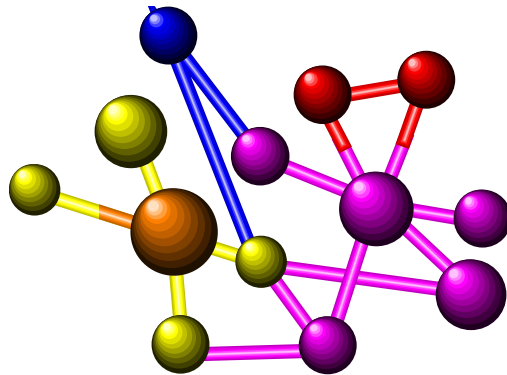


**INSTITUTO COSTARRICENSE DE  
ACUEDUCTOS Y ALCANTARILLADOS**

**LABORATORIO REGION CENTRAL-METROPOLITANA**



**CARACTERIZACION Y DISTRIBUCION POR  
CANTONES DE LA DUREZA DEL AGUA EN LAS  
FUENTES UTILIZADAS PARA CONSUMO HUMANO EN  
COSTA RICA**

**PREPARADO POR: M.Sc. Darner Mora Alvarado  
Licda. Nuria Alfaro Herrera**

**MAYO, 1999**

# DUREZA DEL AGUA PARA CONSUMO HUMANO EN COSTA RICA

Darner Mora Alvarado 1  
Nuria Alfaro Herrera 2

## RESUMEN

Se presenta la caracterización por dureza del agua en 1.148 fuentes utilizadas en Costa Rica para consumo humano. La misma se realiza por medio de una distribución de frecuencias de las concentraciones de  $\text{CaCO}_3$ , fundamentados en la clasificación de dureza del agua de la OMS, y agrupando los resultados por cada uno de los 81 cantones del país. El producto se refleja en un mapa, codificando los resultados por colores. Las concentraciones promedio de  $\text{MgCO}_3$  permiten concluir que las aguas del país tienen un comportamiento normal, con respecto a otras latitudes del mundo. Las concentraciones de  $\text{CaCO}_3$  demuestran que el 64% de las fuentes subterráneas y el 74.5% de las superficiales se clasifican como aguas blandas, con tendencia a la corrosión. El 21% son aguas medianamente duras, mientras que el 8.8% y 6.4% de las aguas subterráneas son duras y muy duras, respectivamente, con tendencia a producir incrustaciones.

El análisis de resultados permite concluir que con aguas muy blandas se presentan problemas de fugas por la corrosión y el daño estructural de las tuberías, principalmente en los cantones del interior del país. Por el contrario, el exceso de  $\text{CaCO}_3$  produce incrustaciones con problemas organolépticos y disminución de la vida media de las tuberías. Por último, se recomienda utilizar el presente estudio como instrumento para la planificación, construcción y operación de acueductos e industrias que utilicen las diferentes aguas. Además, se sugiere abordar por medio de estudios científicos la influencia de la ingesta de  $\text{CaCO}_3$  y  $\text{MgCO}_3$  en la dieta diaria y la salud del costarricense.

## 1. INTRODUCCION

La dureza del agua es causada por el calcio y en menor grado el magnesio disueltos en ella. Generalmente se expresa por la cantidad equivalente de carbonato de calcio.(1) Según la clasificación de la Organización Mundial de la Salud (OMS), se define como agua blanda la que presenta concentraciones inferiores a 60 mg/L de Carbono de Calcio ( $\text{CaCO}_3$ ), medianamente dura entre 61 y 120 mg/L, dura entre 121 y 180 mg/L y muy dura aquella con valores superiores a 180 mg/L.(2) El calcio se disuelve prácticamente de todas las rocas, y por lo tanto, se detecta en todas las aguas.

Las aguas asociadas con granito, o arena silíceas, pueden contener menos de 10 Mg. de calcio por litro. Muchas aguas provenientes de áreas calizas pueden contener de 30-100mg/L; las que entran en contacto con soportes de yeso ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ) pueden contener varios cientos de mg/L. Dependiendo de varios aspectos como el pH efectivo del agua, pH de Saturación, el Índice de Langelier y la concentración de carbonatos de calcio y magnesio, pueden producir procesos de corrosión o incrustación en las tuberías utilizadas para el abastecimiento de aguas domésticas (3). Ambos fenómenos producen problemas operativos en los sistemas de abastecimiento de agua para consumo humano (ACH) y uso industrial.

