

# Estudio comparativo de la dureza del agua en el estado Mérida y algunas localidades del centro y occidente de Venezuela

## Water hardness comparative study between Mérida state towns and some center and western venezuelan towns

\*F. Millán , J. Mathison, M. Alvares, W. Jarbouh  
Instituto Universitario Politécnico “Santiago Mariño” Ext. Mérida.  
\*fmillan49@hotmail.com

### Resumen

*El presente trabajo se realizó a fin de resaltar y reforzar el concepto de la dureza del agua y su importancia a través de un estudio en aguas potables de diferentes regiones del occidente del país. Se muestrearon un total de 36 localidades. Las muestras se sometieron a los análisis químicos de dureza total, cálcica y magnésica pH, y contenido de bicarbonatos. Los resultados muestran que para localidades por debajo de los 1000 msnm, la dureza total se encuentra alrededor de los 100 ppm de CaCO<sub>3</sub>, mientras que por encima de los 1500 msnm las durezas están por debajo de los 50 ppm CaCO<sub>3</sub>. En el estado Mérida se pueden encontrar tres tipos de aguas diferenciadas en relación a su dureza: muy blandas, blandas y semiduras y en general, esta dureza está gobernada por el contenido de calcio. Las localidades de Zea y Tovar, al sur del estado, presentan durezas anormalmente altas en relación a su asnm debido a yacimientos de roca caliza, lo que explica los altos contenidos de calcio y magnesio. Las localidades de Zea y Tovar, al sur del estado así como Mucuchíes y Apartaderos al norte, presentan durezas anormalmente altas en relación a su asnm debido a yacimientos de calizas encontrados en las geologías locales. En la parte occidental de la cordillera de Los Andes, las durezas se incrementan principalmente por el aumento en las cantidades de magnesio, especialmente en la localidad de Aguaviva donde más del 90 % de la dureza está representada por esta especie. Hacia la parte oriental de la cordillera: estados Barinas, Portuguesa y el centro del país las durezas se incrementan debido al aumento gradual en las cantidades de calcio. El contenido de bicarbonato se relaciona positivamente con la dureza excepto en Lagunillas y Cabimas cuyos valores de pH están fuera del rango normal (6.5 – 8.5) debido a posibles contaminaciones.*

**Palabras claves:** Agua, dureza, calcio, magnesio, bicarbonatos.

### Abstract

*The present work was done with the finality to underline the concept of water hardness and its importance through a study in drinkable waters with a participating group of the students of our institute. 36 waters samples were collected from different localities of western Venezuela especially from Mérida state and were submitted to chemical analysis of waters hardness, (Ca , Mg ) bicarbonates content and pH. The results show that water hardness is between 50 and 150 ppm CaCO<sub>3</sub> for localities under 1000 m altitude and under 50 ppm for localities above 1500 altitude. In Mérida state there are 3 kinds of water hardness governed by calcium content. Localities like Zea and Tovar ( 910 and 952 in altitude respectively) in the south, Mucuchies and Apartaderos (2983 and 3342 m altitude respectively) in the north Páramo shows waters hardness abnormally high related to their altitude because of deposits of high Calcium content calcites in the local geology. In the western side of the Andes mountains, water hardness increase principally due to the increase of magnesium contents whereas to the eastern side, the increase of water hardness is due to the increase of calcium content. Bicarbonates contents relates positively with waters hardness, except in Lagunillas and Cabimas. Zulia state and whose pH value were out of normal values range (6.5 – 8.5) showing possible contamination.*

**Key words:** Water, hardness, calcium, magnesium, bicarbonates.

## 1 Introducción

La dureza del agua, a pesar de su importancia, es un concepto que muchas veces pasa por desapercibido, ignorándose en los programas de enseñanza de la química básica e inclusive de la química analítica en muchas escuelas de ingeniería química.

Dentro de lo que es una visión más integral del ingeniero actual, la Estructura Iberoamericana de Apoyo a la Enseñanza de la Ingeniería, EIBAEIL, ha incluido dentro de sus propuestas un tema dedicado al estudio del agua, donde incluye el concepto de Dureza del Agua y su determinación (Agrifoglio, 1990).

El presente trabajo tiene como objetivo principal llamar la atención de los estudiantes de nuestra institución acerca del significado y aplicación del concepto de la dureza del agua, a través de un estudio comparativo de las aguas de consumo en el Estado Mérida y otras localidades del occidente del país.

## 2 Dureza del agua

La dureza del agua está relacionada con la cantidad de cationes metálicos, excepto metales alcalinos, que están presentes en ella y que pueden existir como carbonatos o bicarbonatos. Entre estos metales están el calcio, magnesio, hierro, bario, estroncio.

