

**UNIVERSIDAD DE SONORA**

**UNIDAD REGIONAL NORTE**

**DIVISION DE CIENCIAS E INGENIERÍA**

**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS QUÍMICO**

**BIOLÓGICAS Y AGROPECUARIAS**

**“Modelo para el índice de calidad del agua potable en  
la ciudad de H. Caborca Sonora”**

**TESIS PROFESIONAL**

Que para obtener el título de

**QUÍMICO BIÓLOGO**

Opción análisis clínicos

PRESENTA:

**CHRISTIAN ZEMANZKY FOX RUBIO**

H. Caborca, Sonora.

Septiembre del

2007

# Universidad de Sonora

Repositorio Institucional UNISON



**"El saber de mis hijos  
hará mi grandeza"**



Excepto si se señala otra cosa, la licencia del ítem se describe como openAccess

## APROBACIÓN

Los miembros del jurado designado para revisar la tesis profesional de **CHRISTIAN ZEMANZKY FOX RUBIO**, la han encontrado satisfactoria y recomiendan que sea aceptada como requisito parcial para obtener el título de Químico Biólogo opción de Análisis Clínicos.

---

M.I. Epifanio Fox Sánchez  
Director de tesis

---

Q.A. Axel Francisco Moraga Figueroa  
Secretario

---

M.C. Eligio Espinoza Ojeda  
Vocal

## DEDICATORIA

**A DIOS:** Le doy las gracias por haberme permitido llegar hasta la cúspide de mis estudios y prestarme vida y salud.

**A MI PADRE:** M.I. Epifanio Fox Sánchez, por ser más que mi padre un amigo más, por darme su tiempo cuando lo necesité, por enseñarme que todo lo que se quiere alcanzar se puede lograr luchando y esforzándome.

**A MI MADRE:** Elizabeth Rubio de Fox, por haberme dado la vida y llevarme por el camino correcto dándome sus consejos siempre que tengo problemas, para poder resolverlos.

**A MIS HERMANOS:** porque son mi equipo, cuento siempre con ustedes.

**A MI ESPOSA:** Brenda Karina, por ser mi compañera fiel en todo, y por darme ese hijo maravilloso que tenemos, te doy gracias por apoyarme y estar conmigo en las buenas y en las malas. Te quiero mucho.

**A MI HIJO:** Christian Brandon, por darme fuerza y alegría en toda mi vida, tu eres el que hace sentirme maravilloso. Te quiero mucho.

**AL ORGANISMO OPERADOR MUNICIPAL DE AGUA POTABLE, ALCANTARILLADO Y SANEAMIENTO DE H. CABORCA, SONORA:** por permitirme desarrollar esta investigación y por las facilidades brindadas

**A MIS MAESTROS:** por compartir conmigo sus conocimientos

**A LA UNIVERSIDAD DE SONORA UNIDAD REGIONAL NORTE CAMPUS CABORCA:** por haberme permitido elevar mi nivel de estudios para ser un hombre útil a la sociedad.

## INDICE

| <b>Página</b> |   |
|---------------|---|
|               | <b>LISTA DE TABLAS.....iv</b>   |
|               | <b>LISTA DE FIGURAS.....v</b>   |
|               | <b>RESUMEN.....vi</b>   |
|               | <b>OBJETIVOS.....vii</b>  |
|               | <b>Objetivo General.....vii</b>                                       |
|               | <b>Objetivos Específicos.....vii</b>                                  |
|               | <b>INTRODUCCIÓN.....1</b>   |
|               | <b>I.- ANTCEDENTES.....5</b>  |
|               | <b>1.1 Ciencia y Tecnología del medio ambiente.....5</b>              |
|               | <b>1.2 Composición, propiedades y origen de Aguas Naturales.....7</b> |
|               | <b>1.3 Disponibilidad del Agua.....10</b>                             |
|               | <b>1.4 Contaminación del Agua.....11</b>                              |
|               | <b>1.5 Calidad del Agua.....16</b>                                    |
|               | <b>1.6 Normas de Calidad.....17</b>                                   |
|               | <b>1.6.1 Normas de Calidad del Agua.....19</b>                        |
|               | <b>1.7 Modelo de Calidad del Agua.....19</b>                          |
|               | <b>1.7.1 Índices de Calidad de Agua.....20</b>                        |
|               | <b>1.7.2 Procesos de purificación de aguas.....21</b>                 |
|               | <b>1.9 Índices de calidad de agua.....26</b>                          |

|  |           |
|--|-----------|
| <b>II.- MATERIALES Y MÉTODOS.....</b>  | <b>28</b> |
| 2.1 Localización del área de estudio.....  | 28        |
| 2.2 Muestreo.....  | 31        |
| 2.3 Diagrama de flujo de la investigación.....   | 33        |
| 2.4 Análisis de la información.....  | 36        |
| 2.4.1 Selección de parámetros.....   | 36        |
| 2.4.2 Obtención de pesos de cada parámetro.....  | 45        |
| 2.4.3 Obtención de la ecuación de calidad de cada parámetro.....   | 46        |
| 2.5 Desarrollo y obtención del modelo ICA.....   | 51        |
| 2.5.1 Análisis con los parámetros inicialmente seleccionados.....  | 51        |
| 2.5.2 Análisis de sensibilidad.....  | 52        |
| 2.5.3 Modelo final.....  | 54        |
| <b>III.- DISCUSIÓN DE RESULTADOS Y VALIDACIÓN DE HIPÓTESIS.....</b>  | <b>60</b> |
| 3.1 Diagnóstico general.....   | 60        |
| 3.2 Validación de la hipótesis.....  | 62        |
| <b>IV.- CONCLUSIONES.....</b>  | <b>63</b> |
| <b>V.- ANEXOS.....</b>   | <b>64</b> |
| 1.-Parámetros que se deben considerar para uso y consumo humano del agua según la Norma Oficial Mexicana NOM-127-SSA1-1994, y límites permisibles de calidad.....    | 64        |
| 2.-Valores promedio mensuales de parámetros Laboratorio de Análisis Químico Microbiológicos de la Unidad Regional Norte Campus Caborca la Universidad de Sonora..... | 66        |

|   |           |
|---|-----------|
| <b>3.-Valores promedio de los parámetros proporcionados por el Laboratorio Analítica del Noroeste de Hermosillo Sonora.....</b>                 | <b>67</b> |
| <b>4.-Formato Cuestionario Estructurado aplicado a expertos en calidad del agua potable en la ciudad de H. Caborca, Sonora.....</b>             | <b>68</b> |
| <b>5.-Escala de calificación para uso en agua potable dada por la Dirección General de Ordenación y Protección Ecológica de la S.A.R.H.....</b> | <b>70</b> |
| <b>6.-Resultados de las encuestas aplicadas a expertos en calidad de agua potable de la Ciudad de H. Caborca, Sonora.....</b>                   | <b>71</b> |
| <b>7.-Restricción de parámetros para uso de agua potable y criterios de calidad.....</b>  | <b>72</b> |
| <b>8.-Ecuaciones usadas por Fox y Gortáez para determinar la calidad de cada parámetro.....</b>   | <b>73</b> |
| <b>9.-Cálculos iniciales del ICA con los 10 parámetros seleccionados (ICAFOX10), para los pozos No. 1, 2, 3, 4,5 y 6.....</b>                   | <b>74</b> |
| <b>10.-Porcentaje de afectación de cada parámetro al Índice de Calidad del Agua para los pozos No. 1, 2, 3, 4,5 y 6.....</b>                    | <b>77</b> |
| <b>11.-Cálculo del Índice de Calidad del Agua con seis parámetros (ICAFOX6), para los pozos No. 1, 2, 3, 4,5 y 6.....</b>                       | <b>80</b> |
| <b>IX.- BIBLIOGRAFÍA.....</b>   | <b>83</b> |

## LISTA DE FIGURAS

| Figura                                     | Página |
|--|--------|
| 1.- Molécula del agua.....                 | 8      |
| 2.- Ciclo del agua.....                    | 9      |
| 3.- Localización de H. Caborca Sonora..... | 28     |
| 4.- Localización de los pozos.....         | 30     |

## LISTA DE TABLAS

| Tabla                                      | Página |
|--|--------|
| 1. Dirección de los pozos muestreados..... | 29     |
| 2. Parámetros biológicos.....              | 36     |
| 3. Parámetros físicos-organolépticos.....  | 36     |
| 4. Parámetros químicos.....                | 37     |

## RESUMEN

La demanda de volúmenes de agua para consumo humano es cada vez mayor, ya que el crecimiento poblacional es exponencial, sus fuentes de abastecimiento se agotan y algunas de ellas presentan serias dificultades para su utilización, por su contaminación.

El Laboratorio de Análisis Químicos y Microbiológicos de la División de Ciencias e Ingenierías de la Unidad Regional Norte Campus Caborca de la Universidad de Sonora en coordinación con el Organismo Operador Municipal de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento de H. Caborca, Sonora, han realizado estudios para evaluar la calidad del agua potable en la ciudad, a través del análisis de ciertos parámetros indicadores de dicha calidad. Actualmente y con la finalidad de fortalecer la investigación en la División involucrando alumnos tesistas, se obtuvo un Modelo Matemático que indica el Índice de Calidad de Agua (ICA) para consumo humano característico de la ciudad de H. Caborca, Sonora.

El presente estudio de investigación a través de revisiones bibliográficas, opiniones de expertos en la región y haciendo uso de todos los parámetros monitoreados por el Laboratorio Analítica del Noroeste de Hermosillo, Sonora contratado por el Organismo Operador Municipal de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento de H. Caborca, Sonora así como los del Laboratorio de Análisis Químicos y Microbiológicos de la División de Ciencias e Ingenierías de la Unidad Regional Norte Campus Caborca de la Universidad de Sonora, propone un modelo con seis parámetros, con la finalidad de que dichas aguas estén caracterizadas en su calidad y así se disponga de ellas con una mayor seguridad.

Los resultados obtenidos de un modelo específico para esta ciudad que indican con mínimo costo de análisis y muestreo (reducción de un 60 % de parámetros requeridos) la calidad de dichas aguas potables y que norman criterios para su uso, dicen que la calidad del agua potable va desde un mínimo de 56.54 % para el pozo No. 6 hasta un máximo de 61.66 % para el pozo No. 2, lo cual indica que no hay mucha diferencia de calidad del agua potable en los seis pozos analizados, sin embargo si se compara con la escala de calificación para uso en agua potable dada por la Dirección General de Ordenación y Protección Ecológica de la S.A.R.H. (Fox y Gortáres 1995), se concluye que dichas aguas necesitan un mejor tratamiento sobre todo para reducir la dureza y controlar el pH dentro de la norma.

## **OBJETIVOS**

### **OBJETIVO GENERAL**

Formular un modelo ICA que defina la calidad del agua potable en los distintos pozos de abastecimiento en la ciudad de H. Caborca, Sonora.

### **OBJETIVOS ESPECIFICOS**

1.- Reducción de los costos de muestreo y análisis ya que el modelo obtenido utilizará una mínima cantidad de parámetros.

2.- Fijar lineamientos sobre que parámetros evaluar en la región que sean indispensables en la toma de decisiones al clasificar agua para consumo humano.

3.- Normar criterios que permitan un uso eficiente y seguro de las aguas potables.

4.- Lograr una vinculación real entre la División de Ciencias e Ingenierías de la Unidad Regional Norte campus Caborca de la Universidad de Sonora y el Organismo Operador Municipal de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento de H. Caborca, Sonora.

## INTRODUCCIÓN

El agua es un recurso natural que hasta hace pocos años fue considerado como renovable, pero actualmente los índices de contaminación que se generan por el mal uso y aprovechamiento de la misma, han hecho cambiar dicho criterio. (Fox y Gortáres, 1995). La contaminación del agua es la incorporación al agua de materias extrañas como microorganismos, productos químicos, residuos industriales y de otros tipos, o aguas residuales. Estas materias deterioran la calidad del agua y la hacen inútil para los usos pretendidos. (OMS, 1995).

La calidad del agua puede ser alterada como consecuencia de las actividades antropogénicas o naturales que produzcan efectos adversos que cambien su valor para el hombre. La contaminación del agua puede definirse como la alteración que sufre al incorporársele una serie de sustancias que cambian sus condiciones naturales de calidad, ocasionando grandes riesgos para la salud y el bienestar de la población. (OMS, 1995).

Los caracteres del agua que permiten designarla como de buena calidad, dependen directamente del uso al cual se destina, sean cuales sean sus demás cualidades, un agua caliente y corrosiva será de escasa utilidad para emplearse en la condensación de vapor; el agua turbia es inaceptable para la fabricación del papel y el agua excesivamente dura no puede usarse en lavanderías y plantas textiles. En cuanto a su consumo para el hombre, cualquiera que sea el grado de claridad o turbidez, también

para el hombre, cualquiera que sea el grado de claridad o turbidez, de dureza o suavidad, ningún agua que haya sido contaminada o expuesta a la contaminación por aguas cloacales o materias excrementicias, podrá considerarse de buena calidad. Estos son los caracteres principales que bastarían para rechazar el abastecimiento de agua para los fines mencionados. Cabe aclararse, que hay otras consideraciones que entran en juego para determinar la calidad del agua. Así en general se acepta que el agua proporcionada por los servicios públicos para uso doméstico e industrial, debe ser clara, agradable al gusto, de temperatura razonable, no corrosiva ni formadora de incrustaciones, exenta de sustancias minerales que producen efectos fisiológicos indeseables y de organismos que puedan producir infecciones intestinales (OMS, 1995).

El agua que se distribuye en ciudades o las comunidades es tratada extensivamente. Las medidas específicas de purificación del agua se toman para hacer que el agua alcance los estándares actuales de calidad requeridos.

Una vez caracterizadas las fuentes de abastecimiento de agua, los métodos de purificación a los que puede ser sometida pueden dividirse en la deposición de materia suspendida, tratamiento físico/químico de coloides y el tratamiento biológico.

En México, se cuenta con la norma Oficial Mexicana NOM-127-SSA1-1994, "Salud Ambiental, Agua para Uso y Consumo Humano límites Permisibles de Calidad y Tratamientos a que debe someterse el agua para su

potabilización”. Esta Norma, establece los límites permisibles de calidad y los tratamientos de potabilización del agua para uso y consumo humano, que deben cumplir los sistemas de abastecimiento públicos y privados o cualquier persona física o moral que la distribuya, en todo el territorio nacional (Olaiz, 1995).

El Índice de Calidad del Agua (ICA), como una forma de agrupación simplificada de algunos parámetros, indicadores de un deterioro en la calidad del agua, es una manera de evaluar dentro de un marco de referencia unificado la calidad de los cuerpos de agua. Sin embargo, para que dicho índice sea práctico, debe reducir la enorme cantidad de parámetros a su forma más simple, lo cual depende en gran parte al uso que se destinará el agua. Durante este proceso de simplificación algo de información se sacrifica, pero, por otro lado, si el diseño del ICA es adecuado, el valor obtenido puede ser representativo e indicativo del nivel de contaminación y sobre todo comparable con otros para enmarcar rangos y detectar tendencias. (Fox y Gortáres, 1995).

El criterio es calificar la calidad del agua según sus usos, lo que implica establecer una escala comparativa donde se asignan valores entre cero y cien. El primer valor corresponde a las máximas condiciones de contaminación, bajo las cuales, el agua resulta inadecuada para cualquier uso y los tratamientos para mejorarla son generalmente antieconómicos, el segundo valor corresponde a una calidad de agua excelente, que resulta adecuada para

cualquier uso. Los valores intermedios corresponden a condiciones acordes con el grado de contaminación (Fox y Gortares, 1995).

En la ciudad de H. Caborca, Sonora, sus aguas para uso en el consumo humano empiezan a presentar contaminación posiblemente debido a las constantes reparaciones en la red de distribución del agua potable, deficiencias en las tapas de las pilas de abastecimiento, a la utilización de los predios cercanos a algunos pozos para utilizarlos como depósito de basura, a que se ha detectado arsénico por encima de la norma en los pozos de la zona agrícola de Caborca (Espinoza, 2004). A que se tiene una dureza total y un pH muy cercano al límite máximo permitido y en ocasiones por fuera de la norma y a que el suelo es bastante permeable (OOMAPAS, 2006).

El Laboratorio de Análisis Químicos y Microbiológicos de la División de Ciencias e Ingenierías de la Unidad Regional Norte Campus Caborca de la Universidad de Sonora en coordinación con el Organismo Operador Municipal de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento de H. Caborca, Sonora, han realizado en los últimos años, estudios para evaluar la calidad del agua potable en sus pozos de abastecimiento, a través del análisis de ciertos parámetros indicadores de calidad. Por lo anteriormente expuesto, la presente investigación tuvo la finalidad de caracterizar el agua potable de dichos pozos a través de un Modelo Matemático que indique el Índice de Calidad de Agua (ICA) para consumo humano característico de la ciudad de H. Caborca, Sonora, para su uso seguro.

# I.- ANTECEDENTES

## 1.1 CIENCIA Y TECNOLOGÍA DEL MEDIO AMBIENTE

En sus orígenes, el hombre vivió en su medio ambiente como una especie más, sus relaciones con este medio eran de alimentación, protección y supervivencia, pero a medida que el ser humano evoluciona sus relaciones cambian ocasionando contradicciones que se pueden expresar en tres problemas: la utilización de recursos naturales, el paso de desechos y otros materiales de la sociedad humana al medio ambiente natural y la sobreposición de espacios entre las áreas naturales (Frías *et al* 2002).