Por otro lado, las aguas blandas y duras han sido relacionadas con problemas cardíacos (4) y cálculos renales, respectivamente. Sin embargo, este aspecto será analizado en futuros estudios por nuestro grupo de investigadores. En el presente trabajo se aborda solamente la caracterización o comportamiento de la dureza de 1.148 fuentes superficiales y subterráneas, utilizadas para el ACH, y su distribución por cantones en Costa Rica.

---

<sup>1</sup> MSc. Maestría en Salud Pública – Director Laboratorio Nacional de Aguas AyA.

<sup>2</sup> Licenciada en Química –Laboratorio Nacional de Aguas AyA. Telfax 279-59-73

## 2. OBJETIVOS

### 2.1 Objetivo general

Describir el comportamiento por durezas de calcio y magnesio de las fuentes de aguas superficiales y subterráneas, utilizando la clasificación de la OMS, para distribuir las por cantones en el país.

### 2.2 Objetivos específicos

- Realizar un mapeo por cantones de la dureza por carbonato de calcio ( $\text{CaCO}_3$ ), utilizando los promedios de las fuentes de agua usadas por acueductos rurales, municipalidades y el Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados (AyA).
- Identificar las zonas o cantones con problemas de incrustaciones o corrosión en los sistemas de abastecimiento de ACH, además de las aguas usadas en los diferentes tipos de industria.

## 3. MATERIALES Y METODOS

### 3.1 Tipo de investigación

La presente investigación es de tipo descriptiva y retrospectiva. Para su desarrollo se utilizan los historiales de datos de los análisis físico-químicos realizados por el Laboratorio Nacional de Aguas en los acueductos rurales, municipales y el propio AyA, efectuados entre 1996 y 1998.

### 3.2 Clasificación de dureza en el agua de la OMS

La OMS clasifica la dureza del agua por medio de la concentración de  $\text{CaCO}_3$ , la cual se agrupa por intervalos de la siguiente manera:

Tabla 1. Clasificación de la Dureza por  $\text{CaCO}_3$  en el Agua, Según OMS

Concentración de $\text{CaCO}_3/\text{mg/L}$	Tipo	Codificación*
0 - 60	blanda	Azul
61 - 120	Moderadamente dura	Verde
121 - 180	dura	Amarillo
>180	Muy dura	Rojo

\*La codificación por colores es un complemento desarrollado por los autores de este trabajo.

### 3.3 Guías de calidad de $\text{CaCO}_3$ para uso industrial

Con el afán de que esta investigación aporte información a la industria costarricense (presente y futura), sobre las concentraciones de  $\text{CaCO}_3$  en los diferentes cantones del país, se utilizan las "Guías de Calidad de Agua para Uso Industrial del Canadá"(6), específicamente en la dureza por  $\text{CaCO}_3$  y  $\text{MgCO}_3$ , para determinar en cuales zonas es necesario tratar el agua para la instalación de industrias de los siguientes tipos:

- Generación eléctrica por medio de vapor
- Acero y hierro
- Pulpa y papel
- Petróleo
- Alimentos y bebidas
- Química

- Textileros
- Teñido

### 3.4 Procesamiento de datos

Para cumplir con los objetivos mencionados se analizarán los datos de dureza total y carbonatos de calcio y magnesio, de las fuentes de agua superficiales y subterráneas de 473 acueductos rurales, 282 municipales y 393 fuentes utilizadas por el AyA.

#### 3.4.1 Distribución de frecuencias

Los datos obtenidos por CaCO<sub>3</sub> se agruparon de acuerdo a la clasificación de la OMS (ver tabla1), por cantón y por provincia. La información corresponde a 141 aguas superficiales y 1.007 subterráneas.

#### 3.4.2 Mapeo por cantones

Los resultados se promediaron por cantón, ubicándose de acuerdo a la clasificación de la OMS y codificándose por colores. Posteriormente se procedió, por medio de computadora (Microsoft paint), a representarlos en un mapa de Costa Rica dividido por cantones.