Debido a que la concentración de iones calcio y magnesio es mucho mayor que la de los demás cationes, se asume que la dureza del agua está representada por el contenido de estos iones, expresado como carbonato de calcio,  $\text{CaCO}_3$ . (Literat, 1975).

### 2.1 Clasificación de las Aguas según su Dureza Total

Las aguas se pueden clasificar de acuerdo al valor de la dureza total ( $\text{Ca}^{+2} + \text{Mg}^{+2}$ ) según lo indica la Tabla 1, (Siegert, 1998).

Tabla 3.- Clasificación de las aguas según el valor de la dureza total

Tipo de agua	ppm $\text{CaCO}_3$
Muy blanda	0 – 15
Blanda	16 – 75
Semidura	76 – 150
Dura	151 – 300
Muy dura	> 300

## 3 Importancia Industrial de la dureza del agua

La importancia del concepto de la dureza del agua para los ingenieros químicos radica en el hecho de que el agua es utilizada por un número variado de industrias como: embotelladoras, cerveceras, destilerías, industrias alimenticias, plantas de gas, refinerías, siderúrgicas, industria del papel, plantas químicas, fábricas de cerámica,

etc., en diversos procesos como: producción de energía, transferencia de calor, transporte de materias primas o desechos, acción mecánica, fabricación de productos, lavado, baños industriales etc.

En este sentido, para aguas de uso industrial, el contenido de sales de calcio y de magnesio presenta una importancia particular debido a la deposición del exceso de estas sales cuando el agua es calentada, lo que constituye un gran inconveniente para equipos como calderas, intercambiadores de calor, etc los cuales están en contacto con el agua caliente.

La deposición se debe a la descomposición térmica de los bicarbonatos, con la formación de carbonatos insolubles, e igualmente la formación de sulfatos insolubles. Estas sales difícilmente solubles se depositan sobre las paredes y tubos de estos equipos formando costras que no conducen bien el calor. Esto trae como consecuencia: baja en el rendimiento térmico, provoca sobrecalentamiento y un mayor gasto de combustible, provoca fatiga del metal y puede provocar explosiones si la costra se desprende durante el funcionamiento.

Por tal motivo, la dureza de un agua en particular debe ser caracterizada antes de decidir utilizarla en un proceso determinado a fin de determinar si el contenido de estas sales se encuentra en niveles aceptables o si por el contrario, hay que someter el agua a un proceso de ablandamiento previo.

### 3.1 Importancia hogareña

La importancia hogareña de la dureza del agua radica en varios aspectos importantes. Las aguas duras tienen un sabor poco agradable y mientras mayor sea la cantidad de sales disueltas menos adecuada es para el consumo. Igualmente, se forman depósitos de carbonatos y sulfatos insolubles en los utensilios de cocina donde se hierve el agua, impidiendo una buena cocción de los alimentos y ocasionando un mayor gasto energético.

El uso de aguas duras en calentadores eléctricos deposita costras de estos compuestos insolubles tanto en las paredes internas del calentador como en la resistencia, impidiendo una buena transferencia del calor e igualmente ocasionando un mayor consumo eléctrico.

Las aguas duras y muy duras no forman espuma con el jabón, lo que obliga a un mayor consumo de éste. Igualmente se forman sales insolubles que se depositan sobre los tejidos de la ropa, sobre la loza del baño, creando manchas que son difíciles de sacar.

Esto sucede debido a que el calcio desplaza al sodio del jabón, formando un jabón de calcio insoluble. Un jabón típico es el estearato de sodio,  $\text{NaC}_{18}\text{H}_{35}\text{O}_2$  (sal sódica del ácido esteárico), el cual reacciona con el calcio del agua.

Por medio de esta reacción se pueden desperdiciar cantidades significativas de jabón (y detergente) ya que la reacción prosigue hasta que todo el calcio y el magnesio se hayan agotado. Sólo entonces el jabón recupera sus

propiedades limpiadoras.

Este aspecto es de particular importancia en lavanderías y otras industrias que utilizan grandes cantidades de jabón, ya que para evitar pérdidas económicas se ven obligados a utilizar tratamientos ablandadores antes de utilizar el agua.

#### 4 Metodología

##### 4.1 El muestreo

Fueron muestreadas un total de 19 localidades del estado Mérida y 20 localidades seleccionadas de algunos estados del occidente y centro del país, entre los meses de febrero y junio del año 2000. En cada localidad se tomaron tres muestras al azar de grifos hogareños de un litro cada una, después de dejar correr el grifo durante unos 5 minutos y finalmente se realizó una muestra compuesta.