La ciencia del medio ambiente se relaciona con los cambios químicos y físicos del ambiente debidos a la contaminación o su modificación; con la naturaleza física del aire, agua, suelo, alimentos y desechos, según se ven afectados por actividades industriales y sociales; y con la aplicación de la ciencia y tecnología al control y mejoramiento de la calidad del medio ambiente (Frías *et al* 2002)

La deterioración de la calidad del medio ambiente, que comenzó cuando el hombre se reunió por primera vez para formar aldeas e hizo uso del fuego, ha existido como un grave problema debido a los impactos siempre crecientes de la población, la que aumenta de manera exponencial y de la sociedad que se industrializa. La contaminación ambiental se ha convertido en una amenaza

para la existencia continuada de muchas comunidades vegetales y animales del ecosistema y puede amenazar la propia supervivencia de la raza humana (Freeman, 1987).

No hay duda que debemos de preservar para generaciones futuras alguna semejanza del orden biológico del mundo del pasado, y si esperamos mejorar los patrones de deterioración de la salud pública urbana, la ciencia y la tecnología del medio ambiente están obligadas a avanzar rápidamente para presentar un papel dominante en el diseño de nuestra estructura social e industrial del mañana. Se deben desarrollar criterios rigurosos de calidad del medio ambiente, estableciendo estándares realistas cuyo progreso tecnológico debe adaptarse a ellos para satisfacerlos (Freeman, 1987).

La civilización seguirá necesitando cantidades cada vez mayores de combustibles, transportes, productos químicos industriales, fertilizantes, pesticidas y un incontable número de productos, además producirá más desechos de toda clase. Lo que necesita con toda urgencia es un planteamiento global de todos los sistemas de civilización, mediante el cual, los talentos reunidos de científicos e ingenieros, en cooperación con los estudiosos de las ciencias sociales y la profesión médica, se puedan enfocar al desarrollo del orden y equilibrio de los segmentos dispares del medio ambiente de la humanidad. La mayor parte de las habilidades e instrumentos que se necesitan ya existen. Tenemos seguramente el derecho de esperar que una tecnología

que ha creado tantos múltiples problemas ambientales, sea así mismo capaz de resolverlos (Freeman, 1987).

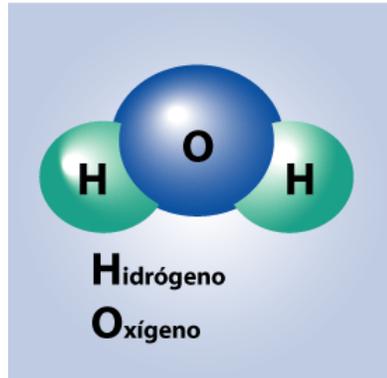
## **1.2 Composición, Propiedades y Origen de Aguas Naturales**

El agua es una de las sustancias más difundidas y abundantes en el planeta Tierra. Es parte integrante de la mayoría de los seres vivos, tanto animales como vegetales, y está presente en algunos minerales. Es un líquido incoloro, inodoro e insípido que está compuesto por dos átomos de hidrógeno y uno de oxígeno ( $H_2O$ ), ver figura número 1 (Gesche *et al*, 2003).

A la presión atmosférica normal (760 mm de mercurio), el punto de congelación del agua es a los 0 °C y su punto de ebullición, a los 100 °C. Alcanza su densidad máxima a una temperatura de 4 °C y se expande al congelarse. El agua es uno de los agentes ionizantes más conocidos

Puesto que todas las sustancias son de alguna manera solubles en agua, se le conoce frecuentemente como el disolvente universal. El agua se combina con ciertas sales para formar hidratos, reacciona con los óxidos de los metales formando ácidos y actúa como catalizador en muchas reacciones químicas importantes (Gesche *et al*, 2003).

**Figura 1.** Molécula del Agua



*fuentes* :<http://contaminacion-purificacion-agua.blogspot.com/>

En la naturaleza se encuentra agua conteniendo concentraciones variables de compuestos en solución, materiales en suspensión y organismos que viven en ella. El agua tiene propiedades que favorecen a la disolución de materiales del suelo y las rocas, por donde fluye y transporta partículas, además las sustancias disueltas pueden reaccionar entre si ocasionando cambios en las características del agua (Ayanegui y Sangines, 1999).

Todas las aguas naturales contienen en proporciones variables gases disueltos captados de la atmósfera o del medio ambiente, esencialmente oxígeno y anhídrido carbónico. Compuestos minerales cuya naturaleza y composición dependerán de la constitución geológica de las tierras atravesadas (en el caso de aguas superficiales y subterráneas). Los compuestos disueltos principalmente son carbonatos, bicarbonatos, sulfatos y cloruro de calcio, magnesio, sodio (Freeman, 1987).

Las aguas naturales forman parte de un ciclo continuo (ciclo hidrológico). La humedad que se evapora de los océanos y otras superficies de agua es precipitada a su vez en forma de lluvia, nieve y granizo. Parte de esta precipitación regresa a las superficies del agua y parte cae sobre la tierra. De esta última, una parte es empleada por la vegetación, algo se evapora, otra parte corre hacia los océanos por conducto de corrientes de agua y lagos, el resto penetra en la tierra. El almacenamiento de agua para suministro se realiza mediante la intercepción de corrientes de superficie o por la captación de agua que se ha infiltrado en la tierra ver figura numero 2 (Freeman,1987).

**Figura 2.** Ciclo del Agua



Fuente: science.nasa.gov

En base a lo anterior, las aguas naturales en el ciclo hidrológico pueden clasificarse de la siguiente manera:

1.-Lluvia, granizo y nieve.

2.-Agua de superficie:

- a) Corrientes de aguas (ríos, canales, océanos, etc.).
- b) Lagunas y lagos naturales
- c) Embalses

3.-Aguas subterráneas:

- a) Manantiales.
- b) Pozos poco profundos y galerías de infiltración.
- c) Pozos profundos.

### **1.3 Disponibilidad del Agua**

La cantidad total de agua en la tierra es aproximadamente 1,386 millones de kilómetros cúbicos. De esta cantidad solo el 2.7% es agua dulce (3704 millones de kilómetros cúbicos), cuya distribución es de la siguiente forma: 75% del hielo glacial, 24% de agua subterránea, 0.06% de humedad del suelo, 0.035% en la atmósfera, 0.03% en ríos (Fox y Gortáres, 1995)

Del total de agua sobre la tierra, solamente 400,000 kilómetros cúbicos participan en el ciclo hidrológico anualmente (83% agua marina y el resto continental), la que, al precipitarse, el 75% cae en el océano y el 25% en los continentes y a su vez se distribuye en 37,000 kilómetros cúbicos sobre la superficie y 63,000 como agua subterránea (Fox y Gortáres, 1995).

El agua superficial es la forma más accesible para el hombre y toda forma de vida. Así mismo es la fase del ciclo hidrológico más afectada por los accidentes geográficos. Esto provoca que existan zonas con precipitación pluvial de hasta 13,000 milímetros por año (sureste Asiático), mientras que en otras pueden presentarse sequías por varios años (Valle de la Muerte, Estados Unidos). En cuanto a nuestro país, solo posee aproximadamente el 0.1% del total de agua dulce del mundo (37,400 kilómetros cúbicos), lo que hace que nuestro territorio este catalogado como semi-desértico (Fox y Gortáres, 1995).

La precipitación de agua anual de la República Mexicana se estima en  $395 \times 10^3$  metros cúbicos, siendo la demanda de agua de los cuatro sectores más importantes en el país (urbano, industrial, agrícola y generación de energía), en el año de 1980 de  $210 \times 10^3$ .

Por otra parte, se puede decir que el problema es más grave aun para nuestra región, ya que la cantidad de agua disponible se distribuye de la siguiente manera: 68% en la región golfo-sureste, 14% en el pacifico-centro, 16% en el centro y solo el 2% en el norte (OOMAPAS, 2006).

#### **1.4 Contaminación del Agua**

Actualmente la humanidad enfrenta tres grandes crisis que son; la de energéticos, de alimentación y la del medio ambiente. Los contaminantes que llegan al agua pueden provocar alteraciones en las características químicas, físicas y biológicas de los cuerpos de aguas (ríos, lagos, océanos, etc.).

La contaminación del agua es un problema local, regional y mundial y está relacionado con la contaminación del aire y con el modo en que usamos el recurso de la tierra. La contaminación del agua es la incorporación al agua de materias extrañas como microorganismos, productos químicos, residuos industriales y de otros tipos, o aguas residuales. Estas materias deterioran la calidad del agua y la hacen inútil para los usos pretendidos (OMS, 1995)

La contaminación del agua puede definirse como la alteración que sufre al incorporársele una serie de sustancias que cambian sus condiciones naturales de calidad, ocasionando grandes riesgos para la salud y el bienestar de la población (OMS, 1995)

**Fuentes Antropogénicas.** Son atribuidas a las actividades humanas, quienes liberan una gran cantidad de sustancias contaminantes hacia el medio ambiente acuático, provocando un efecto inaceptable de su calidad o valor ambiental y por lo tanto en su utilidad.

**Fuentes Naturales.** Se puede citar la erosión acuática que consiste en desgastar lentamente la corteza terrestre, los componentes climáticos de evaporación, transpiración, precipitación y temperatura que afecta la calidad del agua debido a diferentes procesos de intemperismo.

Entre las principales fuentes de contaminación de este tipo que contribuyen significativamente a la alteración de la calidad del agua, se pueden mencionar las siguientes:

**Aguas residuales** y otros residuos que demandan oxígeno (en su mayor parte materia orgánica, cuya descomposición produce la desoxigenación del agua).

**Agentes Infecciosos.** Nutrientes vegetales que pueden estimular el crecimiento de las plantas acuáticas. Éstas, a su vez, interfieren con los usos a los que se destina el agua y, al descomponerse, agotan el oxígeno disuelto y producen olores desagradables.

Productos químicos, incluyendo los pesticidas, varios productos industriales, las sustancias tensioactivas contenidas en los detergentes, y los productos de la descomposición de otros compuestos orgánicos. Petróleo, especialmente el procedente de los vertidos accidentales (Castillo, 1997).

**Minerales Inorgánicos y Compuestos Químicos.** Sedimentos formados por partículas del suelo y minerales arrastrados por las tormentas y escorrentías desde las tierras de cultivo, los suelos sin protección, las explotaciones mineras, las carreteras y los derribos urbanos. Sustancias radiactivas procedentes de los residuos producidos por la minería y el refinado del uranio y el torio, las centrales nucleares y el uso industrial, médico y científico de materiales radiactivos (Castillo, 1997).

El calor también puede ser considerado un contaminante cuando el vertido del agua empleada para la refrigeración de las fábricas y las centrales energéticas hace subir la temperatura del agua de la que se abastecen (Castillo, 1997).

La contaminación del agua es, en este caso, la adición de materia extraña perjudicial que deteriora la calidad del agua, tanto para consumo humano y de animales como para la vida marina y el regadío de tierras.

**Actividades Agrícolas.** Pueden alterar en alto grado la composición de las aguas de escurrimiento, los desechos agrícolas pueden contener elevadas cantidades de materias orgánicas y metales pesados (Seclen, 2001).

**Actividades Domésticas.** Se encuentran las aguas que desechan los hogares, edificios públicos, establecimientos comerciales y algunas industrias que desaguan en los sistemas de alcantarillado municipales, esta agua se componen por desperdicios humanos, que contienen materia orgánica, nutrientes, sólidos suspendidos y sedimentos, gérmenes patógenos y aguas grises que son los procedentes de tarjas, duchas, lavadoras de ropa, limpiadores, detergentes, pinturas, pesticidas, además aguas provenientes del lavado de calles y otras fuentes similares(Castillo, 1997).

La Basura afecta el Agua de las siguientes formas:

**La basura vuelve no potable el agua.** En muchas ocasiones el agua de un río o un lago se filtra a los mantos freáticos de dónde mediante pozos es extraída para bebida de personas y animales o bien es transportada desde un cuerpo de agua hasta depósitos de purificación. Si el agua de dichos cuerpos ha sido contaminada mediante sustancias tóxicas como ácidos (sulfúrico, clorhídrico, nitratos), restos de solventes, pinturas, cultivos de bacterias y demás, derivadas de actividades industriales, agrícolas, ganaderos,

domésticas, o escolares dicha agua ya no es potable para los animales y el hombre (Arias *et al*, 2001).

**Los Desechos Industriales que Afectan al Agua.** Se calcula que en la República Mexicana se produce diariamente 450,000 toneladas diarias de desechos industriales, de las cuales 14,500 tienen características peligrosas, siendo generada por procesos de petroquímica y química.

Algunos ejemplos de residuos peligrosos producidos por la industria son aquellos que contienen: plomo, cadmio, mercurio, arsénico, cromo, benceno, fenol, plata, plaguicidas, (DDT, clordano, heptacloro, linano, etc.) y muchos otros más (Báez y Zincker, 1999).

**La basura deteriora al agua como hábitat a los seres vivos.** Así, las aguas de un cuerpo de agua contaminada con gran cantidad de materia orgánica como restos de alimentos humanos y de animales (Derivados de actividades domésticas, agrícolas y ganaderos) propician el desmedido crecimiento de algas. Estas, al morir generan podredumbre y generan proliferación de bacterias, las cuales consumen el oxígeno disponible en el agua. Peces y otros organismos acuáticos mueren al carecer de oxígeno suficiente (Encina *et al*, 2005).

De esta manera organismos acuáticos mueren envenenados cuando el agua en que viven se halla contaminada por sustancias tóxicas como ácidos, sales restos de solventes, pinturas, detergentes etc., éstos provenientes de actividades industriales, domésticas y escolares (Báez y Zincker, 1999).

## 1.5 Calidad del Agua

La calidad del agua depende de su origen e historia. Las aguas naturales muestran en general las cualidades más características de sus fuentes. Sin embargo, muchos factores producen variaciones en la calidad de las aguas obtenidas del mismo tipo de fuente. Estas variaciones provienen de la oportunidad que tiene el agua de absorber sustancias en forma de solución o tenerlas en suspensión. Las condiciones climatológicas, geográficas y geológicas son factores que influyen en la calidad del agua (Encina *et al*, 2005).

Los caracteres del agua que permiten designarla como de buena calidad, dependen directamente del uso al cual se destina el agua. Sean cuales sean sus demás cualidades, un agua caliente y corrosiva será de escasa utilidad para emplearse en la condensación de vapor; el agua turbia es inaceptable para la fabricación del papel y el agua excesivamente dura no puede usarse en lavanderías y plantas textiles. En cuanto a su consumo para el hombre, cualquiera que sea el grado de claridad o turbidez, de dureza, ningún agua que haya sido contaminada o expuesta a la contaminación por aguas cloacales o materias excrementicias, podrá considerarse de buena calidad. Estos son los caracteres principales que bastarían para rechazar el abastecimiento de agua para los fines mencionados. Cabe aclarar, que hay otras consideraciones que entran en juego para determinar la calidad del agua. Así en general se acepta que el agua proporcionada por los servicios públicos

para uso doméstico e industrial, debe ser clara, agradable al gusto, de temperatura razonable, no corrosiva ni formadora de incrustaciones, exenta de sustancias minerales que producen efectos fisiológicos indeseables y de organismos que puedan producir infecciones intestinales (Encina, 2005).

## **1.6 Normas de Calidad**

Existe hoy en día una creciente preocupación acerca del alcance de las reglamentaciones sobre los impactos de la contaminación del aire y el agua; en la salud, esparcimientos, la productividad; el riesgo de accidentes y enfermedades para los trabajadores debido a los peligros ocupacionales y así sucesivamente. Esta preocupación por dicho alcance, tiene que ser congruente con la relación existente entre los costos y los beneficios de dichas reglamentaciones (SEMARNAT, 2001).

La legislación en su mayor parte que autoriza reglamentar la calidad ambiental, la seguridad ocupacional y la salud, así como la seguridad de los productos, no ha recalado la relación del beneficio a costo como un criterio en la toma de decisiones reglamentarias (SEMARNAT, 2001).

El proceso por medio del cual los beneficios derivados de las mejoras ambientales se producen por políticas de control de contaminación consta de tres etapas:

1. La política de control de contaminación lleva a mejoras en la calidad del ambiente. Los reglamentos tales como los que fijan estándares de emisión o cargos por descarga de efluentes, si son efectivos, inducen a los

que contaminan a reducir sus descargas. Los cambios en el patrón temporal y espacial de las descargas causan a su vez cambios en los patrones temporales y espaciales de la calidad del aire y del agua.

2. Los cambios en la calidad del ambiente se reflejan en cambios en los tipos y niveles de usos que hacen los seres humanos del ambiente. Estos cambios pueden ser reflejados en otros cambios fisiológicos y físicos en los seres humanos y en otras especies vivientes, o en cosas carentes de vida, como, por ejemplo, los materiales y las estructuras. También pueden reflejarse en patrones alterados de la actividad humana, por ejemplo, el esparcimiento.
3. Los cambios que del uso del ambiente hacen los seres humanos, afectan el servicio o bienestar que se logra del ambiente. Estos cambios pueden en principio, ser medidos en equivalentes monetarios; esto es, la disposición de las personas a pagar por las mejoras.

La primera etapa es casi enteramente no económica en su naturaleza, porque implica una variedad de procesos y relaciones físicas, químicas y biológicas. La tercera etapa se haya completamente dentro del dominio de la economía, porque atañe a la teoría de la producción y la demanda y la teoría del valor económico. La segunda etapa es la interacción entre las etapas económicas y no económicas de la producción de beneficios. Es esencial la comprensión de esta etapa si se hacen estimados empíricos de beneficios (OMS, 1995).

Sin embargo, ésta parece ser la menos comprendida de las tres etapas, y es, quizás, la barrera real más difícil de vencer para llegar a una exitosa estimación de beneficios (SEMARNAT, 2001).

