base de datos aparece en el Apéndice A y C, a continuación se muestran 2 ejemplos:

Tabla 17: Magnitudes de parámetros del punto Derivadora Callejones, año 1990.

| Punto | Parámetro | Unidades | 1990 | | | | | |
|---|-----------------------------------|-----------|---------|--------|--------|------------|-----------|-----------|
| | | | Febrero | Mayo | Junio | Septiembre | Noviembre | Diciembre |
| Río Coahuayana aguas arriba confluencia el Salado (Derivadora Callejones) | Alcalinidad Total | mg/L | 329.00 | 191.00 | 180.00 | 171.00 | 197.00 | 231.00 |
| | Cloruros | mg/L | 48.00 | 603.00 | 76.00 | 15.00 | 19.00 | 24.00 |
| | Coliformes Fecales | NMP/100mL | | | | | 1500 | |
| | Coliformes Totales | NMP/100mL | | | | | 1500 | |
| | DBO | mg/L | 84.00 | 3.00 | 3.70 | 6.80 | 1.10 | 8.70 |
| | DQO | mg/L | | 13.40 | 89.00 | 57.00 | | 2.80 |
| | Dureza Total (CaCO ₃) | mg/L | 274.00 | 232.00 | | 84.00 | 152.00 | 291.00 |
| | Nitratos | mg/L | 0.10 | 0.14 | 0.65 | 0.49 | 0.26 | 0.14 |
| | Oxígeno Disuelto | mg/L | 4.00 | 5.40 | 7.50 | 6.30 | 6.30 | 5.40 |
| | Potencial de Hidrógeno (pH) | | | | | | | |
| | Sólidos Suspendidos | mg/L | 5.00 | 17.00 | 620.00 | 2418.00 | 220.00 | 18.00 |
| | Sulfatos | mg/L | | | | | | |
| | Temperatura | °C | 29.00 | 28.00 | 30.00 | 27.00 | 28.00 | |

Tabla 18: Magnitudes de parámetros del Río Coahuayana, Diciembre del 2006.

| Parámetros | Unidades | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
|-------------------------------------|-----------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Alcalinidad como CaCO ₃ | mg/L | 220.86 | 185.64 | 243.71 | 239.40 | 193.31 | 215.21 | 203.33 |
| Bario | mg/L | 0.09 | 0.054 | 0.057 | 0.067 | 0.064 | 0.061 | 0.1 |
| Cadmio | mg/L | 0.002 | 0.002 | 0.002 | 0.002 | 0.002 | 0.002 | 0.002 |
| Cloruros | mg/L | 31.19 | 30.72 | 33.08 | 28.83 | 21.74 | 25.05 | 31.66 |
| DBO ₅ | mg/L | 2.8 | 1.29 | 2.81 | 3.67 | 1.48 | 1.2 | 2.37 |
| Dureza Total como CaCO ₃ | mg/L | 207.6 | 210.21 | 270.27 | 222.22 | 241.3 | 219.56 | 214.28 |
| Fosfatos PO ₄ | mg/L | 0.2 | 1.6 | 0.2 | 0.3 | 0.2 | 0.3 | 0.8 |
| Nitratos NO ₃ | mg/L | 1.5 | 1.2 | 1.6 | 1.6 | 2 | 1.9 | 2.4 |
| Nitrógeno Amoniacal | mg/L | 0.33 | 0.44 | 0.33 | 0.22 | 0.55 | 0.44 | 0.22 |
| Plomo | mg/L | 0.041 | 0.041 | 0.041 | 0.041 | 0.041 | 0.041 | 0.041 |
| Sólidos Suspendidos | mg/L | 23.3 | 34.6 | 5.3 | 10.6 | 13.33 | 11.11 | 12.6 |
| Zinc | mg/L | 0.044 | 0.042 | 0.041 | 0.055 | 0.037 | 0.037 | 0.037 |
| Oxígeno Disuelto | mg/L | 5.37 | 5.6 | 6.7 | 7.6 | | 6.67 | 6.31 |
| Coliformes Fecales | NMP/100ml | 5 | 35 | 24 | 8 | 92 | 160 | 92 |
| Coliformes Totales | NMP/100ml | 5 | 35 | 24 | 8 | 92 | 160 | 160 |
| Potencial Hidrógeno pH | | 7.59 | 7.95 | 7.95 | 7.96 | 7.920 | 8.48 | 8.03 |

- Se calculó el ICAA para cada punto de monitoreo por año. Con esto se determinó la evolución de la calidad del agua para cada punto monitoreado.

Tabla 19: Índices de Calidad del Agua Armonizados para el agua potable.

| ICAA para el Agua Potable | | | | | | | | | |
|---------------------------|-----------------------|-----------------|--------------------|---------------------|----------------------|------------------|----------------|--------------------|----------------------|
| Año | Derivadora Callejones | Derivadora Jala | Derivadora Peñitas | Paso de Potrerillos | Presa Peña Colorados | Puente Marabasco | Puente Naranja | Puente Periquillos | Puente Pueblo Juarez |
| 1990 | 32.08 | 29.54 | 36.92 | 100 | | 31.07 | 37.49 | 40.20 | 36.85 |
| 1992 | 34.91 | 35.29 | 39.58 | 35.67 | | 30.16 | 34.91 | 35.11 | 35.33 |
| 1994 | 33.67 | 28.17 | 33.72 | 33.67 | 26.74 | 26.75 | 33.67 | | 33.68 |
| 1995 | 33.67 | 32.51 | 28.57 | 33.69 | 25.97 | 26.29 | 34.08 | 33.68 | 33.68 |
| 1996 | 33.68 | 28.85 | 33.68 | 34.52 | 27.14 | 25.97 | 33.67 | 34.08 | 34.09 |

Como se puede ver en la tabla 19, no es necesario revisar los valores numéricos de los ICAAs para el agua potable, solo basta con ver el color de la tabla que lleva el gradiente de la escala. Un solo caso muestra una excelente calidad de agua, Paso de Potrerillos en el año 1990, para este caso se revisó el INPUT que alimentó el programa, y notamos que fue el único caso en el que en ninguna ocasión se midieron los coliformes fecales ni totales.

Al revisar el INPUT de todos los demás casos, nos damos cuenta que las concentraciones de coliformes fecales y totales excedían por mucho la Norma Oficial Mexicana de Agua Potable lo que fue determinante para su calidad.

Tabla 20: Índices de Calidad del Agua Armonizados para el riego agrícola.

| ICAA para el Riego Agrícola | | | | | | | | | |
|-----------------------------|-----------------------|-----------------|--------------------|---------------------|----------------------|------------------|----------------|--------------------|----------------------|
| Año | Derivadora Callejones | Derivadora Jala | Derivadora Peñitas | Paso de Potrerillos | Presa Peña Colorados | Puente Marabasco | Puente Naranja | Puente Periquillos | Puente Pueblo Juarez |
| 1990 | 61.25 | 72.04 | 80.37 | 80.30 | | 88.19 | 56.70 | 68.94 | 66.28 |
| 1992 | 51.98 | 70.46 | 66.20 | 51.42 | | 100 | 50.77 | 65.30 | 57.61 |
| 1994 | 95.58 | 68.44 | 92.76 | 59.94 | 87.68 | 91.15 | 68.46 | | 79.60 |
| 1995 | 95.58 | 63.92 | 82.10 | 87.41 | 76.71 | 100 | 79.18 | 76.21 | 73.22 |
| 1996 | 85.92 | 79.60 | 67.74 | 85.07 | 77.98 | 75.88 | 70.03 | 81.59 | 84.07 |

Estas mismas muestras de agua resultaron ser más aptas para riego agrícola que como agua potable. En la tabla 20 se puede ver que el color predominante es el verde, lo que significa que es buena calidad.

Recordando el punto monitoreado que resultó con una excelente calidad como agua potable, vemos que tuvo una calidad más baja para riego agrícola. La explicación es muy sencilla, de los parámetros que califica el uso de agua potable, solo se incluyeron los cloruros, la dureza y los nitratos los cuales tuvieron concentraciones por debajo de la NOM-127-SSA1-1994. Revisando los parámetros medidos para riego agrícola, solo se midieron los sólidos suspendidos totales y la DBO₅, fallando los sólidos suspendidos totales en tres ocasiones.

Los coliformes fecales son un parámetro que ambos casos lo toman en cuenta, siendo más flexible el caso de riego agrícola en donde se vio menos afectado. Los coliformes totales penalizaron la calidad del agua para agua potable mientras que los sólidos suspendidos totales resultaron ser críticos para el riego agrícola.

Tabla 21: Índices de Calidad del Agua Armonizados para la recreación con contacto primario.

| ICAA para la Recreación con Contacto Primario | | | | | | | | | |
|---|-----------------------|-----------------|--------------------|---------------------|----------------------|------------------|----------------|--------------------|----------------------|
| Año | Derivadora Callejones | Derivadora Jala | Derivadora Peñitas | Paso de Potrerillos | Presa Peña Colorados | Puente Marabasco | Puente Naranja | Puente Periquillos | Puente Pueblo Juarez |
| 1990 | 38.88 | 47.03 | 62.69 | 50.03 | | 55.56 | 37.09 | 45.30 | 42.11 |
| 1992 | 37.95 | 42.47 | 38.63 | 35.73 | | 96.46 | 34.54 | 29.48 | 33.54 |
| 1994 | 72.42 | 48.38 | 65.82 | 45.24 | 61.15 | 70.59 | 46.20 | | 50.71 |
| 1995 | 72.42 | 36.77 | 45.52 | 54.79 | 54.39 | 94.91 | 34.66 | 54.40 | 38.93 |
| 1996 | 58.90 | 57.56 | 43.68 | 56.35 | 58.85 | 56.21 | 49.48 | 46.36 | 49.58 |

Las recomendaciones que se tomaron en cuenta para la recreación con contacto primario son similares a las de riego agrícola pero con límites permisibles más estrictas. Si comparamos los resultados de los ICAAs en riego agrícola y los ICAAs en recreación con contacto primario, notamos un deslice de unos 20 puntos resultando ser más aptos estos cuerpos de agua para el riego agrícola.

Nuevamente analizando los valores que muestran una excelente calidad de agua, podemos ver que sólo se vieron afectados por un solo caso en el que los sólidos suspendidos totales excedieron la NOM-003-SEMARNAT-1996.

Tabla 22: Índices de Calidad del Agua Armonizados para la protección de la vida acuática.

| ICAA para la Protección de la Vida Acuática | | | | | | | | | |
|---|-----------------------|-----------------|--------------------|---------------------|----------------------|------------------|----------------|--------------------|----------------------|
| Año | Derivadora Callejones | Derivadora Jala | Derivadora Peñitas | Paso de Potrerillos | Presa Peña Colorados | Puente Marabasco | Puente Naranja | Puente Periquillos | Puente Pueblo Juárez |
| 1990 | 69.39 | 81.68 | 88.24 | 89.11 | | 91.50 | 67.39 | 80.75 | 77.38 |
| 1992 | 57.31 | 70.24 | 67.43 | 56.22 | | 93.34 | 56.69 | 71.27 | 61.62 |
| 1994 | 87.58 | 75.48 | 95.32 | 66.60 | 91.93 | 94.04 | 75.49 | | 85.06 |
| 1995 | 87.58 | 72.90 | 87.50 | 91.98 | 83.23 | 97.69 | 86.38 | 84.65 | 82.32 |
| 1996 | 84.69 | 86.43 | 78.48 | 90.54 | 85.69 | 84.02 | 80.01 | 87.91 | 90.12 |

Analizando únicamente los colores de las tablas, rápidamente podemos decir que estas fuentes de agua fueron más aptas para la protección de la vida acuática y después para riego agrícola. De los parámetros que mostraron concentraciones por encima de las Normas Oficiales Mexicanas en todos los usos, los coliformes fecales fueron los críticos y posteriormente los sólidos suspendidos totales.

En la protección de la vida acuática, los parámetros a evaluar son casi los mismos que para riego agrícola pero con límites permisibles más estrictos. Teniendo esto en cuenta esperaríamos mejor calidad del agua para riego agrícola que para la protección de vida acuática pero resultó ser lo contrario. Analizando el INPUT que se usó para ambos usos del agua, notamos que en los dos casos se usaron los mismos parámetros y por lo general el único parámetro que fallaba eran los sólidos suspendidos totales en donde este parámetro en particular si contaba con el mismo límite permisible.

La diferencia entre ambos casos muestra una calidad de cerca de 6 puntos mejor para la protección de la vida acuática que para el riego agrícola y esto se debió a la cantidad de parámetros que se requerían para cada estudio. La protección de la vida acuática requiere 2 parámetros más, temperatura y oxígenos disueltos,

parámetros que si se midieron y resultaron estar dentro de la norma en la gran mayoría de las muestras.

En la Figura 13, hacemos una comparación de tres sitios de monitoreo a través del tiempo, para un uso específico; la primer característica importante que notamos es que la calidad del agua por lo general se ha mantenido mejor en el Puente Marabasco que en la Derivadora Peñitas y en el Puente Naranjo.

Es importante reconocer que en el Puente Naranjo, la calidad del agua permanece muy contaminada en todos los años, mientras que en el Puente Marabasco llega a alcanzar una excelente calidad para los años de 1992 y 1995.

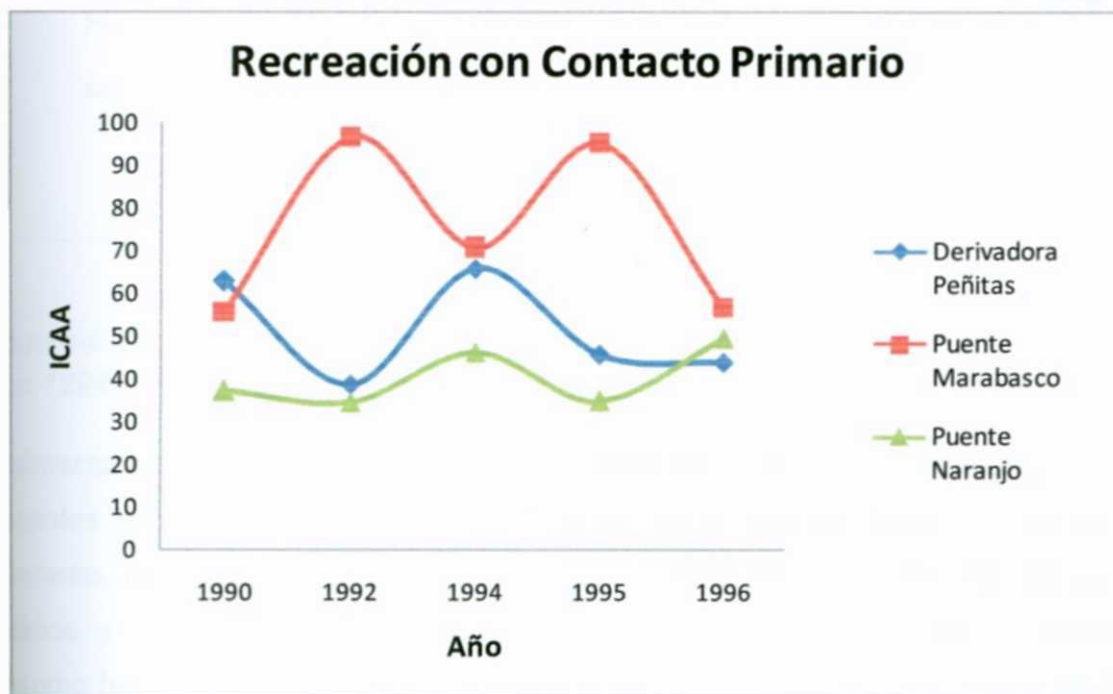


Figura 13: Comparación de diferentes sitios de monitoreo a través del tiempo, para recreación con contacto primario.

En la Figura 14, realizamos una comparación de todos los sitios monitoreados en 1994, 1995 y 1996 para riego agrícola. La calidad del agua en los 3 años resultó ser considerablemente buena. En el año de 1996, la calidad del agua permaneció más

constante que en los otros 2 años y en el año de 1994 vemos que en el sitio 8 no se registró medición, por lo que no permanece unida la línea.

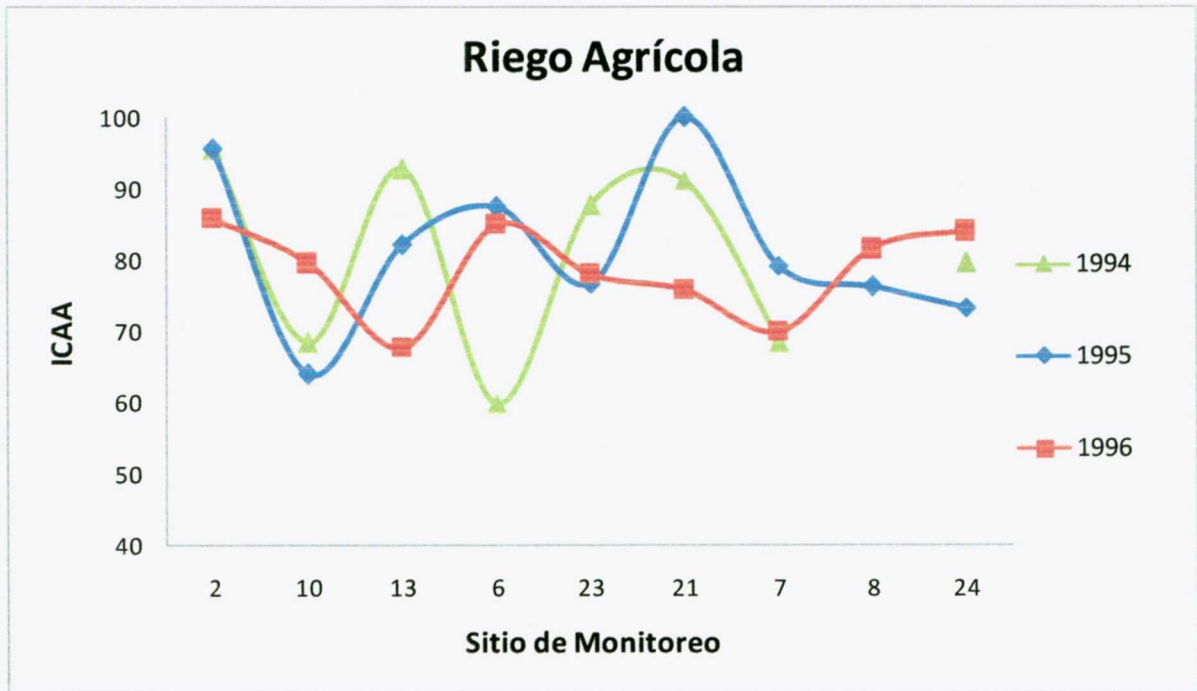


Figura 14: Comparación de diferentes sitios de monitoreo para riego agrícola, en los años 1994, 1995 y 1996.

Finalmente en la figura 15 se realizó una comparación de la calidad del agua de los diferentes usos, para cada sitio de monitoreo en el año de 1996. Como era de esperarse, la calidad del agua resultó ser más apta para la protección de la vida acuática y para riego agrícola que para la recreación con contacto primario y consumo humano. Las normas son más estrictas en la calidad del agua cuando se trata de un uso para el humano que un uso para la vida acuática o uso agrícola.

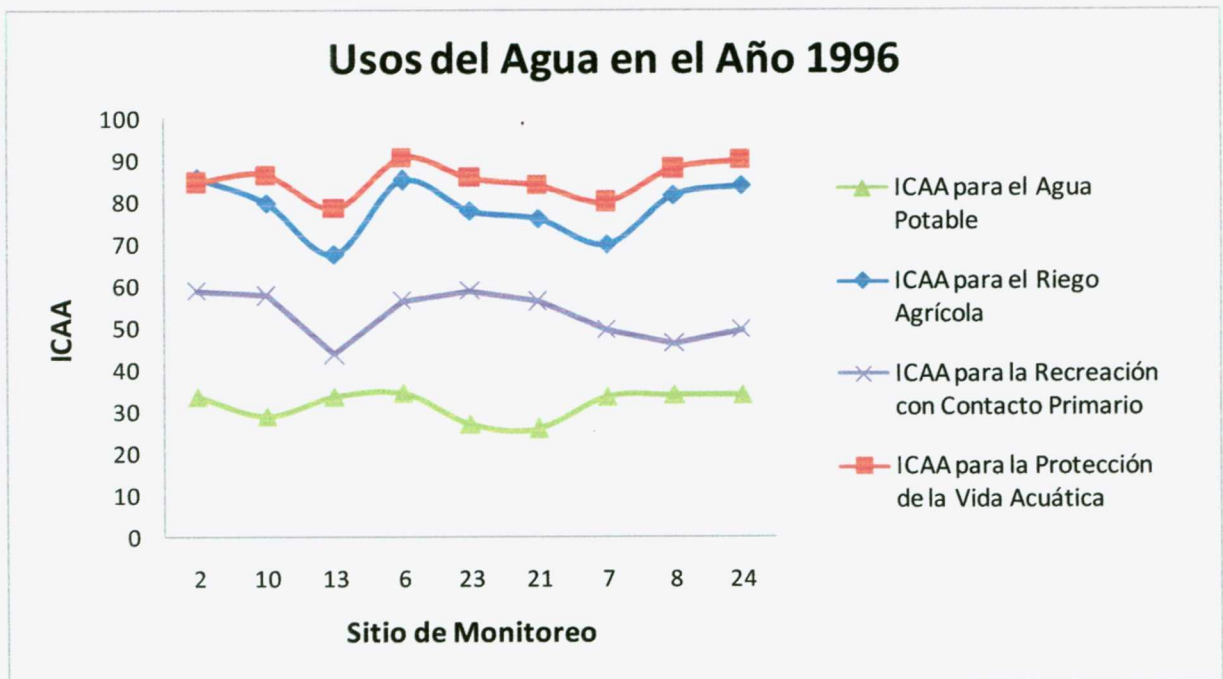


Figura 15: Comparación de la calidad del agua en diferentes usos, para cada sitio de monitoreo en el año de 1996.

- Se alimentó el programa de cómputo con los datos generados en los meses de Julio y Diciembre del 2006, y se calculó el ICAA para cada río. Con esto se determinó la calidad de cada uno de los cuerpos de agua en ambos meses.

Tabla 23: Índices de Calidad del Agua Armonizados para cada uno de los diferentes usos en los meses de julio y diciembre del año 2006.

| ICAA | Julio del 2006 | | | Diciembre del 2006 | | |
|----------------------------------|----------------|---------|-----------|--------------------|---------|-----------|
| | Coahuayana | Armería | Marabasco | Coahuayana | Armería | Marabasco |
| Agua Potable | 32.58 | 35.34 | 34.31 | 34.71 | 36.77 | 36.51 |
| Riego Agrícola | 40.95 | 41.46 | 41.15 | 100 | 100 | 100 |
| Recreación con Contacto Primario | 39.91 | 35.24 | 39.09 | 91.36 | 91.58 | 96.96 |
| Protección a la Vida Acuática | 39.41 | 40.18 | 38.28 | 100 | 99.33 | 99.40 |

En esta evaluación la comparación más notable es la calidad del agua entre ambos meses. El mes de julio presenta una calidad contaminada mientras que el mes de diciembre presenta excelente calidad del agua con la excepción del uso para agua potable.