Las muestras fueron recolectadas en botellas de plástico de refresco, previamente lavadas con jabón lavaplatos, abundante agua de chorro, ácido clorhídrico 0,01 N y finalmente agua bidestilada. Al momento del muestreo, el envase es enjuagado varias veces con el agua que será muestreada. Estos envases tiene la ventaja de que son livianos y transparentes, pueden trancar herméticamente, impidiendo la entrada de aire, polvo, etc y se consiguen sin costo alguno.

##### 4.2 El análisis químico

Las muestras recolectadas, una vez en el laboratorio, fueron sometidas a los siguientes análisis químicos: dureza total, dureza cálcica y magnésica, contenido de bicarbonatos y pH

Todos los reactivos utilizados en los análisis son de grado analítico y se utilizó agua bidestilada para preparar las soluciones a utilizar. De esta manera se garantiza una mayor confiabilidad en los resultados obtenidos.

El pH se determinó por el método potenciométrico con un pH – metro digital marca ELE Modelo EE 487, acoplado a un electrodo de vidrio, calibrado a pH 4 y 7 con soluciones buffer preparadas previamente.

La determinación de la dureza total, cálcica y magnésica se realizó por el método de volumetría de formación de complejos (Agrifolio,1990; Yappert y DuPré, 1997; Mitchell, 1997; Sieget, 1998).

*Reactivos:*

- Solución EDTA 0,01 M
- Solución buffer de pH 10
- Soluciones de NaOH 0,1 y 1 M
- Indicador Negro de eriocromo T
- Indicador murexide
- Papel indicador de pH con escala de color.

La solución de EDTA se prepara a partir del EDTA previamente secado en la estufa por dos horas a 105 °C y disolviéndolo en agua bidestilada. La solución buffer recomendada por la mayoría de los textos analíticos se prepara a partir de hidróxido de amonio y cloruro de amonio (NH<sub>4</sub>OH / NH<sub>4</sub>Cl). Este buffer tiene la desventaja de que es volátil, posee un olor desagradable y tiene un grado de toxicidad elevado, por lo que es difícil de preparar y manipular.

En el presente trabajo, este buffer fue sustituido por una solución de tetraborato de sodio e hidróxido de sodio (Na<sub>2</sub>B<sub>4</sub>O<sub>7</sub> / NaOH), la cual es inodora y mucho menos tóxica, lo que la hace más fácil de preparar y de manipular.

La solución de NaOH 1 M se prepara disolviendo el hidróxido sólido en agua bidestilada y la solución 0,1 se preparó por dilución de la primera.

El indicador NET se preparó en solución alcohólica (1%) y el murexide en una mezcla 1: 100 con NaCl

El contenido de bicarbonato se determinó por una valoración de neutralización con HCl. (Kreshov y Yaroslavtsev, 1977).

*Reactivos:*

- Solución HCl 0,01 M
- Solución de indicador Metil Orange

La solución de HCl 0,01 M se preparó por dilución de una solución 1 M, la cual a su vez se preparó del HCl 37 % y 1,2 g ml<sup>-1</sup>. El indicador se preparó en solución alcohólica al 5 %.

#### 5 Resultados y discusión

##### 5.1 Relación entre la dureza total y la altitud

En la Fig. 1 se muestra la correlación que existe entre las durezas totales analizadas y la altitud sobre el nivel del mar de las respectivas localidades.

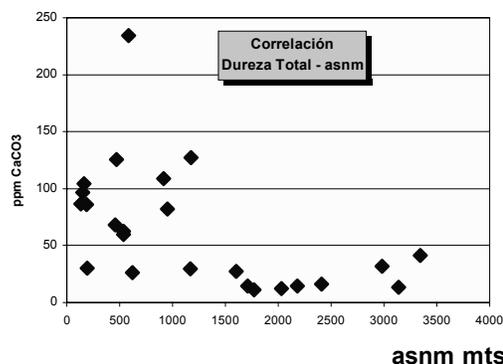


Fig. 1.- Correlación de la dureza total y la altitud sobre el nivel del mar de algunas de las localidades muestreadas.

Los resultados muestran claramente que hasta los 1000 msnm, la dureza promedio de las aguas es de alrededor de 100 ppm  $\text{CaCO}_3$ , mientras que sobre los 1500 msnm, las durezas están por debajo de los 50 ppm  $\text{CaCO}_3$ . Esto demuestra que de manera general las aguas tienden a ser más blandas en localidades de montaña, mientras que en localidades con poca altitud, las aguas tienden a ser más duras.

