

## Determinación del Índice de Calidad en aguas subterráneas de la Ciudad de Rafaela y la Región (Provincia de Santa Fe)

## Determination of the water Quality Index in groundwater samples from Rafaela City and surrounding areas (Santa Fe Province)

Brenda Elisa Costamagna, Marisol Belén Farías

Grupo GEM (Grupo de Estudios de Medio Ambiente). Facultad Regional Rafaela.  
Acuña 49. (2300) Rafaela. Provincia de Santa Fe.

E-mail autores: breencostamagna1@gmail.com marisolfarias200698@gmail.com

El presente trabajo ha sido realizado bajo la dirección de la Lic. Rosana Boglione y la Lic. Carina Griffa, en el marco del proyecto de investigación “Calidad de aguas subterráneas en la Provincia de Santa Fe”

### Resumen

El agua dulce es un recurso esencial y en las últimas décadas se comenzó a tomar conciencia de su disminución y degradación debido a factores naturales o antropogénicos.

Algunas poblaciones no tienen acceso a agua potable y dependen en su mayoría del consumo de aguas subterráneas. El Índice de Calidad de Agua (ICA) es un valor derivado de distintos parámetros que proporciona información acerca de la calidad de las aguas. El objetivo del presente trabajo es calcular dicho índice en pozos de agua subterránea de Rafaela y zona y, a partir del valor obtenido, clasificarlas en función a su aptitud para el consumo humano. Para ello, se realizaron muestreos en distintos puntos de la zona en estudio y las muestras se caracterizaron fisicoquímicamente. El ICA permitió demostrar que la calidad química del agua subterránea en estos puntos no es aceptable, lo que indica una degradación en su calidad.

**Palabras claves:** Índice de calidad, aguas subterráneas, Rafaela y zona.

### Abstract

Water is an essential resource, and in the last years, there has been a decrease of the global water sources and also of its quality due to natural as well as anthropogenic factors. Some communities don't have access to safe drinking water and depend mostly on underground waters. The water quality index is a value that gives information about the quality of water, and because of that, the purpose of this work is to calculate that index in the underground water in Rafaela and other near cities. That index will allow us to classify the

water based on its aptitude for human consumption. For that purpose, many samples were taken in different parts of the study zone and those samples were categorized physicochemically. The water quality index showed that underground waters quality is not good for human consumption in any of those places, and that fact shows the decrease of their quality.

**Keywords:** Water quality index, underground water, Rafaela and surrounding areas.

## Introducción

Nuestro planeta cuenta con una abundante cantidad y variedad de recursos naturales, de los cuales, las distintas especies dependen para sobrevivir. Uno de ellos es el agua, que es imprescindible para la vida del ser humano, pero también es un recurso fundamental para las actividades económicas y productivas del hombre. Más del 97 % del agua de la Tierra es salada y su aprovechamiento es complejo. Sólo el 3 % del agua en el planeta es dulce, y de esa cantidad únicamente el 0,007 % es potable. Debido a esta situación, más de 1.100 millones de personas en el mundo carecen de acceso directo a fuentes de agua potable. Hay regiones del planeta donde se debe caminar varios kilómetros diarios para conseguir agua potable, lo que causa la muerte de hasta 3 millones y medio de personas al año. El descontrolado crecimiento de la población, así como el vertiginoso ritmo de la industrialización a nivel mundial, han derivado en una mayor demanda de agua dulce en el mundo (Ramakrishnaiah, et al. 2009). En este contexto, las aguas subterráneas se presentan como una fuente de provisión de agua, sin embargo, las mismas están expuestas a problemas de agotamiento y contaminación cada vez mayores. La necesidad de disponer de agua segura, en cantidad y calidad, pone en evidencia la importancia de llevar adelante políticas y acciones que garanticen la protección de las aguas subterráneas. Para una administración ambientalmente confiable de las aguas subterráneas, la mejor práctica es proteger el recurso antes de su contaminación (Paris et al., 2014). En este sentido, un indicador ambiental, que es una medida directa o indirecta de su calidad, se puede usar para evaluar el estado y las tendencias en la capacidad del medio para mejorar la salud humana y ecológica. Uno de ellos es el índice de calidad de agua (ICA), que se constituye como una herramienta que permite identificar la calidad de agua de un cuerpo superficial o subterráneo en un tiempo determinado. En general, el ICA incorpora datos de múltiples parámetros físicos, químicos y biológicos, en una ecuación matemática, mediante la cual se evalúa el estado de un cuerpo de agua (Yogendra & Puttaiah, 2008). Por medio del ICA se puede realizar un análisis general de la calidad del agua en diferentes niveles, y determinar la vulnerabilidad del cuerpo frente a amenazas potenciales (Soni & Thomas, 2014). Esta herramienta surge como una alternativa para la evaluación de los cuerpos hídricos permitiendo que los procesos de formulación de políticas públicas y seguimientos de los impactos sean más eficaces (Torres, Cruz & Patiño, 2009). Es por ello, que el objetivo de este trabajo es calcular el Índice de Calidad de Agua en pozos de Rafaela y localidades aledañas pertenecientes a la provincia de Santa Fe para, a partir del valor obtenido, clasificarlas en función a su aptitud para el consumo humano.