A continuación en la figura 16 y 17 se muestra la calidad del agua para recreación con contacto primario en el año 2006, de acuerdo al color establecido en la escala. En la figura 16 se tiene el caso del mes de julio y en la figura 17 se tiene el caso del mes de diciembre.

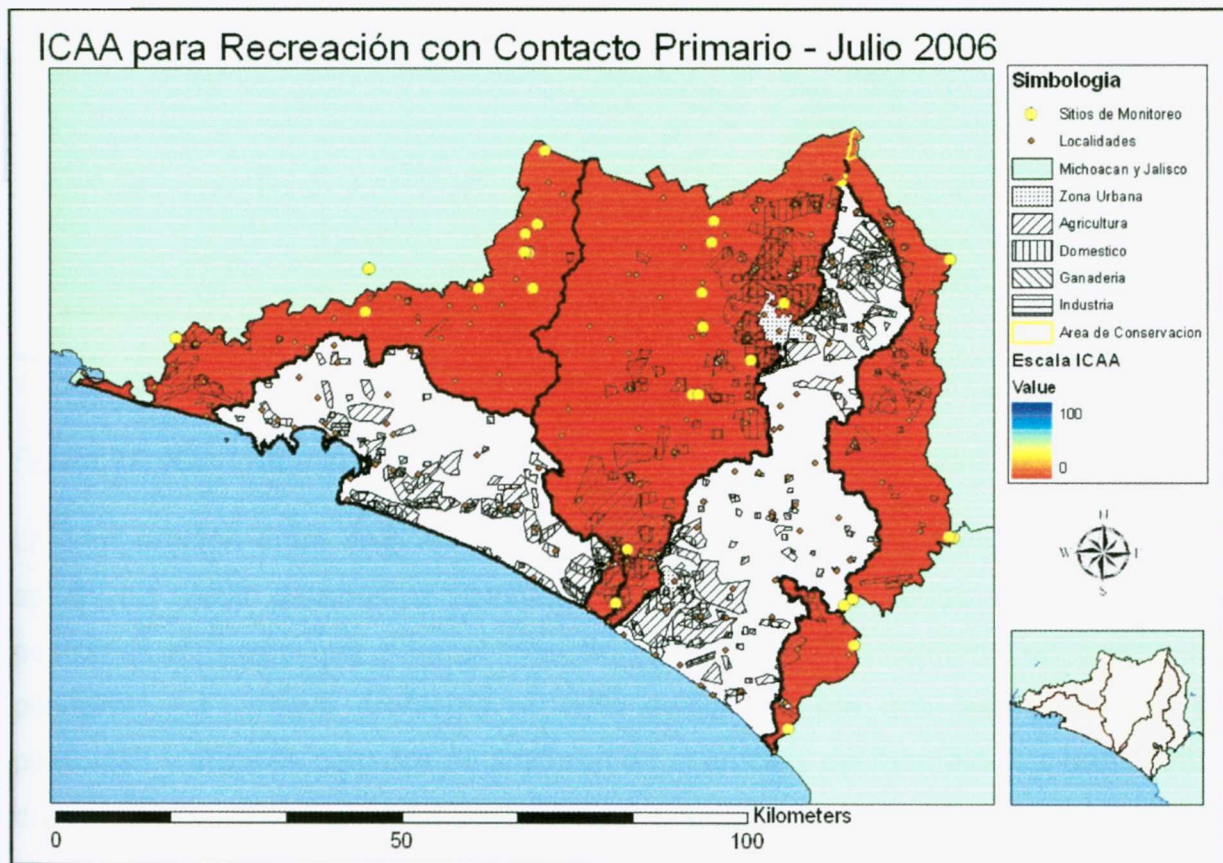


Figura 16: ICAA para la recreación con contacto primario, julio del 2006.

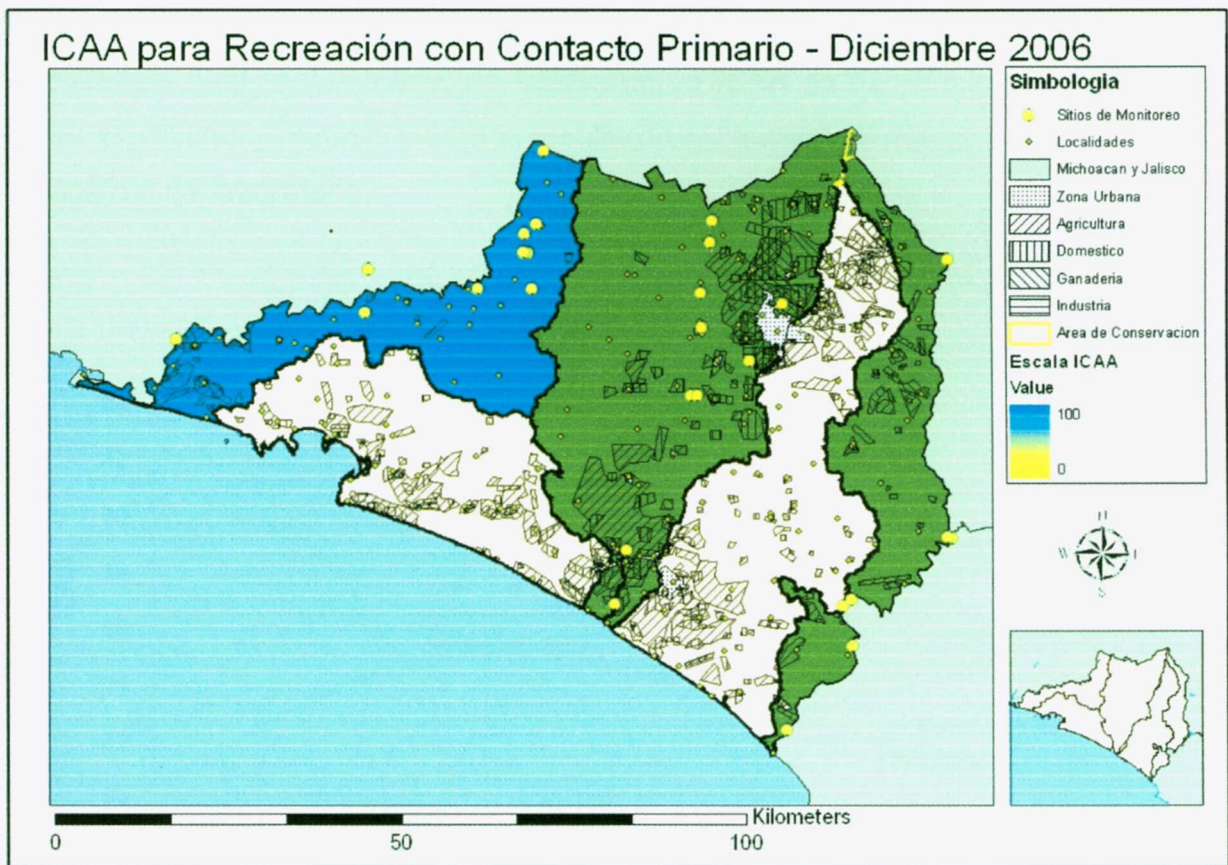


Figura 17: ICAA para la recreación con contacto primario, diciembre del 2006.

La comparación entre ambos meses resulta complicada porque en el caso de julio aparte de medir parámetros físico-químicos y metales pesados, se incorporaron pesticidas mientras que para el mes de diciembre no se tomaron en cuenta los pesticidas. El mayor problema en esta evaluación fue que las mediciones de pesticidas y metales pesados se limitaron en el análisis del laboratorio a una calidad de agua para descargas residuales afectando a los parámetros que requerían mayor precisión del análisis por las normas establecidas como es el caso de agua potable.

En la figura 18, se realizó una comparación de los ICAA en los diferentes usos del agua a lo largo de los tres ríos monitoreados en julio del 2006. Como era de esperarse, nuevamente los usos del agua para uso humano resultan tener menor calidad del agua que los usos para la vida acuática y riego agrícola.

En esta gráfica cabe mencionar que en los cuatro usos del agua, la calidad permaneció muy contaminada, no superaron un ICAA de 42 ya que las mediciones de los pesticidas y metales pesados resultaron ser excesivos debido a la precisión en su análisis de laboratorio.

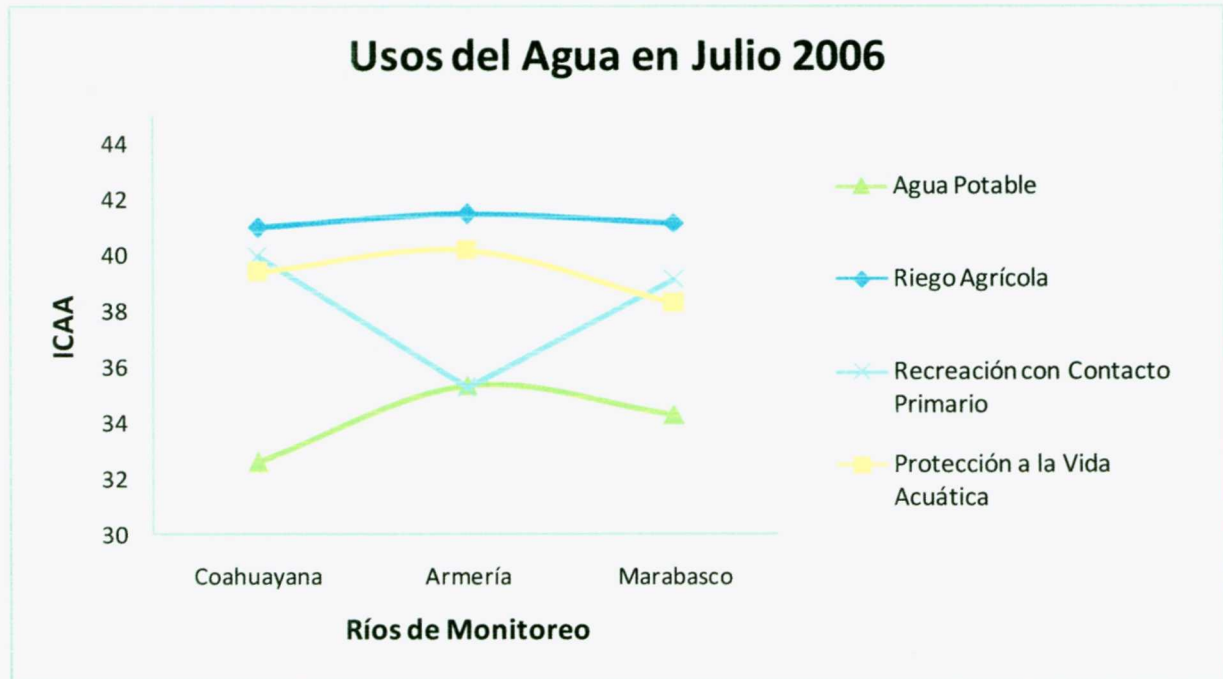


Figura 18: Comparación de los ICAA en los diferentes usos del agua a lo largo de los tres ríos monitoreados en julio del 2006.

Nuevamente comparamos los ICAA en los diferentes usos del agua a lo largo de los tres ríos monitoreados pero ahora para el mes de diciembre en el año 2006. En este caso los valores de los ICAA resultaron muy superiores al mes de julio del mismo año debido a que ahora no se tomaron en cuenta los pesticidas.

En el caso del uso de agua potable nuevamente la calidad resultó ser muy contaminada y esto fue debido a que es el único uso que considera en sus normas a los metales pesados y estos resultaron ser excesivos debido a la precisión en su análisis de laboratorio.

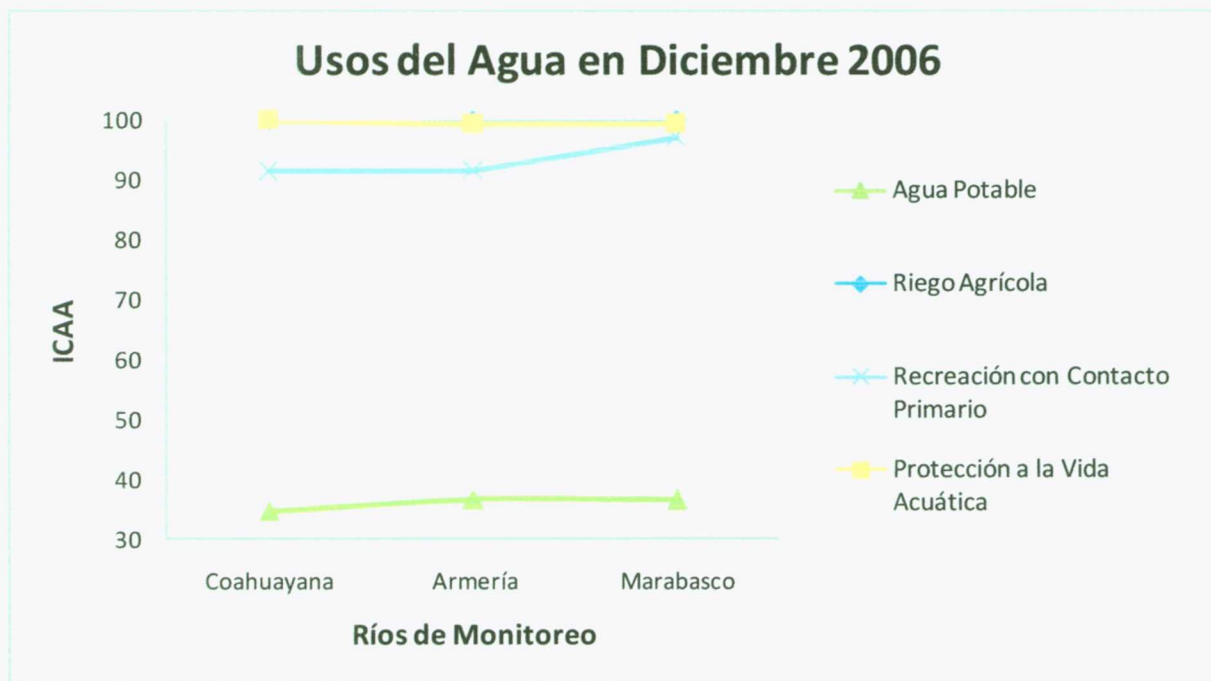


Figura 19: Comparación de los ICAA en los diferentes usos del agua a lo largo de los tres ríos monitoreados en diciembre del 2006.

De haberse medido los mismos parámetros en ambos meses del año 2006, hubiera sido posible una comparación de los resultados para un río en específico en julio y diciembre o para un uso en específico para ambos meses.

CAPÍTULO 6

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

3. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

3.1. Conclusiones

Se revisó la suficiente información para hacer un análisis de las diferentes metodologías existentes y poder desarrollar un ICAA. La metodología del CCME resultó más completa para la elaboración de un ICA por lo que fue la seleccionada. Debido a que esta metodología no limita el número de parámetros a analizar por la flexibilidad del modelo matemático, se consideraron todos los que cada norma recomienda para cada uso del agua y se aplicó la misma escala que tenía. Otras metodologías quedaron en desventaja por la subjetividad en la valoración de los parámetros o por el potencial del modelo matemático a poder evaluar varias repeticiones de las muestras.

Los parámetros evaluados fueron seleccionados por Normas Oficiales Mexicanas (NOM) así como sus límites permisibles. Estas NOM manejan diferentes parámetros y límites permisibles de acuerdo al uso de la fuente de agua. Se manejó la escala recomendada por el CCME haciéndole una modificación al agregarle los colores.

Finalmente se elaboró un programa computacional que permitiera realizar estos cálculos de una forma más sencilla y que pudiera usarse vía online. El programa se aplicó a un estudio de caso en el cual se encontraron resultados como se esperaban por lo que resultó preciso y conciso. También se mostraron los resultados obtenidos por otra metodología muy común, y se hizo referencia a algunas de sus debilidades.

3.2.Recomendaciones

Para evaluar la calidad de un cuerpo de agua en un determinado tiempo o de puntos de monitoreo a través del tiempo es necesario realizar por lo menos 4 repeticiones de cada caracterización del agua.

Se requiere del uso de un programa de cómputo para realizar todos estos cálculos mecánicos y poder mostrar de una forma más clara los resultados.

Los parámetros que se requieren evaluar según el uso de la fuente de agua es necesario que provengan de normas o recomendaciones establecidas según cada país así como sus valores permisibles.

La precisión de los resultados obtenidos, se determinará de acuerdo al porcentaje de información faltante. No podemos comparar un ICAA de 80 con el 10% de datos faltantes contra un ICAA de 90 con el 60% de datos faltantes. Se recomienda que no se tengan datos faltantes.

CAPÍTULO 7

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Brown, R., (1970). "A Water Quality Index - Do We Dare?", Water Sewage Works 11, pp. 339-343.
- Cázares, E. Módulo IV Agua y Aire, Diplomado en Calidad Ambiental p.40-42.
- Criterios Ecológicos de Calidad del Agua, CE-CCA-001/89.
- Cude, C. (2001). "Oregon Water Quality Index: A Tool For Evaluating Water Quality Management Effectiveness", Paper No. 99051 Of The Journal Of The American Resources Association Vol.37 (1): pp. 125-138.
- Cude, C. (2002). "Oregon Water Quality Index: A Tool For Evaluating Water Quality Management", Paper No. 99051 Journal of the American Water Resources Association, Vol.11 (1): pp. 315-318.
- De la Maza, J.
<http://www.cambioclimaticoyseseguridadnacional.org/biblioteca/41609581893932.pdf>.
Cambio Climático y Seguridad Nacional, La Calidad del Agua.
- González, I. "Diagnóstico Global de la Calidad del Agua en México en 1996". Red Nacional de Monitoreo.
- Horton, R., 1965. An Index Number System For Rating Water Quality, Jr. Of Wpcf, Vol. 37.
- Lee, G. http://www.ccme.ca/assets/pdf/wqi_sensitivity_analysis_rpt_web.pdf. A Sensitivity Analysis of the Canadian Water Quality Index, A report for the Canadian Council of Ministers of the Environment 2006. (Julio, 2007).
- León, L.F., (1991), "Índice de Calidad del Agua, ICA", Inf. # SH-9101/01, Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, México, 36 p.
- Liebman, H. 1969. Atlas Of Water Quality: Methods And Practical Conditions, R. Oldenbough, Munich.
- Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales.
<http://www.snet.gob.sv/Hidrologia/Documentos/DescontaminacionLempa2005.pdf>.

Servicio Nacional de Estudios Territoriales, SNET. "Evaluación de la calidad del agua del río Lempa, Marzo de 2005. (Mayo, 2007).

- Norma Oficial Mexicana. NOM-001-SEMARNAT-1996.
- Norma Oficial Mexicana. NOM-003-SEMARNAT-1997.
- Norma Oficial Mexicana. NOM-127-SSA1-1997.
- Pratti, L., Pavenello, R., (1971). "Assesment of Surface Water Quality by a Single Index of Pollution", Water Resources Research, Vol.5, May 1971, pp. 456-467.
- Servicio Nacional de Estudios Territoriales, SNET.
<http://www.snet.gob.sv/Hidrologia/Documentos/calculolCA.pdf>. Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales (Abril, 2007).
- Universidad Centroccidental Lisandro Alvarado, UCLA (2007).
<http://www.ucla.edu.ve/Hidraulica5.pdf>. Departamento de Ingeniería Hidráulica y Sanitaria. (Septiembre, 2007).
- Universidad de Pamplona.
http://www.unipamplona.edu.co/unipamplona/hermesoft/portallG/home_18/recursos/01_general/documentos/12062008/icatest_capitulo2.pdf. Capítulo II, Indicadores de la Calidad del Agua. (Febrero, 2008).
- Universidad de Pamplona.
http://www.unipamplona.edu.co/unipamplona/hermesoft/portallG/home_18/recursos/01_general/documentos/12062008/icatest_capitulo1.pdf. Capítulo I, La Calidad del Agua. (Febrero, 2008).
- Universidad de Pamplona.
http://www.unipamplona.edu.co/unipamplona/hermesoft/portallG/home_18/recursos/01_general/documentos/12062008/icatest_capitulo3.pdf. Capítulo III, Índices de Calidad (ICAs) y de Contaminación (ICOs) del Agua de Importancia Mundial. (Febrero, 2008).
- Universidad de Pamplona.
http://www.unipamplona.edu.co/unipamplona/hermesoft/portallG/home_18/recursos/01_general/documentos/12062008/icatest_capitulo4.pdf. Capítulo IV, Análisis Comparativo

de los Índices de Calidad (ICAs) y de los Índices de Contaminación (ICOs) del Agua.
(Febrero, 2008).

- Wright, R (1999). http://www.ccme.ca/assets/pdf/wqi_usermanualfctsht_e.pdf. Canadian Water Quality Guidelines for the Protection of Aquatic Life, User's Manual. (Mayo, 2007).
- Wright, R. (1999). http://www.ccme.ca/assets/pdf/wqi_techrprtfcstht_f.pdf.
Recommandations canadiennes pour la qualité des eaux: protection de la vie aquatique,
Rapport technique. (Abril, 2007).
- Wright, R. (1999). http://www.ccme.ca/assets/pdf/wqi_usermanualfctsht_f.pdf.
Recommandations canadiennes pour la qualité des eaux: protection de la vie aquatique,
Manuel de l'utilisateur. (Abril, 2007).

APÉNDICE “A”

APÉNDICE “A”

| | |
|--|-----|
| Tabla A1. Derivadora Callejones, año 1990. | 86 |
| Tabla A2. Derivadora Callejones, año 1992. | 86 |
| Tabla A3. Derivadora Callejones, año 1994. | 87 |
| Tabla A4. Derivadora Callejones, año 1995. | 87 |
| Tabla A5. Derivadora Callejones, año 1996. | 88 |
| Tabla A6. Derivadora Jala, año 1990. | 88 |
| Tabla A7. Derivadora Jala, año 1992. | 89 |
| Tabla A8. Derivadora Jala, año 1994. | 89 |
| Tabla A9. Derivadora Jala, año 1995. | 900 |
| Tabla A10. Derivadora Jala, año 1996. | 900 |
| Tabla A11. Derivadora Peñitas, año 1990. | 91 |
| Tabla A12. Derivadora Peñitas, año 1992. | 91 |
| Tabla A13. Derivadora Peñitas, año 1994. | 92 |
| Tabla A14. Derivadora Peñitas, año 1995. | 92 |
| Tabla A15. Derivadora Peñitas, año 1996. | 93 |
| Tabla A16. Paso de Potrerillos, año 1990. | 93 |
| Tabla A17. Paso de Potrerillos, año 1992. | 94 |
| Tabla A18. Paso de Potrerillos, año 1994. | 94 |
| Tabla A19. Paso de Potrerillos, año 1995. | 95 |
| Tabla A20. Paso de Potrerillos, año 1996. | 95 |
| Tabla A21. Presa Peña Colorados, año 1994. | 96 |
| Tabla A22. Presa Peña Colorados, año 1995. | 96 |
| Tabla A23. Presa Peña Colorados, año 1996. | 97 |
| Tabla A24. Puente Marabasco, año 1990. | 97 |
| Tabla A25. Puente Marabasco, año 1992. | 98 |
| Tabla A26. Puente Marabasco, año 1994. | 98 |
| Tabla A27. Puente Marabasco, año 1995. | 99 |
| Tabla A28. Puente Marabasco, año 1996. | 99 |
| Tabla A29. Magnitudes de parámetros del punto Puente Naranjo, año 1990. | 100 |

| | |
|--|-----|
| Tabla A30. Magnitudes de parámetros del punto Puente Naranjo, año 1992. | 100 |
| Tabla A31. Magnitudes de parámetros del punto Puente Naranjo, año 1994. | 101 |
| Tabla A32. Puente Naranjo, año 1995..... | 101 |
| Tabla A33. Puente Naranjo, año 1996..... | 102 |
| Tabla A34. Puente Periquillos, año 1990..... | 102 |
| Tabla A35. Puente Periquillos, año 1992..... | 103 |
| Tabla A36. Puente Periquillos, año 1995..... | 103 |
| Tabla A37. Puente Periquillos, año 1996..... | 104 |
| Tabla A38. Puente Pueblo Juárez, año 1990. | 104 |
| Tabla A39. Puente Pueblo Juárez, año 1992. | 105 |
| Tabla A40. Puente Pueblo Juárez, año 1994. | 105 |
| Tabla A41. Puente Pueblo Juárez, año 1995. | 106 |
| Tabla A42. Puente Pueblo Juárez, año 1996. | 106 |

Magnitudes de parámetros de cada punto monitoreado por año.