Esto es lógico si uno piensa en que los ríos nacen en las partes altas de las montañas y a medida que las aguas corren río abajo, van arrastrando y disolviendo minerales, de manera que su dureza aumenta.

Sin embargo, hay excepciones ya que la composición del agua depende también de geología de la región geográfica donde se ubica la fuente de la cual es tomada. La correlación lineal obtenida para los datos mostrados en la Fig. 1 arroja la ecuación:  $y = 1857,03 - 10,228x$ , donde  $y$  son los ppm de  $\text{CaCO}_3$  y  $x$  es la altura sobre el nivel del mar. Igualmente, el valor del coeficiente de correlación  $r$  es de  $-0,5376$ , lo que indica justamente una relación inversa entre la dureza y la altitud de la localidad.

## 5.2 Dureza Total

En el Estado Mérida fueron muestreadas un total de 19 localidades, tanto en la parte norte como en el sur del estado y en la Fig. 2 se muestra de manera comparativa el valor de la dureza total de las mismas.

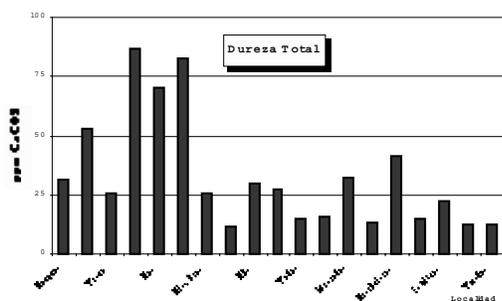


Fig. 2.- Dureza Total de localidades Merideñas

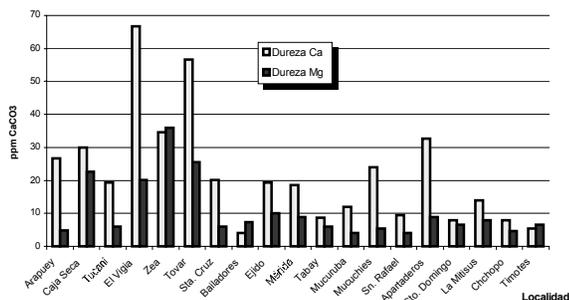


Fig. 3.- Dureza cálcica y magnésica de las localidades Merideñas.

Los resultados muestran que en el Estado Mérida se pueden encontrar tres tipos de aguas, las cuales pueden ser muy blandas, blandas o semiduras. Se observa que el 79 % de estas localidades presentaron aguas cuyas durezas están por debajo de 50 ppm  $\text{CaCO}_3$ , especialmente en la zona del páramo, por lo que estas aguas están catalogadas como blandas o muy blandas, con bajos contenidos de calcio y magnesio.

En la misma zona, las aguas de Mucuchies y Apartaderos deberían ser comparables con las del resto de las localidades adyacentes sin embargo, su dureza total es casi el doble debido a yacimientos de roca caliza en la zona que aportan más calcio al agua.

Igualmente las localidades de El Vigía, Zea y Tovar, presentan una dureza total anormalmente alta en relación al resto del Estado. En el caso de El Vigía, el resultado podría explicarse debido a que esta localidad está por debajo de los 200 msnm, mientras que Zea y Tovar están sobre los 1000 msnm y deberían presentar durezas más bajas. Esto se debe igualmente a que en esta región del estado se encuentran importantes yacimientos de roca caliza, por lo que en mayores cantidades de calcio y magnesio son solubilizadas.

En la Fig. 3 se muestran los valores de la dureza de las localidades Merideñas discriminada en las cantidades de calcio y magnesio. Estos resultados muestran que en general, la dureza de las aguas está gobernada por el contenido de calcio, salvo en el caso de Zea, Bailadores y Timotes, donde el contenido de magnesio es un poco mayor que el de calcio.

Es importante destacar que la calcita ( $\text{CaCO}_3$ ) es el mineral más frecuente en suelos, mientras que la magnesita y la dolomita son más puntuales (Casanova, 1991).

Hacia la parte norte del Estado, los contenidos de magnesio no superan los 10 ppm y disminuyen progresivamente desde la localidad de Ejido hasta la localidad de Apartaderos sin embargo, los contenidos de calcio aumentan en el mismo trayecto. Así, la dureza anormalmente alta de la localidad de Mucuchies y Apartaderos se debe básicamente al contenido de calcio.

