

Caracterización fisicoquímica y microbiológica del agua mineral La Calera

Physicochemical and microbiological characterization of mineral water La Calera.

Autor 1: Angela María Ramos Valencia- Autor 2: Ariel Felipe Arcila Zambrano

Escuela de Química, Universidad Tecnológica de Pereira, Pereira, Colombia

Correo-e: anmaramos@utp.edu.co; felipearcilaz@utp.edu.co

Resumen—El presente documento experimental se realizó con el objetivo de evaluar la calidad y composición del agua mineral La Calera a partir de la determinación de parámetros fisicoquímicos y microbiológicos basados en el Standard Methods (Métodos estandarizados). Se realizó un muestreo del agua mineral durante 20 días desde el 8 hasta el 27 de septiembre en el año 2017 y durante 40 días a partir del 25 de febrero hasta el 5 de abril en el año 2018. Los parámetros medidos fueron el pH, la conductividad eléctrica, la turbidez, el color, la alcalinidad, la dureza, el contenido de sólidos disueltos totales y se realizó la determinación de los cationes Ca^{2+} , Fe^{2+} , Mg^{2+} , K^{+} y Na^{+} de acuerdo con las metodologías *Standard Methods*. Los resultados reflejan un tipo de agua con un nivel de mineralización constante, protegida de toda contaminación, dulce por sus propiedades alcalinas, su dureza, la predominación del ión Ca^{2+} y los carbonatos. Además se considera apta para el consumo humano y agradable a la vista.

Palabras clave— Agua mineral, métodos fisicoquímicos, hidrogeología, precipitaciones, agua carbonatada cálcica.

Abstract—This experimental document was carried out with the objective of evaluating the quality and composition of La Calera mineral water based on the determination of physicochemical and microbiological parameters based on the Standard Methods. Mineral water was sampled for 20 days in 2017 and for 40 days in 2018. The parameters measured for each year were pH, electrical conductivity, turbidity, color, alkalinity, hardness, content of total dissolved solids and the determination of Ca^{2+} , Fe^{2+} , Mg^{2+} , K^{+} and Na^{+} cations was carried out. The results reflect a type of water with a constant level of mineralization, protected from all contamination, sweet due to its alkaline properties, its hardness, the predominance of Ca^{2+} ion and carbonates. It is also considered suitable for human consumption and pleasing to the eye.

Key Word — Mineral water, physicochemical methods, hydrogeology, precipitation, calcium carbonate water.

I. INTRODUCCIÓN

El consumo de agua embotellada a nivel mundial representa un mercado en constante crecimiento para un sector masivo de la población que le apuesta a un estilo de vida saludable. [1] (Noguez, 2017)

Lo anterior se demuestra con cifras registradas en las que se informa un consumo de agua envasada de 212000 millones de litros en 2007 y un aumento a 391000 millones de litros en 2017, imponiéndose México como el país líder en esta tendencia mundial. [1]

Según Beverage Marketing Corporation (BMC), el consumo de agua embotellada en Estados Unidos creció de 11.8 billones de galones en 2015 a 12.8 billones de galones en 2016, un aumento de casi 9 por ciento respecto al año 2015. El continuo aumento en el consumo per cápita indica que los consumidores ven el agua embotellada como una alternativa saludable a otras bebidas envasadas como refrescos. [2] (IBWA, 2018)

En Colombia, el auge del mercado de agua embotellada se refleja en las cifras reportadas que muestran una cantidad de 946.6 millones de litros de agua envasada que se consumieron en el año 2016. Es decir, casi 1900 millones de botellas personales en todo el país, un promedio de 20 litros de agua envasada por persona al año. [3] (PINEDO, 2017)

Según la norma para las aguas minerales naturales (CODEX STAN 108-1981), el agua mineral natural se diferencia del agua potable por su contenido de sales minerales y oligoelementos. Esta agua se obtiene de manantiales naturales o de fuentes perforadas de agua subterránea de acuíferos. De igual manera, la calidad y composición del agua mineral natural es constante y la implementación de tratamientos químicos se restringe de acuerdo a la normatividad. [4] (FAO, 2011)

El código internacional de captación CAC/RCP 33-1985 (Revisado en 2011) establece prácticas generales para la captación del agua mineral natural, su elaboración, embotellamiento, embalaje, almacenamiento, transporte, distribución y venta para el consumo directo, a fin de garantizar un producto inocuo, sano y saludable. [5] (Alimentarius, 2011)