Tabla A1. Derivadora Callejones, año 1990.

| Punto | Parámetro | Unidades | 1990 | | | | | |
|---|-----------------------------------|-----------|---------|--------|--------|------------|-----------|-----------|
| | | | Febrero | Mayo | Junio | Septiembre | Noviembre | Diciembre |
| Rio Coahuayana aguas arriba confluencia el Salado (Derivadora Callejones) | Alcalinidad Total | mg/L | 329.00 | 191.00 | 180.00 | 171.00 | 197.00 | 231.00 |
| | Cloruros | mg/L | 48.00 | 603.00 | 76.00 | 15.00 | 19.00 | 24.00 |
| | Coliformes Fecales | NMP/100mL | | | | | 1500 | |
| | Coliformes Totales | NMP/100mL | | | | | 1500 | |
| | DBO | mg/L | 84.00 | 3.00 | 3.70 | 6.80 | 1.10 | 8.70 |
| | DQO | mg/L | | 13.40 | 89.00 | 57.00 | | 2.80 |
| | Dureza Total (CaCO ₃) | mg/L | 274.00 | 232.00 | | 84.00 | 152.00 | 291.00 |
| | Nitratos | mg/L | 0.10 | 0.14 | 0.65 | 0.49 | 0.26 | 0.14 |
| | Oxígeno Disuelto | mg/L | 4.00 | 5.40 | 7.50 | 6.30 | 6.30 | 5.40 |
| | Potencial de Hidrógeno (pH) | | | | | | | |
| | Sólidos Suspendidos | mg/L | 5.00 | 17.00 | 620.00 | 2418.00 | 220.00 | 18.00 |
| | Sulfatos | mg/L | | | | | | |
| | Temperatura | °C | 29.00 | 28.00 | 30.00 | 27.00 | 28.00 | |

Tabla A2. Derivadora Callejones, año 1992.

| Punto | Parámetro | Unidades | 1992 | | | | | |
|---|-----------------------------------|-----------|---------|--------|--------|---------|---------|-----------|
| | | | Febrero | Abril | Mayo | Agosto | Octubre | Noviembre |
| Rio Coahuayana aguas arriba confluencia el Salado (Derivadora Callejones) | Alcalinidad Total | mg/L | 176.00 | 167.00 | | 126.00 | 206.00 | 185.00 |
| | Cloruros | mg/L | 27.00 | 47.00 | 47.00 | 26.00 | 22.00 | 33.00 |
| | Coliformes Fecales | NMP/100mL | | 90 | 230 | 46000 | 9000 | |
| | Coliformes Totales | NMP/100mL | | 230 | 750 | 46000 | 23000 | 4300 |
| | DBO | mg/L | 1.00 | 2.40 | 3.60 | 4.00 | 4.00 | 1.20 |
| | DQO | mg/L | 36.00 | 18.00 | 9.10 | 91.00 | 8.30 | 17.00 |
| | Dureza Total (CaCO ₃) | mg/L | 168.00 | 203.00 | 302.00 | 135.00 | 243.00 | 189.00 |
| | Nitratos | mg/L | 1.31 | 0.19 | 0.19 | 0.25 | 0.21 | 0.25 |
| | Oxígeno Disuelto | mg/L | 5.90 | 3.60 | 4.40 | 6.10 | 6.30 | 6.90 |
| | Potencial de Hidrógeno (pH) | | | | | | | |
| | Sólidos Suspendidos | mg/L | 78.00 | 5.00 | 36.00 | 1028.00 | 532.00 | 13.00 |
| | Sulfatos | mg/L | | | | | | |
| | Temperatura | °C | | 26.40 | 30.50 | 28.50 | 21.00 | |

Tabla A3. Derivadora Callejones, año 1994.

| Punto | Parámetro | Unidades | 1994 | | | | | |
|---|-----------------------------------|-----------|---------|--------|--------|--------|------------|-----------|
| | | | Febrero | Abril | Mayo | Julio | Septiembre | Noviembre |
| Río Coahuayana aguas arriba confluencia el Salado (Derivadora Callejones) | Alcalinidad Total | mg/L | 235.00 | 200.00 | 175.00 | | 152.00 | 189.00 |
| | Cloruros | mg/L | 30.20 | 53.30 | 58.40 | 35.40 | 17.90 | 27.20 |
| | Coliformes Fecales | NMP/100mL | 5 | 20 | 60 | 260 | 2000 | 7 |
| | Coliformes Totales | NMP/100mL | 10 | 420 | 18000 | 540 | 4000 | 150 |
| | DBO | mg/L | 3.40 | 0.95 | 0.80 | 0.70 | 0.04 | 1.50 |
| | DQO | mg/L | 16.10 | 15.20 | 9.30 | 27.40 | 13.00 | 7.60 |
| | Dureza Total (CaCO ₃) | mg/L | 205.00 | 185.00 | 186.60 | 154.40 | 119.00 | 139.40 |
| | Nitratos | mg/L | 3.30 | 0.10 | 0.10 | 0.10 | 0.80 | 0.17 |
| | Oxígeno Disuelto | mg/L | 4.20 | | 7.00 | | 5.30 | 7.20 |
| | Potencial de Hidrógeno (pH) | | | | | | | |
| | Sólidos Suspendidos | mg/L | 12.00 | 6.00 | 4.00 | 63.40 | 92.00 | 10.00 |
| | Sulfatos | mg/L | | | | | | |
| | Temperatura | °C | 16.00 | 15.00 | 23.00 | 22.00 | 29.20 | 24.00 |

Tabla A4. Derivadora Callejones, año 1995.

| Punto | Parámetro | Unidades | 1995 | | | | | |
|---|-----------------------------------|-----------|---------|--------|--------|--------|---------|-----------|
| | | | Febrero | Abril | Junio | Agosto | Octubre | Diciembre |
| Río Coahuayana aguas arriba confluencia el Salado (Derivadora Callejones) | Alcalinidad Total | mg/L | 180.00 | 163.00 | 166.00 | 102.50 | 132.50 | 185.00 |
| | Cloruros | mg/L | 38.60 | 30.46 | 26.59 | 7.59 | 6.87 | 35.22 |
| | Coliformes Fecales | NMP/100mL | 93 | 150 | 93 | 2400 | 40 | 1080 |
| | Coliformes Totales | NMP/100mL | 240 | 460 | 93 | 2400 | 140 | 1100 |
| | DBO | mg/L | 3.34 | 1.61 | 11.26 | 12.52 | 3.43 | 1.30 |
| | DQO | mg/L | 9.80 | 12.00 | 19.92 | 66.60 | 5.45 | 8.74 |
| | Dureza Total (CaCO ₃) | mg/L | 168.00 | 137.10 | 131.40 | 72.36 | 109.71 | 162.90 |
| | Nitratos | mg/L | 0.10 | 0.04 | 0.05 | 0.13 | 0.49 | 0.25 |
| | Oxígeno Disuelto | mg/L | 4.80 | 5.10 | 6.20 | 6.70 | 5.50 | 5.70 |
| | Potencial de Hidrógeno (pH) | | | | | | | |
| | Sólidos Suspendidos | mg/L | 1.00 | 7.00 | | 444.00 | 42.00 | 20.00 |
| | Sulfatos | mg/L | | | | | | |
| | Temperatura | °C | 29.00 | 25.00 | 30.00 | 29.00 | 30.00 | 22.00 |

Tabla A5. Derivadora Callejones, año 1996.

| Punto | Parámetro | Unidades | 1996 | | | | | |
|---|-----------------------------------|-----------|--------|--------|--------|--------|------------|-----------|
| | | | Enero | Marzo | Mayo | Agosto | Septiembre | Diciembre |
| Río Coahuayana aguas arriba confluencia el Salado (Derivadora Callejones) | Alcalinidad Total | mg/L | 185.00 | 175.00 | 160.00 | 125.00 | 82.50 | 182.50 |
| | Cloruros | mg/L | 32.77 | 41.80 | 22.27 | 26.32 | 4.54 | 9.83 |
| | Coliformes Fecales | NMP/100mL | 75 | 20 | 320 | 1360 | 1800 | 20 |
| | Coliformes Totales | NMP/100mL | 150 | 80 | 1080 | 2060 | 3020 | 60 |
| | DBO | mg/L | 1.81 | 0.89 | 2.00 | 2.80 | 8.46 | 1.50 |
| | DQO | mg/L | 8.13 | 11.44 | 9.84 | 26.32 | 54.74 | 7.14 |
| | Dureza Total (CaCO ₃) | mg/L | 170.90 | 153.30 | 147.80 | 102.46 | 57.38 | 149.80 |
| | Nitratos | mg/L | 0.07 | 0.02 | 0.01 | 0.53 | 0.61 | 0.11 |
| | Oxígeno Disuelto | mg/L | 7.30 | 7.80 | 6.10 | 6.50 | 6.40 | 6.60 |
| | Potencial de Hidrógeno (pH) | | | | | | | |
| | Sólidos Suspendidos | mg/L | 5.00 | 14.00 | 10.00 | 445.00 | 420.00 | 30.00 |
| | Sulfatos | mg/L | | | | | | |
| | Temperatura | °C | 24.00 | 26.00 | 28.00 | 28.00 | 25.50 | 26.50 |

Tabla A6. Derivadora Jala, año 1990.

| Punto | Parámetro | Unidades | 1990 | | | | | |
|---|-----------------------------------|-----------|---------|--------|--------|------------|-----------|-----------|
| | | | Febrero | Mayo | Junio | Septiembre | Noviembre | Diciembre |
| Río Armeria, aguas arriba de la Derivadora Jala (Derivadora Jala) | Alcalinidad Total | mg/L | 256.00 | 216.80 | 231.00 | 235.00 | 248.00 | 30.00 |
| | Cloruros | mg/L | 47.00 | 48.30 | 53.00 | 37.00 | 30.00 | 40.00 |
| | Coliformes Fecales | NMP/100mL | 2400 | 2400 | 14 | | 408 | |
| | Coliformes Totales | NMP/100mL | 2400 | 2400 | 210 | | 460 | |
| | DBO | mg/L | 1.70 | 3.30 | 2.80 | 3.60 | 1.30 | 1.20 |
| | DQO | mg/L | | 8.00 | 42.00 | 30.00 | | 6.00 |
| | Dureza Total (CaCO ₃) | mg/L | 232.00 | 306.00 | | 158.00 | 266.00 | 101.00 |
| | Nitratos | mg/L | 0.24 | 83.00 | 0.47 | 0.36 | 0.88 | 0.63 |
| | Oxígeno Disuelto | mg/L | 6.10 | 2.50 | 7.70 | 6.90 | 9.00 | 6.30 |
| | Potencial de Hidrógeno (pH) | | | | | | | |
| | Sólidos Suspendidos | mg/L | 4.00 | 8.00 | 510.00 | 80.00 | 156.00 | 7.00 |
| | Sulfatos | mg/L | | | | | | |
| | Temperatura | °C | 28.00 | 29.00 | 27.00 | 29.00 | | 27.00 |

Tabla A7. Derivadora Jala, año 1992.

| Punto | Parámetro | Unidades | 1992 | | | | | |
|---|-----------------------------------|-----------|---------|--------|--------|--------|---------|-----------|
| | | | Febrero | Abril | Mayo | Agosto | Octubre | Noviembre |
| Río Ammería, aguas arriba de la Derivadora Jala (Derivadora Jala) | Alcalinidad Total | mg/L | 308.00 | 167.00 | | 196.00 | 247.00 | 224.00 |
| | Cloruros | mg/L | 31.00 | 57.00 | 51.00 | 37.00 | 26.00 | 33.00 |
| | Coliformes Fecales | NMP/100mL | 0 | 400 | 3000 | 4300 | 4000 | 0 |
| | Coliformes Totales | NMP/100mL | | 9300 | 43000 | 4300 | 4000 | 900 |
| | DBO | mg/L | 1.00 | 20.00 | 5.30 | 3.00 | 2.80 | 2.00 |
| | DQO | mg/L | 7.20 | 88.00 | 36.00 | 46.00 | 8.30 | 33.00 |
| | Dureza Total (CaCO ₃) | mg/L | 173.00 | 290.00 | 319.00 | 324.00 | 270.00 | 113.00 |
| | Nitratos | mg/L | 1.20 | 0.72 | 0.70 | 0.12 | 0.14 | 0.16 |
| | Oxígeno Disuelto | mg/L | 4.60 | 5.00 | 5.50 | 5.10 | 4.40 | 6.90 |
| | Potencial de Hidrógeno (pH) | | | | | | | |
| | Sólidos Suspendidos | mg/L | 165.00 | 93.00 | 107.00 | 97.00 | 137.00 | 20.00 |
| | Sulfatos | mg/L | | | | | | |
| | Temperatura | °C | | 27.50 | 28.50 | | 26.00 | |

Tabla A8. Derivadora Jala, año 1994.

| Punto | Parámetro | Unidades | 1994 | | | | | |
|---|-----------------------------------|-----------|---------|--------|--------|--------|------------|-----------|
| | | | Febrero | Abril | Mayo | Julio | Septiembre | Noviembre |
| Río Ammería, aguas arriba de la Derivadora Jala (Derivadora Jala) | Alcalinidad Total | mg/L | 451.00 | 515.00 | 438.50 | 376.40 | 433.60 | 491.10 |
| | Cloruros | mg/L | 24.00 | 52.90 | 23.00 | 18.70 | 22.10 | 19.10 |
| | Coliformes Fecales | NMP/100mL | 10 | 40 | 240 | 18000 | 2000 | 4 |
| | Coliformes Totales | NMP/100mL | 100 | 300 | 280 | 54000 | 4000 | 93 |
| | DBO | mg/L | 1.00 | 0.40 | 0.95 | 6.70 | 0.60 | 1.20 |
| | DQO | mg/L | 1.10 | 5.70 | 5.90 | 73.20 | 5.00 | 0.40 |
| | Dureza Total (CaCO ₃) | mg/L | 246.00 | 280.00 | 298.60 | 250.90 | 265.50 | 245.00 |
| | Nitratos | mg/L | 11.40 | 0.98 | 0.96 | 1.28 | 1.13 | 0.94 |
| | Oxígeno Disuelto | mg/L | 7.20 | | 8.70 | | 5.70 | 9.00 |
| | Potencial de Hidrógeno (pH) | | | | | | | |
| | Sólidos Suspendidos | mg/L | 2.00 | 50.00 | 4.00 | 381.00 | 38.00 | 8.00 |
| | Sulfatos | mg/L | | | | | | |
| | Temperatura | °C | 19.00 | 20.00 | 24.00 | 22.00 | 29.00 | 26.00 |

Tabla A9. Derivadora Jala, año 1995.

| Punto | Parámetro | Unidades | 1995 | | | | | |
|---|-----------------------------------|-----------|---------|--------|--------|--------|---------|-----------|
| | | | Febrero | Abril | Junio | Agosto | Octubre | Diciembre |
| Río Armería, aguas arriba de la Derivadora Jala (Derivadora Jala) | Alcalinidad Total | mg/L | 190.00 | 200.00 | 194.00 | 162.50 | 170.00 | 197.50 |
| | Cloruros | mg/L | 25.80 | 26.14 | 27.03 | 20.55 | 15.19 | 25.46 |
| | Coliformes Fecales | NMP/100mL | 460 | 460 | 28 | 2400 | 20 | 190 |
| | Coliformes Totales | NMP/100mL | 1100 | 460 | 2400 | 2400 | 20 | 196 |
| | DBO | mg/L | 1.32 | 2.22 | 1.54 | 12.72 | 3.43 | 1.20 |
| | DQO | mg/L | 9.36 | 6.69 | 2.49 | 35.30 | 4.95 | 1.54 |
| | Dureza Total (CaCO ₃) | mg/L | 273.10 | 361.40 | 250.00 | 189.90 | 206.80 | 270.02 |
| | Nitratos | mg/L | 0.03 | 0.49 | 0.10 | 0.90 | 0.68 | 1.08 |
| | Oxígeno Disuelto | mg/L | 5.40 | 7.00 | 6.50 | 6.90 | 5.50 | 7.20 |
| | Potencial de Hidrógeno (pH) | | 7.90 | 7.61 | 8.05 | 8.15 | 8.26 | 8.44 |
| | Sólidos Suspendidos | mg/L | 658.00 | 790.00 | 684.00 | 832.00 | 536.00 | 690.00 |
| | Sulfatos | mg/L | 227.70 | 210.20 | 797.20 | 129.10 | 109.20 | 226.20 |
| | Temperatura | °C | 29.00 | 30.00 | 29.00 | 29.00 | 28.00 | 31.00 |

Tabla A10. Derivadora Jala, año 1996.

| Punto | Parámetro | Unidades | 1996 | | | | | |
|---|-----------------------------------|-----------|--------|--------|--------|--------|------------|-----------|
| | | | Enero | Marzo | Mayo | Agosto | Septiembre | Diciembre |
| Río Armería, aguas arriba de la Derivadora Jala (Derivadora Jala) | Alcalinidad Total | mg/L | 200.00 | 217.00 | 220.00 | 160.00 | 132.50 | 202.50 |
| | Cloruros | mg/L | 22.59 | 48.76 | 49.93 | 21.67 | 6.81 | 24.20 |
| | Coliformes Fecales | NMP/100mL | 2400 | 128 | 1200 | 1140 | 1540 | |
| | Coliformes Totales | NMP/100mL | 2400 | 132 | 2100 | 2720 | 2200 | 80 |
| | DBO | mg/L | 3.12 | 1.71 | 0.50 | 2.70 | 3.73 | 0.50 |
| | DQO | mg/L | 4.78 | 7.98 | 0.51 | 29.99 | 59.71 | 3.98 |
| | Dureza Total (CaCO ₃) | mg/L | 278.90 | 207.20 | 231.80 | 180.33 | 135.25 | 262.10 |
| | Nitratos | mg/L | 0.15 | 0.95 | 0.01 | 1.12 | 0.55 | 1.09 |
| | Oxígeno Disuelto | mg/L | 7.80 | 7.70 | 7.80 | 7.20 | 7.30 | 7.20 |
| | Potencial de Hidrógeno (pH) | | 8.00 | 8.38 | 8.21 | 8.21 | 8.00 | 8.56 |
| | Sólidos Suspendidos | mg/L | 4.00 | 21.00 | 1.00 | 290.00 | 58.00 | 13.00 |
| | Sulfatos | mg/L | 192.90 | 170.70 | 187.50 | 138.00 | 271.10 | 208.40 |
| | Temperatura | °C | 26.00 | 30.00 | 26.00 | 26.00 | 26.00 | 28.00 |

Tabla A11. Derivadora Peñitas, año 1990.

| Punto | Parámetro | Unidades | 1990 | | | | | |
|---|-----------------------------------|-----------|---------|--------|--------|------------|-----------|-----------|
| | | | Febrero | Mayo | Junio | Septiembre | Noviembre | Diciembre |
| Río Armería, en los límites de los Estados de Colima y Jalisco (Derivadora Peñitas) | Alcalinidad Total | mg/L | 158.00 | 144.50 | 173.00 | 235.00 | 223.00 | 261.00 |
| | Cloruros | mg/L | 37.00 | 24.10 | 37.00 | 29.00 | 29.00 | 27.00 |
| | Coliformes Fecales | NMP/100mL | 1100 | 93 | | | 43 | |
| | Coliformes Totales | NMP/100mL | | | | | 300 | |
| | DBO | mg/L | 1.30 | 2.00 | 2.30 | 4.60 | 1.00 | 1.00 |
| | DQO | mg/L | | 4.00 | 13.00 | 42.00 | 3.00 | |
| | Dureza Total (CaCO ₃) | mg/L | 219.00 | 232.00 | | 157.00 | 219.00 | 143.00 |
| | Nitratos | mg/L | 0.01 | 0.01 | 0.38 | 0.42 | 0.35 | 0.32 |
| | Oxígeno Disuelto | mg/L | 8.40 | 8.80 | 6.20 | 5.80 | 8.50 | 5.20 |
| | Potencial de Hidrógeno (pH) | | | | | | | |
| | Sólidos Suspendidos | mg/L | 17.00 | 28.00 | 114.00 | 36.00 | 68.00 | 13.00 |
| | Sulfatos | mg/L | | | | | | |
| | Temperatura | °C | 16.00 | 16.00 | 17.00 | 19.00 | 16.00 | |

Tabla A12. Derivadora Peñitas, año 1992.

| Punto | Parámetro | Unidades | 1992 | | | | | |
|---|-----------------------------------|-----------|---------|--------|--------|--------|---------|-----------|
| | | | Febrero | Abril | Mayo | Agosto | Octubre | Noviembre |
| Río Armería, en los límites de los Estados de Colima y Jalisco (Derivadora Peñitas) | Alcalinidad Total | mg/L | 136.00 | 123.00 | | 62.00 | 194.00 | 146.00 |
| | Cloruros | mg/L | 22.00 | 31.00 | 29.00 | 48.00 | 41.00 | 15.00 |
| | Coliformes Fecales | NMP/100mL | | | | | | |
| | Coliformes Totales | NMP/100mL | 4300 | | | 2300 | 4000 | 900 |
| | DBO | mg/L | 1.20 | 2.40 | 1.60 | 1.40 | 1.60 | 1.40 |
| | DQO | mg/L | 36.00 | 13.00 | 9.10 | 9.10 | 8.30 | 67.00 |
| | Dureza Total (CaCO ₃) | mg/L | 144.00 | 186.00 | 174.00 | 297.00 | 270.00 | 405.00 |
| | Nitratos | mg/L | 1.25 | 0.39 | 0.44 | 1.30 | 1.22 | 0.06 |
| | Oxígeno Disuelto | mg/L | 4.80 | 5.30 | 4.80 | 5.50 | 5.10 | 6.10 |
| | Potencial de Hidrógeno (pH) | | | | | | | |
| | Sólidos Suspendidos | mg/L | 164.00 | 470.00 | 82.00 | 194.00 | 102.00 | 31.00 |
| | Sulfatos | mg/L | | | | | | |
| | Temperatura | °C | 24.50 | | 25.70 | | 22.00 | |

Tabla A13. Derivadora Peñitas, año 1994.