### **1.6.1 Norma de Calidad del Agua para Consumo Humano**

En México, se cuenta con la norma Norma Oficial Mexicana NOM-127-SSA1-1994, "Salud Ambiental, Agua para Uso y Consumo Humano-límites Permisibles de Calidad y Tratamientos a que debe someterse el agua para su potabilización". Esta Norma, establece los límites permisibles de calidad y los tratamientos de potabilización del agua para uso y consumo humano, que deben cumplir los sistemas de abastecimiento públicos y privados o cualquier persona física o moral que la distribuya, en todo el territorio nacional. Ver Anexo No. 1(Olaiz, 1995).

## **1.7 Modelo de Calidad del Agua**

Un modelo de calidad del agua consiste simplemente en expresiones matemáticas que definen lo físico, biológico y procesos químicos. (Fox y Gortares).

El fenómeno de auto purificación se refiere a la capacidad que tiene un cuerpo de agua (lago, pozo, entre otros), para eliminar y/o degradar los contaminantes o compuestos que le llegan. En otras palabras, es la capacidad que tiene todo cuerpo de agua para mantenerse en equilibrio físico, químico y biológico. (Fox y Gortáres, 1995)

### **1.7.1 Índices de Calidad de Agua**

El índice de calidad de agua (ICA), está estrechamente relacionado con la auto purificación, ya que trata de la contaminación que presentan las aguas, en base a un determinado criterio y/o nivel estándar permisible para cada uno de los componentes que pueden encontrarse en éstas (Fox y Gortares, 1995).

El criterio es calificar la calidad del agua según sus usos, lo que implica establecer una escala comparativa donde se asignan valores entre cero y cien (Fox y Gortares, 1995).

El primer valor corresponde a las máximas condiciones de contaminación, bajo las cuales, el agua resulta inadecuada para cualquier uso, y los tratamientos para mejorarla son generalmente antieconómicos,. El segundo valor corresponde a una calidad de agua excelente, que resulta adecuada para cualquier uso. Los valores intermedios corresponden a condiciones acordes con el grado de contaminación (Fox y Gortares, 1995).

Para uso en agua potable, los valores recomendados son: (Ver Anexo No. 5):

| <b>ÍNDICE DE CALIDAD (%)</b> | <b>EVALUACIÓN</b>              |
|------------------------------|--------------------------------|
| 0-----40                     | Inaceptable                    |
| 40-----50                    | Dudoso                         |
| 50-----80                    | Mayor necesidad de tratamiento |
| 80-----90                    | Ligera purificación            |
| 90-----100                   | No requiere purificación       |

### **1.7.2 Procesos de Purificación de Aguas.**

El agua que se distribuye en ciudades o las comunidades es tratada extensivamente. Las medidas específicas de purificación del agua se toman para hacer que el agua alcance los estándares actuales de calidad requeridos.

Una vez caracterizadas las fuentes de abastecimiento de agua, los métodos de purificación a los que puede ser sometida pueden dividirse en la deposición de materia suspendida, tratamiento físico/químico de coloides y el tratamiento biológico. Todos estos métodos de tratamiento tienen varias aplicaciones diferentes (Esser *et al*, 2003).

#### **a). - Purificación física del agua.**

La purificación física del agua se refiere sobre todo a técnicas de filtración. La filtración es un método de purificación para quitar los sólidos de los líquidos. Hay varios tipos de técnicas de filtración. Un filtro típico consiste en un tanque, los medios de filtro y un regulador para permitir la expulsión (Esser, *et al* 2003).

**a1).- Filtración de la arena.** La filtración de la arena es un método usado con frecuencia, muy robusto para quitar los sólidos suspendidos del agua. El medio de filtro consiste en una capa múltiple de arena con una variedad de tamaño y gravedad específica. Cuando el agua atraviesa el filtro, los sólidos suspendidos en el agua se retienen en la arena donde quedan como residuo y en el agua se reduce los sólidos suspendidos, ésta fluye del filtro. Cuando los filtros se cargan con las partículas se invierte la dirección de filtración, para regenerarlo. Los sólidos suspendidos más pequeños que tienen la capacidad de pasar a

través de un filtro de arena, a menudo se requiere la filtración secundaria (Esser *et al*, 2003).

**a2).- Filtración de flujo cruzado.** La filtración de membrana con flujo cruzado quita las sales y materia orgánica disuelta, usando una membrana permeable que impregne solamente los contaminantes. El concentrado permanece mientras que el flujo pasa adelante a través de la membrana (Esser *et al*, 2003).

La ósmosis inversa(OI), es la técnica disponible más fina de separación con membrana. La OI separa partículas muy finas u otras materias suspendidas, con un tamaño de hasta 0,001 micras, de un líquido. Es capaz de quitar iones de metal y eliminar completamente las sales en disolución (Esser *et al*, 2003).

**a3).- Filtración de cartucho.** Las unidades de filtración de cartucho consisten en fibras. Funcionan generalmente con más eficacia económica en los usos que tienen niveles de contaminación de menos de 100 ppm. Para usos donde la contaminación es más alta, los cartuchos se utilizan normalmente como filtro en las etapas finales (Esser *et al*, 2003).

**b).- Purificación con productos químicos.** La purificación química del agua se refiere a muchos y diversos métodos. Qué método aplicar depende de la clase de contaminación que hay en el agua.

A continuación, se resumen muchas de estas técnicas químicas de purificación (Richardson, 2003).

**b1). - Adición química.** Los agentes quelatos se agregan a menudo al agua, para prevenir los efectos negativos de la dureza, causados por la deposición

del calcio y del magnesio. Los agentes que oxidan se agregan al agua como biocida, o para neutralizar agentes de reducción. Los agentes de reducción se agregan para neutralizar agentes que oxidan, tales como ozono y cloro. También ayudan a prevenir la degradación de las membranas de purificación (Richardson, 2003).

**b2). - Clarificación.** La clarificación es un proceso de multi-pasos para quitar los sólidos suspendidos. Primero, se agregan los coagulantes. Los coagulantes reducen la carga de iones, de modo que acumulan las partículas en formas más grandes llamadas flóculos. Los flóculos se depositan por gravedad en tanques de filtración o se quitan mientras que el agua atraviesa un filtro de gravedad. Las partículas más grandes que 25 micras son quitadas con eficacia por la clarificación. Agua que es tratada con la clarificación puede contener algunos sólidos suspendidos y por lo tanto necesita un tratamiento adicional (Richardson, 2003).

**b3).- Desionizar y ablandar.** La desionización se procesa comúnmente con intercambio de ión. Los sistemas de intercambio de ión consisten en un tanque con bolas pequeñas de resina sintética, que son tratadas para absorber selectivamente ciertos cationes o aniones y para substituirlos por los iones contaminadores. El proceso de intercambio de ion dura, hasta que todos los espacios disponibles se llenan de los iones. El dispositivo del intercambiador de iones tiene que ser regenerado por productos químicos convenientes. Uno de los intercambiadores posiblemente más usado es un suavizador de

agua. Este dispositivo quita iones de calcio y de magnesio del agua dura, substituyéndolos por otros iones positivamente cargados (Richardson, 2003).

#### **b4).- Desinfección**

La desinfección es uno de los pasos más importantes de la purificación del agua de ciudades y de comunidades. Responde al propósito de matar a los actuales microorganismos indeseados en el agua; por lo tanto los desinfectantes se refieren a menudo como biocidas. Hay una gran variedad de técnicas disponibles para desinfectar los líquidos y superficies, por ejemplo: desinfección con ozono, desinfección con cloro y desinfección UltraVioleta (UV) (Richardson, 2003).

El cloro puede producir cloroaminas e hidrocarburos clorados que son agentes cancerígenos.

Para prevenir este problema el dióxido de cloro puede ser aplicado. El dióxido de cloro es un biocida eficaz a bajas concentraciones tales como 0,1 ppm y excelentes en una gama ancha de pH. El  $\text{ClO}_2$  penetra la pared de la célula de las bacterias y reacciona con aminoácidos vitales en el citoplasma de la célula para matar al organismo. El subproducto de esta reacción es clorito de sodio. Los estudios toxicológicos han demostrado que el subproducto de la desinfección del dióxido de cloro, clorito de sodio, no tiene ningún riesgo adverso significativo para la salud humana.

El ozono se ha utilizado para la desinfección del agua potable en la industria del agua municipal en Europa por cientos de años y es utilizado por

una gran cantidad de compañías tratadoras de agua, donde es común capacidades del generador del ozono de cientos kilogramos por hora. Cuando el ozono hace frente a olores, a bacterias o a virus, el átomo adicional del oxígeno se consume totalmente por la oxidación. Durante este proceso el átomo adicional del oxígeno se destruye y no hay olores, bacterias o radicales adicionales contaminantes. El ozono es no solamente un desinfectante eficaz, es también particularmente seguro de utilizar (Richardson, 2003).

La radiación-UV solar también se utiliza para la desinfección hoy en día. Cuando están expuestos a la luz del sol, mueren las bacterias y los hongos se evita la proliferación. Este proceso natural de la desinfección se puede utilizar con más eficacia aplicando la radiación UV de una manera controlada (Richardson, 2003).

**b5).- Ajuste del pH.** El agua municipal necesita frecuentemente ajuste de pH para prevenir la corrosión de las tuberías, y la disolución del plomo en los abastecimientos de agua. El pH es controlado a través de la adición del HCL, en caso de que un líquido sea básico, o del NaOH, en caso de un líquido ácido. El pH será convertido a aproximadamente 7 ó 7,5, después de la adición de ciertas concentraciones de estas sustancias (OOMAPAS, 2006).

**c).- Purificación biológica del agua.** La purificación de biológica del agua se realiza para bajar la carga de sólidos orgánicos disueltos. Los microorganismos, principalmente bacterias, hacen la descomposición de estos compuestos.

Hay dos categorías principales de tratamiento biológico: tratamiento aerobio y tratamiento anaerobio.

La demanda biológica de oxígeno (DBO) define la carga orgánica. En sistemas aerobios el agua se airea con aire comprimido (con oxígeno en algunos casos simplemente), mientras que los sistemas anaerobios funcionan bajo condiciones libres de oxígeno (Esser et al, 2003).

## **1.8 Índices de Calidad del Agua**

El índice de calidad de agua es un instrumento para identificar el deterioro o mejora en la calidad de agua, así como los índices de calidad de aire lo hacen con relación al aire. Existe una creciente necesidad por establecer un sistema coherente que, a partir de valores de ciertos parámetros, permita determinar el estado de calidad de un cuerpo de agua. Como respuesta a dicha necesidad, una gran variedad de ecuaciones matemáticas se ha desarrollado con el objeto de unificar criterios y a las que comúnmente se les ha dado el nombre de Índices de Calidad de Agua (ICA) (Fox y Gortáres, 1995).

Para la agrupación de los parámetros existen dos técnicas básicas: las denominadas aritméticas y las multiplicativas. Estas a su vez pueden o no ser ponderadas, es decir asignar o no pesos específicos a los parámetros. Los índices multiplicativos son mucho más sensibles que los aritméticos a la variación de los parámetros, por lo que reflejan con mayor precisión un cambio de calidad (Fox y Gortáres, 1995).

En cuanto a la ponderación, al asignar pesos específicos a los parámetros tiene el riesgo de introducir cierto grado de subjetividad en la evaluación, por lo 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, ya que no es lo mismo ingerir agua con pH de 9, que ingerirla con una concentración de más de 5,000 NMP/100ml de coliformes fecales (Arias *et al*, 1999).

En la ciudad de H. Caborca, Sonora se han hecho análisis de ciertos parámetros indicadores de la calidad de los pozos de abastecimiento del agua potable (OOMAPAS, 2006), llegando a establecer los siguientes quince parámetros como indicadores de su calidad: el color y la turbiedad dentro de los parámetros físicos organolépticos y dentro de los parámetros químicos a la dureza total, sólidos disueltos totales, cloro residual, sodio, cloruros, arsénico, sulfatos, nitratos, pH, fierro, fluoruros, nitrógeno amoniacal y zinc (Acosta *et al*, 1999).

## II.- MATERIALES Y MÉTODOS

### 2.1 LOCALIZACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

El municipio está ubicado en el noroeste del Estado de Sonora, su cabecera es la población de Caborca. Colinda con los siguientes municipios: al norte con Estados Unidos de Norteamérica, al sureste con Pitiquito, al este con Altar al noroeste con Puerto Peñasco y al suroeste con el Golfo de California.

Cuenta con una superficie de 10,721 kilómetros cuadrados y las principales localidades son: su cabecera municipal Caborca, Colonia Oeste, Josefa Ortiz de Domínguez, Plutarco Elías Calles y Juan Álvarez.

**Fig. No. 3.-** Localización de Caborca, Sonora



*Fuente:* [www.sagarpa.gob.mx](http://www.sagarpa.gob.mx)

La localización de los pozos, cuya agua fue analizada, con sus respectivas coordenadas geológicas, obtenidas usando el Sistema Global de Posicionamiento marca Etrex (GPS por sus siglas en inglés) son:

**Tabla 1.** Dirección de los pozos muestreados.

| POZO | DIRECCIÓN   | LATITUD   | LONGITUD   |
|------|---|-----------|------------|
| 1    | Ave Q y Calle Cerro Prieto<br>(Pozo Ventarrón OOMAPAS)      | 30° 43' N | 112° 10' W |
| 2    | Ave. K y Calle Primera<br>(Pozo 4 OOMAPAS)                  | 30° 43' N | 112° 09' W |
| 3    | Carr. Las Calabazas y Carr. Los Chirriones (Pozo 5 OOMAPAS) | 30° 44' N | 112° 06' W |
| 4    | Carr. Las Calabazas Km. 3<br>(Pozo 6 OOMAPAS)               | 30° 44' N | 112° 05' W |
| 5    | Carr. Caborca-Santa Ana Km. 90<br>(Pozo 7 OOMAPAS)          | 30° 02' N | 112° 00' W |
| 6    | Región de llano Blanco<br>(POZO 8 OOMAPAS)                  | 30° 01' N | 111° 58' W |

Existe un séptimo pozo ubicado en Avenida L entre primera y cerro prieto que no funciona constantemente, solamente entra en funcionamiento en verano, por lo cual no se considera en el estudio.

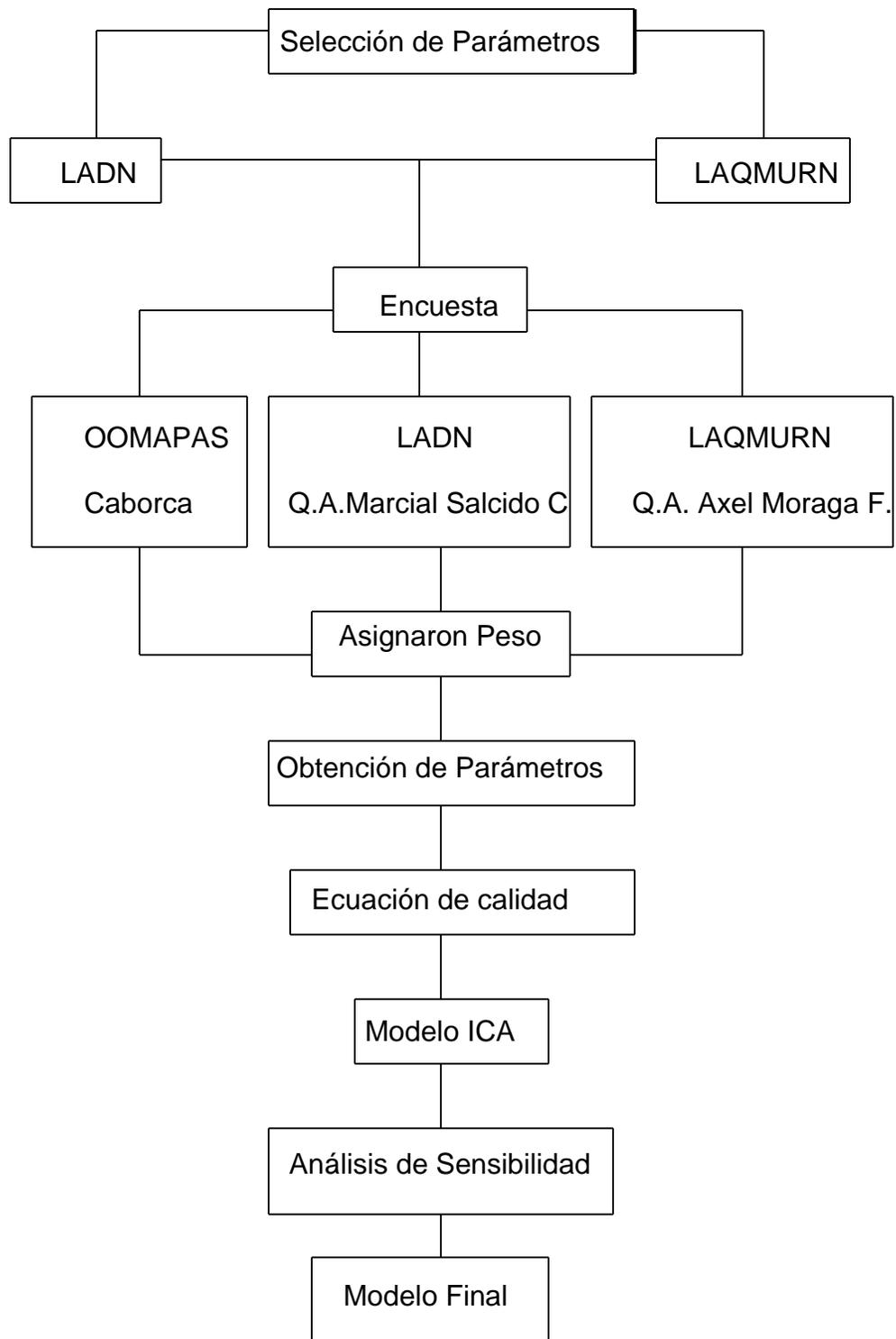
## 2.2 MUESTREO

El presente trabajo de investigación se hizo con datos promedios mensuales del año 2005, proporcionados por el LAQMURN (Responsable Q.A. Axel Francisco Moraga Figueroa) así como por el LADN de Hermosillo, Sonora (Responsable: Químico Marcial Córdova Salcido), datos debidamente registrados en OOMAPAS Caborca.