### 3.5 Técnicas de laboratorio

Las determinaciones de dureza total y CaCO<sub>3</sub> se realizaron siguiendo las directrices de "Standard Methods por Examination of Water and Wastewater".(5)

#### 3.5.1 Resumen de las Guías de Calidad para CaCO<sub>3</sub> y MgCO<sub>3</sub> de Canadá

Tabla 2. Resumen de las Concentraciones de CaCO<sub>3</sub> Permisibles para Uso Industrial

Tipo de Industria	CaCO <sub>3</sub> mg/L	MgCO <sub>3</sub> mg/L
1. Generación eléctrica vapor	<1.0	--
2. Industria de Acero y Hierro	<100	--
3. Pulpa y papel	<20	<20
4. Petróleo	<350	<25
5. Alimentos y bebidas	--	--
5.1 Gaseosas	200 – 250	--
5.2 Lechería	<180	--
5.3 Refinería – azúcar	<100	--
5.4 Enlatados	<50	--
5.5 Panaderías	--	--
5.6 Destilería	--	--
5.7 Empacadora de Carne	--	--
5.8 Fabrica de Hielo	<70	--
6. Química orgánica	<250	--
7. Textiles	<25	--
8. Tenería - cueros	<150	--

Fuente: Guías de Calidad para el Uso Industrial en Canadá.

### 3.6 Presentación de resultados

Los resultados de la investigación se presentan por medio de cuadros y mapeo por cantones, utilizando la clasificación de la OMS modificada o codificada por colores.

## 4. RESULTADOS Y DISCUSION

Antes de iniciar la presentación de los resultados, es necesario anotar que las Guías de Calidad para el Agua de Bebida de la OMS no establecen los valores límites para la dureza total,  $\text{CaCO}_3$  y  $\text{MgCO}_3$ .(7 - 8) El Reglamento para la Calidad del Agua Potable de Costa Rica establece en 400 mg/L la dureza total(9), pero no brinda valores para las concentraciones de  $\text{CaCO}_3$  y  $\text{MgCO}_3$ . Sin embargo, como se indicó en la metodología, la OMS clasifica la dureza con base a las concentraciones de  $\text{CaCO}_3$ .

### 4.1 Resultados de Dureza Total, $\text{CaCO}_3$ y $\text{MgCO}_3$

En los cuadros 1, 2 y 3 se presentan los resultados promedio de Dureza Total,  $\text{CaCO}_3$  y  $\text{MgCO}_3$  de las fuentes de agua usadas por acueductos rurales, municipales y AyA en los 81 cantones del país. El análisis de los resultados demuestra que, en términos generales, la mayoría de las fuentes no sobrepasan los 300mg/L. Las concentraciones de  $\text{MgCO}_3$  oscilan entre 10 a 88mg/L. Estos datos demuestran que el comportamiento de nuestras fuentes de aguas es normal al compararlo con la literatura mundial.(10) En el caso del  $\text{CaCO}_3$  existe una mayor variedad en sus concentraciones, sobre todo en la comparación entre los cantones externos e internos del país.

### 4.2 Distribución del $\text{CaCO}_3$ por cantones

Los resultados de las 141 fuentes superficiales y 1.007 fuentes subterráneas, se agruparon de acuerdo con la clasificación de la OMS y su distribución por cantones en Costa Rica. En el cuadro 4, se observa que el 74,5% de las fuentes superficiales presentan resultados inferiores a 60 mg/L, lo cual las clasifica como aguas blandas, mientras que de las subterráneas el 64% obtienen la misma clasificación. Entre el 20 a 21% de las fuentes se clasifican como medianamente duras (61–120mg), tanto para aguas subterráneas como superficiales. Con respecto a las aguas superficiales solamente el 5% se clasifica como dura y ninguna como muy dura. Las aguas subterráneas se califican con 8,8 y e 6,4% como duras y muy duras, respectivamente.

### 4.3 Distribución del $\text{CaCO}_3$ por provincias

En el cuadro 5 se resume la distribución por provincias de los resultados agrupados de acuerdo con la clasificación de la OMS. Dichos datos se presentan en concordancia con el ente operador del acueducto. La observación permite concluir que las aguas duras o muy duras se encuentran en la provincia de Limón, Puntarenas y Guanacaste.

### 4.4 Mapeo por cantones de acuerdo al promedio de $\text{CaCO}_3$

En la tabla 3 se presenta la codificación de la Dureza de Calcio por provincias y cantones, la cual es un complemento de la clasificación de la dureza de la OMS. Posteriormente se visualizó por medio de un mapeo por cantones, lo cual se observa en la figura 1. Como es lógico, en el mapa se ratifica que las aguas con mayor concentración de  $\text{CaCO}_3$  se ubican en las zonas costeras, observándose que el cantón de Nicoya es el que presenta mayor concentración. Por su parte, las aguas blandas se presentan en el interior del país.