En el país, el Decreto 1541 de julio 26 de 1978, Reglamentario del Decreto Ley 2811 de 1974, menciona un régimen especial para ciertas categorías de aguas como las aguas lluvias, las subterráneas y las aguas minerales y

termales y el Manual de Inspección con enfoque en el riesgo del INVIMA adquiere unas indicaciones de vigilancia e inspección para diferentes tipos de aguas, entre ellas el agua mineral. [6] (DECRETO 1541 DE 1978, 1978)

La importancia del agua mineral natural se basa en sus propiedades químicas y microbiológicas que la hacen única en comparación con otras aguas de consumo humano. Está protegida de la contaminación debido a que percola a través del suelo por medio del ciclo hidrológico natural en un proceso que tarda miles y/o millones de años, adquiriendo todas las propiedades de los minerales de las rocas por las cuales atraviesa llegando a los acuíferos de donde es captada y embotellada.

Para el presente proyecto se evaluó la calidad química y microbiológica para 12 parámetros fundamentales del agua mineral natural La Calera captada en la cordillera occidental colombiana a 916 metros de altura sobre el nivel del mar, ubicada en el departamento Valle de Cauca en el municipio de Bolívar vereda Guacas. Lo anterior con el fin de realizar un seguimiento para garantizar su composición. [7] (Gobierno digital, 2018).

II. METODOLOGÍA

El predio en el cual se encuentra el nacimiento del agua mineral, está ubicado en el corregimiento de Primavera, vereda Guacas, municipio de Bolívar, Valle del Cauca, Colombia y posee un área de aproximadamente 33 hectáreas.

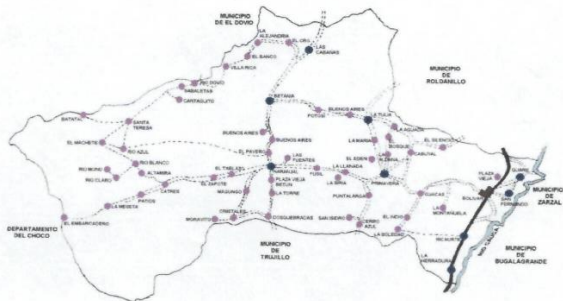


Figura 1. Ubicación del municipio de Bolívar (Línea negra) zona de captación agua mineral La Calera - Mapa del Valle del Cauca

El nacimiento presenta un afloramiento en una zona boscosa; la fuente se encuentra con un permiso de captación de agua superficial, vigente por diez años y su afloramiento natural está libre de microorganismos.

La temperatura promedio del municipio de Bolívar es de 23°C y oscila entre 18°C y 30°C, las precipitaciones son apreciativas del orden del 20% y varía de acuerdo con las condiciones climáticas de este sector.

Para llevar a cabo las determinaciones correspondientes a la realización de la caracterización fisicoquímica y

microbiológica del agua mineral La Calera, se hizo un muestreo del agua mineral directamente de la fuente durante 20 días desde el 8 hasta el 27 de septiembre del año 2017. Posteriormente, en el año 2018 se tomaron muestras de la fuente, esta vez se duplicó a 40 la cantidad de botellas con agua mineral y el muestreo se realizó desde el 25 de febrero hasta el 5 de abril del presente año.

En ambos casos se hicieron mediciones de pH, conductividad, turbiedad, color, dureza total, alcalinidad total, Sólidos totales (TDS). Se realizó el análisis químico para 5 elementos metálicos: Ca, Na, Mg, K, Fe por medio del equipo de absorción atómica.

Los fundamentos técnicos para la medición de los parámetros fisicoquímicos se obtuvieron del *Standard Methods* versión 22 para cada determinación como parte del procedimiento de control y aseguramiento de la calidad. Así, en el caso de la medición de pH se empleó el método del *Standard Methods for the Examination of Water Wastewater*. Washington, APHA. pp 4-65 - 4-69.a

En la medición de la conductividad eléctrica (CE) se usó el método del *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. Washington, APHA. pp 2-43. Para la Turbiedad se utilizó el método del *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. Washington, APHA. pp 2-9 - 2-11; y para la medición de color del agua, se empleó el método 8025 Estándar Platinum –Colbalt *Standard Methods*.

De la misma manera, se empleó el método del *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. Washington, APHA. pp 2-36 - 2-38 para la determinación de la Dureza total y el método del *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. Washington, APHA. pp 2-26 - 2-27 para la Alcalinidad total.

Así mismo, el método del *Standard Methods 2310B* para la acidez total y el *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. APHA/ AWWA/WPCF. 2-56 pp para la determinación de sólidos totales.