| Punto | Parámetro | Unidades | 1994 | | | | | Septiembre | Noviembre |
|---|-----------------------------------|-----------|---------|--------|--------|--------|--------|------------|-----------|
| | | | Febrero | Abril | Mayo | Julio | | | |
| Río Armería, en los límites de los Estados de Colima y Jalisco (Derivadora Peñitas) | Alcalinidad Total | mg/L | 155.00 | 155.00 | 150.00 | | 157.00 | 176.90 | |
| | Cloruros | mg/L | 20.90 | 16.80 | 21.70 | 21.30 | 17.10 | 20.40 | |
| | Coliformes Fecales | NMP/100mL | 100 | 20 | 40 | 200 | 140 | 30 | |
| | Coliformes Totales | NMP/100mL | 672 | 120 | 240 | 560 | 506 | 230 | |
| | DBO | mg/L | 0.75 | 1.65 | 0.88 | 2.10 | 2.80 | 4.26 | |
| | DQO | mg/L | 8.00 | 13.30 | 10.20 | 27.10 | 27.90 | 11.20 | |
| | Dureza Total (CaCO ₃) | mg/L | 173.30 | 194.00 | 205.20 | 197.80 | 155.00 | 173.20 | |
| | Nitratos | mg/L | 0.50 | 0.10 | 6.24 | 1.21 | 0.73 | 0.25 | |
| | Oxígeno Disuelto | mg/L | 5.80 | | 7.50 | | 6.40 | 6.40 | |
| | Potencial de Hidrógeno (pH) | | | | | | | | |
| | Sólidos Suspendidos | mg/L | 10.00 | 27.00 | 16.00 | 196.80 | 270.00 | 24.00 | |
| | Sulfatos | mg/L | | | | | | | |
| | Temperatura | °C | 16.00 | 21.00 | 24.00 | 23.00 | 29.50 | 23.00 | |

Tabla A14. Derivadora Peñitas, año 1995.

| Punto | Parámetro | Unidades | 1995 | | | | | Octubre | Diciembre |
|---|-----------------------------------|-----------|---------|--------|--------|--------|--------|---------|-----------|
| | | | Febrero | Abril | Junio | Agosto | | | |
| Río Armería, en los límites de los Estados de Colima y Jalisco (Derivadora Peñitas) | Alcalinidad Total | mg/L | 160.00 | 151.00 | 159.00 | 127.50 | 130.00 | 175.00 | |
| | Cloruros | mg/L | 21.30 | 20.38 | 22.60 | 21.44 | 12.95 | 28.14 | |
| | Coliformes Fecales | NMP/100mL | 43 | 1100 | 240 | 2400 | 40 | | |
| | Coliformes Totales | NMP/100mL | 43 | 1100 | 240 | 2400 | 180 | 20 | |
| | DBO | mg/L | 14.00 | 1.40 | 4.76 | 13.55 | 2.42 | 0.08 | |
| | DQO | mg/L | 34.80 | 13.12 | 7.90 | 70.60 | 13.45 | 8.26 | |
| | Dureza Total (CaCO ₃) | mg/L | 189.10 | 184.30 | 199.20 | 128.60 | 185.70 | 227.20 | |
| | Nitratos | mg/L | 0.65 | 0.92 | 0.70 | 860.00 | 0.50 | 0.19 | |
| | Oxígeno Disuelto | mg/L | 5.10 | 5.40 | 5.20 | 6.90 | 4.80 | 6.70 | |
| | Potencial de Hidrógeno (pH) | | | | | | | | |
| | Sólidos Suspendidos | mg/L | 133.00 | 26.00 | 23.00 | 797.00 | 81.00 | 9.00 | |
| | Sulfatos | mg/L | | | | | | | |
| | Temperatura | °C | 26.00 | 29.00 | 30.00 | 28.00 | 31.00 | 28.00 | |

Tabla A15. Derivadora Peñitas, año 1996.

| Punto | Parámetro | Unidades | 1996 | | | | | |
|---|-----------------------------------|-----------|--------|--------|--------|---------|------------|-----------|
| | | | Enero | Marzo | Mayo | Agosto | Septiembre | Diciembre |
| Río Armería, en los límites de los Estados de Colima y Jalisco (Derivadora Peñitas) | Alcalinidad Total | mg/L | 165.00 | 157.50 | 157.50 | 102.50 | 112.50 | 172.50 |
| | Cloruros | mg/L | 12.97 | 21.36 | 11.61 | 16.72 | 68.06 | 24.05 |
| | Coliformes Fecales | NMP/100mL | 1100 | 20 | 2100 | 2840 | 240 | 40 |
| | Coliformes Totales | NMP/100mL | 1100 | 60 | 2100 | 3700 | 620 | 180 |
| | DBO | mg/L | 2.21 | 3.33 | 2.10 | 4.20 | 4.54 | 1.30 |
| | DQO | mg/L | 8.23 | 13.42 | 13.21 | 115.19 | 30.63 | 12.90 |
| | Dureza Total (CaCO ₃) | mg/L | 206.90 | 186.50 | 188.10 | 106.56 | 90.17 | 199.70 |
| | Nitratos | mg/L | 0.15 | 0.13 | 0.02 | 1.15 | 0.52 | 0.37 |
| | Oxígeno Disuelto | mg/L | 6.60 | 6.00 | 6.80 | 6.40 | 6.00 | |
| | Potencial de Hidrógeno (pH) | | | | | | | |
| | Sólidos Suspendidos | mg/L | 14.00 | 28.00 | 57.00 | 1034.00 | 277.00 | 5.00 |
| | Sulfatos | mg/L | | | | | | |
| | Temperatura | °C | 26.00 | 25.00 | 23.00 | | 27.00 | 23.00 |

Tabla A16. Paso de Potrerillos, año 1990.

| Punto | Parámetro | Unidades | 1990 | | | | | |
|---|-----------------------------------|-----------|---------|--------|--------|------------|-----------|-----------|
| | | | Febrero | Mayo | Junio | Septiembre | Noviembre | Diciembre |
| Río Coahuayana aguas arriba confluencia con el Cajón (Paso Potrerillos) | Alcalinidad Total | mg/L | 215.00 | 195.00 | 163.00 | 171.00 | 210.00 | |
| | Cloruros | mg/L | 23.00 | 243.00 | 29.00 | 10.00 | 9.30 | 12.00 |
| | Coliformes Fecales | NMP/100mL | | | | | | |
| | Coliformes Totales | NMP/100mL | | | | | | |
| | DBO | mg/L | 1.70 | 1.20 | 5.30 | 9.20 | 1.80 | 1.60 |
| | DQO | mg/L | | 42.00 | 71.00 | 53.00 | 3.00 | |
| | Dureza Total (CaCO ₃) | mg/L | 106.00 | 118.00 | | 42.00 | 147.00 | 247.00 |
| | Nitratos | mg/L | 0.10 | 0.10 | 0.28 | 0.48 | 0.26 | 0.22 |
| | Oxígeno Disuelto | mg/L | 6.50 | 5.20 | 8.10 | 6.70 | 7.90 | 6.70 |
| | Potencial de Hidrógeno (pH) | | | | | | | |
| | Sólidos Suspendidos | mg/L | 3.00 | 38.00 | 508.00 | 300.00 | 186.00 | 9.00 |
| | Sulfatos | mg/L | | | | | | |
| | Temperatura | °C | 21.00 | 28.00 | 27.00 | 27.00 | 25.00 | |

Tabla A17. Paso de Potrerillos, año 1992.

| Punto | Parámetro | Unidades | 1992 | | | | | |
|---|-----------------------------------|-----------|---------|--------|--------|--------|---------|-----------|
| | | | Febrero | Abril | Mayo | Agosto | Octubre | Noviembre |
| Rio Coahuayana aguas arriba confluencia con el Cajón (Paso Potrerillos) | Alcalinidad Total | mg/L | 185.00 | 176.00 | | 144.00 | 247.00 | 247.00 |
| | Cloruros | mg/L | 18.00 | 27.00 | 27.00 | 33.00 | 22.00 | 28.00 |
| | Coliformes Fecales | NMP/100mL | 40 | 0 | 46000 | 7000 | | 900 |
| | Coliformes Totales | NMP/100mL | 90 | 0 | 46000 | 93000 | | 2300 |
| | DBO | mg/L | 1.20 | 1.80 | 8.10 | 12.00 | 8.10 | 1.60 |
| | DQO | mg/L | 36.00 | 1.90 | 36.00 | 82.00 | 41.00 | 17.00 |
| | Dureza Total (CaCO ₃) | mg/L | 144.00 | 203.00 | 232.00 | 135.00 | 162.00 | 243.00 |
| | Nitratos | mg/L | 1.06 | 0.10 | 0.13 | 0.23 | 0.21 | 0.25 |
| | Oxígeno Disuelto | mg/L | 5.70 | 5.90 | 4.00 | 4.60 | 6.50 | 5.70 |
| | Potencial de Hidrógeno (pH) | | | | | | | |
| | Sólidos Suspendidos | mg/L | 89.00 | 5.00 | 880.00 | 792.00 | 628.00 | 30.00 |
| | Sulfatos | mg/L | | | | | | |
| | Temperatura | °C | | 28.00 | 32.00 | | 31.00 | |

Tabla A18. Paso de Potrerillos, año 1994.

| Punto | Parámetro | Unidades | 1994 | | | | | |
|---|-----------------------------------|-----------|---------|--------|--------|--------|------------|-----------|
| | | | Febrero | Abril | Mayo | Julio | Septiembre | Noviembre |
| Rio Coahuayana aguas arriba confluencia con el Cajón (Paso Potrerillos) | Alcalinidad Total | mg/L | 190.00 | 195.00 | 195.00 | | 147.00 | 179.80 |
| | Cloruros | mg/L | 13.60 | 20.10 | 19.80 | 11.40 | 8.80 | 9.10 |
| | Coliformes Fecales | NMP/100mL | 5 | 20 | 40000 | 300 | 280 | 30 |
| | Coliformes Totales | NMP/100mL | 10 | 60 | 14000 | 460 | 4000 | 90 |
| | DBO | mg/L | 1.08 | 1.10 | 0.70 | 3.10 | 1.90 | 11.40 |
| | DQO | mg/L | 9.60 | 20.90 | 10.50 | 36.10 | 17.90 | 25.50 |
| | Dureza Total (CaCO ₃) | mg/L | 183.00 | 140.00 | 135.30 | 164.10 | 112.80 | 122.50 |
| | Nitratos | mg/L | 0.01 | 0.10 | 0.10 | 0.10 | 0.79 | 1.01 |
| | Oxígeno Disuelto | mg/L | 8.60 | 6.20 | 15.90 | 5.00 | 9.00 | |
| | Potencial de Hidrógeno (pH) | | | | | | | |
| | Sólidos Suspendidos | mg/L | 8.00 | 8.00 | 14.00 | 169.90 | 53.00 | 2.00 |
| | Sulfatos | mg/L | | | | | | |
| | Temperatura | °C | 19.00 | 20.00 | 23.00 | 23.00 | 29.40 | 25.00 |

Tabla A19. Paso de Potrerillos, año 1995.

| Punto | Parámetro | Unidades | 1995 | | | | | |
|---|-----------------------------------|-----------|---------|--------|--------|--------|---------|-----------|
| | | | Febrero | Abril | Junio | Agosto | Octubre | Diciembre |
| Río Coahuayana aguas arriba confluencia con el Cajón (Paso Potrerillos) | Alcalinidad Total | mg/L | 180.00 | 172.00 | 170.00 | 105.00 | 130.00 | 187.50 |
| | Cloruros | mg/L | 13.60 | 12.63 | 12.19 | 4.02 | 5.18 | 13.62 |
| | Coliformes Fecales | NMP/100mL | 93 | 21 | 93 | 2400 | 200 | 20 |
| | Coliformes Totales | NMP/100mL | 240 | 240 | 93 | 2400 | 400 | 20 |
| | DBO | mg/L | 12.23 | 2.01 | 11.95 | 13.13 | 4.55 | 1.60 |
| | DQO | mg/L | 22.00 | 11.52 | 12.95 | 62.21 | 5.94 | 43.86 |
| | Dureza Total (CaCO ₃) | mg/L | 142.80 | 128.60 | 131.40 | 76.40 | 126.60 | 137.15 |
| | Nitratos | mg/L | 0.10 | 0.10 | 0.08 | 0.15 | 0.08 | 0.21 |
| | Oxígeno Disuelto | mg/L | 5.10 | 5.10 | 8.60 | 6.90 | 6.00 | 6.80 |
| | Potencial de Hidrógeno (pH) | | | | | | | |
| | Sólidos Suspendidos | mg/L | 22.00 | 7.00 | 4.00 | 564.00 | 34.00 | 12.00 |
| | Sulfatos | mg/L | | | | | | |
| | Temperatura | °C | 26.00 | 30.00 | 29.00 | 27.00 | 30.00 | 28.00 |

Tabla A20. Paso de Potrerillos, año 1996.

| Punto | Parámetro | Unidades | 1996 | | | | | |
|---|-----------------------------------|-----------|--------|--------|--------|--------|------------|-----------|
| | | | Enero | Marzo | Mayo | Agosto | Septiembre | Diciembre |
| Río Coahuayana aguas arriba confluencia con el Cajón (Paso Potrerillos) | Alcalinidad Total | mg/L | 182.50 | 177.50 | 165.00 | 117.50 | 122.50 | 185.00 |
| | Cloruros | mg/L | 12.97 | 14.63 | 10.60 | 6.97 | 4.54 | 11.86 |
| | Coliformes Fecales | NMP/100mL | 43 | 72 | 240 | 1800 | 280 | |
| | Coliformes Totales | NMP/100mL | 240 | 108 | 480 | | 100 | 948 |
| | DBO | mg/L | 3.63 | 1.91 | 2.30 | 2.30 | 4.14 | 1.40 |
| | DQO | mg/L | 10.65 | 16.64 | 12.75 | 50.93 | 32.62 | 9.69 |
| | Dureza Total (CaCO ₃) | mg/L | 148.40 | 149.20 | 127.20 | 86.07 | 131.15 | 79.10 |
| | Nitratos | mg/L | 0.07 | 0.02 | 0.05 | 0.52 | 0.38 | 0.06 |
| | Oxígeno Disuelto | mg/L | 7.40 | 7.40 | 7.20 | 6.80 | 6.10 | 7.90 |
| | Potencial de Hidrógeno (pH) | | | | | | | |
| | Sólidos Suspendidos | mg/L | 2.00 | 6.00 | 11.00 | 479.00 | 295.00 | 7.00 |
| | Sulfatos | mg/L | | | | | | |
| | Temperatura | °C | 26.00 | 23.00 | 28.00 | | 27.00 | 22.50 |

Tabla A21. Presa Peña Colorados, año 1994.

| Punto | Parámetro | Unidades | 1994 | | | | | Septiembre | Noviembre |
|----------------------|-----------------------------------|-----------|---------|--------|--------|--------|--------|------------|-----------|
| | | | Febrero | Abril | Mayo | Julio | | | |
| Presa Peña Colorados | Alcalinidad Total | mg/L | 119.00 | 117.00 | 110.00 | 167.00 | 137.50 | | |
| | Cloruros | mg/L | 3.60 | 3.50 | 6.00 | 1.40 | 2.10 | 2.50 | |
| | Coliformes Fecales | NMP/100mL | 80 | 2000 | 200 | 560 | 2000 | 300 | |
| | Coliformes Totales | NMP/100mL | 80 | 18000 | 360 | 2740 | 2000 | 2300 | |
| | DBO | mg/L | 0.68 | 0.85 | 0.93 | 2.20 | 0.40 | 3.40 | |
| | DQO | mg/L | 2.60 | 3.30 | 1.00 | 36.40 | 6.00 | 9.00 | |
| | Dureza Total (CaCO ₃) | mg/L | 471.50 | 623.00 | 727.70 | 501.80 | 341.00 | 350.70 | |
| | Nitratos | mg/L | 9.80 | 0.66 | 0.10 | 0.98 | 0.65 | 0.75 | |
| | Oxígeno Disuelto | mg/L | 5.70 | | 7.30 | | 5.80 | 6.40 | |
| | Potencial de Hidrógeno (pH) | | | | | | | | |
| | Sólidos Suspendidos | mg/L | 10.00 | 14.00 | 11.00 | 264.70 | 11.00 | 20.00 | |
| | Sulfatos | mg/L | | | | | | | |
| | Temperatura | °C | 18.00 | 23.00 | 25.00 | 23.00 | 28.70 | 20.00 | |

Tabla A22. Presa Peña Colorados, año 1995.

| Punto | Parámetro | Unidades | 1995 | | | | | Octubre | Diciembre |
|----------------------|-----------------------------------|-----------|---------|--------|--------|--------|--------|---------|-----------|
| | | | Febrero | Abril | Junio | Agosto | | | |
| Presa Peña Colorados | Alcalinidad Total | mg/L | 120.00 | 112.00 | 109.00 | 127.50 | 122.50 | 125.00 | |
| | Cloruros | mg/L | 6.10 | 6.20 | 6.70 | 3.57 | 2.68 | 6.92 | |
| | Coliformes Fecales | NMP/100mL | 93 | 150 | 2400 | 11000 | 160 | 20 | |
| | Coliformes Totales | NMP/100mL | 93 | 460 | 2400 | 11000 | 180 | 80 | |
| | DBO | mg/L | 1.01 | 1.81 | 3.44 | 2.75 | 3.53 | 1.60 | |
| | DQO | mg/L | 4.19 | 3.80 | 4.45 | 7.88 | 5.49 | 5.16 | |
| | Dureza Total (CaCO ₃) | mg/L | 512.90 | 660.60 | 720.40 | 303.50 | 303.80 | 527.20 | |
| | Nitratos | mg/L | 0.60 | 0.69 | 0.97 | 0.71 | 0.51 | 0.84 | |
| | Oxígeno Disuelto | mg/L | 5.00 | 5.20 | | 6.40 | 6.20 | 7.20 | |
| | Potencial de Hidrógeno (pH) | | | | | | | | |
| | Sólidos Suspendidos | mg/L | 17.00 | 34.00 | 19.00 | 11.00 | 57.00 | 14.00 | |
| | Sulfatos | mg/L | | | | | | | |
| | Temperatura | °C | 27.00 | 30.00 | 32.00 | 27.00 | 31.00 | 28.00 | |

Tabla A23. Presa Peña Colorados, año 1996.

| Punto | Parámetro | Unidades | 1996 | | | | | |
|----------------------|-----------------------------------|-----------|--------|--------|--------|--------|------------|-----------|
| | | | Enero | Marzo | Mayo | Agosto | Septiembre | Diciembre |
| Presa Peña Colorados | Alcalinidad Total | mg/L | 130.00 | 120.00 | 120.00 | 130.00 | 122.50 | 132.50 |
| | Cloruros | mg/L | 16.94 | 5.80 | 6.22 | 3.25 | 1.58 | 3.18 |
| | Coliformes Fecales | NMP/100mL | 2400 | 80 | 2440 | 820 | 160 | |
| | Coliformes Totales | NMP/100mL | 2400 | 260 | 2500 | 2260 | 380 | 600 |
| | DBO | mg/L | 2.11 | 1.00 | 3.20 | 1.30 | 2.62 | 1.50 |
| | DQO | mg/L | 14.73 | 15.37 | 5.61 | 5.54 | 4.14 | 1.52 |
| | Dureza Total (CaCO ₃) | mg/L | 616.20 | 704.40 | 738.70 | 409.85 | 250.01 | 445.20 |
| | Nitratos | mg/L | 1.04 | 0.47 | 0.96 | 0.73 | 0.54 | 0.91 |
| | Oxígeno Disuelto | mg/L | 6.90 | 6.00 | 8.10 | | 3.50 | 5.80 |
| | Potencial de Hidrógeno (pH) | | | | | | | |
| | Sólidos Suspendidos | mg/L | 7.00 | 34.00 | 13.00 | 22.00 | 19.00 | 2.00 |
| | Sulfatos | mg/L | | | | | | |
| | Temperatura | °C | 26.00 | 30.00 | 28.00 | | 26.00 | 25.00 |

Tabla A24. Puente Marabasco, año 1990.

| Punto | Parámetro | Unidades | 1990 | | | | | |
|-----------------------------------|-----------------------------------|-----------|---------|--------|--------|------------|-----------|-----------|
| | | | Febrero | Mayo | Junio | Septiembre | Noviembre | Diciembre |
| Río Minatitlán (Puente Marabasco) | Alcalinidad Total | mg/L | 99.00 | 810.00 | 111.00 | 98.00 | 167.00 | 133.00 |
| | Cloruros | mg/L | 4.20 | 5.00 | 7.00 | 2.00 | 8.30 | 5.80 |
| | Coliformes Fecales | NMP/100mL | | | | | 20 | |
| | Coliformes Totales | NMP/100mL | | | | | 960 | |
| | DBO | mg/L | 2.30 | 0.80 | 2.50 | 2.80 | 1.10 | 0.30 |
| | DQO | mg/L | | 11.00 | 9.00 | 6.00 | | 5.80 |
| | Dureza Total (CaCO ₃) | mg/L | 717.00 | 527.00 | | 135.00 | 502.00 | 181.00 |
| | Nitratos | mg/L | 0.10 | 0.10 | 0.37 | 0.47 | 0.25 | 0.27 |
| | Oxígeno Disuelto | mg/L | 9.00 | 10.60 | 8.80 | 4.20 | 6.70 | 6.10 |
| | Potencial de Hidrógeno (pH) | | | | | | | |
| | Sólidos Suspendidos | mg/L | 4.00 | 27.00 | 72.00 | 250.00 | 354.00 | 8.00 |
| | Sulfatos | mg/L | | | | | | |
| | Temperatura | °C | 18.00 | 24.00 | 19.00 | 22.00 | | 18.00 |

Tabla A25. Puente Marabasco, año 1992.

| Punto | Parámetro | Unidades | 1992 | | | | | |
|-----------------------------------|-----------------------------------|-----------|---------|--------|--------|--------|---------|-----------|
| | | | Febrero | Abril | Mayo | Agosto | Octubre | Noviembre |
| Río Minatitlán (Puente Marabasco) | Alcalinidad Total | mg/L | 290.00 | 110.00 | | 144.00 | 165.00 | 167.00 |
| | Cloruros | mg/L | 18.00 | 18.00 | 27.00 | 15.00 | 22.00 | 23.00 |
| | Coliformes Fecales | NMP/100mL | | 230 | 230 | 90 | 0 | 0 |
| | Coliformes Totales | NMP/100mL | | 2400 | 230 | 2400 | 23000 | 700 |
| | DBO | mg/L | 0.60 | 1.40 | 0.40 | 1.40 | 1.00 | 1.00 |
| | DQO | mg/L | 18.00 | 16.00 | 9.10 | 18.00 | 8.30 | 25.00 |
| | Dureza Total (CaCO ₃) | mg/L | 348.00 | 168.00 | 336.00 | 607.00 | 81.00 | 270.00 |
| | Nitratos | mg/L | 0.89 | 0.10 | 0.51 | 0.92 | 0.84 | 0.53 |
| | Oxígeno Disuelto | mg/L | 5.30 | 4.20 | 3.60 | 4.60 | 5.30 | 6.70 |
| | Potencial de Hidrógeno (pH) | | | | | | | |
| | Sólidos Suspendidos | mg/L | 5.00 | 4.00 | 14.00 | 18.00 | 26.00 | 5.00 |
| | Sulfatos | mg/L | | | | | | |
| | Temperatura | °C | | 24.70 | 27.70 | | 21.00 | |