### 4.5 Aguas corrosivas y aguas incrustantes

El grado de dureza del agua es determinado por la OMS como factor de rechazo para la ingesta del agua. Sin embargo, desde el punto de vista de la operación del abastecimientos interesa evaluar si presenta condiciones corrosivas e incrustantes. Según la OMS, la aceptación de la dureza del agua por el público puede ser muy variable. El umbral del sabor de ión calcio es del orden de 100 a 300 mg/L, y el de magnesio es probablemente inferior al de calcio.(11) Aguas con concentraciones superiores a 125mg/L de  $\text{MgCO}_3$  tienen efectos laxantes(12).

El agua con dureza superior a 200mg/L puede causar incrustaciones en el sistema de distribución. Este fenómeno está asociado con el pH efectivo y el pH saturación del agua. Este último se define "como aquel para el que un agua de idéntica alcalinidad y dureza estará en equilibrio con el CaCO<sub>3</sub> sólido". Además de la dureza de calcio y la alcalinidad, para calcular el pH de saturación se tienen en cuenta la saturación del total de sólidos disueltos y la temperatura. Las aguas con pH efectivo superior a su pH saturación (índice de Langelier positivo) están sobresaturadas de CaCO<sub>3</sub> y, por lo tanto, tienden a formar incrustaciones. En el caso contrario (índice de Langelier negativo) están subsaturadas con respecto al CaCO<sub>3</sub>, por lo que se consideran corrosivos (13). Como se observa, en ambos fenómenos participan varios elementos como complemento a las concentraciones de dureza total (CaCO<sub>3</sub> + MgCO<sub>3</sub>).

En Costa Rica se han identificado problemas serios de corrosión en las aguas de San José, Alajuela, Heredia y Cartago. La corrosión afecta los procesos microbiológicos, con el favorecimiento de películas bacterianas en la tubería. Además se caracteriza por la solubilización parcial de los materiales del sistema, incluidas las tuberías, tanques de almacenamiento, válvulas y bombas, lo cual puede llevar al colapso estructural por medio de fugas, pérdida de capacidad y deterioro de la calidad química y microbiológica del agua. El mencionado deterioro, puede repercutir directamente en las concentraciones de algunos oligoelementos, afectando los valores recomendados por la OMS.

Con respecto a las aguas incrustantes, éstas pueden causar disminución de la luz de las tuberías, dando lugar al consumo excesivo de jabón y a la consiguiente formación de espuma. Además, provocan depósitos en calderas. En nuestro país se identifican aguas incrustantes en los cantones de las provincias costeras, con excepción de Tilarán, Cañas y Liberia, presentándose los mayores problemas en Nicoya, Limón Centro, Carrillo, Abangares, Santa Cruz, Parrita y Corredores. Por ejemplo, en Nicoya existen problemas operativos en los hidrómetros, válvulas y en la luz de las tuberías. El exceso de CaCO<sub>3</sub> en esta zona es asociada, por los usuarios, con la generación de cálculos renales, asunto que será estudiado en una próxima investigación por nuestro grupo de investigadores.

#### 4.6 Concentraciones de CaCO<sub>3</sub> en el agua y su efecto sobre los diferentes tipos de industria

Como un aporte complementario del presente estudio y utilizando los valores límites de las Guías de Calidad del Agua del Canadá, en el cuadro 6 se citan las zonas convenientes e inconvenientes de explotación de agua para diferentes industrias. Por ejemplo, la industria farmacéutica prefiere usar aguas muy blandas, mientras que para la fabricación de bebidas gaseosas las que presentan concentraciones de hasta 250 mg/L de CaCO<sub>3</sub>.

#### 4.7 Aspectos relacionados con la salud de los usuarios

Como se indicó, diferentes investigadores han relacionado a las aguas blandas con problemas cardiovasculares(14). Por el contrario, el exceso de CaCO<sub>3</sub> podría favorecer la formación de cálculos renales en los usuarios. Ambos problemas serán estudiados en próximas investigaciones.

## 5. CONCLUSIONES

El análisis de los resultados de dureza total, CaCO<sub>3</sub> y MgCO<sub>3</sub> de las 1.148 fuentes de aguas estudiadas, nos permite hacer las siguientes conclusiones.

- En términos generales, salvo muy pocas excepciones, las aguas utilizadas en el ACH no superan el valor límite de 400mg/L de Dureza total del Reglamento para la Calidad del Agua Potable.
- Las concentraciones de MgCO<sub>3</sub> en las fuentes de agua oscilan entre 10 a 88 mg/L, lo cual es normal con respecto a estudios realizados en otros países.