La toma de muestras reportada por el Químico responsable fue domiciliaria mediante el siguiente procedimiento:

1. Se limpió el orificio de salida con una torunda de algodón impregnada de solución de hipoclorito de sodio con una concentración de 100 ppm.
2. Se dejó correr el agua aproximadamente 3 minutos.
3. Cerca del orificio de salida, se quitó el tapón del frasco de plástico 100ml esteril de acuerdo a la NMX-AA-115-SCFI-2001.
4. El tapón se mantuvo hacia abajo para evitar contaminación y se procedió a tomar la muestra sin pérdida de tiempo y sin enjuagar el frasco; dejando un espacio libre requerido para la agitación de la muestra previa al análisis (aproximadamente 10% de volumen del frasco). Efectuada la toma de muestra, se colocó el tapón al frasco.

## 2.3 DIAGRAMA DE FLUJO DE LA INVESTIGACIÓN



1.- Parámetros: Fueron proporcionados por el Laboratorio de Análisis Químico Microbiológicos de la Unidad Regional Norte Campus Caborca de la Universidad de Sonora (Responsable Q.A. Axel Francisco Moraga Figueroa) así como por el Laboratorio Analítica del Noroeste S.A. de C.V. de Hermosillo, Sonora (Responsable: Químico Marcial Córdova Salcido). Los datos fueron la media aritmética de los parámetros en los distintos meses de febrero a mayo del año 2005 y en los distintos pozos de abastecimiento.

2.- Cantidad de parámetros a considerar y pesos asignados a cada uno de ellos

a). -Se consideraron los parámetros para uso y consumo humano del agua según la Norma Oficial Mexicana NOM-127-SSA1-1994 y sus límites permisibles de calidad. (Ver Anexo No. 1)

b). -Se descartaron los parámetros no reportados por el Laboratorio de Análisis Químico Microbiológicos de la Unidad Regional Norte Campus Caborca de la Universidad de Sonora y el Laboratorio Analítica del Noroeste S.A. de C.V. de Hermosillo, Sonora, ya que la calidad es característica de cada región. (Ver Anexos No. 2 y No. 3)

c). - Con estos parámetros se realizó una encuesta con el personal calificado en calidad de agua potable en H. Caborca, Sonora, entre los que podemos mencionar a los responsables de los Laboratorios que proporcionaron los datos y a personal experto de OOMAPAS Caborca. (Ver anexo No. 4). Se descartaron los que no tienen peso asignado por no considerarlos de

importancia en base a las características que presenta el agua potable de esta ciudad.

d).- A los parámetros que si se les asignó peso, se sumaron dando un 100 %, por lo que el peso asignado en tanto por uno para cada parámetro, fue el peso asignado entre 100, ya que a los que no debían considerarse se les asignó 0 %.(Ver Anexo No. 6)

3.- Se obtuvo la ecuación de calidad de cada parámetro, haciendo uso de la restricción de parámetros para uso de agua potable y criterios de calidad (Ver Anexo No. 7) y de las ecuaciones utilizadas por Fox y Gortares (1995). (Ver Anexo No. 8)

4.- Se hizo el Cálculo del ICA con los parámetros inicialmente seleccionados al cual se le llamó ICAFOX10 para cada pozo de abastecimiento. (Ver Anexo No. 9). Se utilizó la siguiente ecuación usada por Fox y Gortáres (1995):

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

donde:

ICA, es el índice de calidad del agua y es un número entre 0 y 100

Qi, es la calidad de cada parámetro i y es un número entre 0 y 100.

Wi, es el peso de cada parámetro i y es un número entre 0 y 1. Este peso que es asignado por los expertos debe cumplir que su sumatoria para todos los parámetros i debe ser igual a la unidad.

$\prod$ , representa la operación multiplicativa de las variables  $Q_i$  elevadas a la  $W_i$ .  
 $N$ , es la cantidad de parámetros seleccionados.

5.- Para obtener el modelo con mínima cantidad de parámetros, se hizo un análisis de sensibilidad, incrementando la cantidad de cada uno de los parámetros inicialmente seleccionados en un 50 %, manteniendo los demás constantes en cada cálculo, para todos los pozos de abastecimiento, obteniéndose el  $\Delta ICA$  por la diferencia del ICA sin incremento (ICASIN) con cada ICA con incremento (IACON), sumándose y sacando el % de afectación dividiendo cada  $\Delta ICA$  entre la suma y multiplicando por cien. (Ver Anexo No. 10).

6.- Modelo Final. Los parámetros que tuvieron menor efecto se eliminaron y se volvieron hacer los cálculos para los parámetros que afectaron más, llamándosele ICAFOX6. (Ver Anexo No. 11). Se obtuvieron las diferencias con respecto a los obtenidos con ICAFOX10, haciendo un ajuste a un polinomio en forma matricial  $P(X)$ , el cual se resolvió por el método de eliminación de Gauss-Jordán, siendo el modelo final

$$ICAFOX = \prod_{i=1}^n Q_i^{W_i} + P(X), \text{ donde } i \text{ es cada uno de los } n \text{ parámetros finales}$$

## 2.4 ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN

### 2.4.1 SELECCIÓN DE PARÁMETROS

Los parámetros que se deben considerar para uso y consumo humano del agua según la Norma Oficial Mexicana NOM-127-SSA1-1994 y sus límites permisibles de calidad, son los siguientes (Ver Anexo No. 1):

**Tabla 2.** Parámetros Biológicos

| CARACTERÍSTICA                | LÍMITE PERMISIBLE                           |
|-------------------------------|---|
| Organismos coliformes totales | 2 NMP/100 ml<br>2 UFC/100 ml                |
| Organismos coliformes fecales | No detectable NMP/100 ml<br>Cero UFC/100 ml |

**Tabla 3.** Parámetros Físicos-organolépticos

| CARACTERÍSTICA | LÍMITE PERMISIBLE  |
|----------------|--|
| Color          | 20 unidades de color verdadero en la escala de platino-cobalto.  |
| Olor y sabor   | Agradable (se aceptarán aquellos que sean tolerables para la mayoría de los consumidores, siempre que no sean resultados de condiciones objetables desde el punto de vista biológico o químico). |
| Turbiedad      | 5 unidades de turbiedad nefelométricas (UTN) o su equivalente en otro método.  |

**Tabla 4. Parámetros Químicos**

| CARACTERISTICA  | LIMITE PERMISIBLE |
|---|-------------------|
| Aluminio(mg/L)  | 0.20              |
| Arsénico(mg/L)  | 0.05              |
| Bario(mg/L)   | 0.70              |
| Cadmio(mg/L)  | 0.005             |
| Cianuros (como CN')(mg/L)                                       | 0.07              |
| Cloro residual libre(mg/L)                                      | 0.2-1.50          |
| Cloruros (como Cl')(mg/L)                                       | 250.00            |
| Cobre(mg/L)   | 2.00              |
| Cromo total(mg/L)   | 0.05              |
| Dureza total (como CaCO <sub>3</sub> ) (mg/L)                   | 500.00            |
| Fenoles o compuestos fenólicos(mg/L)                            | 0.001             |
| Fierro(mg/L)  | 0.30              |
| Fluoruros (como F')(mg/L)                                       | 1.50              |
| Manganeso(mg/L)   | 0.15              |
| Mercurio(mg/L)  | 0.001             |
| Nitratos (como N)(mg/L)   | 10.00             |
| Nitritos (como N) (mg/L)  | 0.05              |
| Nitrógeno amoniacal (como N) (mg/L)                             | 0.50              |
| pH (potencial de hidrógeno) en unidades de pH                   | 6.5-8.5           |
| Plaguicidas en µg/L: Aldrín y dieldrín (separados o combinados) | 0.03              |
| Clordano (total de isómeros) (mg/L)                             | 0.30              |
| DDT (total de isómeros) (mg/L)                                  | 1.00              |
| Gamma-HCH (lindano) (mg/L)                                      | 2.00              |
| Hexaclorobenceno(mg/L)  | 0.01              |
| Heptacloro y epóxido de heptacloro(mg/L)                        | 0.03              |
| Metoxicloro(mg/L)   | 20.00             |
| 2,4 – D(mg/L)   | 50.00             |
| Plomo(mg/L)   | 0.025             |
| Sodio(mg/L)   | 200.00            |
| Sólidos disueltos totales(mg/L)                                 | 1000.00           |
| Sulfatos (como SO <sub>4</sub> ')(mg/L)                         | 400.00            |
| Sustancias activas al azul de metileno (SAAM) (mg/L)            | 0.50              |
| Trihalometanos totales (mg/L)                                   | 0.20              |
| Zinc(mg/L)  | 5.00              |

De estos parámetros, los no detectados (N.D.) por el Laboratorio de Análisis Químico Microbiológicos de la Unidad Regional Norte Campus Caborca de la Universidad de Sonora (Responsable Q.A. Axel Francisco Moraga Figueroa) y el Laboratorio Analítica del Noroeste S.A. de C.V. de Hermosillo, Sonora (Responsable: Químico Marcial Córdova Salcido), son los siguientes: (Ver Anexos No. 2 y No. 3)

Coliformes totales, coliformes fecales, nitritos, aluminio, cobre, cromo total, cádmio, cianuro total, manganeso, mercurio, bario y plomo. Tanto el Laboratorio de Análisis Químico Microbiológicos de la Unidad Regional Norte Campus Caborca de la Universidad de Sonora, como el Laboratorio Analítica del Noroeste S.A. de C.V. de Hermosillo, Sonora, no reportan los siguientes parámetros: (ver Anexos No. 2 y No. 3).

Olor y sabor, fenoles, aldrín, dieldrín, clordano, DDT, lindano, hexaclorobenceno, heptacloro y epóxido de heptacloro, metoxicloro, 2,4-D, sustancias activas al azul de metileno (SAAM) y trihalometanos totales.

Los parámetros no reportados no afectan la calidad del agua en esta ciudad, ya que la calidad es característica de cada región, por lo cual no se considerarán para los cálculos del ICA. Por lo anterior los parámetros exigidos por la Norma Oficial Mexicana NOM-127-SSA1-1994 (Ver Anexo No. 1) y reportados por los Laboratorios mencionados (Ver Anexos No. 1 y No. 2) que si se consideran hasta ahora son:

| <b>Parámetro exigidos</b> | <b>Límite permisible(NOM-127-SSA1-1994)</b>                         |
|---------------------------|---|
| PH                        | 6.5-8.5 unidades de pH  |
| Color                     | 20 unidades de color verdadero en la escala de platino-cobalto(UPC) |
| Turbiedad (UTN)           | 5 unidades de turbiedad nefelométricas                              |
| Arsénico                  | 0.05 mg/L   |
| Cloro Residual            | 0.2-1.50 mg/L   |
| Cloruros                  | 250 mg/L  |
| Dureza Total              | 500 mg/L  |
| Fierro                    | 0.30 mg/L   |
| Fluoruros                 | 1.50 mg/L   |
| Nitratos                  | 10 mg/L   |
| Nitrógeno Amoniacal       | 0.50 mg/L   |
| Sodio                     | 200 mg/L  |
| Sólidos Disueltos Totales | 1000 mg/L   |
| Sulfatos                  | 400 mg/L  |
| Zinc                      | 5 mg/L  |

| <b>Parámetro reportados</b> | <b>Laboratorio</b> |
|-----------------------------|--------------------|
| pH                          | LADN, LAQMURN      |
| Color                       | LADN               |
| Turbiedad                   | LADN               |
| Arsénico                    | LADN               |
| Cloro Residual              | LAQMURN            |
| Cloruros                    | LADN, LAQMURN      |
| Dureza Total                | LADN, LAQMURN      |
| Fierro                      | LADN               |
| Fluoruros                   | LADN               |
| Nitratos                    | LADN               |
| Nitrógeno Amoniacal         | LADN               |
| Sodio                       | LADN               |
| Sólidos Disueltos Totales   | LADN, LAQMURN      |
| Sulfatos                    | LADN               |
| Zinc                        | LADN               |

LADN= Laboratorio Analítica del Noroeste

LAQMURN= Laboratorio de Análisis Químico y Microbiológicos de la Unidad Regional Norte. Este Laboratorio reporta además la Conductividad Eléctrica pero como no la exige la Norma no se considera para los cálculos

Por lo tanto los parámetros hasta ahora seleccionados son:

**PARÁMETROS FÍSICOS-ORGANOLÉPTICOS:** Color y Turbiedad

**PARÁMETROS QUÍMICOS:** pH, Arsénico, Cloro Residual, Cloruros, Dureza Total, Hierro, Fluoruros, Nitratos, Nitrógeno Amoniacal, Sodio, Sólidos Disueltos Totales, Sulfatos y Zinc

La descripción, simbología y unidades a usar para cada parámetro, son las siguientes:

| <b>DESCRIPCIÓN</b>  | <b>SIMBOLOGÍA</b>     | <b>UNIDADES</b>   |
|---------------------|-----------------------|---|
| Color               | <b>C</b>              | Unidades de color verdadero en la escala de Platino-Cobalto ( UPC ) |
| Turbiedad           | <b>T</b>              | Unidades de Turbiedad Nefelométricas (UTN)                          |
| Potencial Hidrógeno | <b>pH</b>             | Adimensional  |
| Arsénico            | <b>As</b>             | (mg/L)  |
| Cloro Residual      | <b>CIR</b>            | (mg/L)  |
| Cloruros            | <b>Cl</b>             | (mg/L)  |
| Dureza Total        | <b>DT</b>             | (mg/L)  |
| Hierro              | <b>Fe</b>             | (mg/L)  |
| Fluoruros           | <b>F</b>              | (mg/L)  |
| Nitratos            | <b>NO<sub>3</sub></b> | (mg/L)  |
| Nitrógeno Amoniacal | <b>NAM</b>            | (mg/L)  |

|                           |                       |        |
|---------------------------|-----------------------|--------|
| Sodio                     | <b>Na</b>             | (mg/L) |
| Sólidos Disueltos Totales | <b>SDT</b>            | (mg/L) |
| Sulfatos                  | <b>SO<sub>4</sub></b> | (mg/L) |
| Zinc                      | <b>Zn</b>             | (mg/L) |

Con estos 15 parámetros se realizó una encuesta con los expertos en calidad de agua potable en H. Caborca, Sonora (Ver anexo No. 7). Se descartan los que no tienen asignado valor por no considerarlos de importancia en base a las características que presenta el agua potable de esta ciudad. Por lo anterior los parámetros con los cuales se harán los cálculos iniciales del ICA son diez, siendo los siguientes:

| <b>DESCRIPCIÓN</b>  | <b>SIMBOLOGÍA</b>     | <b>UNIDADES</b>   |
|---------------------|-----------------------|---|
| Color               | <b>C</b>              | Unidades de color verdadero en la escala de Platino-Cobalto (UPC) |
| Potencial Hidrógeno | <b>pH</b>             | Adimensional  |
| Arsénico            | <b>As</b>             | miligramos /Litro (mg/L)  |
| Cloro Residual      | <b>CIR</b>            | miligramos /Litro (mg/L)  |
| Cloruros            | <b>Cl</b>             | miligramos /Litro (mg/L)  |
| Dureza Total        | <b>DT</b>             | miligramos /Litro (mg/L)  |
| Nitratos            | <b>NO<sub>3</sub></b> | miligramos /Litro (mg/L)  |

|                              |                       |                          |
|------------------------------|-----------------------|--------------------------|
| Sodio                        | <b>Na</b>             | miligramos /Litro (mg/L) |
| Sólidos Disueltos<br>Totales | <b>SDT</b>            | miligramos /Litro (mg/L) |
| Sulfatos                     | <b>SO<sub>4</sub></b> | miligramos /Litro (mg/L) |

Las razones que exponen los expertos para que se consideren estos parámetros en el Modelo específico para esta región de H. Caborca, Sonora para Índice de Calidad de Agua potable son:

1. Color: Es un indicador de la presencia de contaminantes; inorgánicos, orgánicos y microorganismos. Se seleccionó debido a las constantes reparaciones en la red de distribución del agua potable.
2. pH: Indicador de contaminación de la fuente de abastecimiento, por ácidos o bases y utilización de los predios cercanos al pozo para utilizarlos como depósito de basura.
3. Arsénico: Contaminante tóxico, produce lesiones en la piel, trastornos circulatorios y alto riesgo de cáncer. Se ha detectado arsénico por encima de la norma en los pozos de la zona agrícola de Caborca y como medida preventiva se seleccionó este parámetro (Espinoza, 2004).
4. Cloro residual: Medida preventiva para evitar la contaminación y crecimiento de microorganismos. Deficiencias en las tapas de las pilas de abastecimiento y constantes reparaciones a la red de distribución.
5. Cloruros: Son constituyentes secundarios que no son nocivos para la salud, excepto cuando sus niveles son altos y se presentan riesgo para

personas con dietas médicas exentas de sal. En H. Caborca existe una alta incidencia de personas con alta presión arterial y a quienes les prohíben el consumo de sal.