Tabla A26. Puente Marabasco, año 1994.

| Punto | Parámetro | Unidades | 1994 | | | | | |
|-----------------------------------|-----------------------------------|-----------|---------|--------|--------|--------|------------|-----------|
| | | | Febrero | Abril | Mayo | Julio | Septiembre | Noviembre |
| Río Minatitlán (Puente Marabasco) | Alcalinidad Total | mg/L | 105.00 | 95.00 | 100.00 | 131.00 | | 135.70 |
| | Cloruros | mg/L | 6.40 | 5.80 | 7.10 | 0.90 | 3.00 | 3.60 |
| | Coliformes Fecales | NMP/100mL | 10 | 0 | 300 | 4000 | 40 | 430 |
| | Coliformes Totales | NMP/100mL | 60 | 920 | 1180 | 1400 | 320 | 2400 |
| | DBO | mg/L | 1.10 | 0.40 | 0.45 | 2.90 | 0.90 | 1.70 |
| | DQO | mg/L | 3.80 | 0.50 | 0.50 | 41.00 | 9.00 | 3.60 |
| | Dureza Total (CaCO ₃) | mg/L | 569.00 | 745.80 | 867.70 | 521.10 | 367.30 | 401.40 |
| | Nitratos | mg/L | 1.00 | 0.10 | 0.10 | 1.02 | 0.41 | 0.65 |
| | Oxígeno Disuelto | mg/L | 7.00 | | 7.20 | | 7.00 | 8.50 |
| | Potencial de Hidrógeno (pH) | | | | | | | |
| | Sólidos Suspendidos | mg/L | 6.00 | 6.00 | 11.00 | 19.20 | 11.00 | 10.00 |
| | Sulfatos | mg/L | | | | | | |
| | Temperatura | °C | 18.00 | 20.00 | 25.00 | 23.00 | 26.70 | 21.00 |

Tabla A27. Puente Marabasco, año 1995.

| Punto | Parámetro | Unidades | 1995 | | | | | |
|-----------------------------------|-----------------------------------|-----------|---------|--------|--------|--------|---------|-----------|
| | | | Febrero | Abril | Junio | Agosto | Octubre | Diciembre |
| Río Minatitlán (Puente Marabasco) | Alcalinidad Total | mg/L | 105.00 | 101.00 | 140.00 | 120.00 | | 120.00 |
| | Cloruros | mg/L | 6.10 | 9.97 | 9.08 | 4.69 | | 3.13 |
| | Coliformes Fecales | NMP/100mL | 75 | 120 | 460 | 150 | | 200 |
| | Coliformes Totales | NMP/100mL | 75 | 2400 | 460 | 2400 | | 1200 |
| | DBO | mg/L | 2.02 | 1.12 | 1.34 | 3.74 | | 4.95 |
| | DQO | mg/L | 4.19 | 1.46 | 1.48 | 23.87 | | 7.48 |
| | Dureza Total (CaCO ₃) | mg/L | 642.80 | 750.00 | 813.60 | 325.60 | | 320.70 |
| | Nitratos | mg/L | 0.79 | 0.03 | 0.83 | 0.57 | | 0.40 |
| | Oxígeno Disuelto | mg/L | 5.60 | 5.30 | 5.80 | 4.90 | | 5.40 |
| | Potencial de Hidrógeno (pH) | | | | | | | |
| | Sólidos Suspendidos | mg/L | 2.00 | 15.00 | 16.00 | 12.00 | | 19.00 |
| | Sulfatos | mg/L | | | | | | |
| | Temperatura | °C | 29.00 | 28.00 | 30.00 | 27.00 | | 30.00 |

Tabla A28. Puente Marabasco, año 1996.

| Punto | Parámetro | Unidades | 1996 | | | | | |
|-----------------------------------|-----------------------------------|-----------|--------|--------|--------|--------|------------|-----------|
| | | | Enero | Marzo | Mayo | Agosto | Septiembre | Diciembre |
| Río Minatitlán (Puente Marabasco) | Alcalinidad Total | mg/L | 17.50 | 107.50 | 105.00 | 117.50 | 110.00 | 130.00 |
| | Cloruros | mg/L | 7.32 | 9.98 | 7.60 | 3.48 | 1.82 | 5.45 |
| | Coliformes Fecales | NMP/100mL | 2400 | 40 | 2560 | 1760 | 20 | 20 |
| | Coliformes Totales | NMP/100mL | 2400 | 40 | 2740 | 2080 | 620 | 220 |
| | DBO | mg/L | 2.52 | 1.50 | | 1.90 | 4.45 | 1.00 |
| | DQO | mg/L | 2.54 | 3.18 | 2.58 | 7.39 | 5.06 | 1.02 |
| | Dureza Total (CaCO ₃) | mg/L | 715.20 | 770.70 | 800.30 | 348.37 | 225.42 | 511.80 |
| | Nitratos | mg/L | 0.50 | 0.08 | 0.05 | 0.47 | 0.33 | 0.44 |
| | Oxígeno Disuelto | mg/L | 7.40 | 5.50 | 7.80 | 3.15 | 7.50 | |
| | Potencial de Hidrógeno (pH) | | | | | | | |
| | Sólidos Suspendidos | mg/L | 1.00 | 28.00 | 10.00 | 54.00 | 12.00 | 2.00 |
| | Sulfatos | mg/L | | | | | | |
| | Temperatura | °C | 26.00 | 24.00 | 28.00 | | 24.50 | 25.00 |

Tabla A29. Magnitudes de parámetros del punto Puente Naranja, año 1990.

| Punto | Parámetro | Unidades | 1990 | | | | | |
|--|-----------------------------------|-----------|---------|--------|---------|------------|-----------|-----------|
| | | | Febrero | Mayo | Junio | Septiembre | Noviembre | Diciembre |
| Rio Coahuayana límite Colima y Jalisco (Puente Naranja) | Alcalinidad Total | mg/L | 226.00 | 214.60 | 107.00 | 193.00 | 176.00 | 291.00 |
| | Cloruros | mg/L | 20.00 | 17.30 | 69.00 | 15.00 | 13.00 | 14.00 |
| | Coliformes Fecales | NMP/100mL | | | | | 1100 | |
| | Coliformes Totales | NMP/100mL | | | | | 240000 | |
| | DBO | mg/L | 8.40 | 18.00 | 22.00 | 22.00 | 4.50 | 8.40 |
| | DQO | mg/L | | 78.00 | 393.00 | 87.00 | | 10.00 |
| | Dureza Total (CaCO ₃) | mg/L | 169.00 | 165.00 | | 63.00 | 122.00 | 249.00 |
| | Nitratos | mg/L | | 0.10 | 0.40 | 0.73 | 0.37 | 0.25 |
| | Oxígeno Disuelto | mg/L | 5.50 | 5.00 | 7.30 | 6.30 | 7.20 | 6.50 |
| | Potencial de Hidrógeno (pH) | | | | | | | |
| | Sólidos Suspendidos | mg/L | 3.00 | 23.00 | 1152.00 | 3300.00 | 204.00 | 12.00 |
| | Sulfatos | mg/L | | | | | | |
| | Temperatura | °C | 20.00 | 26.00 | 25.00 | 25.00 | | 24.00 |

Tabla A30. Magnitudes de parámetros del punto Puente Naranja, año 1992.

| Punto | Parámetro | Unidades | 1992 | | | | | |
|--|-----------------------------------|-----------|---------|--------|--------|---------|---------|-----------|
| | | | Febrero | Abril | Mayo | Agosto | Octubre | Noviembre |
| Rio Coahuayana límite Colima y Jalisco (Puente Naranja) | Alcalinidad Total | mg/L | 132.00 | 220.00 | | 124.00 | 165.00 | 218.00 |
| | Cloruros | mg/L | 18.00 | 39.00 | 27.00 | 24.00 | 18.00 | 33.00 |
| | Coliformes Fecales | NMP/100mL | | | 90 | 4600 | 24000 | 2100 |
| | Coliformes Totales | NMP/100mL | | 2300 | 750 | 11000 | 240000 | 24000 |
| | DBO | mg/L | 2.00 | 3.60 | 1.80 | 18.00 | 8.10 | 3.00 |
| | DQO | mg/L | 36.00 | 37.00 | 27.00 | 190.00 | 25.00 | 25.00 |
| | Dureza Total (CaCO ₃) | mg/L | 134.00 | 226.00 | 186.00 | 81.00 | 108.00 | 216.00 |
| | Nitratos | mg/L | 0.48 | 0.10 | 0.14 | 0.57 | 1.05 | 0.49 |
| | Oxígeno Disuelto | mg/L | 5.30 | 3.60 | 5.50 | 6.70 | 6.50 | 6.50 |
| | Potencial de Hidrógeno (pH) | | | | | | | |
| | Sólidos Suspendidos | mg/L | 112.00 | 69.00 | 24.00 | 4876.00 | 482.00 | 19.00 |
| | Sulfatos | mg/L | | | | | | |
| | Temperatura | °C | | 23.00 | 25.90 | | 28.00 | |

Tabla A31. Magnitudes de parámetros del punto Puente Naranjo, año 1994.

| Punto | Parámetro | Unidades | 1994 | | | | | Septiembre | Noviembre |
|--|-----------------------------------|-----------|---------|--------|--------|--------|--------|------------|-----------|
| | | | Febrero | Abril | Mayo | Julio | | | |
| Rio Coahuayana límite Colima y Jalisco (Puente Naranjo) | Alcalinidad Total | mg/L | 196.00 | 210.00 | 210.00 | | 147.00 | 171.70 | |
| | Cloruros | mg/L | 13.20 | 17.30 | 15.70 | 13.90 | 6.00 | 9.80 | |
| | Coliformes Fecales | NMP/100mL | 5 | 20 | 20000 | 1200 | 400 | 300 | |
| | Coliformes Totales | NMP/100mL | 10 | 100 | 42000 | 1600 | 1200 | 2300 | |
| | DBO | mg/L | 0.89 | 1.40 | 1.25 | 4.40 | 1.50 | 3.70 | |
| | DQO | mg/L | 6.40 | 27.60 | 20.00 | 82.30 | 21.90 | 12.10 | |
| | Dureza Total (CaCO ₃) | mg/L | 193.00 | 131.00 | 125.90 | 125.50 | 75.20 | 97.20 | |
| | Nitratos | mg/L | 0.01 | 0.10 | 0.10 | 0.10 | 0.85 | 0.28 | |
| | Oxígeno Disuelto | mg/L | 8.80 | | 7.00 | | 5.20 | 7.00 | |
| | Potencial de Hidrógeno (pH) | | | | | | | | |
| | Sólidos Suspendidos | mg/L | 12.00 | 15.00 | 22.00 | 198.60 | 83.00 | 1.00 | |
| | Sulfatos | mg/L | | | | | | | |
| Temperatura | °C | 18.00 | 24.00 | 23.00 | 23.00 | 29.30 | 26.00 | | |

Tabla A32. Puente Naranjo, año 1995.

| Punto | Parámetro | Unidades | 1995 | | | | | Octubre | Diciembre |
|--|-----------------------------------|-----------|---------|--------|--------|--------|--------|---------|-----------|
| | | | Febrero | Abril | Junio | Agosto | | | |
| Rio Coahuayana límite Colima y Jalisco (Puente Naranjo) | Alcalinidad Total | mg/L | 180.00 | 205.00 | 216.00 | 80.00 | 110.00 | 195.00 | |
| | Cloruros | mg/L | 16.80 | 16.40 | 17.30 | 3.90 | 5.10 | 15.00 | |
| | Coliformes Fecales | NMP/100mL | 460 | 70 | 460 | 2400 | 3800 | | |
| | Coliformes Totales | NMP/100mL | 2400 | 430 | 1100 | 2400 | 3800 | 40 | |
| | DBO | mg/L | 13.70 | 3.30 | 14.10 | 13.30 | 2.70 | 2.10 | |
| | DQO | mg/L | 29.00 | 21.10 | 28.90 | 122.70 | 28.80 | 15.00 | |
| | Dureza Total (CaCO ₃) | mg/L | 121.80 | 115.70 | 116.50 | 44.20 | 84.40 | 111.40 | |
| | Nitratos | mg/L | 0.10 | 0.10 | 0.05 | 0.20 | 0.69 | 0.40 | |
| | Oxígeno Disuelto | mg/L | 5.20 | 5.10 | 5.20 | 6.20 | 6.00 | 6.30 | |
| | Potencial de Hidrógeno (pH) | | | | | | | | |
| | Sólidos Suspendidos | mg/L | 22.00 | 12.00 | 22.00 | 690.00 | 67.00 | 15.00 | |
| | Sulfatos | mg/L | | | | | | | |
| Temperatura | °C | 24.00 | 31.00 | 29.00 | 27.00 | 30.00 | 27.00 | | |

Tabla A33. Puente Naranja, año 1996.

| Punto | Parámetro | Unidades | 1996 | | | | | |
|--|-----------------------------------|-----------|--------|--------|--------|--------|------------|-----------|
| | | | Enero | Marzo | Mayo | Agosto | Septiembre | Diciembre |
| Rio Coahuayana límite Colima y Jalisco (Puente Naranja) | Alcalinidad Total | mg/L | 207.50 | 225.00 | 245.00 | 120.00 | 107.50 | 197.50 |
| | Cloruros | mg/L | 14.43 | 17.42 | 16.36 | 7.66 | 14.97 | 12.48 |
| | Coliformes Fecales | NMP/100mL | 2400 | 20 | 2060 | 1600 | 1740 | 20 |
| | Coliformes Totales | NMP/100mL | 2400 | 300 | 2500 | 2100 | 2240 | 220 |
| | DBO | mg/L | 2.72 | 2.41 | 3.20 | 2.90 | 3.43 | 3.10 |
| | DQO | mg/L | 14.52 | 16.64 | 32.64 | 63.31 | 22.08 | 20.40 |
| | Dureza Total (CaCO ₃) | mg/L | 119.20 | 120.20 | 102.60 | 77.87 | 102.46 | 112.30 |
| | Nitratos | mg/L | 0.07 | 0.03 | 0.05 | 0.58 | 0.62 | 0.04 |
| | Oxígeno Disuelto | mg/L | 7.60 | 7.40 | 7.40 | 4.60 | 7.00 | 7.70 |
| | Potencial de Hidrógeno (pH) | | | | | | | |
| | Sólidos Suspendidos | mg/L | 2.00 | 8.00 | 20.00 | 286.00 | 194.00 | 13.00 |
| | Sulfatos | mg/L | | | | | | |
| | Temperatura | °C | 27.00 | 17.00 | 30.00 | | 26.00 | 20.50 |

Tabla A34. Puente Periquillos, año 1990.

| Punto | Parámetro | Unidades | 1990 | | | | | |
|---------------------------------------|-----------------------------------|-----------|---------|--------|--------|------------|-----------|-----------|
| | | | Febrero | Mayo | Junio | Septiembre | Noviembre | Diciembre |
| Estación Colimán (Puente Periquillos) | Alcalinidad Total | mg/L | 241.00 | 108.30 | 240.00 | 235.00 | 248.00 | 257.00 |
| | Cloruros | mg/L | 52.00 | 50.60 | 57.00 | 42.00 | 45.00 | 44.00 |
| | Coliformes Fecales | NMP/100mL | 2400 | 2400 | | | | |
| | Coliformes Totales | NMP/100mL | | | | | | |
| | DBO | mg/L | 0.17 | 2.10 | 3.00 | 4.00 | 1.60 | 1.90 |
| | DQO | mg/L | | 9.00 | 24.00 | 11.00 | | 10.00 |
| | Dureza Total (CaCO ₃) | mg/L | 169.00 | 285.00 | | 169.00 | 287.00 | 114.00 |
| | Nitratos | mg/L | 0.10 | 0.10 | 0.35 | 0.70 | 0.29 | 0.17 |
| | Oxígeno Disuelto | mg/L | 6.30 | 5.40 | 6.70 | 6.50 | 5.60 | 5.80 |
| | Potencial de Hidrógeno (pH) | | | | | | | |
| | Sólidos Suspendidos | mg/L | 4.00 | 10.00 | 80.00 | 675.00 | 152.00 | 12.00 |
| | Sulfatos | mg/L | | | | | | |
| | Temperatura | °C | 28.00 | 29.00 | 29.00 | | | 25.00 |

Tabla A35. Puente Periquillos, año 1992.

| Punto | Parámetro | Unidades | 1992 | | | | | |
|---------------------------------------|-----------------------------------|-----------|---------|--------|--------|--------|---------|-----------|
| | | | Febrero | Abril | Mayo | Agosto | Octubre | Noviembre |
| Estación Colimán (Puente Periquillos) | Alcalinidad Total | mg/L | 308.00 | 172.00 | | 103.00 | 288.00 | 214.00 |
| | Cloruros | mg/L | 35.00 | 47.00 | 37.00 | 40.00 | 41.00 | 41.00 |
| | Coliformes Fecales | NMP/100mL | 430 | 2400 | 24000 | 0 | 400 | |
| | Coliformes Totales | NMP/100mL | | 2400 | 11000 | 24000 | 23000 | 4300 |
| | DBO | mg/L | 1.20 | 2.40 | 3.60 | 0.60 | 1.60 | 2.00 |
| | DQO | mg/L | 36.00 | 23.00 | 27.00 | 37.00 | 50.00 | 25.00 |
| | Dureza Total (CaCO ₃) | mg/L | 182.00 | 192.00 | 232.00 | 313.00 | 265.00 | 270.00 |
| | Nitratos | mg/L | 1.32 | 0.12 | 0.10 | 1.26 | 1.10 | 0.55 |
| | Oxígeno Disuelto | mg/L | 5.30 | 3.80 | 5.70 | 5.10 | 5.10 | 6.90 |
| | Potencial de Hidrógeno (pH) | | | | | | | |
| | Sólidos Suspendidos | mg/L | 23.00 | 40.00 | 9.00 | 92.00 | 136.00 | 21.00 |
| | Sulfatos | mg/L | | | | | | |
| | Temperatura | °C | | 26.00 | 29.00 | | 24.00 | |

Tabla A36. Puente Periquillos, año 1995.

| Punto | Parámetro | Unidades | 1995 | | | | | |
|---------------------------------------|-----------------------------------|-----------|---------|--------|--------|--------|---------|-----------|
| | | | Febrero | Abril | Junio | Agosto | Octubre | Diciembre |
| Estación Colimán (Puente Periquillos) | Alcalinidad Total | mg/L | 190.00 | 200.00 | 194.00 | 162.50 | 170.00 | 197.50 |
| | Cloruros | mg/L | 39.30 | 45.00 | 43.57 | 29.03 | 0.53 | 40.20 |
| | Coliformes Fecales | NMP/100mL | 2400 | 90 | 249 | 2400 | 80 | 240 |
| | Coliformes Totales | NMP/100mL | 2400 | 430 | 240 | 2400 | 160 | 240 |
| | DBO | mg/L | 0.81 | 2.32 | 2.85 | 13.33 | 2.42 | 1.60 |
| | DQO | mg/L | 2.30 | 5.83 | 4.47 | 43.14 | 3.44 | 6.19 |
| | Dureza Total (CaCO ₃) | mg/L | 495.80 | 439.80 | 444.90 | 410.00 | 438.80 | 467.90 |
| | Nitratos | mg/L | 0.45 | 0.25 | 0.20 | 0.05 | 0.59 | 1.24 |
| | Oxígeno Disuelto | mg/L | 5.70 | 4.90 | 6.90 | 6.40 | 6.00 | 6.60 |
| | Potencial de Hidrógeno (pH) | | | | | | | |
| | Sólidos Suspendidos | mg/L | 6.00 | 13.00 | 7.00 | 306.00 | 72.00 | 11.00 |
| | Sulfatos | mg/L | | | | | | |
| | Temperatura | °C | 25.00 | 28.00 | 29.00 | 30.00 | 32.00 | 26.00 |

Tabla A37. Puente Periquillos, año 1996.

| Punto | Parámetro | Unidades | 1996 | | | | | |
|---------------------------------------|-----------------------------------|-----------|--------|--------|--------|--------|------------|-----------|
| | | | Enero | Marzo | Mayo | Agosto | Septiembre | Diciembre |
| Estación Colimán (Puente Periquillos) | Alcalinidad Total | mg/L | 217.50 | 207.50 | 270.00 | 155.00 | 167.50 | 245.00 |
| | Cloruros | mg/L | 55.08 | 42.57 | 51.46 | 23.99 | 21.18 | 39.33 |
| | Coliformes Fecales | NMP/100mL | 460 | 20 | 460 | 1620 | 900 | |
| | Coliformes Totales | NMP/100mL | 1100 | 20 | 460 | 3200 | 1740 | 1980 |
| | DBO | mg/L | 2.52 | 2.62 | 1.30 | 5.40 | 0.02 | 3.80 |
| | DQO | mg/L | 3.05 | 10.64 | 10.88 | 68.15 | 4.04 | 8.96 |
| | Dureza Total (CaCO ₃) | mg/L | 224.90 | 190.60 | 240.50 | 168.04 | 172.14 | 233.00 |
| | Nitratos | mg/L | 0.72 | 0.16 | 0.02 | 1.38 | 0.73 | 0.76 |
| | Oxígeno Disuelto | mg/L | 6.00 | 5.70 | 12.00 | 7.00 | 5.70 | |
| | Potencial de Hidrógeno (pH) | | | | | | | |
| | Sólidos Suspendidos | mg/L | 3.00 | 5.00 | 12.00 | 913.00 | 216.00 | 2.00 |
| | Sulfatos | mg/L | | | | | | |
| | Temperatura | °C | 25.00 | 24.00 | 28.00 | 25.00 | 26.00 | 24.00 |

Tabla A38. Puente Pueblo Juárez, año 1990.

| Punto | Parámetro | Unidades | 1990 | | | | | |
|----------------------|-----------------------------------|-----------|---------|--------|--------|------------|-----------|-----------|
| | | | Febrero | Mayo | Junio | Septiembre | Noviembre | Diciembre |
| Puente Pueblo Juárez | Alcalinidad Total | mg/L | 206.00 | 190.50 | 214.00 | 278.00 | 227.00 | 282.00 |
| | Cloruros | mg/L | 27.00 | 29.10 | 33.00 | 20.00 | 24.00 | 23.00 |
| | Coliformes Fecales | NMP/100mL | 1100 | 2400 | | | 400 | |
| | Coliformes Totales | NMP/100mL | | | | | 46000 | |
| | DBO | mg/L | 2.70 | 4.00 | 2.30 | 6.60 | 1.10 | 0.90 |
| | DQO | mg/L | | 16.00 | 10.00 | 84.00 | 3.00 | |
| | Dureza Total (CaCO ₃) | mg/L | 203.00 | 194.00 | | 137.00 | 283.00 | 97.00 |
| | Nitratos | mg/L | 0.15 | 0.10 | 0.38 | 0.39 | 0.35 | 0.37 |
| | Oxígeno Disuelto | mg/L | 7.10 | 6.50 | 7.30 | 7.50 | 8.10 | 4.50 |
| | Potencial de Hidrógeno (pH) | | | | | | | |
| | Sólidos Suspendidos | mg/L | 4.00 | 26.00 | 7.00 | 1404.00 | 162.00 | 0.00 |
| | Sulfatos | mg/L | | | | | | |
| | Temperatura | °C | 28.00 | 29.00 | 28.50 | 28.00 | | 26.00 |