- Los promedios de  $\text{CaCO}_3$  agrupados por cantones y clasificados con los criterios de la OMS, permiten observar que las aguas blandas se ubican en el interior del país y las duras en las provincias de Puntarenas, Guanacaste y Limón.
- El 64 y 74,5% de las fuentes subterráneas y superficiales, respectivamente, tienen concentraciones inferiores a 60mg/L. Entre el 20 al 21% de las aguas se clasifican como medianamente duras. Solamente el 5% de las aguas superficiales son duras. El 8.8% y el 6.4% de las aguas subterráneas se clasifican como duras y muy duras.
- La distribución de las concentraciones de  $\text{CaCO}_3$  por provincias permite ratificar que las provincias de San José, Alajuela, Heredia y Cartago tienen aguas blandas, y las provincias de Puntarenas, Guanacaste y Limón, salvo algunas excepciones, tienen aguas duras. Esta situación se visualiza mejor en el mapeo por cantones, el cual resulta muy útil para la construcción de acueductos y el establecimiento de diferentes tipos de industria.
- No existen en Costa Rica estudios que permitan determinar la influencia del  $\text{CaCO}_3$  y  $\text{MgCO}_3$  en la dieta diaria de calcio y magnesio, al consumo de ACH. Por último, tampoco existen en el país estudios epidemiológicos que relacionen el exceso o escasez de  $\text{CaCO}_3$  en el ACH, con problemas de cálculos renales y enfermedades cardiovasculares.

## 6. RECOMENDACIONES

El comportamiento de la dureza del agua, y en forma específica la distribución del  $\text{CaCO}_3$  por cantones, es fundamental para la planificación, construcción y operación de acueductos e industrias, razón por la cual se recomienda:

- Tomar las medidas previsoras del caso, para el mantenimiento y operación de los acueductos con aguas corrosivas e incrustantes. Ambos fenómenos disminuyen la vida media de las estructuras de los sistemas de abastecimiento de agua, por lo que se sugiere tomar en cuenta estos aspectos en el mantenimiento preventivo y correctivo de los sistemas.
- Es evidente que no es recomendable establecer industrias farmacéuticas, papel y pulpa, textiles, fábricas de hielo y empresas de generación eléctrica a base de vapor en zonas costeras como Puntarenas Centro, Corredores, Abangares, Nicoya y Carrillo.
- Es necesario ahondar en la determinación de la influencia del  $\text{MgCO}_3$  y  $\text{CaCO}_3$  en la ingesta diaria de magnesio y calcio en la dieta del costarricense.
- Por último, es importante realizar estudios epidemiológicos para evaluar la existencia de relación entre el exceso y escasez de  $\text{CaCO}_3$ , con la generación de cálculos renales y problemas cardíacos respectivamente.

## REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

1. OMS. Guías para la Calidad del Agua Potable. Ginebra, segunda edición, Vol. 1. Recomendaciones, 1995. Pág. 49.
2. Instituto Nacional de Higiene Epidemiológica y Microbiología. Agua y Salud. La Habana, Cuba. Editorial Ciencias Médicas, 1992. Pág. 50.
3. Opt. cit. OMS. Pág. 148.
4. OMS. "Calidad del Agua, Oligoelementos y Enfermedades Cardiovasculares. Ginebra, Crónicas de la OMS. No. 27, 1983. Pág. 572.
5. APHA, AWWA, WPCF. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. Washington, 18th ed. APHA, 1992. Pág.
6. Canadian Council of Ministers of the Environment. Canadian Water Quality Guidelines. INDUSTRIAL Water Supplies. Ottawa, Ontario, Canadá, 1993. Página 5-1 A 5-17
7. Opt. cit. OMS, Pág. 1-195.
8. OMS. Guidelines for Drinking Quality. Geneva, 2nd ed. Vol. 2. Heath Criteria and Other Supporting Information. Pág.
9. Costa Rica, La Gaceta. Reglamento de Calidad del Agua Potable. San José, Costa Rica. La Gaceta, No. 100. Pág. 2-4.
10. Opt. cit. OMS. Pág. 131
11. Ibíd. Pág. 132
12. GEMS. Guía Operativa GEMS/Agua. Canadá. Tercera Edición. Capítulo 3, 1992. Pág. 6-12.
13. Opt.cit. OMS. Pág. 148
14. Calvo, Díaz; Sardiñas, Peña y Cañas Pérez. Evaluación de las Concentraciones de Oligoelementos y Dureza Total del Agua y su Posible Relación con la Mortalidad por Miocardia. En: El agua y la Salud. Instituto Nacional de Higiene Epidemiológica y Microbiológica. La Habana, Cuba, Editorial Ciencias Médicas, 1992. Pág. 115-129.