6. Dureza Total: Porque cuando sus valores son altos dan lugar a la formación del sarro en todo recipiente en el cual se caliente agua o tubería que transporte agua caliente. En estos casos daña calderas, calentadores de agua, cafeteras etc. El agua potable de H. Caborca tiene una dureza total mucho muy alta, muy cercano al límite máximo permitido y en ocasiones por encima del nivel.
7. Nitratos: Es un riesgo para la salud, los niños menores de 6 meses que tomen agua que contenga mayor concentración de nitratos que el Nivel Máximo de Contaminante (NMC), podrían enfermarse gravemente. Entre los síntomas se incluye dificultad respiratoria y síndrome de bebé cianótico (azul). Parámetro de uso preventivo, los nitratos a veces se acercan a los niveles máximos permitidos.
8. Sodio: La misma razón que los Cloruros.
9. Sólidos Totales Disueltos: son la suma de todos los sólidos disueltos, pueden ser tanto sustancias orgánicas como inorgánicas. Indicador de la presencia de contaminantes. Se seleccionó por fallas en las tapas de las pilas, ramales de conducción a las pilas y red de distribución, tuberías con muchos años de uso y propensas a las fugas.

10. Sulfatos: El ión sulfato es uno de los iones que contribuyen a la salinidad de las aguas, encontrándose en la mayoría de las aguas naturales. El origen de los sulfatos se debe fundamentalmente a la disolución de los yesos, dependiendo su concentración de los terrenos drenados. Al moverse el agua a través de formaciones rocosas y suelos que contienen minerales sulfatados, una parte del sulfato se disuelve en las aguas subterráneas. Las personas que no están acostumbradas a beber agua con niveles elevados de sulfato pueden experimentar diarrea y deshidratación. Los altos niveles de sulfato pueden también corroer tuberías, particularmente las de cobre. En áreas con altos niveles de sulfato, normalmente se utilizan materiales más resistentes a la corrosión para las tuberías, tales como tubos de plástico. Se seleccionó la determinación de sulfato por su impacto en la salud, los materiales de conducción y el tipo de suelo (litoxol) del municipio.

## **2.4.2 OBTENCIÓN DE PESOS DE CADA PARÁMETRO**

Del Anexo No. 6, que muestra los resultados de las encuestas aplicadas, tenemos:

| <b>PARÁMETRO</b>          |                       | <b>PESO PROMEDIO (%)</b> |
|---------------------------|-----------------------|--------------------------|
| Color                     | <b>C</b>              | 3.66                     |
| Potencial Hidrógeno       | <b>pH</b>             | 2.33                     |
| Arsénico                  | <b>As</b>             | 8.33                     |
| Cloro Residual            | <b>CIR</b>            | 14.66                    |
| Cloruros                  | <b>Cl</b>             | 9.00                     |
| Dureza Total              | <b>DT</b>             | 23.33                    |
| Nitratos                  | <b>NO<sub>3</sub></b> | 5.33                     |
| Sodio                     | <b>Na</b>             | 9.33                     |
| Sólidos Disueltos Totales | <b>SDT</b>            | 18.33                    |
| Sulfatos                  | <b>SO<sub>4</sub></b> | 5.66                     |

**SUMATORIA =100**

Por lo tanto los pesos promedio ponderados  $W_i$  para cada parámetro son:

| <b>PARÁMETRO</b>    |            | <b>PESO PROMEDIO (%)</b> |
|---------------------|------------|--------------------------|
| Color               | <b>C</b>   | 0.0366                   |
| Potencial Hidrógeno | <b>pH</b>  | 0.0233                   |
| Arsénico            | <b>As</b>  | 0.0833                   |
| Cloro Residual      | <b>CIR</b> | 0.1466                   |

|                              |                       |        |
|------------------------------|-----------------------|--------|
| Cloruros                     | <b>Cl</b>             | 0.0900 |
| Dureza Total                 | <b>DT</b>             | 0.2333 |
| Nitratos                     | <b>NO<sub>3</sub></b> | 0.0533 |
| Sodio                        | <b>Na</b>             | 0.0933 |
| Sólidos Disueltos<br>Totales | <b>SDT</b>            | 0.1833 |
| Sulfatos                     | <b>SO<sub>4</sub></b> | 0.0566 |

**SUMATORIA = 1.00**

### **2.4.3 OBTENCIÓN DE LA ECUACIÓN DE CALIDAD DE CADA PARÁMETRO**

Para obtener la ecuación de calidad de cada parámetro, se hizo uso de los límites permisibles de calidad exigidos por la NOM-127-SSA1-1994, de los datos proporcionados por el Laboratorio de Análisis Químico Microbiológicos de la Unidad Regional Norte Campus Caborca de la Universidad de Sonora, de los datos proporcionados por el Laboratorio Analítica del Noroeste S.A. de C.V. de Hermosillo, Sonora, la Escala de calificación para uso en agua potable dada por la Dirección General de Ordenación y Protección Ecológica de la S.A.R.H. (Ver anexo No. 6) y de las ecuaciones utilizadas por Fox y Gortares (1995).

A continuación, se muestran los cálculos para obtener la ecuación de calidad para la Dureza Total (DT):

Del Anexo No. 7 obtenemos:

| Parámetro | Unidades | Grado de restricción sobre el uso |                        |                                      |
|-----------|----------|-----------------------------------|------------------------|--------------------------------------|
|           |          | Inaceptable<br>(100%-90%)         | Aceptable<br>(90%-50%) | Necesidad de tratamiento<br>(50%-0%) |
| DT        | mg/L     | <75                               | 75-500                 | >500                                 |

Ecuación usada por Fox y Gortáres:

$$Q_i = aC_i^b$$

Donde:

$Q_i$ , es la calidad de cada parámetro  $i$  y es un número entre 0 y 100

$a$  y  $b$ , son constantes a evaluar

$C_i$ , es la cantidad de cada parámetro  $i$

Aplicando logaritmos y sus propiedades a la ecuación anterior, obtenemos:

$$\log Q_i = \log a + b \log C_i$$

sustituyendo  $C_i = 75$  para  $Q_i = 90$  y  $C_i = 500$  para  $Q_i = 50$ , se obtiene:

$$\log 90 = \log a + b \log 75$$

$$\log 50 = \log a + b \log 500$$

obteniendo logaritmos:

$$1.95420 = \log a + 1.875b$$

$$1.69897 = \log a + 2.69897b$$

resolviendo por simultáneas:

$$b = -0.309756$$

$$a = 342.76$$

por lo tanto la ecuación de calidad para la Dureza Total (DT) es:

$$Q_{DT} = 342.76[DT]^{-0.309756}$$

donde [DT] es la concentración de la Dureza Total en mg/L

Posteriormente se calcula la concentración de la Dureza Total para la cual la calidad es 100 %:

$$100 = 342.76[DT]^{-0.309756}$$

$$[DT]^{-0.309756} = 0.291749$$

Obteniendo logaritmos en ambos lados:

$$\log[DT]^{-0.309756} = \log 0.291749$$

Aplicando propiedades de logaritmos:

$$-0.309756 \log[DT] = \log 0.291749$$

$$\log[DT] = -0.53499 / -0.309756$$

$$[DT] = 10^{1.72713}$$

$$[DT] = 53.35 \text{ mg/L}$$

Por lo anterior para  $[DT] < 53.35 \text{ mg/L}$  se considerará  $Q_{DT} = 100 \%$

De igual manera para los demás parámetros, obtenemos:

| <b>PARÁMETRO</b>          | <b>ECUACIÓN</b>                   | <b>LÍMITE PARA <math>Q_i=100\%</math></b> |
|---------------------------|-----------------------------------|---|
| Sólidos Disueltos Totales | $Q_{SDT} = 291.60[SDT]^{-0.2553}$ | Para $[SDT] < 66.15 \text{ mg/L}$         |
| Cloro Residual            | $Q_{CIR} = 56.274[CIR]^{-0.2917}$ | Para $[CIR] < 0.1393 \text{ mg/L}$        |
| Sodio                     | $Q_{Na} = 472.675[Na]^{-0.424}$   | Para $[Na] < 38.98 \text{ mg/L}$          |
| Cloruros                  | $Q_{Cl} = 375.58[Cl]^{-0.3652}$   | Para $[Cl] < 37.47 \text{ mg/L}$          |

|          |                                    |                             |
|----------|------------------------------------|-----------------------------|
| Arsénico | $Q_{As} = 16.743[As]^{-0.3652}$    | Para $[As] < 0.0075$ mg/L   |
| Sulfatos | $Q_{SO4} = 271.87[SO_4]^{-0.2826}$ | Para $[SO_4] < 34.44$ mg/L  |
| Nitratos | $Q_{NO3} = 90[NO_3]^{-0.2553}$     | Para $[NO_3] < 0.6619$ mg/L |
| Color    | $Q_C = 107.42[C]^{-0.2553}$        | Para $[C] < 1.3246$ UPC     |

Se dejó al último el pH ya que aquí se usa otra ecuación usada por Fox y Gortáres (1995), la cual es:

$Q_{pH} = 10^{apH + b}$ , para pH fuera de la norma, donde a y b son constantes a evaluar.

Los cálculos son:

**$Q_{pH} = 100$  para pH dentro de la norma que según el anexo No. 6 es de 6.5 a 8.5**

Para  $pH < 6.5$ :

$Q_{pH} = 10^{apH + b}$ , para pH fuera de la norma

Aplicando logaritmos y propiedades

$$\log Q_{pH} = (apH + b)\log 10$$

$$\log Q_{pH} = (apH + b)1$$

$$\log Q_{pH} = apH + b$$

del Anexo No. 6:

$Q_{pH} = 100$  para  $pH = 6.5$ , y  $Q_{pH} = 15$  para  $pH = 4$

sustituyendo

$$\log 100 = a(6.5) + b$$

$$\log 15 = a(4) + b$$

resolviendo por simultáneas:

$$a = 0.3295 \text{ y } b = -0.14175$$

Por lo tanto, la ecuación para calcular la calidad del parámetro pH adimensional para valores menores a 6.5 es:

$$Q_{pH} = 10^{0.3295pH - 0.14175}$$

De igual manera para  $pH > 8.5$  del Anexo No. 6,  $Q_{pH} = 100$  para  $pH = 8.5$  y  $Q_{pH} = 15$

para  $pH = 11$  y resolviendo por simultáneas aplicando logaritmos, la ecuación es:

$$Q_{pH} = 10^{-0.3295pH + 4.8} \text{ para } pH > 8.5$$

## 2.5 DESARROLLO Y OBTENCIÓN DEL MODELO ICA

### 2.5.1 ANÁLISIS CON LOS PARÁMETROS INICIALMENTE

#### SELECCIONADOS.

Se harán los cálculos para la obtención del modelo ICA para cada pozo de abastecimiento, usando el valor promedio de los diez parámetros inicialmente seleccionados dados en los Anexos No. 2 y No. 3, para el pozo No. 1 “ El Ventarrón “ situado en avenida Q y calle Cerro Prieto:

| Parámetro       | Udes.   | Cantidad | Qi    | Wi     | Qi <sup>Wi</sup> |
|-----------------|---------|----------|-------|--------|------------------|
| DT              | mg/L    | 351      | 55.79 | 0.2333 | 2.555            |
| SDT             | mg/L    | 748      | 53.83 | 0.1833 | 2.076            |
| CIR             | mg/L    | 1.0      | 56.27 | 0.1466 | 1.805            |
| Na              | mg/L    | 224      | 47.65 | 0.0933 | 1.434            |
| Cl              | mg/L    | 102.54   | 69.23 | 0.0900 | 1.464            |
| As              | mg/L    | 0.031    | 59.53 | 0.0833 | 1.405            |
| SO <sub>4</sub> | mg/L    | 129.13   | 68.83 | 0.0566 | 1.270            |
| NO <sub>3</sub> | mg/L    | 9.43     | 50.75 | 0.0533 | 1.233            |
| C               | UPC     | 2.5      | 85.00 | 0.0366 | 1.176            |
| pH              | Adimen. | 7.315    | 100   | 0.0233 | 1.113            |
|                 |         |          |       |        | <b>∑ = 57.88</b> |

**De acuerdo al resultado anterior, el Índice de Calidad del Agua Potable para diez parámetros del pozo No.1 es ICA = 57.88 %**

Haciendo el cálculo anterior para los demás pozos de abastecimiento de agua potable, se obtiene: (Ver Anexo No. 9)

|     | Pozo de abastecimiento |       |       |       |       |          |
|-----|------------------------|-------|-------|-------|-------|----------|
|     | 1                      | 2     | 3     | 4     | 5     | 6        |
| ICA | 57.88                  | 61.66 | 58.87 | 57.75 | 58.19 | 56.54(%) |

### **2.5.2 ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD.**

Se incrementó la cantidad de cada uno de los diez parámetros en un 50 %, manteniendo los demás constantes en cada cálculo, para todos los pozos de abastecimiento, obteniéndose el  $\Delta$ ICA por la diferencia del ICA sin incremento (ICASIN) con cada ICA con incremento (ICACON), sumándose y sacando el % de afectación dividiendo cada  $\Delta$ ICA entre la suma y multiplicando por cien. Con el fin de ilustrar lo anterior, se hará el cálculo para el pozo No. 1 de abastecimiento:

| <b>Parámetro</b> | <b>ICASIN</b> | <b>ICACON</b> | <b><math>\Delta</math>ICA</b> | <b>% de afectación</b> |
|------------------|---------------|---------------|-------------------------------|------------------------|
| DT               | 57.88         | 56.21         | 1.67                          | 16.58                  |
| SDT              | 57.88         | 56.80         | 1.08                          | 10.72                  |
| CIR              | 57.88         | 56.90         | 0.98                          | 9.73                   |
| Na               | 57.88         | 56.26         | 1.62                          | 16.08                  |
| Cl               | 57.88         | 57.12         | 0.76                          | 7.54                   |
| As               | 57.88         | 57.19         | 0.69                          | 6.85                   |
| SO <sub>4</sub>  | 57.88         | 57.53         | 0.35                          | 3.47                   |
| NO <sub>3</sub>  | 57.88         | 57.55         | 0.33                          | 3.27                   |
| C                | 57.88         | 57.69         | 0.19                          | 1.88                   |
| pH               | 57.88         | 55.48         | 2.40                          | 23.84                  |
|                  |               |               | <b>SUM=10.07</b>              | <b>SUM = 100</b>       |

Todos los resultados del % de afectación a cada pozo de abastecimiento de agua, se muestran a continuación (Ver Anexo No. 10):

### POZOS DE ABASTECIMIENTO

| Parámetro       | No.1  | No.2  | No.3  | No.4  | No.5  | No.6  | PROMEDIO |
|-----------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|----------|
| DT              | 16.58 | 17.20 | 9.53  | 17.96 | 18.73 | 18.24 | 16.37    |
| SDT             | 10.72 | 11.24 | 17.55 | 11.69 | 12.04 | 11.60 | 12.47    |
| CIR             | 9.73  | 10.26 | 17.05 | 10.61 | 11.04 | 10.70 | 12.56    |
| Na              | 6.08  | 9.48  | 16.60 | 9.63  | 10.26 | 9.68  | 11.95    |
| Cl              | 7.54  | 7.82  | 15.82 | 8.01  | 8.25  | 8.22  | 9.28     |
| As              | 6.85  | 7.33  | 3.87  | 7.47  | 3.34  | 6.19  | 5.59     |
| SO <sub>4</sub> | 3.47  | 3.61  | 2.08  | 1.95  | 3.68  | 4.05  | 2.90     |
| NO <sub>3</sub> | 3.27  | 3.22  | 1.74  | 2.92  | 3.12  | 3.15  | 2.66     |
| C               | 1.88  | 1.96  | 1.12  | 2.05  | 2.12  | 2.03  | 1.62     |
| pH              | 23.84 | 27.86 | 14.64 | 27.71 | 27.42 | 26.13 | 24.60    |

**SUM = 100**

Como se observa en los resultados del análisis de sensibilidad anterior, los parámetros que mas afectan al modelo son en orden de porcentaje de afectación: pH, DT, CIR, SDT. Na y Cl; en aproximadamente 87.23 % juntos, por lo que del análisis de sensibilidad, se procederá a descartar del modelo a los demás parámetros, para así. hacer un ajuste final.

### **2.5.3 MODELO FINAL**

Se procederá ahora a calcular el ICA en base a los últimos seis parámetros obtenidos para cada pozo de abastecimiento y se comparará con los obtenidos con diez parámetros, para así hacer el ajuste final.

A continuación se muestra el cálculo para el pozo de abastecimiento No. 1:

| <b>Parámetro</b> | <b>Udes.</b> | <b>Cantidad</b> | <b>Qi</b> | <b>Nuevo Wi</b> | <b>Qi<sup>Wi</sup></b> |
|------------------|--------------|-----------------|-----------|-----------------|------------------------|
| pH               | Adimen.      | 7.315           | 100       | 0.0304          | 1.150                  |
| DT               | mg/L         | 351             | 55.79     | 0.3030          | 3.382                  |
| CIR              | mg/L         | 1               | 56.27     | 0.1904          | 2.154                  |
| SDT              | mg/L         | 748             | 53.83     | 0.2381          | 2.583                  |
| Na               | mg/L         | 224             | 46.75     | 0.1212          | 1.594                  |
| Cl               | mg/L         | 102.54          | 69.23     | 0.1169          | 1.641                  |

$$\mathbb{1} = 56.60$$

Como ahora son seis parámetros en igual de diez, se obtuvo el Nuevo Wi sumando el inicial Wi de los seis parámetros seleccionados, lo cual da un valor de 0.7698 y cada Wi inicial para cada parámetro se dividió entre esta cantidad para así obtener el Nuevo Wi. Por ejemplo, para DT: Nuevo Wi =  $0.2333/0.7698 = 0.303$  y así respectivamente.