Hacia la parte sur del Estado, las cantidades de magnesio tienden a incrementarse, especialmente en el trayecto que cubre las localidades de Santa Cruz de Mora, Tovar y Zea, donde hay yacimientos de roca dolomítica (carbonato de calcio y magnesio) junto con la roca caliza.

En las Figs. 4 y 5 se muestran de manera comparativa la durezas totales, así como las durezas cálcicas y magnésicas en algunas localidades de los Estados Zulia, Lara y Trujillo.

Estos resultados muestran que la dureza total se incrementa rápidamente desde la localidad de Maracaibo hasta Agua Viva y esto se debe principalmente al incremento en las cantidades de magnesio, mientras que los contenidos de calcio se mantienen alrededor de los 50 ppm. Se debe destacar que el carbonato de magnesio es más soluble que el carbonato de calcio.

En el caso de la localidad de Aguaviva, el agua está catalogada como un agua muy dura ya que supera los 300 ppm  $\text{CaCO}_3$  y esta dureza se debe básicamente al contenido de magnesio, el cual representa el 94 % de su dureza total.

Esta composición química particular la diferencia de todas las aguas estudiadas, donde el contenido de calcio supera el de magnesio y por este motivo esta agua debe tener propiedades laxantes, debido justamente al alto contenido de magnesio.

Igualmente el agua de la localidad de Barquisimeto, con un 65% de magnesio puede tener propiedades similares al agua de la localidad de Aguaviva.

Las características de las aguas de Motatán, Sabana de Mendoza y Valera son completamente diferentes, a pesar de la cercanía geográfica, lo que indica que las aguas provienen de fuente diferentes. En este caso, el agua de la localidad de Motatán está catalogada como agua dura y su contenido de calcio es dos veces mayor que el de magnesio, pero las aguas de Sabana de Mendoza y Valera poseen una dureza anormalmente baja en relación a sus vecinos geográficos, por lo que las fuentes de abastecimiento debe provenir de una zona geográfica con formaciones geológicas menos solubles.

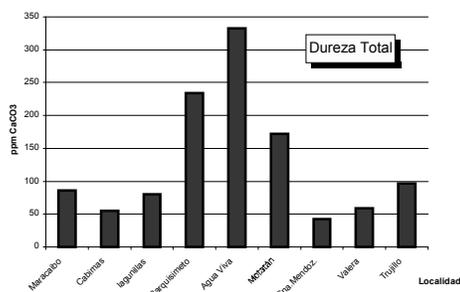


Fig. 4.- Dureza total de algunas localidades de los Estados Zulia, Lara y Trujillo.

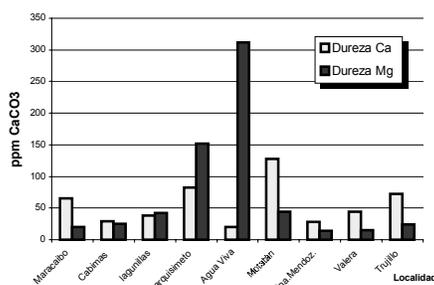


Fig. 5.- Dureza cálcica y magnésica de algunas localidades de los Estados Zulia, Lara y Trujillo.

En las Figs. 6 y 7 se muestran las durezas totales así como las durezas cálcica y magnésica de algunas localidades de los Estados Mérida, Barinas y Portuguesa.

Portuguesa.

Los resultados obtenidos son lógicos ya que esta trayecto representa un descenso en la altura sobre el nivel del mar, por lo que la Dureza debe aumentar. Por este motivo, la dureza del agua de la localidad de Acarigua es anormalmente baja en comparación con las aguas de las localidades de Ospino y San Carlos, las cuales se catalogan como semiduras, mientras que la primera se cataloga como una agua blanda. Esto se debe a que la fuente proviene de formaciones geológicas distintas con tipos de rocas menos solubles.

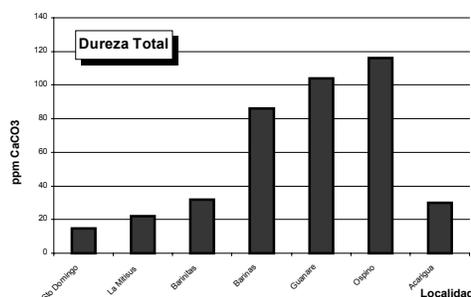


Fig. 6.- Dureza total de algunas localidades de los Estados Mérida, Barinas y Portuguesa.