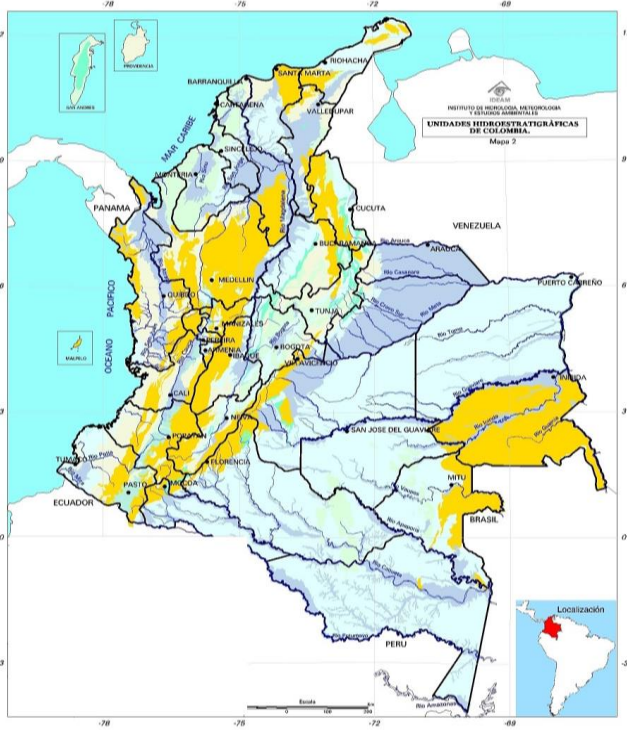
Por último, se utilizó el método del *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. APHA/WWA/WPCF. 3-1 pp, para la medición de los cationes y para evaluar la calidad microbiológica de tres parámetros *Escherichia Coli*, *Coliformes* totales y *Pseudomona Aeruginosa*.

III. Configuración geológica y sistemas acuíferos

El territorio colombiano cuenta con una extensión de 1.141.748 Km² [8] (Bienvenidos a Colombia, 2018) y hasta la fecha tiene una población alrededor de 49.932.310 habitantes. [9] (DANE información estratégica, 2018)

Colombia se clasifica como uno de los países con mayor oferta hídrica natural del mundo. Del volumen total anual de precipitación en Colombia (3700 km³), el 61% se convierte en escorrentía superficial, equivalente a un caudal medio de 71800 m³/s, correspondiente a un volumen de 2265 km³ al año.

Este caudal fluye por las cinco áreas hidrográficas en las que se ha dividido el territorio nacional continental. La cuenca Magdalena-Cauca contribuye a este caudal total con el 13% (9500 m³/s), la Amazonía con 39% (27830 m³/s), la Orinoquía con 27% (19230 m³/s), el Caribe contribuye con el 8% y el Pacífico aporta el 13% (9629 m³/s). [11] (Omar, Martínez, & Rodríguez, 2018)



ACUIFEROS CON POROSIDAD INTERGRANULAR

- Altamente productivos/ extensivos en sedimentos recientes no consolidados
- Moderadamente productivos discontinuos en sedimentos no consolidados o rocas sedimentarias terciarias poco consolidados
- Baja productividad locales y discontinuos en rocas piroclásticas o rocas volcanoclásticas

ACUIFEROS EN ROCAS CONSOLIDADAS CON POROSIDAD PRIMARIA, SECUNDARIA O CARSTICAS

- Altamente productivos/ extensivos en rocas sedimentarias clásticas y carbonatadas
- Moderadamente productivos discontinuos en rocas sedimentarias clásticas y carbonatadas

ACUIFEROS CON RECURSOS LIMITADOS O SIN RECURSOS POR POROSIDAD PRIMARIA

- Locales en rocas ígneas a metamórficas y en depósitos impermeables
- Complejos ígneos - metamórficos con baja a ninguna productividad

Los recursos de las aguas subterráneas del país no han sido completamente cuantificados pues se sabe que el 74.5% del territorio nacional está cubierto por provincias hidrogeológicas y solo el 25.5% (291620.04 km²) por rocas ígneas, metamórficas o por ambientes con posibilidades hidrogeológicas desconocidas, limitadas o restringidas. [11]

Según la recopilación bibliográfica de la fuente Agua subterráneas en Colombia la caracterización de provincias hidrogeológicas y sistemas acuíferos se divide en tres grupos de acuerdo con su posición geográfica. [11]

Dentro de los sistemas acuíferos montanos e intramontanos, los cuales se desarrollaron en el Paleógeno – Neógeno y sedimentos del Cuaternario, se encuentran los de la Sabana de Bogotá y Tunja que corresponden a acuíferos clásticos. Además los Sistemas Acuíferos de Ibagué, Purificación-Saldaña y Neiva-Tatacoa del Valle Alto del río Magdalena que están asociados a secuencias sedimentarias silisiclásticas.