Calculando para los demás pozos de abastecimiento (Ver Anexo No. 11):

| Pozo(X) | ICAFOX10 | ICAFOX6 | $\Delta ICA$ |
|---------|----------|---------|--------------|
| 1       | 57.88    | 56.60   | 1.28         |
| 2       | 61.66    | 60.96   | 0.70         |
| 3       | 58.87    | 57.27   | 1.60         |
| 4       | 57.75    | 56.10   | 1.65         |
| 5       | 58.19    | 54.28   | 3.91         |
| 6       | 56.54    | 52.77   | 3.77         |

Por último se hará un ajuste a un polinomio  $P(X)$ , a partir de los pozos de abastecimiento  $X$  y de las diferencias obtenidas  $\Delta ICA$ . El modelo final tendrá la forma:

$$ICAFOX = ICAFOX6 + P(X)$$

$$ICAFOX = \sum_{i=1}^6 Qi^{wi} + P(X), \text{ donde } i \text{ es cada uno de los seis parámetros finales}$$

El polinomio  $P(X)$  tiene la forma  $P(X) = F + EX + DX^2 + CX^3 + BX^4 + AX^5$  y debe pasar por los puntos (1, 1.28), (2, 0.70), (3, 1.60), (4, 1.65), (5, 3.91) y (6, 3.77).

$$P(1) = F + E(1) + D(1)^2 + C(1)^3 + B(1)^4 + A(1)^5$$

$$F + E + D + C + B + A = 1.28 \quad (\text{Ecuación 1})$$

$$P(2) = F + E(2) + D(2)^2 + C(2)^3 + B(2)^4 + A(2)^5$$

$$F + 2E + 4D + 8C + 16B + 32A = 0.70 \quad (\text{Ecuación 2})$$

$$P(3) = F + E(3) + D(3)^2 + C(3)^3 + B(3)^4 + A(3)^5$$

$$F + 3E + 9D + 27C + 81B + 243A = 1.60 \quad (\text{Ecuación 3})$$

$$P(4) = F + E(4) + D(4)^2 + C(4)^3 + B(4)^4 + A(4)^5$$

$$F + 4E + 16D + 64C + 256B + 1024A = 1.65 \quad (\text{Ecuación 4})$$

$$P(5) = F + E(5) + D(5)^2 + C(5)^3 + B(5)^4 + A(5)^5$$

$$F + 5E + 25D + 125C + 625B + 3125A = 3.91 \quad (\text{Ecuación 5})$$

$$P(6) = F + E(6) + D(6)^2 + C(6)^3 + B(6)^4 + A(6)^5$$

$$F + 6E + 36D + 216C + 1296B + 7776A = 3.77 \quad (\text{Ecuación 6})$$

El sistema de ecuaciones anterior, tiene el siguiente arreglo matricial:

|   |   |    |     |      |      |      |
|---|---|----|-----|------|------|------|
| 1 | 1 | 1  | 1   | 1    | 1    | 1.28 |
| 1 | 2 | 4  | 8   | 16   | 32   | 0.70 |
| 1 | 3 | 9  | 27  | 81   | 243  | 1.60 |
| 1 | 4 | 16 | 64  | 256  | 1024 | 1.65 |
| 1 | 5 | 25 | 125 | 625  | 3125 | 3.91 |
| 1 | 6 | 36 | 216 | 1296 | 7776 | 3.77 |

Resolviendo la matriz anterior por el método de eliminación de Gauss-Jordan, obtenemos:

$$F = 24.12$$

$$E = -48.12$$

$$D = 35.42$$

$$C = -11.885$$

$$B = 1.857$$

$$A = -0.1089$$

Por lo anterior, el modelo final característico de H. Caborca, Sonora que usa seis parámetros y es representativo del que usa diez parámetros para los distintos pozos de abastecimiento X (1, 2, 3, 4, 5 y 6 ) es:

$$\text{ICAFOX} = \sum_{i=1}^6 Q_i W_i + 24.12 - 48.12X + 35.42X^2 - 11.885X^3 + 1.857X^4 - 0.1089X^5$$

Donde:

**ICAFOX = f (Ph. DT, CIR, SDT, Na Y Cl) ; para cualquier pozo de abastecimiento**

Se probará ahora este modelo  $\text{ICAFOX} = \text{ICAFOX}_6 + P(X)$ , para posteriormente hacer una tabla comparativa de su exactitud.

Pozo No.1

$$\text{ICAFOX} = 56.60 + 24.12 - 48.12(1) + 35.42(1)^2 - 11.885(1)^3 + 1.857(1)^4 - 0.1089(1)^5$$

$$\text{ICAFOX} = 56.60 + 1.2831 = \mathbf{57.88}$$

Pozo No.2

$$\text{ICAFOX} = 60.96 + 24.12 - 48.12(2) + 35.42(2)^2 - 11.885(2)^3 + 1.857(2)^4 - 0.1089(2)^5$$

$$\text{ICAFOX} = 60.96 + 0.744 = \mathbf{61.70}$$

Pozo No.3

$$\text{ICAFOX} = 57.27 + 24.12 - 48.12(3) + 35.42(3)^2 - 11.885(3)^3 + 1.857(3)^4 - 0.1089(3)^5$$

$$\text{ICAFOX} = 57.27 + 1.5993 = \mathbf{58.87}$$

Pozo No.4

$$\text{ICAFOX} = 56.10 + 24.12 - 48.12(4) + 35.42(4)^2 - 11.885(4)^3 + 1.857(4)^4 - 0.1089(4)^5$$

$$\text{ICAFOX} = 56.10 + 1.5984 = \mathbf{57.70}$$

Pozo No.5

$$\text{ICAFOX} = 54.28 + 24.12 - 48.12(5) + 35.42(5)^2 - 11.885(5)^3 + 1.857(5)^4 - 0.1089(5)^5$$

$$\text{ICAFOX} = 54.28 + 3.7075 = \mathbf{57.99}$$

Pozo No.6

$$\text{ICAFOX} = 52.77 + 24.12 - 48.12(6) + 35.42(6)^2 - 11.885(6)^3 + 1.857(6)^4 - 0.1089(6)^5$$

$$\text{ICAFOX} = 54.28 + 3.2256 = \mathbf{57.50}$$

A continuación se muestra la tabla comparativa de valores del Índice de Calidad del Agua potable obtenidos con el modelo final ICAFOX (6 parámetros) y los de ICAFOX10 (10 parámetros).

| <b>Pozo de Abastecimiento</b> | <b>ICAFOX6</b> | <b>ICAFOX10</b> |
|-------------------------------|----------------|-----------------|
| <b>1</b>                      | <b>57.88</b>   | <b>57.88</b>    |
| <b>2</b>                      | <b>61.70</b>   | <b>61.66</b>    |
| <b>3</b>                      | <b>58.87</b>   | <b>58.87</b>    |
| <b>4</b>                      | <b>57.70</b>   | <b>57.75</b>    |
| <b>5</b>                      | <b>57.99</b>   | <b>58.19</b>    |
| <b>6</b>                      | <b>57.50</b>   | <b>56.54</b>    |

Como se puede observar los valores obtenidos son muy parecidos y en dos de ellos iguales, por lo cual podemos afirmar que el modelo con 6 parámetros es representativo del que utiliza 10 parámetros.

### **III.- DISCUSIÓN DE RESULTADOS**

#### **3.1 DIAGNÓSTICO GENERAL**

Se unifican criterios de expertos en la región en cuanto a qué parámetros considerar para indicar la calidad del agua potable en la ciudad de Caborca, Sonora, esto es, que debemos considerar el color dentro de los parámetros Físicos Organolépticos y la Dureza Total, Sólidos Disueltos Totales, Cloro residual, Sodio, Cloruros, Arsénico, Sulfatos, Nitratos y pH dentro de los parámetros Químicos, quedando el modelo final solamente en función de seis parámetros Químicos: pH, Dureza Total, Cloro Residual, Sólidos Disueltos Totales, Sodio y Cloruros. Además se obtuvieron los pesos ponderados de importancia de cada uno de ellos.

En este trabajo se obtuvieron ecuaciones para la calidad de cada parámetro relacionado con el consumo humano y en general un modelo que indica la calidad del agua potable para cada uno de los pozos de abastecimiento.

Los Índices de calidad obtenidos a través del modelo, nos indica que la calidad del agua potable va desde un mínimo de 56.54 % para el pozo No. 6 hasta un máximo de 61.66 % para el pozo No. 2, lo cual nos indica que no hay mucha diferencia de calidad del agua potable en los seis pozos analizados, sin embargo si lo comparamos con la escala de calificación para uso en agua potable dada por la Dirección General de Ordenación y Protección Ecológica

de la S.A.R.H. (Fox y Gortáres 1995) dada en el Anexo No. 5, se concluye que dichas aguas ocupan una mayor necesidad de tratamiento, ya que actualmente lo único con lo que las tratan es una desinfección con cloro. Esto coincide bastante con los problemas que se le han presentado, los cuales son: Dureza alta y pH ácidos. Por lo anterior de esta forma observamos que los datos obtenidos con el modelo coinciden considerablemente con los problemas presentados, por lo que el modelo para la calidad del agua potable queda validado. Además podemos observar en el modelo final, que los cálculos obtenidos con el modelo de 6 parámetros ICAFOX6, coinciden bastante con el obtenido con 10 parámetros ICAFOX10.

Se cumple con la finalidad de obtener un modelo que utilice la mínima cantidad de parámetros (seis), por lo cual el costo de análisis por muestreo, se reduce considerablemente. De quince utilizados se reduce a seis, representando un 60 % en la reducción de parámetros requeridos para la calidad del agua potable.

### **3.2 VALIDACIÓN DE LA HIPÓTESIS**

Del diagnóstico anterior, se puede ver que se ha logrado llegar a la justificación y objetivo de este trabajo, que es la obtención de un modelo que indique la calidad del agua potable de la ciudad de H. Caborca, Sonora que use una mínima cantidad de parámetros, con lo cual la hipótesis establecida queda satisfactoriamente validada.

## IV.- CONCLUSIONES

Con base en la investigación realizada, se concluye lo siguiente:

- 1.- Se ha obtenido un modelo específico para la ciudad de H. Caborca, Sonora que indica en una forma rápida y sencilla (seis parámetros), la calidad del agua potable de los distintos pozos de abastecimiento.
- 2.- Reducción en un 60 % de los parámetros requeridos para la calidad del agua potable, ya que de los 15 parámetros que se analizaban, ahora se redujeron a 6 parámetros. Por lo anterior, hay una disminución en el costo de análisis y muestreo.
- 3.- Se norman criterios de expertos en la región que permiten un uso eficiente y seguro del agua potable.
- 4.- Necesidad de un mayor tratamiento de las aguas potables, sobre todo para eliminar dureza y controlar el pH dentro de la NOM-127-SSA1-1994.

## V.-ANEXOS

**ANEXO No. 1.- Parámetros que se deben considerar para uso y consumo humano del agua según la Norma Oficial Mexicana NOM-127-SSA1-1994, y límites permisibles de calidad.**

### PARÁMETROS BIOLÓGICOS

| CARACTERÍSTICA                | LÍMITE PERMISIBLE                           |
|-------------------------------|---|
| Organismos coliformes totales | 2 NMP/100 ml<br>2 UFC/100 ml                |
| Organismos coliformes fecales | No detectable NMP/100 ml<br>Cero UFC/100 ml |

### PARÁMETROS FÍSICOS-ORGANOLÉPTICOS

| CARACTERÍSTICA | LÍMITE PERMISIBLE  |
|----------------|--|
| Color          | 20 unidades de color verdadero en la escala de platino-cobalto.  |
| Olor y sabor   | Agradable (se aceptarán aquellos que sean tolerables para la mayoría de los consumidores, siempre que no sean resultados de condiciones objetables desde el punto de vista biológico o químico). |
| Turbiedad      | 5 unidades de turbiedad nefelométricas (UTN) o su equivalente en otro método.  |

### PARÁMETROS QUÍMICOS

| CARACTERÍSTICA                                | LÍMITE PERMISIBLE |
|---|-------------------|
| Aluminio(mg/L)                                | 0.20              |
| Arsénico(mg/L)                                | 0.05              |
| Bario(mg/L)                                   | 0.70              |
| Cadmio(mg/L)                                  | 0.005             |
| Cianuros (como CN <sup>-</sup> )(mg/L)        | 0.07              |
| Cloro residual libre(mg/L)                    | 0.2-1.50          |
| Cloruros (como Cl <sup>-</sup> )(mg/L)        | 250.00            |
| Cobre(mg/L)                                   | 2.00              |
| Cromo total(mg/L)                             | 0.05              |
| Dureza total (como CaCO <sub>3</sub> ) (mg/L) | 500.00            |
| Fenoles o compuestos fenólicos(mg/L)          | 0.001             |
| Fierro(mg/L)                                  | 0.30              |

|   |         |
|---|---------|
| Fluoruros (como F')(mg/L)                                       | 1.50    |
| Manganeso(mg/L)   | 0.15    |
| Mercurio(mg/L)  | 0.001   |
| Nitratos (como N)(mg/L)   | 10.00   |
| Nitritos (como N) (mg/L)  | 0.05    |
| Nitrógeno amoniacal (como N) (mg/L)                             | 0.50    |
| PH (potencial de hidrógeno) en unidades de pH                   | 6.5-8.5 |
| Plaguicidas en µg/L: Aldrín y dieldrín (separados o combinados) | 0.03    |
| Clordano (total de isómeros) (mg/L)                             | 0.30    |
| DDT (total de isómeros) (mg/L)                                  | 1.00    |
| Gamma-HCH (lindano) (mg/L)                                      | 2.00    |
| Hexaclorobenceno(mg/L)  | 0.01    |
| Heptacloro y epóxido de heptacloro(mg/L)                        | 0.03    |
| Metoxicloro(mg/L)   | 20.00   |
| 2,4 - D(mg/L)   | 50.00   |
| Plomo(mg/L)   | 0.025   |
| Sodio(mg/L)   | 200.00  |
| Sólidos disueltos totales(mg/L)                                 | 1000.00 |
| Sulfatos (como SO <sub>4</sub> '')(mg/L)                        | 400.00  |
| Sustancias activas al azul de metileno (SAAM) (mg/L)            | 0.50    |
| Trihalometanos totales(mg/L)                                    | 0.20    |
| Zinc(mg/L)  | 5.00    |

**ANEXO No.2: Valores promedio mensuales de parámetros de calidad de agua en el 2005 de los distintos pozos que abastecen de agua potable a la ciudad de H. Caborca, Sonora, proporcionados por el Laboratorio de Análisis Químico Microbiológicos de la Unidad Regional Norte Campus Caborca de la Universidad de Sonora(Responsable Q.A. Axel Francisco Moraga Figueroa).**

Pozos

| Analisis                        | 1    | 2    | 3    | 4    | 5    | 6    |
|---------------------------------|------|------|------|------|------|------|
| Químicos                        |      |      |      |      |      |      |
| PH                              | 7.0  | 7.2  | 7.2  | 7.0  | 7.0  | 7.0  |
| Conductividad (milimhos/cm)     | 1.0  | 0.7  | 0.9  | 0.9  | 1.3  | 1.4  |
| Sólidos disueltos totales (ppm) | 640  | 448  | 576  | 576  | 832  | 896  |
| Dureza total (ppm)              | 410  | 272  | 371  | 369  | 578  | 599  |
| Cloro residual (ppm)            | 1.0  | 1.0  | 1.0  | 1.0  | 1.0  | 1.0  |
| Cloruros (mg/l)                 | 37.4 | 23.5 | 38.4 | 36.3 | 50.2 | 54.8 |
|                                 |      |      |      |      |      |      |
| Microbiológicos                 |      |      |      |      |      |      |
| Coliformes totales (NMP/100 ml) | N.D. | N.D. | N.D. | N.D. | N.D. | N.D. |
| Fecales (NMP/ml)                | N.D. | N.D. | N.D. | N.D. | N.D. | N.D. |
|                                 |      |      |      |      |      |      |