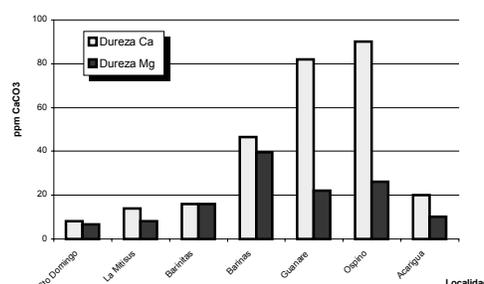


Fig. 7.- Dureza cálcica y magnésica de algunas localidades de los Estados Mérida, Barinas y Portuguesa.

Los resultados muestran igualmente que el aumento descrito en la dureza se debe principalmente al incremento de la cantidad de calcio, a diferencia de lo observado en el lado oeste de la cordillera de Los Andes donde el aumento en las cantidades de magnesio gobierna el incremento de la dureza total. Esto se debe seguramente a la diferencia en la composición de los materiales geológicos de ambos lados de la cordillera; hacia la parte occidental debe predominar el material dolomítico, mientras que en la parte oriental, predomina el material calcítico.

En las Figs. 8 y 9 se muestra de manera comparativa la Dureza total, así como la cálcica y magnésica de algunas localidades del centro del país.

En este grupo de localidades, las aguas muestreadas son del tipo semiduras, con durezas que oscilan entre los 75 y 150 ppm  $\text{CaCO}_3$ .

En la localidad de Los Teques, el agua presenta una dureza total anormalmente alta en relación a su altitud (1173 msnm) y la misma es comparable con la de la ciudad

de Valencia, la cual está a unos 470 msnm. Esto se debe probablemente a la mayor solubilidad del material geológico asociado a la fuente.

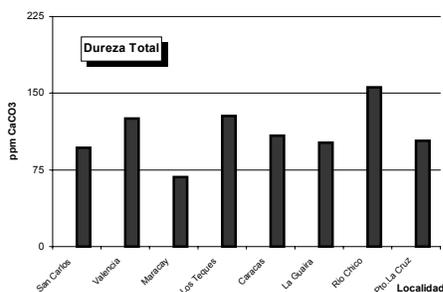


Fig. 8.- Dureza total de algunas localidades del centro del país.

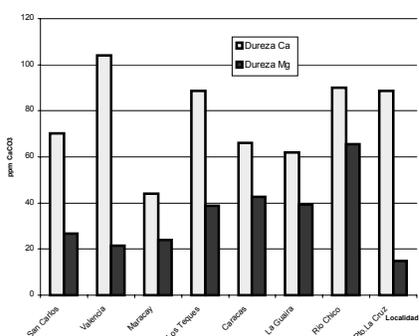


Fig. 9.- Dureza cálcica y magnésica de algunas localidades del centro del país.

Por otro lado, la muestra tomada en la ciudad de Maracay, presenta una dureza total anormalmente baja en relación a su altitud, la cual es comparable con la ciudad de Valencia. Así, la muestra de Maracay se cataloga como una agua suave ya que su dureza total no supera los 75 ppm CaCO<sub>3</sub>, mientras que la muestra de Valencia se cataloga como una agua semidura. Esto se debe a que la fuente del agua muestreada en la ciudad de Maracay se encuentra en las partes altas del Parque Nacional Henry Pitier o en una zona geológica menos soluble.

Para las localidades de Caracas y La Guaira, a pesar de haber más de 900 m de diferencia en la altitud, la composición química de ambas muestras son muy similares. Los contenidos de calcio y magnesio no difieren significativamente, por lo que sus durezas totales son muy similares. Es muy probable que la fuente de abastecimiento sea la misma.

En general, la dureza total se debe al contenido de calcio, especialmente en las localidades de Valencia y Puerto la Cruz, donde el contenido de calcio es por lo menos cuatro veces mayor que el de magnesio.

Estos contenidos de calcio tienden a ser más o menos parecidos, salvo en el caso de la ciudad de Maracay sin embargo, se observa un incremento gradual en los contenidos de magnesio en el trayecto que va desde la

ciudad de San Carlos, en el Estado Cojedes hasta Rio Chico, en las costas del Estado Miranda.

Esto puede ser debido a que las cantidades de material dolomítico se incrementan hacia el centro del país, mientras que las cantidades de material calcítico permanece más o menos constante. Por otro lado el carbonato de magnesio es más soluble que el carbonato de calcio.

### 5.3 Contenido de bicarbonatos

El poder Buffer de las aguas representa la capacidad de éstas para neutralizar las sustancias ácidas y está relacionada, entre otros factores, a la cantidad de bicarbonato presente. Así, la presencia de estos bicarbonatos en las aguas de consumo es importante porque ayuda a constituir un sistema amortiguador que le permite mantener los valores de pH más o menos constantes, a pesar de que se encuentren pequeñas cantidades de sustancias acidificantes o alcalinizantes.