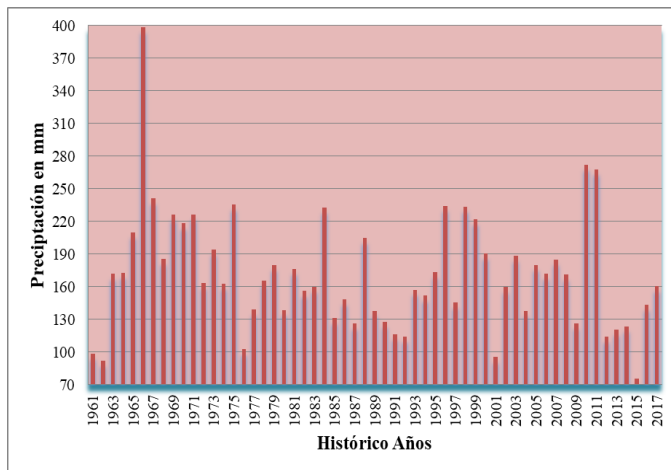
Así mismo, se encuentra el Sistema Acuífero del Glacis del Quindío en la Cordillera Central, los sistemas acuíferos de las provincias pericratónicas en la Orinoquía y amazonía colombiana y los de las provincias costeras de Maicao, Morroa, Golfo de Morrosquillo, Cesar, Ranchería, Golfo de Urabá y San Andrés Islas. [11]

En el valle del Cauca se encuentra el acuífero más conocido del país el cual se desarrolla en secuencias de sedimentos clásticos interconectados del valle estructural del río Cauca. El agua mineral natural La Calera, objeto de estudio, nace en el municipio de Bolívar de Valle del Cauca del cual se adquirieron los datos de precipitaciones por medio del sitio web IDEAM a través de una solicitud vía correo electrónico. [12] (IDEAM, 2017)

Los datos que se van a mostrar a continuación en las gráficas 1 y 2 son una recopilación de los valores históricos de las precipitaciones en el municipio de Bolívar y son necesarios para estimar las cantidades de agua de filtración desde 1961, año desde el cual se monitorean estos valores, y que permiten conocer las variaciones en el acuífero que protege esta agua mineral natural.

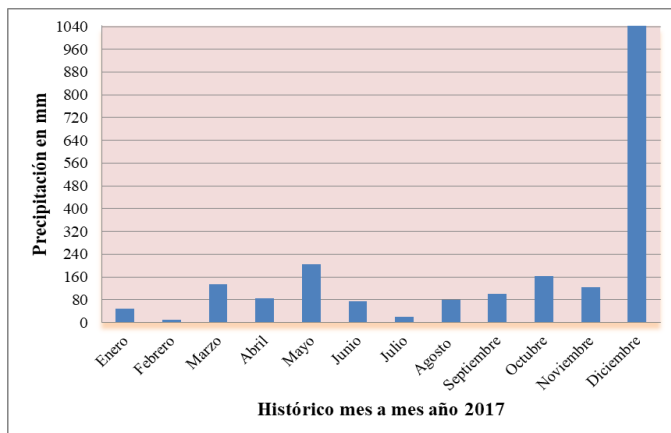
Por otra parte, se obtuvo información respecto a las precipitaciones del año 2017, época en la cual se recolectaron las muestras para posterior análisis y caracterización del agua mineral natural La Calera.

Figura 2. Mapa de unidades hidroestratigráficas de Colombia. [10] (IDEAM, 2014)



Gráfica 1. Datos de precipitaciones en mm del municipio de Bolívar, Valle del Cauca desde el año 1961 a 2017

En la gráfica 1 se puede observar que en los últimos 6 años las precipitaciones disminuyeron en relación a los años anteriores al año 2011 y en la gráfica 2 se observa que en el último año (2017) las precipitaciones aumentaron considerablemente en el mes de diciembre.



Gráfica 2. Datos de precipitaciones en mm del municipio de Bolívar, Valle del Cauca del año 2017

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El objetivo general del presente trabajo experimental es la caracterización del agua mineral La Calera a partir de la determinación de parámetros fisicoquímicos y microbiológicos para reconocer la calidad del agua y su nivel de mineralización. En las tablas 1 y 2 se presentan los resultados obtenidos correspondientes a las muestras analizadas en el año 2017 y 2018.