### LOCALIZACIÓN DE POZOS

1\_Pozo Ventarrón: Ave. Q y Calle cerro Prieto

2\_ Pozo 4: Calle 1ra y Ave K

3\_ Pozo 5: Carr. Las calabazas y Carr. Los Chirriones

4\_ Pozo 6: Km 3 Carr. Las Calabazas

5\_ Pozo 7: Km 90 Carr. Caborca-Santa Ana

6\_ Pozo 8: Región de Llano Blanco

**ANEXO No.3: Valores promedio mensuales de parámetros de calidad de agua en el 2005 de los distintos pozos que abastecen de agua potable a la ciudad de H. Caborca, Sonora, proporcionados por el Laboratorio Analítica del Noroeste S.A. de C.V. de Hermosillo, Sonora (Responsable: Químico Marcial Córdova Salcido).**

| Análisis                   | Pozos  |         |         |         |         |         |
|----------------------------|--------|---------|---------|---------|---------|---------|
|                            | 1      | 2       | 3       | 4       | 5       | 6       |
| PH                         | 7.63   | 7.72    | 7.57    | 7.78    | 7.61    | 7.51    |
|                            | N.C.<2 | N.C.<2. | N.C.<2. | N.C.<2. | N.C.<2. | N.C.<2. |
| Color (UPC)                | .5     | 5       | 5       | 5       | 5       | 5       |
| Turbiedad (UTN)            | 0.72   | 1.27    | 0.36    | 0.71    | 0.39    | 0.37    |
| Dureza total (mg/L)        | 292.11 | 278.29  | 355.26  | 453.95  | 466.78  | 523.03  |
| Cloruros (mg/L)            | 167.68 | 116.80  | 193.70  | 209.89  | 204.69  | 231.29  |
| Sulfatos (mg/L)            | 129.13 | 100.58  | 102.80  | 160.69  | 155.45  | 207.05  |
| Zinc (mg/l)                | 0.02   | N.D.    | 0.04    | 0.04    | 0.06    | 0.03    |
| Nitratos (mg/l)            | 9.43   | 7.70    | 9.71    | 9.41    | 9.40    | 11.44   |
| Sodio (mg/L)               | 224.0  | 159.8   | 161.6   | 161.6   | 163.4   | 198.3   |
| Arsénico (mg/L)            | 0.031  | 0.029   | 0.025   | 0.020   | 0.006   | 0.007   |
| Fluoruros (mg/L)           | 0.84   | 0.69    | 0.64    | 0.57    | 0.55    | 0.68    |
| Fierro (mg/L)              | 1.05   | 0.22    | 0.15    | 0.24    | 0.22    | 0.38    |
| Nitrógeno Amoniacal (mg/L) | N.C.<1 | N.C.<1. | N.C.<1. | N.C.<1. | N.C.<1. | N.C.<1. |
|                            | .5     | 5       | 5       | 5       | 5       | 5       |
| Sólidos Disueltos (mg/L)   | 856    | 708     | 872     | 1036    | 1026    | 1176    |
| Nitritos (mg/L)            | N.D.   | N.D.    | N.D.    | N.D.    | N.D.    | N.D.    |
| Aluminio(mg/L)             | N.D.   | N.D.    | N.D.    | N.D.    | N.D.    | N.D.    |
| Cobre(mg/L)                | N.D.   | N.D.    | N.D.    | N.D.    | N.D.    | N.D.    |
| Cromo Total(mg/L)          | N.D.   | N.D.    | N.D.    | N.D.    | N.D.    | N.D.    |
| Cadmio(mg/L)               | N.D.   | N.D.    | N.D.    | N.D.    | N.D.    | N.D.    |
| Cianuro Total(mg/L)        | N.D.   | N.D.    | N.D.    | N.D.    | N.D.    | N.D.    |
| Manganeso(mg/L)            | N.D.   | N.D.    | N.D.    | N.D.    | N.D.    | N.D.    |
| ) Mercurio(mg/L)           | N.D.   | N.D.    | N.D.    | N.D.    | N.D.    | N.D.    |
| Bario(mg/L)                | N.D.   | N.D.    | N.D.    | N.D.    | N.D.    | N.D.    |
| Plomo(mg/L)                | N.D.   | N.D.    | N.D.    | N.D.    | N.D.    | N.D.    |

**N.D.= Parámetro NODETECTADO**

**ANEXO No. 4: Formato Cuestionario Estructurado aplicado a expertos en calidad del agua potable en la ciudad de H. Caborca, Sonora.**

Buenos días/tardes. El Laboratorio de Análisis Químicos y Microbiológicos de la División de Ciencias e Ingenierías de la Unidad Regional Norte Campus Caborca de la Universidad de Sonora en coordinación con el Organismo Operador Municipal de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento de H. Caborca, Sonora, han realizado estudios para evaluar la calidad del agua potable en la ciudad, a través del análisis de ciertos parámetros indicadores de dicha calidad. Actualmente y con la finalidad de fortalecer la investigación en la División involucrando alumnos tesisistas, se pretende obtener un Modelo Matemático que indique el Índice de Calidad de Agua (ICA) para consumo humano característico de la ciudad de H. Caborca, Sonora. Por lo anterior le agradeceremos nos proporcione la siguiente información:

De los siguientes parámetros Físicos-Organolépticos y Químicos seleccionados para determinar el Índice de Calidad del Agua potable en la ciudad de H. Caborca, Sonora, asignarles un peso ponderado entre el 0 y 100 % de acuerdo a su importancia (NOTA: la suma de los pesos asignados, debe sumar 100 % y si usted considera que alguno(s) de ellos no es o no son tan importantes, es decir, no debe(n) ser tomado(s) en cuenta, indíquelo con un 0 %)

| <b>PARÁMETROS</b>          | <b>PESO ASIGNADO (%)</b> |
|----------------------------|--------------------------|
| <b>Color</b>               | _____                    |
| <b>Turbiedad</b>           | _____                    |
| <b>Potencial Hidrógeno</b> | _____                    |
| <b>Arsénico</b>            | _____                    |
| <b>Cloro Residual</b>      | _____                    |
| <b>Cloruros</b>            | _____                    |
| <b>Dureza Total</b>        | _____                    |
| <b>Fierro</b>              | _____                    |
| <b>Fluoruros</b>           | _____                    |

|                                  |              |
|----------------------------------|--------------|
| <b>Nitratos</b>                  | _____        |
| <b>Nitrógeno Amoniacal</b>       | _____        |
| <b>Sodio</b>                     | _____        |
| <b>Sólidos Disueltos Totales</b> | _____        |
| <b>Sulfatos</b>                  | _____        |
| <b>Zinc</b>                      | _____        |
| <b>SUMATORIA</b>                 | <b>100 %</b> |

OBSERVACIONES:

---

POR SU COLABORACIÓN: "MUCHAS GRACIAS"

**ANEXO No.5.- Escala de calificación para uso en agua potable dada por la Dirección General de Ordenación y Protección Ecológica de la S.A.R.H. (Fox y Gortáres 1995).**

| INDICE DE CALIDAD(%) | EVALUACIÓN                     |
|----------------------|--------------------------------|
|                      |                                |
|                      |                                |
| 0-----40             | Inaceptable                    |
|                      |                                |
| 40-----50            | Dudoso                         |
|                      |                                |
| 50-----80            | Mayor necesidad de tratamiento |
|                      |                                |
| 80-----90            | Ligera purificación            |
|                      |                                |
| 90-----100           | No requiere purificación       |

**ANEXO No. 6.- Resultados de las encuestas aplicadas a expertos en calidad de agua potable de la Ciudad de H. Caborca, Sonora.**

| <b>Parámetro</b>                               | <b>OOMAPAS</b> | <b>LAQMURN</b> | <b>LADN</b> | <b>PROMEDIO</b> |
|--|----------------|----------------|-------------|-----------------|
| Color <b>C</b> (UPC)                           | 2              | 5              | 4           | 3.66            |
| Turbiedad <b>T</b> (UTN)                       | 0              | 0              | 0           | 0.00            |
| PH   | 2              | 0              | 5           | 2.33            |
| Arsénico <b>As</b><br>(mg/L)                   | 10             | 5              | 10          | 8.33            |
| Cloro Residual <b>CIR</b><br>(mg/L)            | 14             | 20             | 10          | 14.66           |
| Cloruros <b>Cl</b> (mg/L)                      | 12             | 5              | 10          | 9.00            |
| Dureza Total <b>DT</b><br>(mg/L)               | 25             | 25             | 20          | 23,33           |
| Fierro <b>Fe</b> (mg/L)                        | 0              | 0              | 0           | 0.00            |
| Fluoruros <b>F</b> (mg/L)                      | 0              | 0              | 0           | 0.00            |
| Nitratos <b>NO3</b><br>(mg/L)                  | 6              | 5              | 5           | 5.33            |
| Nitrógeno<br>Amoniacal <b>NAM</b><br>(mg/L)    | 0              | 0              | 0           | 0.00            |
| Sodio <b>Na</b> (mg/L)                         | 13             | 5              | 10          | 9.33            |
| Sólidos Disueltos<br>Totales <b>SDT</b> (mg/L) | 7              | 30             | 18          | 18.33           |
| Sulfatos <b>SO4</b><br>(mg/L)                  | 9              | 0              | 8           | 5.66            |
| Zinc <b>Zn</b> (mg/L)                          | 0              | 0              | 0           | 0.00            |
| <b>SUMATORIA</b>                               | <b>100</b>     | <b>100</b>     | <b>100</b>  | <b>100</b>      |

OOMAPAS: Organismo Operador Municipal de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento de H. Caborca, Sonora.

LADN: Laboratorio Analítica del Noroeste en Hermosillo, Sonora.

LAQMURN: Laboratorio de Análisis Químico y Microbiológicos de la Unidad Regional Norte de la Universidad de Sonora Campus Caborca.

**ANEXO No. 7: Restricción de parámetros para uso de agua potable y criterios de calidad (FUENTE: Norma Oficial Mexicana NOM-127-SSA1-1994, Laboratorio de Análisis Químico Microbiológicos de la Unidad Regional Norte Campus Caborca de la Universidad de Sonora, Laboratorio Analítica del Noroeste S.A. de C.V. de Hermosillo, Sonora y Dirección General de Ordenación y Protección Ecológica de la S.A.R.H.)**

| Parámetro                 | Aceptable<br>(% calidad:100-90) | Necesidad de tratamiento<br>(% calidad:90-50) | Inaceptable<br>(% calidad:50-0 ) |
|---------------------------|---------------------------------|---|----------------------------------|
| Dureza Total              | <75 mg/L                        | 75-500 mg/L                                   | >500 mg/L                        |
| Sólidos Disueltos Totales | <100 mg/L                       | 100-1000 mg/L                                 | >1000 mg/L                       |
| Cloro Residual            | <0.2 mg/L                       | 0.2-1.5 mg/L                                  | > 1.5 mg/L                       |
| Sodio                     | <50 mg/L                        | 50-200 mg/L                                   | >200 mg/L                        |
| Cloruros                  | <50 mg/L                        | 50-250 mg/L                                   | >250 mg/L                        |
| Arsénico                  | < 0.010mg/L                     | 0.010-0.05 mg/L                               | > 0.05 mg/L                      |
| Sulfatos                  | <50 mg/L                        | 50-400 mg/L                                   | >400 mg/L                        |
| Nitratos                  | <1 mg/L                         | 1-10 mg/L                                     | >10 mg/L                         |
| Color                     | <2 UPC                          | 2-20 UPC                                      | >20 UPC                          |
| pH                        | 6.5-8.5(100 %)                  | 4.0-6.5,8.5-11.0(100-15 %)                    | 0-4,11 14(15-0 %)                |

**ANEXO No. 8: Ecuaciones usadas por Fox y Gortáres para determinar la calidad de cada parámetro**

$$Q_i = aC_i^b$$

Donde:

$Q_i$ , es la calidad de cada parámetro  $i$  y es un número entre 0 y 100

$a$  y  $b$ , son constantes a evaluar

$C_i$ , es la cantidad de cada parámetro  $i$  excepto pH

Para el pH dentro de la norma es  $Q_i = 100$  y la ecuación  $Q_{pH} = 10^{apH + b}$  es para pH fuera de la norma, donde  $a$  y  $b$  son constantes a evaluar.

**ANEXO No. 9.- Cálculos iniciales del ICA con los 10 parámetros seleccionados (ICAFOX10), para los pozos No. 1, 2,3,4,5 y 6**

| <b>Pozo No. 1</b> |                 |                 |           |           |                        |
|-------------------|-----------------|-----------------|-----------|-----------|------------------------|
| <b>Parámetro</b>  | <b>Unidades</b> | <b>Cantidad</b> | <b>Qi</b> | <b>Wi</b> | <b>Qi<sup>Wi</sup></b> |
| DT                | mg/L            | 351             | 55.79     | 0.2333    | 2.555                  |
| SDT               | mg/L            | 748             | 53.83     | 0.1833    | 2.076                  |
| CIR               | mg/L            | 1.0             | 56.27     | 0.1466    | 1.805                  |
| Na                | mg/L            | 224             | 47.65     | 0.0933    | 1.434                  |
| Cl                | mg/L            | 102.54          | 69.23     | 0.0900    | 1.464                  |
| As                | mg/L            | 0.031           | 59.53     | 0.0833    | 1.405                  |
| SO <sub>4</sub>   | mg/L            | 129.13          | 68.83     | 0.0566    | 1.270                  |
| NO <sub>3</sub>   | mg/L            | 9.43            | 50.75     | 0.0533    | 1.233                  |
| C                 | UPC             | 2.5             | 85.00     | 0.0366    | 1.176                  |
| pH                | Adimensional    | 7.315           | 100       | 0.0233    | 1.113                  |
|                   |                 |                 |           |           | <b>∑ = 57.88</b>       |

| <b>Pozo No. 2</b> |                 |                 |           |           |                      |
|-------------------|-----------------|-----------------|-----------|-----------|----------------------|
| <b>PARAMETRO</b>  | <b>UNIDADES</b> | <b>CANTIDAD</b> | <b>Qi</b> | <b>Wi</b> | <b>QiWi</b>          |
| DT                | mg/L            | 275.145         | 60.16     | 0.2333    | 2.600                |
| SDT               | mg/L            | 578             | 57.49     | 0.1833    | 2.101                |
| CIR               | mg/L            | 1.0             | 56.27     | 0.1466    | 1.805                |
| Na                | mg/L            | 159.8           | 54.98     | 0.0933    | 1.453                |
| Cl                | mg/L            | 70.15           | 79.53     | 0.0900    | 1.482                |
| As                | mg/L            | 0.029           | 61.00     | 0.0833    | 1.408                |
| SO <sub>4</sub>   | mg/L            | 100.58          | 73.86     | 0.0566    | 1.275                |
| NO <sub>3</sub>   | mg/L            | 7.70            | 53.44     | 0.0533    | 1.236                |
| C                 | mg/L            | 2.5             | 85.00     | 0.0366    | 1.176                |
| PH                | mg/L            | 7.46            | 100       | 0.0233    | 1.113                |
|                   |                 |                 |           |           | <b>ICA % = 61.66</b> |

## ANEXO No. 9 (Continuación)

| Pozo No. 3 |          |          |       |        |                      |
|------------|----------|----------|-------|--------|----------------------|
| PARAMETRO  | UNIDADES | CANTIDAD | Qi    | Wi     | QiWi                 |
| DT         | mg/L     | 363.13   | 55.20 | 0.2333 | 2.549                |
| SDT        | mg/L     | 724      | 54.28 | 0.1833 | 2.079                |
| CIR        | mg/L     | 1.0      | 56.27 | 0.1466 | 1.805                |
| Na         | mg/L     | 161.6    | 54.72 | 0.0933 | 1.452                |
| Cl         | mg/L     | 116.05   | 66.17 | 0.0900 | 1.458                |
| As         | mg/L     | 0.025    | 64.40 | 0.0833 | 1.414                |
| SO4        | mg/L     | 102.8    | 73.41 | 0.0566 | 1.275                |
| NO3        | mg/L     | 9.71     | 50.37 | 0.0533 | 1.232                |
| C          | mg/L     | 2.5      | 85.00 | 0.0366 | 1.176                |
| PH         | mg/L     | 7.385    | 100   | 0.0233 | 1.113                |
|            |          |          |       |        | <b>ICA % = 58.87</b> |

| Pozo No. 4 |          |          |       |        |                      |
|------------|----------|----------|-------|--------|----------------------|
| PARAMETRO  | UNIDADES | CANTIDAD | Qi    | Wi     | QiWi                 |
| DT         | mg/L     | 411.475  | 53.11 | 0.2333 | 2.526                |
| SDT        | mg/L     | 806      | 52.82 | 0.1833 | 2.069                |
| CIR        | mg/L     | 1.0      | 56.27 | 0.1466 | 1.805                |
| Na         | mg/L     | 161.6    | 54.72 | 0.0933 | 1.452                |
| Cl         | mg/L     | 123.095  | 64.76 | 0.0900 | 1.455                |
| As         | mg/L     | 0.020    | 69.87 | 0.0833 | 1.424                |
| SO4        | mg/L     | 160.69   | 61.50 | 0.0566 | 1.262                |
| NO3        | mg/L     | 9.41     | 50.77 | 0.0533 | 1.232                |
| C          | mg/L     | 2.5      | 85.00 | 0.0366 | 1.176                |
| PH         | mg/L     | 7.39     | 100   | 0.0233 | 1.113                |
|            |          |          |       |        | <b>ICA % = 57.75</b> |

### ANEXO No. 9 (Continuación)

| Pozo No. 5 |          |          |       |        |                      |
|------------|----------|----------|-------|--------|----------------------|
| PARAMETRO  | UNIDADES | CANTIDAD | Qi    | Wi     | QiWi                 |
| DT         | mg/L     | 522.39   | 49.32 | 0.2333 | 2.483                |
| SDT        | mg/L     | 929      | 50.93 | 0.1833 | 2.055                |
| CIR        | mg/L     | 1.0      | 56.27 | 0.1466 | 1.805                |
| Na         | mg/L     | 163.4    | 54.46 | 0.0933 | 1.452                |
| Cl         | mg/L     | 127.44   | 63.94 | 0.0900 | 1.453                |
| As         | mg/L     | 0.006    | 100.0 | 0.0833 | 1.467                |
| SO4        | mg/L     | 155.45   | 65.31 | 0.0566 | 1.266                |
| NO3        | mg/L     | 9.40     | 50.79 | 0.0533 | 1.232                |
| C          | mg/L     | 2.5      | 85.00 | 0.0366 | 1.176                |
| PH         | mg/L     | 7.305    | 100   | 0.0233 | 1.113                |
|            |          |          |       |        | <b>ICA % = 58.19</b> |

| Pozo No.6 |          |          |       |        |                      |
|-----------|----------|----------|-------|--------|----------------------|
| PARAMETRO | UNIDADES | CANTIDAD | Qi    | Wi     | QiWi                 |
| DT        | mg/L     | 561.01   | 48.24 | 0.2333 | 2.470                |
| SDT       | mg/L     | 1036     | 49.54 | 0.1833 | 2.044                |
| CIR       | mg/L     | 1.0      | 56.27 | 0.1466 | 1.805                |
| Na        | mg/L     | 198.3    | 50.17 | 0.0933 | 1.440                |
| Cl        | mg/L     | 143.045  | 61.30 | 0.0900 | 1.448                |
| As        | mg/L     | 0.007    | 100.0 | 0.0833 | 1.467                |
| SO4       | mg/L     | 207.05   | 60.23 | 0.0566 | 1.261                |
| NO3       | mg/L     | 11.44    | 48.30 | 0.0533 | 1.229                |
| C         | mg/L     | 2.5      | 85.00 | 0.0366 | 1.176                |
| PH        | mg/L     | 7.255    | 100   | 0.0233 | 1.113                |
|           |          |          |       |        | <b>ICA % = 56.54</b> |