En las muestras analizadas no se encontró alcalinidad debida a carbonatos, por lo tanto, la alcalinidad determinada corresponde solamente al contenido de bicarbonatos. En la Fig. 10 se muestra de manera comparativa, el contenido de bicarbonato y las durezas totales de algunas de las localidades Merideñas.

Se observa que la cantidad de bicarbonato está más o menos en concordancia con los valores de la dureza total, siendo esta última siempre un poco menor que el contenido de bicarbonato. Esto sugiere que toda la dureza de esta agua es del tipo carbonática.

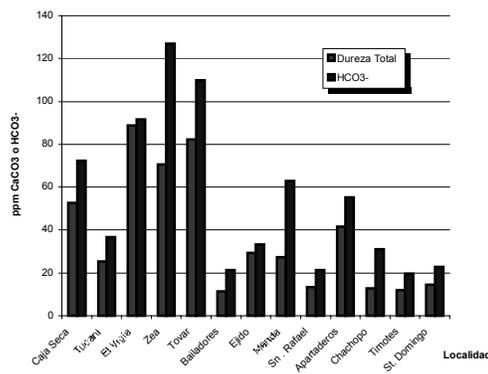


Fig. 10.- Contenido de bicarbonato con relación a la dureza total de algunas localidades Merideñas.

En el caso de las localidades de Zea, Mérida y Chachopo, el contenido de bicarbonatos es prácticamente el doble de la dureza total y esta diferencia podría representar los bicarbonatos de otros metales alcalinos como el sodio que pueden estar también bajo la forma de bicarbonatos. Esto se traduce en una mayor capacidad de neutralización ácida y por lo tanto esta agua posee una cierta protección contra sustancias acidificantes o alcalinizantes.

### 5.4 Valores de pH

El pH de la mayor parte de las aguas es definido por la cantidad de bióxido de carbono, carbonatos y bicarbonatos minerales disueltos. La cantidad de bicarbonatos evita el descenso de los valores de pH debido a la disolución del bióxido de carbono, la cual forma ácido carbónico,  $H_2CO_3$ .

En la Fig. 11 se muestran los valores de pH de algunas localidades seleccionadas entre la totalidad de las muestras. En general, los valores del pH medidos se encuentran en el rango establecido por la OMS y la CE para aguas de consumo humano, es decir entre 6,5 y 8,5. Este resultado confirma que la alcalinidad de esta agua se debe principalmente al contenido de bicarbonatos.

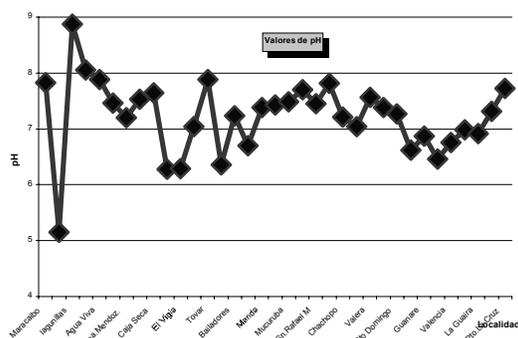


Fig. 11. Valores de pH en las aguas de las localidades muestreadas.

Fuera de la generalidad, los resultados muestran los casos de las localidades de Cabimas y Lagunillas del Zulia cuyas aguas presentan valores de pH de 5,15 y 8,87 respectivamente, los cuales se salen del rango mencionado anteriormente. En el caso de Cabimas, la muestra es muy ácida y puede tener propiedades corrosivas, mientras que en el caso de Lagunillas el agua es muy alcalina y su valor de pH indica la posible presencia de carbonatos.

Debido a que estas localidades se encuentran en plena zona de producción petrolera, estos valores anormales pudieran ser debido a problemas de contaminación. Por otro lado, para el caso de estas localidades, el contenido de bicarbonatos es bastante bajo con relación al valor de la dureza total (11,79 y 52,83 mg  $HCO_3^- L^{-1}$  respectivamente).

Esto sugiere que estas aguas tienen poca capacidad para regular el pH debido justamente a la poca cantidad de bicarbonato presente en ellas. Por lo tanto, cualquier aporte ácido o alcalino proveniente de las actividades petroleras y/o industriales puede modificar fácilmente el pH de agua.

## 6 Conclusiones

La dureza del agua es una característica importante a pesar de que en muchos centros de enseñanza de la química le prestan poca o ninguna atención, por lo que el concepto mismo permanece prácticamente en el anonimato entre los

estudiantes.