Los resultados obtenidos tanto en la tabla 1 como en la tabla 2 indican que no hay una considerable variación entre las muestras de agua mineral de cada año examinadas con respecto a sus componentes químicos y parámetros fisicoquímicos, es decir los parámetros analizados no

presentaron diferencias significativas con respecto a las épocas de muestreo.

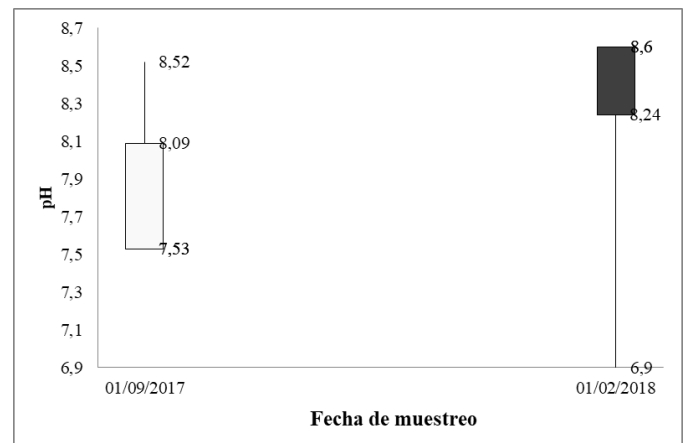
Tabla 1. Resultados obtenidos de los análisis fisicoquímicos a los muestreos realizados en 2017 y 2018.

Fecha Muestras	2017		2018	
	Media	Desviación Estándar	Media	Desviación Estándar
Cantidad muestras	20		40	
pH	8,09	0,21	8,24	0,31
Conductividad (µs/cm)	403,12	7,37	423,90	5,13
Alcalinidad (mg/L CaCO ₃)	236,00	17,89	203,53	25,99
Color	0,00	0,00	0,00	0,00
Turbidez	0,13	0,05	0,14	0,05
Dureza (mg/L CaCO ₃)	222,50	5,93	196,05	31,39
Sólidos disueltos Totales (mg/L)	295,60	20,95	269,50	13,92
Calcio (mg/L)	174,66	20,65	164,48	23,86
Magnesio (mg/L)	17,13	3,40	16,94	4,20
Sodio (mg/L)	7,13	0,38	6,76	0,65
Potasio (mg/L)	2,18	1,10	2,11	1,20
Hierro (mg/L)	0,04	0,01	0,03	0,01

Tabla 2. Resultados obtenidos de los análisis microbiológicos a los muestreos realizados en 2017 y 2018.

Análisis	UFC/100 mL
Coliformes Totales	0
Escherichia Coli	0
Pseudomona Aeruginosa	0

Se observa que los cationes, constituyentes mayoritarios de las aguas minerales tienen un orden decreciente de la manera siguiente: Ca²⁺, Mg²⁺, Na⁺, K⁺ y dentro de los constituyentes minoritarios se encuentra el Fe²⁺ (elemento traza).

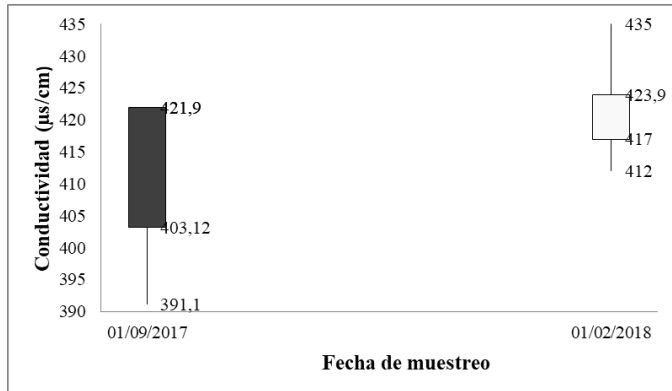


Gráfica 3. Variación en el pH

La variación en el pH presentada en la gráfica 3 está comprendida en un rango mayor a pH 8, lo cual es característico de las aguas carbonatadas naturalmente.

Además, se considera un tipo de agua alcalina, dulce y de óptimas condiciones para la ingesta de las personas.

Cabe resaltar que los valores de pH también condicionan la disociación de ciertos compuestos y de acuerdo esto se presenta la concentración iónica del agua.



Gráfica 4. Variación en la Conductividad eléctrica

El agua se hace conductora de la electricidad como consecuencia de su contenido iónico y esto se debe principalmente al contenido de cationes en el agua mineral.