CUADRO No. 4  
DISTRIBUCION DE FRECUENCIA DE LOS VALORES DE CaCO<sub>3</sub> EN FUENTES DE  
AGUA SUPERFICIALES Y SUBTERRANEAS EN COSTA RICA  
1996-1998

Grado de Dureza CaCO <sub>3</sub> (mg/L)	Fuentes Superficiales n = 141		Fuentes Subterráneas n = 1007	
	No. Muestras	%	No. Muestras	%
0-60 (agua blanda)	105	74.5	644	64
61-120 (medianamente dura)	29	20.6	209	20.8
121-180 (dura)	7	5	89	8.8
>180 (muy dura)	0	0	65	6.4
<b>TOTALES</b>	<b>141</b>	<b>100</b>	<b>1007</b>	<b>100%</b>

CUADRO No. 5  
DISTRIBUCION DEL CaCO<sub>3</sub> EN LAS FUENTES DE AGUA DE CONSUMO HUMANO  
POR INTERVALOS Y PROVINCIAS – COSTA RICA 1996-1998

PROVINCIA	0-60 mg/L		61-120 mg/L		121-180 mg/L		>180 mg/L		TOTALES	
	A.Sub	A. sp.	A.Sub	A. sp.	A.Sub	A. sp.	A.Sub	A. sp.	A.Sub	A. sp.
San José	59	2	11	--	6	1	--	0	76	3
Alajuela	74	--	6	--	0	--	0	--	80	--
Heredia	4	4	2	--	0	--	0	--	6	4
Cartago	31	--	10	--	0	--	0	--	41	4
Guanacaste	30	--	36	--	29	--	20	--	115	--
Puntarenas	18	--	38	--	20	--	13	--	89	--
Limón	27	4	7	1	5	--	11	--	50	5
<b>TOTAL</b>	<b>243</b>	<b>14</b>	<b>110</b>	<b>1</b>	<b>60</b>	<b>1</b>	<b>44</b>	<b>--</b>	<b>457</b>	<b>16</b>
<b>Municipales</b>										
San José	26	13	4	5	0	--	0	--	30	18
Alajuela	68	2	3	--	0	--	0	--	71	2
Heredia	45	4	2	--	0	--	0	--	47	4
Cartago	62	9	15	3	1	--	0	--	78	12
Guanacaste	0	--	5	--	0	--	0	--	5	--
Puntarenas	4	1	1	6	--	3	0	--	5	10
Limón	0	--	0	--	0	--	0	--	0	--
<b>TOTAL</b>	<b>205</b>	<b>29</b>	<b>30</b>	<b>14</b>	<b>1</b>	<b>3</b>	<b>0</b>	<b>--</b>	<b>236</b>	<b>46</b>
<b>AYA</b>										
San José	58	34	14	8	2	--	0	--	76	40
Alajuela	24	3	9	1	0	--	0	--	33	4
Heredia	22	--	3	--	0	--	0	--	25	--
Cartago	5	9	0	--	0	--	0	--	5	9
Guanacaste	40	--	12	3	8	--	5	--	66	3
Puntarenas	10	--	17	--	20	3	9	--	56	3
Limón	37	16	14	2	6	--	7	--	61	21
<b>TOTAL</b>	<b>196</b>	<b>62</b>	<b>69</b>	<b>14</b>	<b>28</b>	<b>3</b>	<b>21</b>	<b>--</b>	<b>314</b>	<b>79</b>
<b>TOTALES</b>	<b>644</b>	<b>105</b>	<b>209</b>	<b>29</b>	<b>89</b>	<b>7</b>	<b>65</b>	<b>---</b>	<b>107</b>	<b>141</b>

## AGRADECIMIENTO

El presente trabajo se realizó con el apoyo de los compañeros Bernal Aguilar y Juan Murillo, quienes colaboraron con la distribución por cantones de las concentraciones de  $\text{CaCO}_3$  (mapeo), además del aporte del Sr. Felipe Portugués en la revisión del texto y correcciones de forma-fondo y sobre todo, al personal en general del Laboratorio Nacional de Aguas.