**ANEXO No. 10.- Porcentaje de afectación de cada parámetro al Índice de Calidad del Agua para los pozos No. 1,2,3,4,5 y 6**

Pozo No. 1

| PARÁMETRO       | ICASIN | ICACON | $\Delta$ ICA | % DE AFECTACIÓN |
|-----------------|--------|--------|--------------|-----------------|
| DT              | 57.88  | 56.21  | 1.67         | 16.58           |
| SDT             | 57.88  | 56.8   | 1.08         | 10.72           |
| CIR             | 57.88  | 56.9   | 0.98         | 9.73            |
| Na              | 57.88  | 56.26  | 1.62         | 16.08           |
| Cl              | 57.88  | 57.12  | 0.76         | 7.54            |
| As              | 57.88  | 57.19  | 0.69         | 6.85            |
| SO <sub>4</sub> | 57.88  | 57.53  | 0.35         | 3.47            |
| NO <sub>3</sub> | 57.88  | 57.55  | 0.33         | 3.27            |
| C               | 57.88  | 57.69  | 0.19         | 1.88            |
| pH              | 57.88  | 55.48  | 2.4          | 23.84           |
|                 |        |        | SUM=10.07    | SUM =100        |

Pozo No. 2

| PARÁMETRO       | ICASIN | ICACON | $\Delta$ ICA | % AFECTACIÓN |
|-----------------|--------|--------|--------------|--------------|
| DT              | 61.66  | 59.9   | 1.76         | 17.2         |
| SDT             | 61.66  | 60.51  | 1.15         | 11.24        |
| CIR             | 61.66  | 60.61  | 1.05         | 10.26        |
| Na              | 61.66  | 60.69  | 0.97         | 9.48         |
| Cl              | 61.66  | 60.86  | 0.8          | 7.82         |
| As              | 61.66  | 60.91  | 0.75         | 7.33         |
| SO <sub>4</sub> | 61.66  | 61.29  | 0.37         | 3.61         |
| NO <sub>3</sub> | 61.66  | 61.33  | 0.33         | 3.22         |
| C               | 61.66  | 61.46  | 0.2          | 1.96         |
| pH              | 61.66  | 58.81  | 2.85         | 27.86        |
|                 |        |        | SUM=10.23    | SUM =100     |

## Continuación de Anexo No. 10

### Pozo No. 3

| PARÁMETRO | ICASIN | ICACON | $\Delta$ ICA | % AFECTACIÓN |
|-----------|--------|--------|--------------|--------------|
| DT        | 58.87  | 57.17  | 1.7          | 9.53         |
| SDT       | 58.87  | 55.74  | 3.13         | 17.55        |
| CIR       | 58.87  | 55.83  | 3.04         | 17.05        |
| Na        | 58.87  | 55.91  | 2.96         | 16.6         |
| Cl        | 58.87  | 56.05  | 2.82         | 15.82        |
| As        | 58.87  | 58.18  | 0.69         | 3.87         |
| SO4       | 58.87  | 58.5   | 0.37         | 2.08         |
| NO3       | 58.87  | 58.56  | 0.31         | 1.74         |
| C         | 58.87  | 58.67  | 0.2          | 1.12         |
| pH        | 58.87  | 56.26  | 2.61         | 14.64        |
|           |        |        |              |              |
|           |        |        | SUM = 17.83  | SUM = 100    |

### Pozo No. 4

| PARÁMETRO | ICASIN | ICACON | $\Delta$ ICA | % AFECTACIÓN |
|-----------|--------|--------|--------------|--------------|
| DT        | 57.75  | 56.09  | 1.66         | 17.96        |
| SDT       | 57.75  | 56.67  | 1.08         | 11.69        |
| CIR       | 57.75  | 56.77  | 0.98         | 10.61        |
| Na        | 57.75  | 56.86  | 0.89         | 9.63         |
| Cl        | 57.75  | 57.01  | 0.74         | 8.01         |
| As        | 57.75  | 57.06  | 0.69         | 7.47         |
| SO4       | 57.75  | 57.57  | 0.18         | 1.95         |
| NO3       | 57.75  | 57.48  | 0.27         | 2.92         |
| C         | 57.75  | 57.56  | 0.19         | 2.05         |
| pH        | 57.75  | 55.19  | 2.56         | 27.71        |
|           |        |        |              |              |
|           |        |        | SUM = 9.24   | SUM = 100    |

## Continuación de Anexo No. 10

### Pozo No. 5

| PARÁMETRO | ICASIN | ICACON | $\Delta$ ICA | % AFECTACIÓN |
|-----------|--------|--------|--------------|--------------|
| DT        | 58.19  | 56.51  | 1.68         | 18.73        |
| SDT       | 58.19  | 57.11  | 1.08         | 12.04        |
| CIR       | 58.19  | 57.2   | 0.99         | 11.04        |
| Na        | 58.19  | 57.27  | 0.92         | 10.26        |
| Cl        | 58.19  | 57.45  | 0.74         | 8.25         |
| As        | 58.19  | 57.89  | 0.3          | 3.34         |
| SO4       | 58.19  | 57.86  | 0.33         | 3.68         |
| NO3       | 58.19  | 57.91  | 0.28         | 3.12         |
| C         | 58.19  | 58     | 0.19         | 2.12         |
| pH        | 58.19  | 55.73  | 2.46         | 27.42        |
|           |        |        |              |              |
|           |        |        | SUM = 8.97   | SUM = 100    |

### Pozo No. 6

| PARÁMETRO | ICASIN | ICACON | $\Delta$ ICA | % AFECTACIÓN |
|-----------|--------|--------|--------------|--------------|
| DT        | 56.54  | 54.92  | 1.62         | 18.24        |
| SDT       | 56.54  | 55.51  | 1.03         | 11.6         |
| CIR       | 56.54  | 55.59  | 0.95         | 10.7         |
| Na        | 56.54  | 55.68  | 0.86         | 9.68         |
| Cl        | 56.54  | 55.81  | 0.73         | 8.22         |
| As        | 56.54  | 55.99  | 0.55         | 6.19         |
| SO4       | 56.54  | 56.18  | 0.36         | 4.05         |
| NO3       | 56.54  | 56.26  | 0.28         | 3.15         |
| C         | 56.54  | 56.36  | 0.18         | 2.03         |
| pH        | 56.54  | 54.22  | 2.32         | 26.13        |
|           |        |        |              |              |
|           |        |        | SUM = 8.88   | SUM = 100    |

**ANEXO No. 11.- Cálculo del Índice de Calidad del Agua con seis parámetros (ICAFOX6), para los pozos No. 1, 2,3,4,5 y 6**

**Pozo No.1**

| Parámetro | Unidades     | Cantidad | Qi    | Nuevo Wi | QiWi    |
|-----------|--------------|----------|-------|----------|---------|
| pH        | Adimensional | 7.315    | 100   | 0.0304   | 1.15    |
| DT        | mg/L         | 351      | 55.79 | 0.303    | 3.382   |
| CIR       | mg/L         | 1        | 56.27 | 0.1904   | 2.154   |
| SDT       | mg/L         | 748      | 53.83 | 0.2381   | 2.583   |
| Na        | mg/L         | 224      | 46.75 | 0.1212   | 1.594   |
| Cl        | mg/L         | 102.54   | 69.23 | 0.1169   | 1.641   |
|           |              |          |       |          | = 56.60 |

**Pozo No.2**

| Parámetro | Unidades     | Cantidad | Qi    | Nuevo Wi | QiWi    |
|-----------|--------------|----------|-------|----------|---------|
| pH        | Adimensional | 7.46     | 100   | 0.0304   | 1.15    |
| DT        | mg/L         | 275.14   | 60.16 | 0.303    | 3.46    |
| CIR       | mg/L         | 1        | 56.27 | 0.1904   | 2.154   |
| SDT       | mg/L         | 578      | 57.5  | 0.2381   | 2.624   |
| Na        | mg/L         | 159.8    | 54.98 | 0.1212   | 1.625   |
| Cl        | mg/L         | 70.15    | 79.53 | 0.1169   | 1.668   |
|           |              |          |       |          | = 60.96 |

## Continuación Anexo No. 11

### Pozo No.3

| Parámetro | Unidades     | Cantidad | Qi    | Nuevo Wi | QiWi    |
|-----------|--------------|----------|-------|----------|---------|
| pH        | Adimensional | 7.38     | 100   | 0.0304   | 1.15    |
| DT        | mg/L         | 363.13   | 55.2  | 0.303    | 3.371   |
| CIR       | mg/L         | 1        | 56.27 | 0.1904   | 2.154   |
| SDT       | mg/L         | 724      | 54.28 | 0.2381   | 2.588   |
| Na        | mg/L         | 161.6    | 54.72 | 0.1212   | 1.624   |
| Cl        | mg/L         | 116.05   | 66.17 | 0.1169   | 1.632   |
|           |              |          |       |          | = 57.27 |

### Pozo No.4

| Parámetro | Unidades     | Cantidad | Qi    | Nuevo Wi | QiWi    |
|-----------|--------------|----------|-------|----------|---------|
| pH        | Adimensional | 7.39     | 100   | 0.0304   | 1.15    |
| DT        | mg/L         | 411.47   | 53.11 | 0.303    | 3.332   |
| CIR       | mg/L         | 1        | 56.27 | 0.1904   | 2.154   |
| SDT       | mg/L         | 806      | 52.82 | 0.2381   | 2.571   |
| Na        | mg/L         | 161.6    | 54.72 | 0.1212   | 1.624   |
| Cl        | mg/L         | 123.09   | 64.76 | 0.1169   | 1.628   |
|           |              |          |       |          | = 56.10 |

## Continuación Anexo No. 11

### Pozo No.5

| Parámetro | Unidades     | Cantidad | Qi    | Nuevo Wi | QiWi    |
|-----------|--------------|----------|-------|----------|---------|
|           |              |          |       |          |         |
| pH        | Adimensional | 7.3      | 100   | 0.0304   | 1.15    |
|           |              |          |       |          |         |
| DT        | mg/L         | 522.39   | 49.32 | 0.303    | 3.258   |
|           |              |          |       |          |         |
| CIR       | mg/L         | 1        | 56.27 | 0.1904   | 2.154   |
|           |              |          |       |          |         |
| SDT       | mg/L         | 929      | 50.93 | 0.2381   | 2.549   |
|           |              |          |       |          |         |
| Na        | mg/L         | 163.4    | 54.46 | 0.1212   | 1.623   |
|           |              |          |       |          |         |
| Cl        | mg/L         | 127.44   | 63.95 | 0.1169   | 1.626   |
|           |              |          |       |          |         |
|           |              |          |       |          | = 54.28 |

### Pozo No.6

| Parámetro | Unidades     | Cantidad | Qi    | Nuevo Wi | QiWi    |
|-----------|--------------|----------|-------|----------|---------|
|           |              |          |       |          |         |
| pH        | Adimensional | 7.25     | 100   | 0.0304   | 1.15    |
|           |              |          |       |          |         |
| DT        | mg/L         | 561.01   | 48.24 | 0.303    | 3.236   |
|           |              |          |       |          |         |
| CIR       | mg/L         | 1        | 56.27 | 0.1904   | 2.154   |
|           |              |          |       |          |         |
| SDT       | mg/L         | 1036     | 49.54 | 0.2381   | 2.532   |
|           |              |          |       |          |         |
| Na        | mg/L         | 198.3    | 50.17 | 0.1212   | 1.607   |
|           |              |          |       |          |         |
| Cl        | mg/L         | 143.04   | 61.3  | 0.1169   | 1.618   |
|           |              |          |       |          |         |
|           |              |          |       |          | = 52.77 |

## BIBLIOGRAFIA

Acosta Adriana, Contini Liliana, Mongiello Adriana, Ocampo Ester, Rudal Ester. 1999. Calidad del Agua Subterránea con Fines de Riego Suplementario en Argiudoles del Centro de Santa Fe, Argentina. , vol. 12, p.65-74.

Álvarez, S.G., Maldonado, M, Gerth, A . 2004. Caracterización de Agua Residual de Curtiduría y Estudio del Lirio Acuático en la Recuperación de Cromo. Inf. tecnol., vol.15, no.3, p.75-80. ISSN 0718-0764.

Analisis de Agua, Criterios Generales para el Control de la Calidad de Resultados Analíticos.NMX-AA-115-SCFI-2001.

[www.consumaseguridad.com/web/es/sociedad\\_y\\_consumo/2001/07/11](http://www.consumaseguridad.com/web/es/sociedad_y_consumo/2001/07/11)

Arias Teresa, Herrera Liliana, Santander Edgardo. 2001. Caracterización de los Parámetros Físicos, Químicos y Biológicos en la Bahía Molle, Iquique [accesado10deoctubrede2006].

[www.scielo.cl/scielo.php?script=sci\\_arttex&pid=S071771782001000200006&lng...](http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttex&pid=S071771782001000200006&lng...)

Báez María, Zincker Jorge, 1999 Departamento de Química Inorgánica y Analítica, Facultad de Ciencias Químicas y Farmacéuticas, Universidad de Chile, Casilla 233, [accesado 5 de Septiembre de 2006] [www.aquacenter.cl/htm](http://www.aquacenter.cl/htm)

Castillo Jorge L. Calidad de Agua 1997 [accesado 22 de diciembre de 2006] <http://www.monografias.com/trabajos15/analisis-bioquimico-agua/analisis-bioquimico-agua.shtml>

Encina F. Mejias P. Muñoz Prederos, Rivera N.R. 2005. La Calidad de las Aguas en los Rios Cautín e Imperial, IX Región-Chile [accesado 24 de octubre de 2006] [www.scielo.cl/scielo.php?script=sci\\_arttex&pid=S071807642004000i](http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttex&pid=S071807642004000i)  
ng

Espinoza Ojeda Eligio. 2003. Evaluación de Riesgo a la Salud por Exposición a Arsénico en Agua Potable en Poblados de la Costa Agrícola de H. Caborca, Sonora.

Esser Bradley, Koester Carolyn, Simonich Staci, Analytical Chemistry vol. 75, No 12 2003 pag. 2813-2829. [accesado 17 de diciembre de 2006] <http://www.epa.gov/> EPA ( Environmental Protection Agency )

Fox Epifanio, Gortáres Pablo. 1995. Modelo de Índices de Calidad del Agua residual del colector principal No. 1 en el valle del Yaqui para reuso agrícola.

Tesis de Maestría en Optimización de Sistemas Productivos. Instituto Tecnológico de Sonora. Cd. Obregón, Sonora.

Freeman Myrick A. 1987. Control de la Contaminación del Agua y Aire, Editorial Limusa S.A. de C.V., Primera edición. México D.F.

Frias P., Marta, Cano, Francisco, MARIN B., Verónica. 2002. Estimación del agua corporal total por deuterio en diálisis peritoneal pediátrica. [online]. vol.74, no.5 [citado 04 Abril 2006], p.504-510.

Disponible en <[http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0370-41062003000500007&lng=es&nrm=iso](http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0370-41062003000500007&lng=es&nrm=iso)>. ISSN 0370-4106.

Gesche Dr. agr; A. Vallejos, M.V.; M. Saez T.M. 2003. Eficiencia de Anaerobios sulfito-reductores como indicadores de calidad sanitaria de agua. Instituto de Medicina Preventiva Veterinaria, Facultad de Ciencias Veterinarias, Universidad Austral de Chile. Casilla 567, Valdivia Chile.2003.

González Liubow, Mardones María.1999. Hidrogeoquímica y comportamiento del agua subterránea en la cuenca del río Claro, Región del Biobío, Chile Departamento de Ciencias de la Tierra, Universidad de Concepción Casilla 3-C, Concepción, Chile.1999.<[http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0370-41062003000500007&lng=es&nrm=iso](http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0370-41062003000500007&lng=es&nrm=iso)>. ISSN 0370-4106.

Olaiz Fernández Gustavo. 1995. Guías para la Calidad de Aguas, México D.F.  
vol. 1. Organización Mundial de la Salud.

OMS 1995. Organización Mundial de la Salud. Sonora 1995. Calidad del Agua.  
<http://www.cepis.ops-oms.org/bvsacg/e/elagua.html> 2 de abril del 2006.

OOMAPAS 2006. Organismo Operador Municipal de Agua Potable,  
Alcantarillado y Saneamiento de Caborca Sonora 2006. Arq. Armando Reyna  
Sotelo.

Richardson Susan. 2003. Emerging Contaminants and Currents Issues,  
Georgia [accesado en 5 de Noviembre de 2006] <http://www.epa.gov/> EPA  
(Environmental Protection Agency)

Seclen Javier. 2004. Información Agraria del Ministerio de Agricultura del  
Perú[accesado 12 de diciembre de 2006.]  
[www.promoazonia.gob.pe/bpa/calidad\\_agua.html](http://www.promoazonia.gob.pe/bpa/calidad_agua.html)

SEMARNAT 2001. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales.  
Sonora 2001. Normatividad y Calidad Ambiental sobre Aguas Potables.  
<http://semarnat.gob.mx/semarnat.html>. 5 de abril del 2006 5:20 hrs.