De acuerdo con la bibliografía, los valores normales en aguas dulces oscilan entre 100 y 2000 µs/cm por lo cual este es otro motivo para considerar que esta agua mineral es de tipo dulce.

La medición de la capacidad de neutralización en su totalidad de los carbonatos del agua mineral hasta pH 4,5 hace que el ion carbonato sea el responsable del equilibrio ácido base.

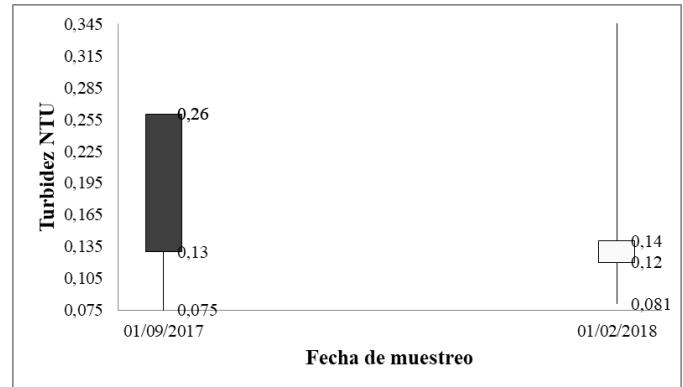


Gráfica 5. Variación en la Alcalinidad

La alcalinidad de esta agua mineral infiere que recibe menores precipitaciones debido a su contenido de en ppm de CaCO₃ y que el agua, a su paso arrastra contenido de las calizas y se enriquece con sus propiedades.

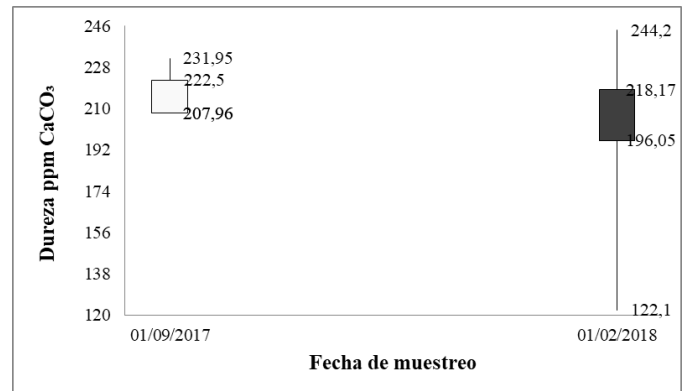
El CO₂, producto en la oxidación de la materia orgánica reacciona con el agua para producir ácido carbónico H₂CO₃ y a través de su paso por el suelo se disuelve con las dolomitas y calizas produciendo así los carbonatos y bicarbonatos responsables del grado de alcalinidad del agua subterránea en los acuíferos.

Al observar las muestras por primera vez en el laboratorio, se notó la transparencia en el agua y eso lo demuestran los resultados a través de la gráfica 6 lo cual es un indicio de muy buena calidad del agua y su aptitud para el consumo humano.



Gráfica 6. Variación en la Turbidez

Los resultados de color en el agua mineral también indican un agua libre de material en suspensión o sedimentos que, lo cual la hace muy deseable a simple vista.

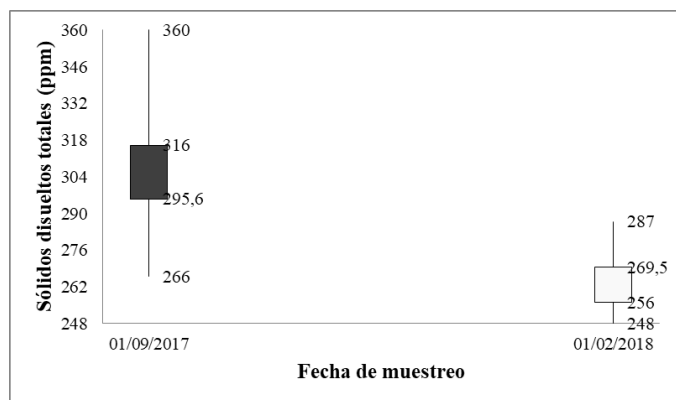


Gráfica 7. Variación de la Dureza

Los resultados en cuanto a la dureza indican la concentración de compuestos minerales en el agua, en este caso se puede deducir que corresponde a las sales de calcio en mayor proporción en el agua mineral.

Como se mencionó anteriormente, la región del valle del cauca es una zona formada a partir de rocas sedimentarias y esto favorece la difusión de las aguas naturales adquiriendo

fundamentalmente concentraciones significativas de carbonato de calcio CaCO_3 .