Tabla A39. Puente Pueblo Juárez, año 1992.

| Punto | Parámetro | Unidades | 1992 | | | | | |
|----------------------|-----------------------------------|-----------|---------|--------|--------|--------|---------|-----------|
| | | | Febrero | Abril | Mayo | Agosto | Octubre | Noviembre |
| Puente Pueblo Juárez | Alcalinidad Total | mg/L | 211.00 | 154.00 | | 185.00 | 243.00 | 227.00 |
| | Cloruros | mg/L | 26.00 | 24.00 | 25.00 | 33.00 | 20.00 | 28.00 |
| | Coliformes Fecales | NMP/100mL | | 4300 | 4000 | 23000 | | |
| | Coliformes Totales | NMP/100mL | | 15000 | 15000 | 93000 | 9000 | 2300 |
| | DBO | mg/L | 0.80 | 2.80 | 2.40 | 6.50 | 2.80 | 2.00 |
| | DQO | mg/L | 36.00 | 46.00 | 36.00 | 46.00 | 41.00 | 25.00 |
| | Dureza Total (CaCO ₃) | mg/L | 192.00 | 232.00 | 232.00 | 297.00 | 281.00 | 0.54 |
| | Nitratos | mg/L | 0.55 | 0.28 | 0.34 | 0.11 | 0.13 | 0.17 |
| | Oxígeno Disuelto | mg/L | 5.70 | 4.60 | 4.20 | 4.60 | 4.60 | 6.70 |
| | Potencial de Hidrógeno (pH) | | | | | | | |
| | Sólidos Suspendidos | mg/L | 143.00 | 117.00 | 90.00 | 778.00 | 55.00 | 41.00 |
| | Sulfatos | mg/L | | | | | | |
| | Temperatura | °C | | 24.50 | 27.40 | | 24.00 | |

Tabla A40. Puente Pueblo Juárez, año 1994.

| Punto | Parámetro | Unidades | 1994 | | | | | |
|----------------------|-----------------------------------|-----------|---------|--------|--------|---------|------------|-----------|
| | | | Febrero | Abril | Mayo | Julio | Septiembre | Noviembre |
| Puente Pueblo Juárez | Alcalinidad Total | mg/L | 167.00 | 190.00 | 205.00 | | 203.00 | 215.30 |
| | Cloruros | mg/L | 31.30 | 23.90 | 23.00 | 19.20 | 13.40 | 12.30 |
| | Coliformes Fecales | NMP/100mL | 200 | 200 | 400 | 600 | 180 | 21 |
| | Coliformes Totales | NMP/100mL | 800 | 400 | 400 | 3200 | 280 | 1100 |
| | DBO | mg/L | 1.08 | 0.80 | 0.70 | 3.20 | 0.30 | 1.50 |
| | DQO | mg/L | 3.80 | 4.70 | 3.90 | 50.10 | 12.50 | 3.60 |
| | Dureza Total (CaCO ₃) | mg/L | 110.00 | 239.00 | 233.20 | 212.30 | 226.00 | 207.00 |
| | Nitratos | mg/L | 6.00 | 0.69 | 0.10 | 1.57 | 0.78 | 0.64 |
| | Oxígeno Disuelto | mg/L | 5.60 | | 7.80 | | 6.20 | 6.80 |
| | Potencial de Hidrógeno (pH) | | | | | | | |
| | Sólidos Suspendidos | mg/L | 13.00 | 8.00 | 15.00 | 1597.30 | 88.00 | 11.00 |
| | Sulfatos | mg/L | | | | | | |
| | Temperatura | °C | 20.00 | 20.00 | 24.00 | 23.00 | 28.90 | 27.00 |

Tabla A41. Puente Pueblo Juárez, año 1995.

| Punto | Parámetro | Unidades | 1995 | | | | | |
|----------------------|-----------------------------------|-----------|---------|--------|--------|--------|---------|-----------|
| | | | Febrero | Abril | Junio | Agosto | Octubre | Diciembre |
| Puente Pueblo Juárez | Alcalinidad Total | mg/L | 200.00 | 157.00 | 170.00 | 160.00 | | 197.50 |
| | Cloruros | mg/L | 22.20 | 22.16 | 21.71 | 19.65 | | 19.65 |
| | Coliformes Fecales | NMP/100mL | 1100 | 750 | 1100 | 2400 | | 20 |
| | Coliformes Totales | NMP/100mL | 2400 | 750 | 1100 | 2400 | | 40 |
| | DBO | mg/L | 0.70 | 2.22 | 3.14 | 12.42 | | 1.00 |
| | DQO | mg/L | 5.15 | 6.21 | 6.97 | 43.14 | | 5.14 |
| | Dureza Total (CaCO ₃) | mg/L | 220.60 | 188.60 | 199.20 | 168.80 | | 229.30 |
| | Nitratos | mg/L | 0.53 | 0.27 | 0.44 | 0.76 | | 0.73 |
| | Oxígeno Disuelto | mg/L | 5.50 | 6.20 | 4.90 | 6.80 | | 6.20 |
| | Potencial de Hidrógeno (pH) | | | | | | | |
| | Sólidos Suspendidos | mg/L | 27.00 | 9.00 | 6.00 | 408.00 | | 13.00 |
| | Sulfatos | mg/L | | | | | | |
| | Temperatura | °C | 23.00 | 28.00 | 25.00 | 28.00 | | 31.00 |

Tabla A42. Puente Pueblo Juárez, año 1996.

| Punto | Parámetro | Unidades | 1996 | | | | | |
|----------------------|-----------------------------------|-----------|--------|---------|--------|--------|------------|-----------|
| | | | Enero | Marzo | Mayo | Agosto | Septiembre | Diciembre |
| Puente Pueblo Juárez | Alcalinidad Total | mg/L | 180.00 | 170.00 | 200.00 | 150.00 | 112.50 | 177.50 |
| | Cloruros | mg/L | 21.33 | 24.62 | 17.80 | 14.86 | 6.81 | 18.60 |
| | Coliformes Fecales | NMP/100mL | 460 | 75 | 43 | 1760 | 860 | |
| | Coliformes Totales | NMP/100mL | 460 | 80 | 240 | 2740 | 1880 | 80 |
| | DBO | mg/L | 0.71 | 1.81 | 1.01 | 3.30 | 6.77 | 1.30 |
| | DQO | mg/L | 0.98 | 1064.00 | 1.02 | 35.22 | 71.76 | 6.47 |
| | Dureza Total (CaCO ₃) | mg/L | 209.20 | 186.50 | 227.40 | 172.14 | 110.66 | 216.40 |
| | Nitratos | mg/L | 0.70 | 0.49 | 0.01 | 0.92 | 0.49 | 0.54 |
| | Oxígeno Disuelto | mg/L | 8.90 | 7.70 | 6.40 | 7.20 | 8.10 | 7.00 |
| | Potencial de Hidrógeno (pH) | | | | | | | |
| | Sólidos Suspendidos | mg/L | 2.00 | 8.00 | 2.00 | 272.00 | 600.00 | 1.00 |
| | Sulfatos | mg/L | | | | | | |
| | Temperatura | °C | 29.00 | 29.00 | 27.00 | 26.00 | 26.50 | 26.00 |

APÉNDICE “B”

APÉNDICE “B”

| | |
|---|-----|
| Tabla B1. Agua potable, NOM-127-SSA1-1994. | 109 |
| Tabla B2. Riego agrícola, NOM-001-SEMARNAT-1996..... | 110 |
| Tabla B3. Recreación con contacto primario, NOM-003-SEMARNAT-1997. | 111 |
| Tabla B4. Protección a la vida acuática, NOM-001-SEMARNAT-1996. | 112 |

Porcentaje de información faltante del ICAA para cada uso de agua.

Tabla B1. Agua potable, NOM-127-SSA1-1994.

| Punto de Muestreo | 1990 | | | 1992 | | | 1994 | | |
|-----------------------|----------------------|-----------------|--------|----------------------|-----------------|-------|----------------------|-----------------|-------|
| | Parámetros Faltantes | Datos Faltantes | ICAA | Parámetros Faltantes | Datos Faltantes | ICAA | Parámetros Faltantes | Datos Faltantes | ICAA |
| Derivadora Callejones | 88.37% | 92.64% | 32.08 | 88.37% | 89.53% | 34.91 | 88.37% | 88.37% | 33.67 |
| Derivadora Jala | 88.37% | 90.31% | 29.54 | 88.37% | 88.76% | 35.29 | 88.37% | 88.37% | 28.17 |
| Derivadora Peñitas | 88.37% | 91.86% | 36.92 | 90.70% | 91.47% | 39.58 | 88.37% | 88.37% | 33.72 |
| Paso de Potrerillos | 93.02% | 93.41% | 100.00 | 88.37% | 89.15% | 35.67 | 88.37% | 88.37% | 33.67 |
| Presa Peña Colorados | | | | | | | 88.37% | 88.37% | 26.74 |
| Puente Marabasco | 88.37% | 92.64% | 31.07 | 88.37% | 89.15% | 30.16 | 88.37% | 88.37% | 26.75 |
| Puente Naranja | 88.37% | 93.02% | 37.49 | 88.37% | 89.53% | 34.91 | 88.37% | 88.37% | 33.67 |
| Puente Periquillos | 90.70% | 92.64% | 40.20 | 88.37% | 89.15% | 35.11 | | | |
| Puente Pueblo Juarez | 88.37% | 91.86% | 36.85 | 88.37% | 89.92% | 35.33 | 88.37% | 88.37% | 33.68 |

Tabla B1. Agua potable, NOM-127-SSA1-1994 (continuación).

| Punto de Muestreo | 1995 | | | 1996 | | |
|-----------------------|----------------------|-----------------|-------|----------------------|-----------------|-------|
| | Parámetros Faltantes | Datos Faltantes | ICAA | Parámetros Faltantes | Datos Faltantes | ICAA |
| Derivadora Callejones | 88.37% | 88.37% | 33.67 | 88.37% | 88.37% | 33.68 |
| Derivadora Jala | 83.72% | 83.72% | 32.51 | 83.72% | 84.11% | 28.85 |
| Derivadora Peñitas | 88.37% | 88.76% | 28.57 | 88.37% | 88.37% | 33.68 |
| Paso de Potrerillos | 88.37% | 88.37% | 33.69 | 88.37% | 89.15% | 34.52 |
| Presa Peña Colorados | 88.37% | 88.37% | 25.97 | 88.37% | 88.76% | 27.14 |
| Puente Marabasco | 88.37% | 88.37% | 26.29 | 88.37% | 88.37% | 25.97 |
| Puente Naranja | 88.37% | 88.76% | 34.08 | 88.37% | 88.37% | 33.67 |
| Puente Periquillos | 88.37% | 88.37% | 33.68 | 88.37% | 88.76% | 34.08 |
| Puente Pueblo Juarez | 88.37% | 88.37% | 33.68 | 88.37% | 88.76% | 34.09 |

Tabla B2. Riego agrícola, NOM-001-SEMARNAT-1996.

| Año | 1990 | | | 1992 | | | 1994 | | |
|-----------------------|----------------------|-----------------|------------------|----------------------|-----------------|------------------|----------------------|-----------------|------------------|
| | Parámetros Faltantes | Datos Faltantes | ICA _A | Parámetros Faltantes | Datos Faltantes | ICA _A | Parámetros Faltantes | Datos Faltantes | ICA _A |
| Derivadora Callejones | 84.21% | 88.60% | 61.25 | 84.21% | 85.96% | 51.98 | 84.21% | 84.21% | 95.58 |
| Derivadora Jala | 84.21% | 85.96% | 72.04 | 84.21% | 84.21% | 70.46 | 84.21% | 84.21% | 68.44 |
| Derivadora Peñitas | 84.21% | 86.84% | 80.37 | 89.47% | 89.47% | 66.20 | 84.21% | 84.21% | 92.76 |
| Paso de Potrerillos | 89.47% | 89.47% | 80.30 | 84.21% | 85.09% | 51.42 | 84.21% | 84.21% | 59.94 |
| Presa Peña Colorados | | | | | | | 84.21% | 84.21% | 87.68 |
| Puente Marabasco | 84.21% | 88.60% | 88.19 | 84.21% | 85.09% | 100.00 | 84.21% | 84.21% | 91.15 |
| Puente Naranja | 84.21% | 88.60% | 56.70 | 84.21% | 85.96% | 50.77 | 84.21% | 84.21% | 68.46 |
| Puente Periquillos | 84.21% | 87.72% | 68.94 | 84.21% | 85.09% | 65.30 | | | |
| Puente Pueblo Juarez | 84.21% | 86.84% | 66.28 | 84.21% | 86.84% | 57.61 | 84.21% | 84.21% | 79.60 |

Tabla B2. Riego agrícola, NOM-001-SEMARNAT-1996 (continuación).

| Año | 1995 | | | 1996 | | |
|-----------------------|----------------------|-----------------|------------------|----------------------|-----------------|------------------|
| | Parámetros Faltantes | Datos Faltantes | ICA _A | Parámetros Faltantes | Datos Faltantes | ICA _A |
| Derivadora Callejones | 84.21% | 84.21% | 95.58 | 84.21% | 85.09% | 85.92 |
| Derivadora Jala | 78.95% | 78.95% | 63.92 | 78.95% | 79.82% | 79.60 |
| Derivadora Peñitas | 84.21% | 85.09% | 82.10 | 84.21% | 84.21% | 67.74 |
| Paso de Potrerillos | 84.21% | 84.21% | 87.41 | 84.21% | 85.09% | 85.07 |
| Presa Peña Colorados | 84.21% | 84.21% | 76.71 | 84.21% | 85.09% | 77.98 |
| Puente Marabasco | 84.21% | 84.21% | 100.00 | 84.21% | 85.09% | 75.88 |
| Puente Naranja | 84.21% | 85.09% | 79.18 | 84.21% | 84.21% | 70.03 |
| Puente Periquillos | 84.21% | 84.21% | 76.21 | 84.21% | 85.09% | 81.59 |
| Puente Pueblo Juarez | 84.21% | 84.21% | 73.22 | 84.21% | 85.09% | 84.07 |

Tabla B3. Recreación con contacto primario, NOM-003-SEMARNAT-1997.

| Año | 1990 | | | 1992 | | | 1994 | | |
|-----------------------|----------------------|-----------------|------------------|----------------------|-----------------|------------------|----------------------|-----------------|------------------|
| | Parámetros Faltantes | Datos Faltantes | ICA _A | Parámetros Faltantes | Datos Faltantes | ICA _A | Parámetros Faltantes | Datos Faltantes | ICA _A |
| Derivadora Callejones | 81.25% | 86.46% | 38.88 | 81.25% | 83.33% | 37.95 | 81.25% | 81.25% | 72.42 |
| Derivadora Jala | 81.25% | 83.33% | 47.03 | 81.25% | 81.25% | 42.47 | 81.25% | 81.25% | 48.38 |
| Derivadora Peñitas | 81.25% | 84.38% | 62.69 | 87.50% | 87.50% | 38.63 | 81.25% | 81.25% | 65.82 |
| Paso de Potrerillos | 87.50% | 87.50% | 50.03 | 81.25% | 82.29% | 35.73 | 81.25% | 81.25% | 45.24 |
| Presa Peña Colorados | | | | | | | 81.25% | 81.25% | 61.15 |
| Puente Marabasco | 81.25% | 86.46% | 55.56 | 81.25% | 82.29% | 96.46 | 81.25% | 81.25% | 70.59 |
| Puente Naranjo | 81.25% | 86.46% | 37.09 | 81.25% | 83.33% | 34.54 | 81.25% | 81.25% | 46.20 |
| Puente Periquillos | 81.25% | 85.42% | 45.30 | 81.25% | 82.29% | 29.48 | | | |
| Puente Pueblo Juarez | 81.25% | 84.38% | 42.11 | 81.25% | 84.38% | 33.54 | 81.25% | 81.25% | 50.71 |

Tabla B3. Recreación con contacto primario, NOM-003-SEMARNAT-1997 (continuación).

| Año | 1995 | | | 1996 | | |
|-----------------------|----------------------|-----------------|------------------|----------------------|-----------------|------------------|
| | Parámetros Faltantes | Datos Faltantes | ICA _A | Parámetros Faltantes | Datos Faltantes | ICA _A |
| Derivadora Callejones | 81.25% | 81.25% | 72.42 | 81.25% | 82.29% | 58.90 |
| Derivadora Jala | 75.00% | 75.00% | 36.77 | 75.00% | 76.04% | 57.56 |
| Derivadora Peñitas | 81.25% | 82.29% | 45.52 | 81.25% | 81.25% | 43.68 |
| Paso de Potrerillos | 81.25% | 81.25% | 54.79 | 81.25% | 82.29% | 56.35 |
| Presa Peña Colorados | 81.25% | 81.25% | 54.39 | 81.25% | 82.29% | 58.85 |
| Puente Marabasco | 81.25% | 81.25% | 94.91 | 81.25% | 82.29% | 56.21 |
| Puente Naranjo | 81.25% | 82.29% | 34.66 | 81.25% | 81.25% | 49.48 |
| Puente Periquillos | 81.25% | 81.25% | 54.40 | 81.25% | 82.29% | 46.36 |
| Puente Pueblo Juarez | 81.25% | 81.25% | 38.93 | 81.25% | 82.29% | 49.58 |

Tabla B4. Protección a la vida acuática, NOM-001-SEMARNAT-1996.

| Año | 1990 | | | 1992 | | | 1994 | | |
|-----------------------|-------------------|----------------------|-----------------|------------------|----------------------|-----------------|------------------|----------------------|-----------------|
| | Punto de Muestreo | Parámetros Faltantes | Datos Faltantes | ICA _A | Parámetros Faltantes | Datos Faltantes | ICA _A | Parámetros Faltantes | Datos Faltantes |
| Derivadora Callejones | 76.19% | 80.95% | 69.39 | 76.19% | 79.37% | 57.31 | 76.19% | 77.78% | 87.58 |
| Derivadora Jala | 76.19% | 78.57% | 81.68 | 76.19% | 78.57% | 70.24 | 76.19% | 77.78% | 75.48 |
| Derivadora Peñitas | 76.19% | 79.37% | 88.24 | 80.95% | 83.33% | 67.43 | 76.19% | 77.78% | 95.32 |
| Paso de Potrerillos | 80.95% | 81.75% | 89.11 | 76.19% | 79.37% | 56.22 | 76.19% | 76.98% | 66.60 |
| Presa Peña Colorados | | | | | | | 76.19% | 77.78% | 91.93 |
| Puente Marabasco | 76.19% | 80.95% | 91.50 | 76.19% | 79.37% | 93.34 | 76.19% | 77.78% | 94.04 |
| Puente Naranjo | 76.19% | 80.95% | 67.39 | 76.19% | 80.16% | 56.69 | 76.19% | 77.78% | 75.49 |
| Puente Periquillos | 76.19% | 80.95% | 80.75 | 76.19% | 79.37% | 71.27 | | | |
| Puente Pueblo Juarez | 76.19% | 79.37% | 77.38 | 76.19% | 80.95% | 61.62 | 76.19% | 77.78% | 85.06 |

Tabla B4. Protección a la vida acuática, NOM-001-SEMARNAT-1996 (continuación).

| Año | 1995 | | | 1996 | | |
|-----------------------|-------------------|----------------------|-----------------|------------------|----------------------|-----------------|
| | Punto de Muestreo | Parámetros Faltantes | Datos Faltantes | ICA _A | Parámetros Faltantes | Datos Faltantes |
| Derivadora Callejones | 76.19% | 77.78% | 87.58 | 76.19% | 76.98% | 84.69 |
| Derivadora Jala | 71.43% | 71.43% | 72.90 | 71.43% | 72.22% | 86.43 |
| Derivadora Peñitas | 76.19% | 76.98% | 87.50 | 76.19% | 77.78% | 78.48 |
| Paso de Potrerillos | 76.19% | 76.19% | 91.98 | 76.19% | 77.78% | 90.54 |
| Presa Peña Colorados | 76.19% | 76.98% | 83.23 | 76.19% | 78.57% | 85.69 |
| Puente Marabasco | 76.19% | 76.19% | 97.69 | 76.19% | 78.57% | 84.02 |
| Puente Naranjo | 76.19% | 76.98% | 86.38 | 76.19% | 76.98% | 80.01 |
| Puente Periquillos | 76.19% | 76.19% | 84.65 | 76.19% | 77.78% | 87.91 |
| Puente Pueblo Juarez | 76.19% | 76.19% | 82.32 | 76.19% | 76.98% | 90.12 |

APÉNDICE “C”

APÉNDICE “C”

| | |
|---|-----|
| Tabla C1. Río Coahuayana, Julio del 2006. | 115 |
| Tabla C2. Río Armería, Julio del 2006..... | 116 |
| Tabla C3. Río Marabasco, Julio del 2006..... | 117 |
| Tabla C4. Río Coahuayana, Diciembre del 2006..... | 119 |
| Tabla C5. Río Armería, Diciembre del 2006..... | 119 |
| Tabla C6. Río Marabasco, Diciembre del 2006..... | 120 |

Magnitudes de parámetros para cada río en el año 2006.