El presente trabajo se planteó como una inquietud de algunos estudiantes, en principio como un trabajo de corte docente a fin de que los alumnos se familiarizaran con el concepto de la dureza del agua y la forma de determinarla. Sin embargo, el mismo fue ampliado en número de localidades muestreadas y la determinación de otros parámetros como el pH, alcalinidad, etc. Los resultados han mostrado que en general, la dureza de las aguas tiende a ser mayor en localidades por debajo de los 1000 msnm y menor en localidades con altitudes superiores a 1500 msnm. En este sentido, en el Estado Mérida se pueden encontrar tres tipos de aguas con relación a su dureza total. Estas son aguas muy blandas, blandas y semiduras y en todas la dureza está gobernada por el contenido de calcio.

En la parte occidental de la cordillera de Los Andes, es decir hacia la costa oriental del Lago de Maracaibo, las durezas se incrementan pero debido al aumento en las cantidades de magnesio. Por otro lado, hacia la parte oriental de la cordillera, es decir hacia los Estados Barinas, Portuguesa y hacia el centro del país, las durezas también se incrementan, pero en este caso, el incremento se debe al aumento gradual en las cantidades de calcio.

Los valores de la alcalinidad están representados por el contenido de bicarbonatos, los cuales presentan una correlación positiva con los valores de la dureza total, siendo esta última por lo general menor que el contenido de bicarbonatos. La diferencia podría representar los bicarbonatos de metales alcalinos como el sodio, los cuales forman parte de la dureza permanente del agua.

Los resultados sugieren que la relación dureza bicarbonato podría usarse como índice de posibles problemas de contaminación en las aguas.

Los valores de pH medidos se encuentran por lo general dentro del rango establecido por la OMS y CE para las aguas de consumo, salvo dos excepciones en el estado Zulia (Cabimas y Lagunillas). Estos valores anormales pueden ser debido a la poca cantidad de bicarbonatos presentes en esta agua con relación a la dureza total, lo que le da poca capacidad de neutralización ácida. Por este motivo, estas aguas son muy susceptibles a la contaminación por parte de sustancias ácidas o alcalinas. Los datos de este trabajo representan resultados parciales ya que el mismo será extendido al resto de las localidades Merideñas y los Estados Táchira y Barinas a fin de tener un panorama más completo del entorno geográfico del Estado Mérida, haciendo énfasis en aquellas zonas con aguas de características especiales.

## 7 Agradecimientos

Los autores del presente trabajo desean agradecer al I.U.P.S.M. por el apoyo logístico e institucional para la realización del mismo. Igualmente de manera especial a los bachilleres Héctor Martínez, Susana Gutiérrez y Rigoberto Paredes por su colaboración en las labores de laboratorio y

a todos aquellos bachilleres que participaron en el muestreo. Al Dr. J.M. Hetier por sus sugerencias y recomendaciones.

### **Bibliografía**

- Agrifolio G, 1990, La Enseñanza de la química en ingeniería, Rev. de la Soc. Venezolana de Química. Vol.13, Nr. 4. pp 24 – 26.
- Casanova O, 1991, Introducción a la ciencia del suelo. Universidad Central de Venezuela, Facultad de Agronomía. C.D.C.H.
- Fyfe WS, 1981, Introducción a la geoquímica, Ed. Reverté, S.A., Barcelona, pp 12
- Hostettler JD, 1985, Geochemistry for chemist. J. of Chem. Educ. Vol. 62, Nr. 10, pp 823 – 831.
- Kreshkov AP y Yaroslavtsev AA, 1977, Course of analytical chemistry, Vol. 2, Quantitative Analysis. Mir Pub., Moscow. p 218
- Literat L, 1975, Química general, Ed. Didáctica Bucarest, p 320
- Lurie Ju, 1975, Handbook of analytical chemistry, Mir Pub., Moscow. p 253.
- Mitchell P, 1997, Metal complexes of EDTA: An exercise in data interpretation, J. of Chem. Educ, Vol. 74, Nr. 10. pp 1235 – 1237.
- Siegert G, 1998, Laboratorio básico de química. Ed. Y Pub. Vicerrectorado Académico UCV, pp 130 – 138.
- Tebbutt THY, 1998, Fundamentos del control de la calidad del agua, Ed. Limusa, México, pp 19 y 40.
- Yappert MC y DuPré DB, 1997, Complexometric titrations: Competition of complexing agents in the determination of water hardness with EDTA. J. of Chem. Educ, Vol.74, Nro.12, pp1422–1423.