Gráfica 8. Variación Sólidos disueltos totales

De acuerdo con los resultados de sólidos disueltos totales, se considera el agua mineral La calera de un tipo de agua dulce y con un nivel de mineralización media.

Agua mineral La Calera

DIAGRAMA PIPER

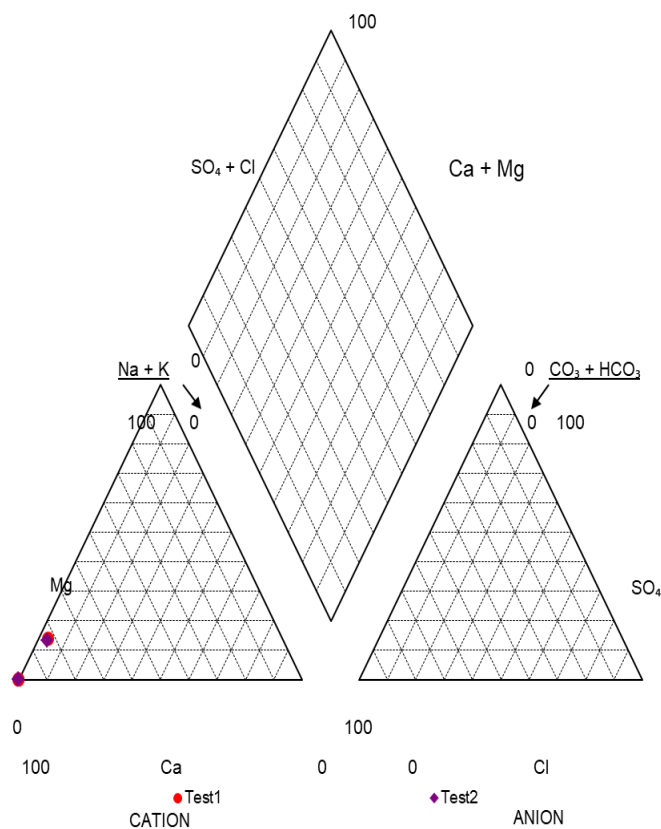


Figura 4. Representación Iónica del agua mineral La Calera en el Diagrama Hidroquímico de Piper.

La figura 4 representa la concentración de iones en el agua mineral La Calera, el test 1 corresponde a 2017 y el test 2 corresponde a 2018. Para la realización de este diagrama de

Piper se utilizó un software denominado EASYQUIM versión 2012, el cual permite calcular balances químicos y representarlos gráficamente. [13] (GHS, 2018)

La concentración neta mínima de Sulfatos $\text{SO}_4^{=}$ y Cloruros Cl^- no se pudo detectar mediante las metodologías debido a que están por debajo de los límites de detección, por lo cual, estos iones no se ven reflejados en el Diagrama de Piper. Del mismo modo, el agua mineral La Calera es un agua con propiedades que la distingue de otras aguas por su alto contenido de Carbonatos convirtiéndola en un agua muy dura y alcalina.

En el diagrama de Piper se puede (Figura 4) se puede observar la concentración predominante de cationes y según la bibliografía el agua mineral la Calera es un tipo de agua carbonatada Cálctica, con 82,47% de Calcio, aunque también posee trazas de magnesio con 14,04%, potasio con 0,54%, y sodio con 2,95%. [14] (Instituto geológico y minero de España, n.d.)

Nótese la superposición de los símbolos de test 1 (rojo) y test 2 (morado), esto quiere decir que la concentración se mantuvo constante entre un año y otro, característica relevante e invariable de las aguas minerales naturales.

V. CONCLUSIONES

La calidad físico-química (parámetros físicos, los principales componentes y elementos traza) del agua mineral La Calera no fue muy variable, lo que indica que es un tipo de agua con una composición constante de minerales y cuyas características fisicoquímicas se mantienen dentro de un rango estable.

Los resultados del agua analizada también dependen de muchos factores, tales como; medio ambiente natural (el entorno geológico, el clima, la topografía, etc.), el tiempo de residencia del agua subterránea, las concentraciones de CO_2 , las variaciones estacionales, la composición del agua de la fuente y el tipo de la técnica (s) de tratamiento o purificación aplicada durante la producción.

Cabe resaltar que el agua mineral no puede someterse a ningún tipo de tratamiento de desinfección, sólo se permite la filtración porque esta agua se considera pura y microbiológicamente sana. Todas las etapas del proceso deben funcionar con completa asepsia.

Los cambios químicos adicionales en el agua también pueden ocurrir durante el almacenamiento y el transporte, especialmente cuando las botellas se exponen a la luz solar directa.