Tabla C1. Río Coahuayana, Julio del 2006.

| Parámetros | Unidades | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
|------------------------------------|----------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| Alcalinidad como CaCO ₃ | mg/L | 271.50 | 221.50 | 241.69 | 118.55 | 262 | 136.24 | 297.37 |
| Aldrin | mg/L | 0.00005 | 0.00005 | 0.00005 | 0.00005 | 0.00005 | 0.00005 | 0.00005 |
| Bario | mg/L | 0.098 | 0.1 | 0.089 | 0.99 | | 1.32 | 0.183 |
| BHC, Gamma-HCH (Lindano) | mg/L | 0.00005 | 0.00005 | 0.00005 | 0.00005 | 0.00005 | 0.00005 | 0.00005 |
| Cadmio | mg/L | 0.002 | 0.002 | 0.002 | 0.002 | | 0.002 | 0.002 |
| Clordano | mg/L | 0.00005 | 0.00005 | 0.00005 | 0.00005 | 0.00005 | 0.00005 | 0.00005 |
| Cloruros | mg/L | 23.86 | 24.92 | 119.84 | 164.39 | 16.43 | 15.9 | 17.49 |
| DBO ₅ | mg/L | 2.52 | 0.64 | 1.57 | 54.87 | 2.87 | 6.49 | 10.7 |
| 4,4'-DDD | mg/L | 0.00005 | 0.00005 | 0.00005 | 0.00005 | 0.00005 | 0.00005 | 0.00005 |
| 4,4'-DDE | mg/L | 0.00005 | 0.00005 | 0.00005 | 0.00005 | 0.00005 | 0.00005 | 0.00005 |

Tabla C1. Río Coahuayana, Julio del 2006 (continuación).

| Parámetros | Unidades | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
|-------------------------------------|----------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| 4,4'-DDT | mg/L | 0.00005 | 0.00005 | 0.00005 | 0.00005 | 0.00006 | 0.00005 | 0.00005 |
| Dieldrin | mg/L | 0.00005 | 0.00005 | 0.00005 | 0.00005 | 0.00005 | 0.00005 | 0.00005 |
| Dureza Total como CaCO ₃ | mg/L | 292.68 | 215.27 | 161.18 | 366.91 | 275.71 | 158 | 190.88 |
| Endosulfano (alfa y beta) | mg/L | 0.00005 | 0.00005 | 0.00005 | 0.00005 | 0.00005 | 0.00005 | 0.00005 |
| Endrin | mg/L | 0.00005 | 0.00005 | 0.00005 | 0.00005 | 0.00005 | 0.00005 | 0.00005 |
| Fosfatos PO ₄ | mg/L | 1.3 | 4.8 | 0.7 | 94.5 | 0.3 | 100 | 17 |
| Heptacloro y Epóxido de Heptacloro | mg/L | 0.00005 | 0.00005 | 0.00005 | 0.00005 | 0.00005 | 0.00005 | 0.00005 |
| Hexaclorobenceno | mg/L | 0.00005 | 0.00005 | 0.00005 | 0.00005 | 0.00005 | 0.00005 | 0.00005 |
| Metoxicloro | mg/L | 0.00005 | 0.00005 | 0.00005 | 0.00005 | 0.00005 | 0.00005 | 0.00005 |
| Nitratos NO ₃ | mg/L | 0.6 | 1.2 | 0.7 | 1.8 | 0.7 | 2.2 | 0.5 |

Tabla C1. Río Coahuayana, Julio del 2006 (continuación).

| Parámetros | Unidades | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
|------------------------|-----------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| Nitrógeno Amoniacal | mg/L | | | | 0.25 | 0.751 | 3.5 | 4.88 |
| Plomo | mg/L | 0.041 | 0.041 | 0.094 | 0.041 | | 0.321 | 0.055 |
| Sólidos Suspendidos | mg/L | 17 | 18 | 13 | 1965 | 21 | 1995 | 912.5 |
| Toxafeno | mg/L | 0.00005 | 0.00005 | 0.00005 | 0.00005 | 0.00005 | 0.00005 | 0.00005 |
| Zinc | mg/L | 0.037 | 0.149 | 0.157 | 0.106 | | 0.455 | 0.183 |
| Oxígeno Disuelto | mg/L | 3.86 | | 3.45 | 4.32 | | 4.04 | 4.34 |
| Coliformes Fecales | NMP/100ml | 15,000 | 900,000 | 800,000 | 800,000 | 800,000 | 800,000 | 17,000 |
| Coliformes Totales | NMP/100ml | 15,000 | 900,000 | 800,000 | 800,000 | 800,000 | 800,000 | 17,000 |
| Potencial Hidrógeno pH | | 7.72 | 7.84 | 8.71 | 7.15 | 8.05 | 7.35 | 8.08 |

Tabla C2. Río Armería, Julio del 2006.

| Parámetros | Unidades | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 25 | 28 |
|------------------------------------|----------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| Alcalinidad como CaCO ₃ | mg/L | 134.27 | 309.16 | 235.8 | 313.09 | 332.08 | 115.58 | 148.36 | 113.34 | 242.34 | 158.09 |
| Aldrin | mg/L | 0.00005 | 0.00005 | 0.00005 | 0.00005 | 0.00005 | 0.00005 | 0.00005 | 0.00005 | 0.00005 | 0.00005 |
| Bario | mg/L | 0.101 | 0.093 | 0.062 | 0.061 | 0.065 | | 0.296 | 0.011 | 0.047 | 0.03 |
| BHC, Gamma-HCH (Lindano) | mg/L | 0.00005 | 0.00005 | 0.00005 | 0.00005 | 0.00005 | 0.00005 | 0.00005 | 0.00005 | 0.00005 | 0.00005 |
| Cadmio | mg/L | 0.002 | 0.002 | 0.002 | 0.002 | 0.002 | | 0.002 | 0.002 | 0.002 | 0.0002 |
| Clordano | mg/L | 0.00005 | 0.00005 | 0.00005 | 0.00005 | 0.00005 | 0.00005 | 0.00005 | 0.00005 | 0.00005 | 0.00005 |
| Cloruros | mg/L | 14.58 | 39.77 | 25.45 | 63.1 | 72.12 | 35.48 | 30.45 | 7.29 | 21.14 | 25.42 |
| DBO ₅ | mg/L | 1.94 | 3.24 | 0.37 | 8.34 | 5.47 | 38.9 | 29.2 | 9.3 | 9.1 | 9.3 |
| 4,4'-DDD | mg/L | 0.00005 | 0.00005 | 0.00005 | 0.00005 | 0.00005 | 0.00005 | 0.00005 | 0.00005 | 0.00005 | 0.00005 |
| 4,4'-DDE | mg/L | 0.00005 | 0.00005 | 0.00005 | 0.00005 | 0.00005 | 0.00005 | 0.00005 | 0.00005 | 0.00005 | 0.00005 |

Tabla C2. Río Armería, Julio del 2006 (continuación).

| Parámetros | Unidades | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 25 | 28 |
|-------------------------------------|----------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| 4,4'-DDT | mg/L | 0.00005 | 0.00005 | 0.00005 | 0.00005 | 0.00005 | 0.00005 | 0.00005 | 0.00005 | 0.00005 | 0.00005 |
| Dieldrin | mg/L | 0.00005 | 0.00005 | 0.00005 | 0.00005 | 0.00005 | 0.00005 | 0.00005 | 0.00005 | 0.00005 | 0.00005 |
| Dureza Total como CaCO ₃ | mg/L | 428.41 | 382.82 | 256.62 | 361.61 | 324.49 | 300.9 | 275.7 | 164.36 | 174.96 | 162.24 |
| Endosulfano (alfa y beta) | mg/L | 0.00005 | 0.00005 | 0.00005 | 0.00005 | 0.00005 | 0.00005 | 0.00005 | 0.00005 | 0.00005 | 0.00005 |
| Endrin | mg/L | 0.00005 | 0.00005 | 0.00005 | 0.00005 | 0.00005 | 0.00005 | 0.00005 | 0.00005 | 0.00005 | 0.00005 |
| Fosfatos PO ₄ | mg/L | 1 | 1.35 | 0.7 | 5 | 4.65 | 4.32 | 3.1 | 0.8 | 0.4 | 2 |
| Heptacloro y Epóxido de Heptacloro | mg/L | 0.00005 | 0.00005 | 0.00005 | 0.00005 | 0.00005 | 0.00005 | 0.00005 | 0.00005 | 0.00005 | 0.00005 |
| Hexaclorobenceno | mg/L | 0.00005 | 0.00005 | 0.00005 | 0.00005 | 0.00005 | 0.00005 | 0.00005 | 0.00005 | 0.00005 | 0.00005 |
| Metoxicloro | mg/L | 0.00005 | 0.00005 | 0.00005 | 0.00005 | 0.00005 | 0.00005 | 0.00005 | 0.00005 | 0.00005 | 0.00005 |
| Nitratos NO ₃ | mg/L | 1 | 1.2 | 0.8 | 2.4 | 0.3 | 0.5 | 1.8 | 2 | 0.6 | 1.1 |

Tabla C2. Río Armería, Julio del 2006 (continuación).

| Parámetros | Unidades | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 25 | 28 |
|------------------------|-----------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| Nitrógeno Amoniacal | mg/L | 4.13 | 4.63 | 0.501 | 1 | 1.5 | 0.501 | 0.375 | 0.375 | 0.25 | 0.125 |
| Plomo | mg/L | 1.87 | 0.041 | 0.041 | 0.148 | 0.041 | | 0.041 | 0.041 | 0.612 | 0.009 |
| Sólidos Suspendidos | mg/L | 82 | 117 | 20 | 102 | 15 | 713 | 973 | 11 | 11 | 13 |
| Toxafeno | mg/L | 0.00005 | 0.00005 | 0.00005 | 0.00005 | 0.00005 | 0.00005 | 0.00005 | 0.00005 | 0.00005 | 0.00005 |
| Zinc | mg/L | 0.67 | 0.118 | 0.076 | 0.179 | 0.196 | | 0.242 | 0.162 | 0.156 | 0.02 |
| Oxígeno Disuelto | mg/L | 4.27 | 7.48 | 5.35 | 4.14 | 4.52 | 4.19 | | 4.63 | 4.14 | 4.58 |
| Coliformes Fecales | NMP/100ml | 900 | 900 | 14000 | 170000 | 100000 | 170000 | 1300000 | 340000 | 1100000 | 2200000 |
| Coliformes Totales | NMP/100ml | 900 | 900 | 14000 | 170000 | 100000 | 170000 | 1300000 | 340000 | 1100000 | 2200000 |
| Potencial Hidrógeno pH | | 8.11 | 8.26 | 7.84 | 7.48 | 7.96 | 7.62 | 7.23 | 7.54 | 7.16 | 7.28 |

Tabla C3. Río Marabasco, Julio del 2006.

| Parámetros | Unidades | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 |
|------------------------------------|----------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| Alcalinidad como CaCO ₃ | mg/L | 309.16 | 91.3 | 140.97 | 205.09 | 146.9 | 169.28 |
| Aldrin | mg/L | 0.00005 | 0.00005 | 0.00005 | 0.00005 | 0.00005 | 0.00005 |
| Bario | mg/L | 0.31 | 0.08 | 0.127 | 0.017 | 0.032 | 0.044 |
| BHC, Gamma-HCH (Lindano) | mg/L | 0.00005 | 0.00005 | 0.00005 | 0.00005 | 0.00005 | 0.00005 |
| Cadmio | mg/L | 0.002 | 0.002 | 0.002 | 0.002 | 0.002 | 0.002 |
| Clordano | mg/L | 0.00005 | 0.00005 | 0.00005 | 0.00005 | 0.00005 | 0.00005 |
| Cloruros | mg/L | 39.77 | 11.85 | 22.4 | 32.5 | 15 | 14.35 |
| DBO ₅ | mg/L | 3.24 | 22.71 | 19.47 | 11.89 | 1.29 | 8.06 |
| 4,4'-DDD | mg/L | 0.00005 | 0.00005 | 0.00005 | 0.00005 | 0.00005 | 0.00005 |
| 4,4'-DDE | mg/L | 0.00005 | 0.00005 | 0.00005 | 0.00005 | 0.00005 | 0.00005 |

Tabla C3. Río Marabasco, Julio del 2006 (continuación).

| Parámetros | Unidades | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 |
|-------------------------------------|----------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| 4,4'-DDT | mg/L | 0.00006 | 0.00005 | 0.00005 | 0.00005 | 0.00005 | 0.00005 |
| Dieldrin | mg/L | 0.00005 | 0.00005 | 0.00005 | 0.00005 | 0.00005 | 0.00005 |
| Dureza Total como CaCO ₃ | mg/L | 382.82 | 47.71 | 97.55 | 100.73 | 181.32 | 166.48 |
| Endosulfano (alfa y beta) | mg/L | 0.00005 | 0.00005 | 0.00005 | 0.00005 | 0.00005 | 0.00005 |
| Endrin | mg/L | 0.00005 | 0.00005 | 0.00005 | 0.00005 | 0.00005 | 0.00005 |
| Fosfatos PO ₄ | mg/L | 1.35 | 5.2 | 4.13 | 2.5 | 1.8 | 3.4 |
| Heptacloro y Epóxido de Heptacloro | mg/L | 0.00005 | 0.00005 | 0.00005 | 0.00005 | 0.00005 | 0.00005 |
| Hexaclorobenceno | mg/L | 0.00005 | 0.00005 | 0.00005 | 0.00005 | 0.00005 | 0.00005 |
| Metoxicloro | mg/L | 0.00005 | 0.00005 | 0.00005 | 0.00005 | 0.00005 | 0.00005 |
| Nitratos NO ₃ | mg/L | 1.2 | 0.9 | 0.8 | 1.2 | 1.2 | 1.5 |

Tabla C3. Río Marabasco, Julio del 2006 (continuación).

| Parámetros | Unidades | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 |
|------------------------|-----------|---------|----------|---------|---------|---------|---------|
| Nitrógeno Amoniacal | mg/L | 4.63 | 0.25 | 0.375 | 0.125 | 0.375 | 0.25 |
| Plomo | mg/L | 0.041 | 0.041 | 0.041 | 0.094 | 0.041 | 0.041 |
| Sólidos Suspendidos | mg/L | 117 | 1980 | 318 | 5 | 9 | 7 |
| Toxafeno | mg/L | 0.00005 | 0.00005 | 0.00005 | 0.00005 | 0.00005 | 0.00005 |
| Zinc | mg/L | 0.234 | 0.158 | 0.24 | 0.22 | 0.163 | 0.461 |
| Oxígeno Disuelto | mg/L | 7.48 | 4.27 | 3.5 | 4.25 | 4.35 | 4.28 |
| Coliformes Fecales | NMP/100ml | 900 | 14000000 | 2800000 | 540000 | 940000 | 340000 |
| Coliformes Totales | NMP/100ml | 900 | 14000000 | 2800000 | 540000 | 940000 | 340000 |
| Potencial Hidrógeno pH | | 8.26 | 7.8 | 7.67 | 6.32 | 6.62 | 6.76 |

Tabla C3. Río Marabasco, Julio del 2006 (continuación).

| Parámetros | Unidades | 22 | 23 | 24 | 26 | 27 | 29 |
|------------------------------------|----------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| Alcalinidad como CaCO ₃ | mg/L | 224.44 | 170.4 | 181.92 | 205.09 | 134.93 | 207.32 |
| Aldrin | mg/L | 0.00005 | 0.00005 | 0.00005 | 0.00005 | 0.00005 | 0.00005 |
| Bario | mg/L | 0.083 | 0.056 | 0.015 | 0.088 | 0.056 | 0.03 |
| BHC, Gamma-HCH (Lindano) | mg/L | 0.00005 | 0.00005 | 0.00005 | 0.00005 | 0.00005 | 0.00005 |
| Cadmio | mg/L | 0.004 | 0.002 | 0.002 | 0.002 | 0.002 | 0.002 |
| Clordano | mg/L | 0.00005 | 0.00005 | 0.00005 | 0.00005 | 0.00005 | 0.00005 |
| Cloruros | mg/L | 14.59 | 16.1 | 15.85 | 32.5 | 21.14 | 13.35 |
| DBO ₅ | mg/L | 8.87 | 9.3 | 9.08 | 11.89 | 14.71 | 5.84 |
| 4,4'-DDD | mg/L | 0.00005 | 0.00005 | 0.00005 | 0.00005 | 0.00005 | 0.00005 |
| 4,4'-DDE | mg/L | 0.00005 | 0.00005 | 0.00005 | 0.00005 | 0.00005 | 0.00005 |

Tabla C3. Río Marabasco, Julio del 2006 (continuación).

| Parámetros | Unidades | 22 | 23 | 24 | 26 | 27 | 29 |
|-------------------------------------|----------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| 4,4'-DDT | mg/L | 0.00005 | 0.00005 | 0.00005 | 0.00005 | 0.00005 | 0.00005 |
| Dieldrin | mg/L | 0.00005 | 0.00005 | 0.00005 | 0.00005 | 0.00005 | 0.00005 |
| Dureza Total como CaCO ₃ | mg/L | 172.84 | 309.63 | 198.29 | 100.73 | 164.36 | 201.47 |
| Endosulfano (alfa y beta) | mg/L | 0.00005 | 0.00005 | 0.00005 | 0.00005 | 0.00005 | 0.00005 |
| Endrin | mg/L | 0.00005 | 0.00005 | 0.00005 | 0.00005 | 0.00005 | 0.00005 |
| Fosfatos PO ₄ | mg/L | 4.3 | 4.8 | 0.7 | 2.5 | 1.3 | 1.6 |
| Heptacloro y Epóxido de Heptacloro | mg/L | 0.00005 | 0.00005 | 0.00005 | 0.00005 | 0.00005 | 0.00005 |
| Hexaclorobenceno | mg/L | 0.00005 | 0.00005 | 0.00005 | 0.00005 | 0.00005 | 0.00005 |
| Metoxicloro | mg/L | 0.00005 | 0.00005 | 0.00005 | 0.00005 | 0.00005 | 0.00005 |
| Nitratos NO ₃ | mg/L | 0.4 | 0.8 | 0.9 | 1.2 | 0.8 | 0.9 |

Tabla C3. Río Marabasco, Julio del 2006 (continuación).

| Parámetros | Unidades | 22 | 23 | 24 | 26 | 27 | 29 |
|------------------------|-----------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| Nitrógeno Amoniacal | mg/L | 0.501 | 0.25 | 0.375 | 0.125 | | 0.25 |
| Plomo | mg/L | 0.24 | 0.041 | 0.041 | 0.041 | 0.041 | 0.041 |
| Sólidos Suspendidos | mg/L | 19 | 6 | 13 | 5 | 8 | 9 |
| Toxafeno | mg/L | 0.00005 | 0.00005 | 0.00005 | 0.00005 | 0.00005 | 0.00005 |
| Zinc | mg/L | 0.262 | 0.077 | 0.037 | 0.118 | 0.063 | 0.037 |
| Oxígeno Disuelto | mg/L | 4.34 | 4.44 | 2.93 | 3.84 | 4.29 | 4.73 |
| Coliformes Fecales | NMP/100ml | 1400000 | 5400000 | 140000 | 110000 | 540000 | 1400000 |
| Coliformes Totales | NMP/100ml | 1400000 | 5400000 | 140000 | 110000 | 540000 | 1400000 |
| Potencial Hidrógeno pH | | 7.84 | 7.57 | 7.08 | 7.6 | 7.45 | 7.5 |

Tabla C4. Río Coahuayana, Diciembre del 2006.

| Parámetros | Unidades | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
|-------------------------------------|-----------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Alcalinidad como CaCO ₃ | mg/L | 220.86 | 185.64 | 243.71 | 239.40 | 193.31 | 215.21 | 203.33 |
| Bario | mg/L | 0.09 | 0.054 | 0.057 | 0.067 | 0.064 | 0.061 | 0.1 |
| Cadmio | mg/L | 0.002 | 0.002 | 0.002 | 0.002 | 0.002 | 0.002 | 0.002 |
| Cloruros | mg/L | 31.19 | 30.72 | 33.08 | 28.83 | 21.74 | 25.05 | 31.66 |
| DBO ₅ | mg/L | 2.8 | 1.29 | 2.81 | 3.67 | 1.48 | 1.2 | 2.37 |
| Dureza Total como CaCO ₃ | mg/L | 207.6 | 210.21 | 270.27 | 222.22 | 241.3 | 219.56 | 214.28 |
| Fosfatos PO ₄ | mg/L | 0.2 | 1.6 | 0.2 | 0.3 | 0.2 | 0.3 | 0.8 |
| Nitratos NO ₃ | mg/L | 1.5 | 1.2 | 1.6 | 1.6 | 2 | 1.9 | 2.4 |
| Nitrógeno Amoniacal | mg/L | 0.33 | 0.44 | 0.33 | 0.22 | 0.55 | 0.44 | 0.22 |
| Plomo | mg/L | 0.041 | 0.041 | 0.041 | 0.041 | 0.041 | 0.041 | 0.041 |
| Sólidos Suspendidos | mg/L | 23.3 | 34.6 | 5.3 | 10.6 | 13.33 | 11.11 | 12.6 |
| Zinc | mg/L | 0.044 | 0.042 | 0.041 | 0.055 | 0.037 | 0.037 | 0.037 |
| Oxígeno Disuelto | mg/L | 5.37 | 5.6 | 6.7 | 7.6 | | 6.67 | 6.31 |
| Coliformes Fecales | NMP/100ml | 5 | 35 | 24 | 8 | 92 | 160 | 92 |
| Coliformes Totales | NMP/100ml | 5 | 35 | 24 | 8 | 92 | 160 | 160 |
| Potencial Hidrógeno pH | | 7.59 | 7.95 | 7.95 | 7.96 | 7.920 | 8.48 | 8.03 |

Tabla C5. Río Armería, Diciembre del 2006.

| Parámetros | Unidades | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 25 | 28 |
|-------------------------------------|-----------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|-------|--------|
| Alcalinidad como CaCO ₃ | mg/L | 213.24 | 237.04 | 179.5 | 180.93 | 225.14 | 178.02 | 243.71 | 183.79 | 181.1 | 139.94 |
| Bario | mg/L | 0.097 | 0.083 | 0.075 | 0.028 | 0.071 | 0.024 | 0.022 | 0.036 | 0.025 | 0.088 |
| Cadmio | mg/L | 0.002 | 0.002 | 0.002 | 0.002 | 0.002 | 0.002 | 0.002 | 0.002 | 0.002 | 0.002 |
| Cloruros | mg/L | 52.46 | 30.25 | 31.19 | 25.99 | 75.62 | 30.25 | 43.95 | 8.98 | 13.23 | 25.99 |
| DBO ₅ | mg/L | 1.73 | 3.24 | 1.08 | 1.3 | 2.59 | 2.16 | 1.5 | 6.05 | 0.37 | 0.37 |
| Dureza Total como CaCO ₃ | mg/L | 262.26 | 262.93 | 189.05 | 264.13 | 373.91 | 290.29 | 399.82 | 191.3 | 217.3 | 160.16 |
| Fosfatos PO ₄ | mg/L | 0.2 | 0.2 | 0.2 | 0.6 | 3.6 | 0.8 | 1.2 | 0.2 | 0 | 0 |
| Nitratos NO ₃ | mg/L | 1.2 | 1.9 | 2.2 | 1.4 | 2.8 | 1.2 | 2.4 | 1.6 | 1.5 | 1.4 |
| Nitrógeno Amoniacal | mg/L | 0.33 | 0.44 | 0.33 | 0.22 | 0.44 | 0.33 | 0.33 | 0.22 | 0.44 | 0.22 |
| Plomo | mg/L | 0.041 | 0.041 | 0.041 | 0.041 | 0.041 | 0.041 | 0.041 | 0.041 | 0.041 | 0.041 |
| Sólidos Suspendidos | mg/L | 21.11 | 16.66 | 3.3 | 14.44 | 14.6 | 28.86 | 10.6 | 7.77 | 6.66 | 5.55 |
| Zinc | mg/L | 0.037 | 0.037 | 0.037 | 0.037 | 0.056 | 0.037 | 0.068 | 0.037 | 0.037 | 0.037 |
| Oxígeno Disuelto | mg/L | 5.8 | 7.04 | 6.3 | 7.46 | 4.83 | 6.97 | 6.15 | 6.4 | 6.51 | 5.31 |
| Coliformes Fecales | NMP/100ml | 10 | 14 | 160 | 92 | 24 | 92 | 160 | 14 | 160 | 92 |
| Coliformes Totales | NMP/100ml | 10 | 14 | 160 | 160 | 24 | 160 | 160 | 14 | 160 | 92 |
| Potencial Hidrógeno pH | | 7.8 | 7.81 | 7.55 | 8.58 | 7.44 | 7.53 | 7.98 | 7.65 | 7.38 | 7.12 |

Tabla C6. Río Marabasco, Diciembre del 2006.