Por otro lado, en Colombia no es muy común el consumo de agua mineral, son pocas las fuentes que la producen y el mercado no es muy dinámico.

El precio de una botella de agua mineral puede ser hasta 20 veces más en comparación con una botella de agua potable tratada.

Analizando la calidad microbiológica del agua mineral, el valor del recuento de *Escherichia coli* indicaría prácticas de higiene eficientes en la elaboración y /o conservación adecuada del producto. La Pseudomona aeruginosa es una de las especies más reportadas en el agua envasada, de ahí la importancia de identificar y combatir los riesgos que puedan crear un surgimiento de este microorganismo por lo cual se recomienda emplear las Buenas Prácticas de manufactura.

Finalmente, el agua mineral La Calera es un producto nuevo en el mercado de las aguas minerales en Colombia y el mundo es por esto que en el mes de mayo del presente año fue aceptada por *The Fine Water Society* en el evento *Taste Awards 2018* realizado en Ecuador, participando y ganando la medalla de plata en la categoría de mineralización media.

REFERENCIAS

- [1] Noguez, O. (25 de 10 de 2017). Merca2.0. Obtenido de mercadotecnia publicidad medios: <https://www.merca20.com/beber-agua-embotellada-los-paises-que-lideran-la-tendencia/>
- [2] IBWA. (marzo de 2018). International Bottled Water Association. Obtenido de <https://www.bottledwater.org/economics/bottled-water-market>
- [3] PINEDO, J. E. R. (2017). ESTUDIO DE MERCADO Y PLAN DE INTERNACIONALIZACIÓN C.I. AGUA DE LA PEÑA LTDA. UNIVERSIDAD DEL ROSARIO. Retrieved from <http://repository.urosario.edu.co/bitstream/handle/10336/14437/RamirezPinedo-JorgeEnrique-2018.pdf?sequence=7>
- [4] FAO. (2011). Norma Codex Para Las Aguas Minerales Naturales, 1–4. Retrieved from http://www.fao.org/input/download/standards/223/CXS_108s.pdf.
- [5] Alimentarius, C. del C. (2011). Código Internacional recomendado de prácticas de Higiene para la captación, elaboración y comercialización de las aguas minerales naturales., 1–16. Retrieved from http://www.fao.org/input/download/standards/224/CXP_033s.pdf.
- [6] DECRETO 1541 DE 1978 (1978). Colombia: Mnisterio de Ambiente. Retrieved from http://www.minambiente.gov.co/images/GestionIntegraldelRecursoHidrico/pdf/normativa/Decreto_1541_de_1978.pdf
- [7] Gobierno digital. (2018). Alcaldía de Bolívar Valle. Obtenido de <http://www.bolivar-valle.gov.co/>
- [8] Bienvenidos a Colombia. (07 de 06 de 2018). Geografía de Colombia. Obtenido de Toda Colombia La cara amble de Colombia: <https://www.todacolombia.com/geografia-colombia/index.html>
- [9] DANE información estratégica. (04 de 09 de 2018). Reloj de población. Obtenido de <http://www.dane.gov.co/reloj/>
- [10] Omar, N., Martínez, V., & Rodríguez, O. J. (2018). Aguas Subterráneas en Colombia Una Visión General. Retrieved from <http://acuiferosuraba.net/wp-content/uploads/2016/08/Libro-Aguas-Subterr%C3%A1neas-en-Colombia-Una-Visi%C3%B3n-General.pdf>
- [11] IDEAM. (2014). AGUA. Obtenido de ZONIFICACIÓN HIDROGEOLOGICA: http://www.ideam.gov.co/documents/14691/15142/zonificacion_hidrogeologica_32UnidadesHidroestratigraficasColombia+%5Bmapa%5D.JPG/16ffda1c-c102-4229-8e9e-854555f2132f?t=1423323877335
- [12] IDEAM. (24 de 06 de 2017). Instituto de Hidrología, meteorología y estudios ambientales. Recuperado el 2018, de <http://institucional.ideam.gov.co/jsp/index.jsf>
- [13] GHS. (2018). Grupo de Hidrología subterránea. Obtenido de Easy Quim: <https://h2ogeo.upc.edu/es/software-hidrologia-subterrania/11-software-hidrologia-subterrania/42-easy-quim>
- [14] Instituto geológico y minero de España. (n.d.). Composición química de las aguas subterráneas naturales, 18. Retrieved from http://aguas.igme.es/igme/publica/libro43/pdf/lib43/1_1.pdf