| Parámetros | Unidades | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 |
|-------------------------------------|-----------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Alcalinidad como CaCO ₃ | mg/L | 194.26 | 182.84 | 182.06 | 188.73 | 183.73 | 158.03 |
| Bario | mg/L | 0.038 | 0.025 | 0.031 | 0.026 | 0.027 | 0.023 |
| Cadmio | mg/L | 0.002 | 0.002 | 0.002 | 0.002 | 0.002 | 0.002 |
| Cloruros | mg/L | 13.23 | 10.39 | 9.45 | 7.08 | 9.45 | 13.7 |
| DBO ₅ | mg/L | 0.6 | 1.1 | 2.89 | 3.67 | 0.43 | 0.86 |
| Dureza Total como CaCO ₃ | mg/L | 191.3 | 186.18 | 212.95 | 236.85 | 224.22 | 204.2 |
| Fosfatos PO ₄ | mg/L | 0.4 | 0.3 | 0.5 | 0.2 | 0.5 | 0 |
| Nitratos NO ₃ | mg/L | 0.8 | 1.6 | 1.4 | 1.4 | 1.8 | 1.7 |
| Nitrógeno Amoniacal | mg/L | 0.55 | 0.33 | 0.22 | 0.22 | 0.55 | 0.22 |
| Plomo | mg/L | 0.041 | 0.041 | 0.041 | 0.041 | 0.041 | 0.041 |
| Sólidos Suspendidos | mg/L | 7.77 | 6.66 | 10 | 6.66 | 5.55 | 3.33 |
| Zinc | mg/L | 0.047 | 0.071 | 0.037 | 0.037 | 0.037 | 0.037 |
| Oxígeno Disuelto | mg/L | 6.39 | 7.52 | 5.53 | 5.67 | 6.26 | 6 |
| Coliformes Fecales | NMP/100ml | 160 | 92 | 160 | 92 | 92 | 24 |
| Coliformes Totales | NMP/100ml | 160 | 92 | 160 | 92 | 92 | 24 |
| Potencial Hidrógeno pH | | 7.62 | 7.65 | 7.53 | 7.24 | 7.49 | 7.61 |

Tabla C6. Río Marabasco, Diciembre del 2006 (continuación).

| Parámetros | Unidades | 22 | 23 | 24 | 26 | 27 | 29 |
|-------------------------------------|-----------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Alcalinidad como CaCO ₃ | mg/L | 173.48 | 152.32 | 189.44 | 106.62 | 120.9 | 178.24 |
| Bario | mg/L | 0.063 | 0.105 | 0.046 | 0.037 | 0.092 | 0.009 |
| Cadmio | mg/L | 0.002 | 0.002 | 0.002 | 0.002 | 0.002 | 0.002 |
| Cloruros | mg/L | 6.61 | 10.87 | 14.17 | 15.59 | 19.85 | 15.59 |
| DBO ₅ | mg/L | 2.59 | 0.27 | 0.18 | 0.37 | 0.74 | 3.67 |
| Dureza Total como CaCO ₃ | mg/L | 195.57 | 218.22 | 216.22 | 253.25 | 184.18 | 197.74 |
| Fosfatos PO ₄ | mg/L | 1.2 | 0.4 | 0 | 7.3 | 0.4 | 0.3 |
| Nitratos NO ₃ | mg/L | 1.2 | 1.6 | 2.4 | 0.3 | 1 | 1.6 |
| Nitrógeno Amoniacal | mg/L | 0.33 | 0.33 | 0.22 | 0.44 | 0.44 | 0.55 |
| Plomo | mg/L | 0.041 | 0.041 | 0.041 | 0.041 | 0.041 | 0.041 |
| Sólidos Suspendidos | mg/L | 5.55 | 23.33 | 13.33 | 78.88 | 25.55 | 4.44 |
| Zinc | mg/L | 0.059 | 0.051 | 0.037 | 0.037 | 0.066 | 0.037 |
| Oxígeno Disuelto | mg/L | 5.68 | 6.09 | 4.7 | 5.49 | 6.38 | 6.16 |
| Coliformes Fecales | NMP/100ml | 92 | 54 | 8 | 160 | 160 | 160 |
| Coliformes Totales | NMP/100ml | 160 | 54 | 8 | 160 | 160 | 160 |
| Potencial Hidrógeno pH | | 7.67 | 8.23 | 7.12 | 7.55 | 6.68 | 7.67 |

APÉNDICE “D”

APÉNDICE “D”

Índices de Calidad del Agua Armonizados en el año 2006 por uso de agua.

| | |
|---|-----|
| Figura D1. ICAA para agua potable, julio del 2006..... | 123 |
| Figura D2. ICAA para agua potable, diciembre del 2006..... | 123 |
| Figura D3. ICAA para riego agrícola, julio del 2006..... | 124 |
| Figura D4. ICAA para riego agrícola, diciembre del 2006..... | 124 |
| Figura D5. ICAA para recreación con contacto primario, julio del 2006..... | 125 |
| Figura D6. ICAA para recreación con contacto primario, diciembre del 2006. | 125 |
| Figura D7. ICAA para la protección a la vida acuática, julio del 2006..... | 126 |
| Figura D8. ICAA para la protección a la vida acuática, diciembre del 2006. | 126 |

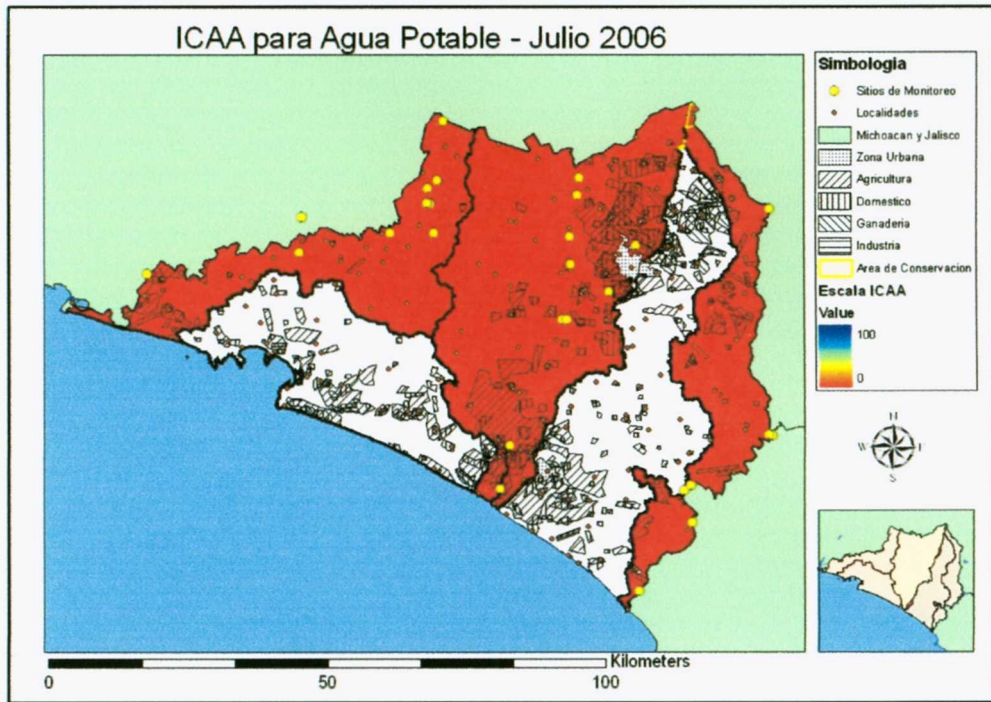


Figura D1: ICAA para agua potable, julio del 2006.

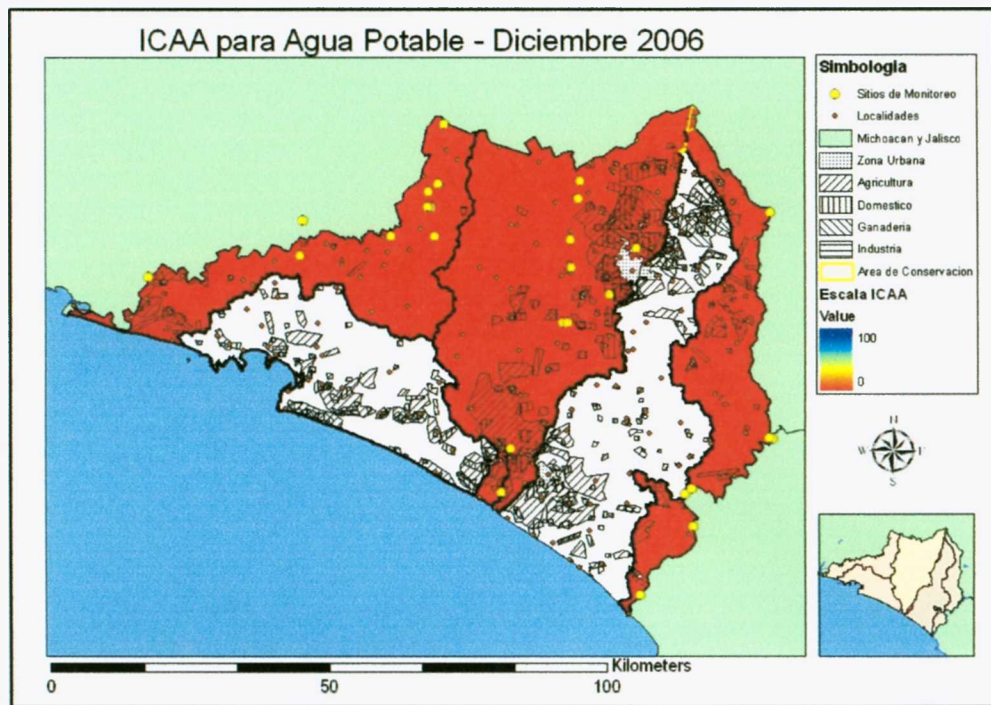


Figura D2: ICAA para agua potable, diciembre del 2006.

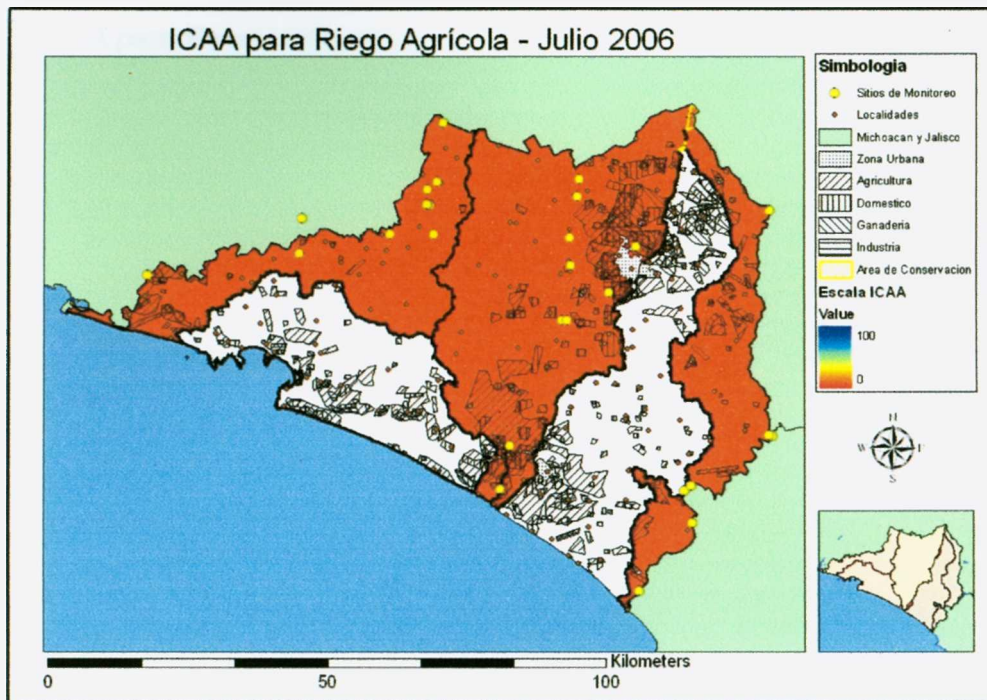


Figura D3: ICAA para riego agrícola, julio del 2006.

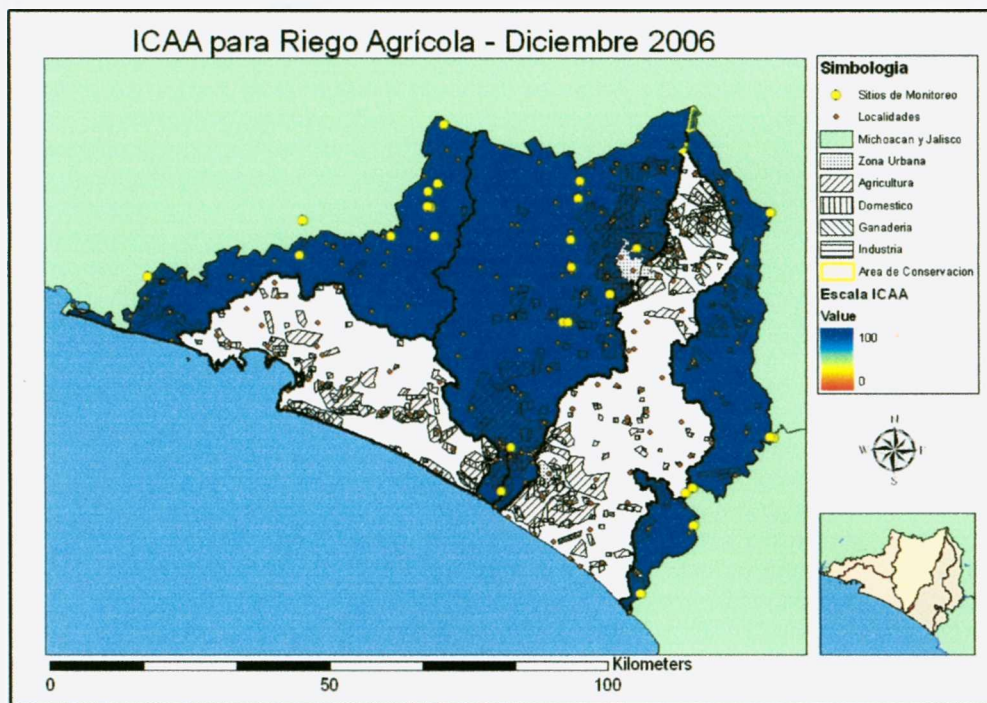


Figura D4: ICAA para riego agrícola, diciembre del 2006.

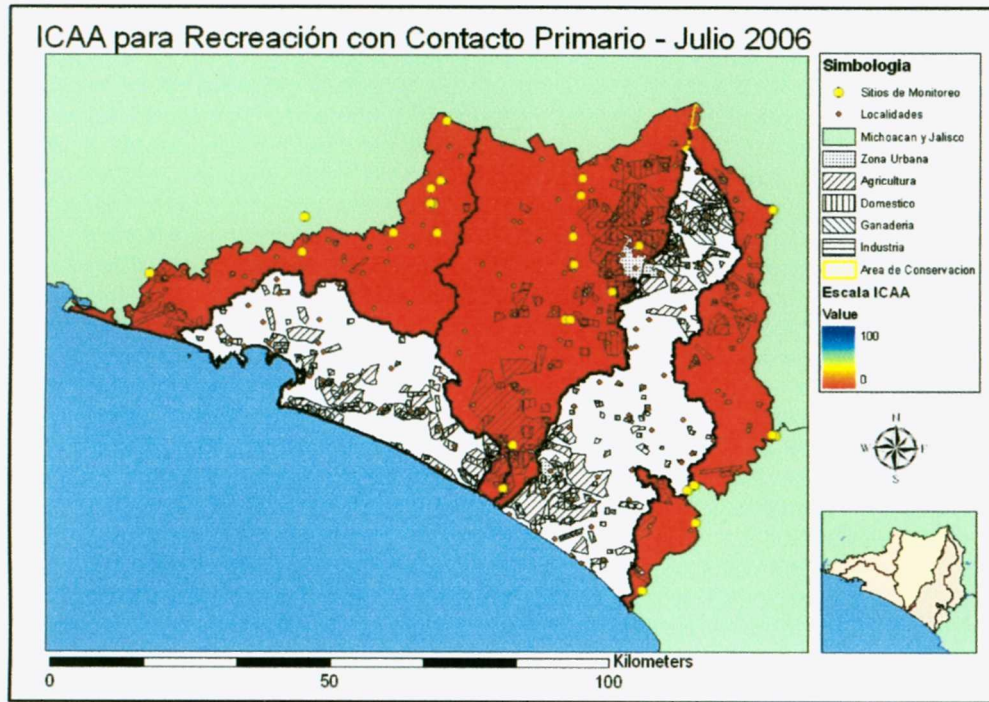


Figura D5: ICAA para recreación con contacto primario, julio del 2006.

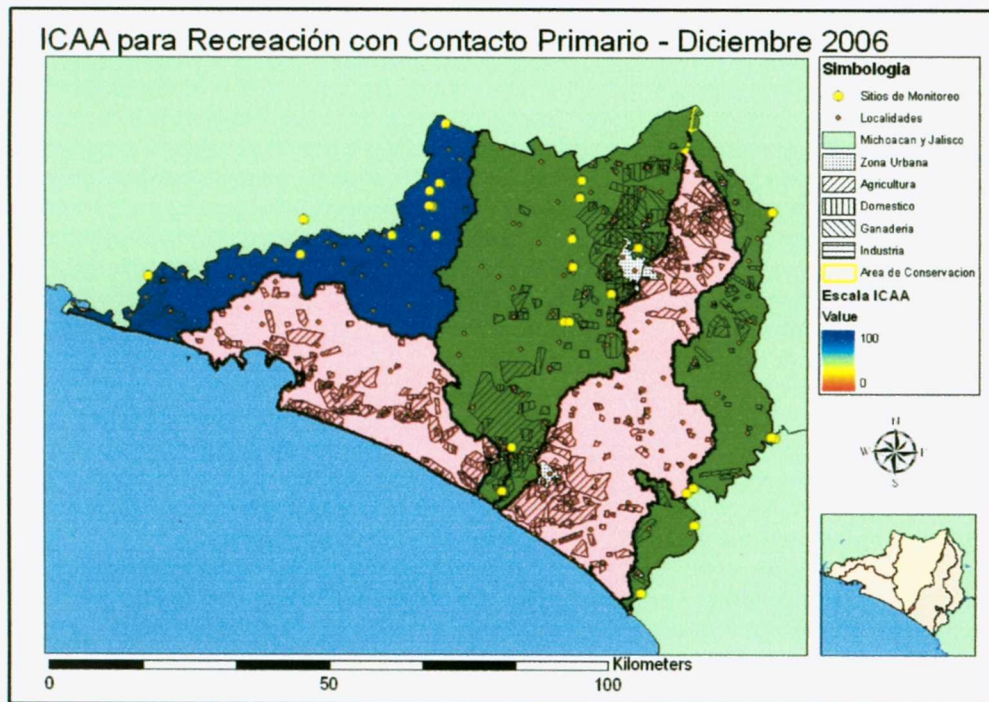


Figura D6: ICAA para recreación con contacto primario, diciembre del 2006.

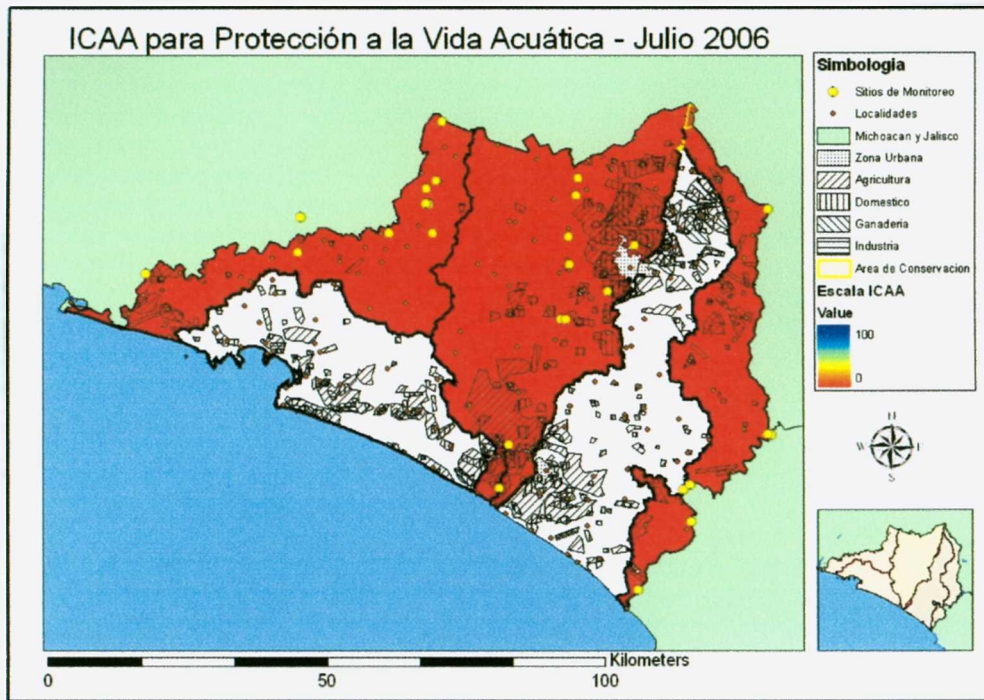


Figura D7: ICAA para la protección a la vida acuática, julio del 2006.

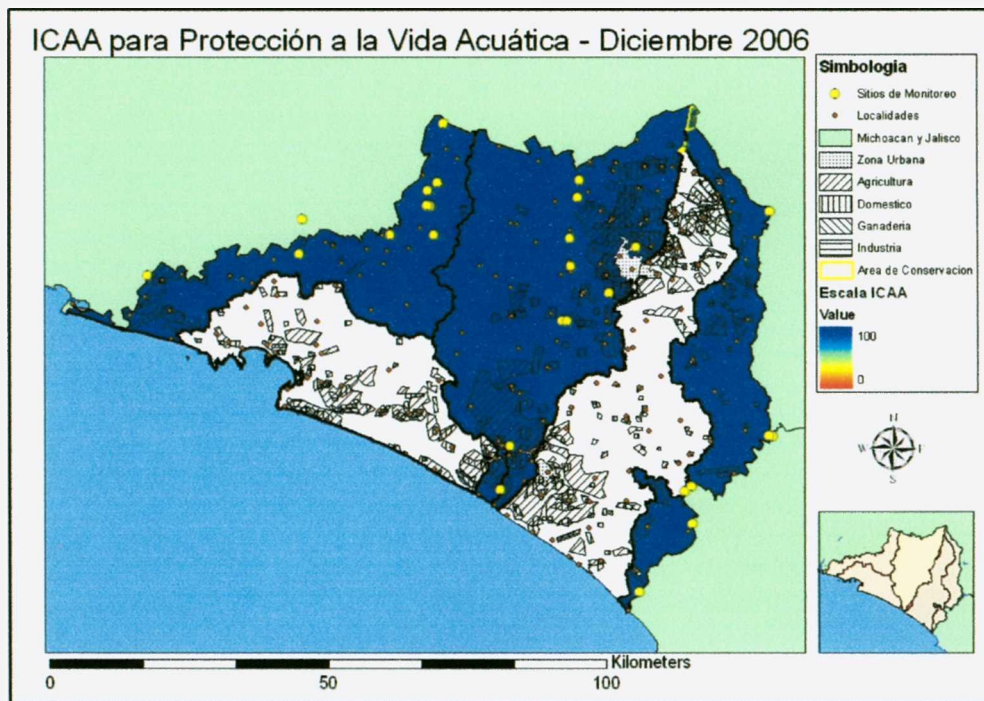


Figura D8: ICAA para la protección a la vida acuática, diciembre del 2006.

Tecológico de Monterrey, Campus Monterrey



30002007291271

<http://biblioteca.mty.itesm.mx>