## Metodología

### Muestras de aguas subterráneas

Para efectuar el estudio, se realizaron extracciones de muestras de aguas en distintos pozos ubicados en diferentes zonas dentro de la región centro-oeste de la provincia de Santa Fe (Figura 1). En esta área de aproximadamente 6.600 km<sup>2</sup> se encuentran dos ciudades importantes como Rafaela y Sunchales, y varias localidades más pequeñas. Esta zona se caracteriza por un relieve con suaves pendientes y con aguas de alta salinidad, resultando sólo aprovechables las capas superiores, de bajo caudal y calidad variable. En las poblaciones más pequeñas y en las zonas rurales el problema de acceso a este vital recurso también resulta complejo, ya que tanto las características del suelo como las actividades antropogénicas no permiten una adecuada calidad del agua para consumo.



**Figura 1. Mapa de localización de la zona en estudio**

Se tomaron 50 muestras de aguas subterráneas en distintos puntos de la zona en estudio y se caracterizaron fisicoquímicamente a través de los siguientes análisis: Arsénico Total, Dureza Total, Nitrato, Cloruro, Sulfato, pH, y Sólidos Totales. Se utilizó, para los parámetros analizados, la metodología propuesta por APHA, Standard Methods for Examination of Water and Wastewater (2017).

Los pozos muestreados, con profundidades entre 12 y 30 metros fueron georreferenciados utilizando un GPS (Garmin Nüvi 30).

### **Cálculo del ICA**

El índice de calidad de agua (ICA) es una herramienta que permite evaluar el estado de un cuerpo de agua incorporando datos de múltiples parámetros fisicoquímicos y biológicos, en una ecuación matemática y en

un tiempo determinado. El método ICA ha sido utilizado debido a su capacidad de expresar de forma integral la información de la calidad del agua subterránea de alguna región determinada (Sadat-Noori, et al., 2014).

El ICA fue calculado para evaluar la calidad del agua subterránea según los límites máximos permitidos establecidos en el Código Alimentario Argentino (C.A.A., 2007). Se utilizaron siete parámetros químicos de calidad de agua: pH, sólidos totales (ST), dureza total, cloruros (Cl<sup>-</sup>), sulfatos (SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>), nitratos (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>) y arsénico (As).

Los pasos seguidos para realizar el cálculo correspondiente fueron los que se detallan a continuación:

1. A cada uno de los siete parámetros (Tabla 1) se les asignó una ponderación (wi) acorde con su importancia relativa en la calidad del agua para consumo humano, así como de las condiciones geohidrológicas de la zona de estudio. La ponderación máxima fue de cinco y se asignó a sólidos totales disueltos, nitratos y arsénico, en función de los efectos adversos en la salud humana que estos provocan. Para la dureza total y el ion sulfato la ponderación fue de tres; cloruros de cuatro y al pH se le dio la ponderación mínima de uno por su escasa variación.

Parámetros	wi	Wi
pH	1,00	0,04
Sólidos totales (mg/L)	5,00	0,19
Dureza Total (mg CaCO <sub>3</sub> /L)	3,00	0,12
Cloruros (mg Cl <sup>-</sup> /L)	4,00	0,15
Sulfatos (mg SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> /L)	3,00	0,12
Nitrato (mg NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> /L)	5,00	0,19
As (mg As/L)	5,00	0,19

**Tabla 1: Pesos relativos de los parámetros considerados para el cálculo del índice de calidad de agua subterránea según su importancia para la salud humana.**

2. Se calculó el peso relativo (Wi) (Tabla 1) de cada parámetro de acuerdo con la ecuación del método del peso aritmético.

$$Wi = \frac{wi}{\sum_{i=1}^n wi} \quad (1)$$

3. Se determinó una escala de valoración de la calidad para cada parámetro (qi), para ello se dividió la concentración resultante de cada muestra de agua analizada (Ci) por su respectivo límite máximo permisible (Si) de acuerdo con el Código Alimentario Argentino, y el resultado fue multiplicado por 100.

$$qi = \frac{Ci}{Si} * 100 \quad (2)$$

4. Para el cálculo del ICA se determinó el Sli aplicando la siguiente ecuación:

$$Sli = Wi * qi \quad (3)$$

Siendo,  $S_{li}$  el subíndice de cada parámetro,  $W_i$  la ponderación relativa y  $q_i$  la calificación de la calidad.

$$ICA = \sum S_{li} \quad (4)$$

Siendo, ICA el índice de calidad del agua y  $S_{li}$  el subíndice de cada parámetro.

El resultado final son valores clasificados en cinco categorías de calidad del agua, según la Tabla 2:

Valor de ICA	Calidad del agua
Menor de 50	Excelente
De 50 a 100	Buena
De 100 a 200	Pobre
De 200 a 300	Muy pobre
Mayor de 300	No apta para consumo humano

Tabla 2: Clasificación según la calidad de agua

### Resultados obtenidos

Luego de realizar los análisis fisicoquímicos, se calcularon los valores correspondientes del ICA en cada uno de los pozos muestreados, los valores arrojados se comparan con las clasificaciones de la Tabla 2 y se observan en la Figura 2:

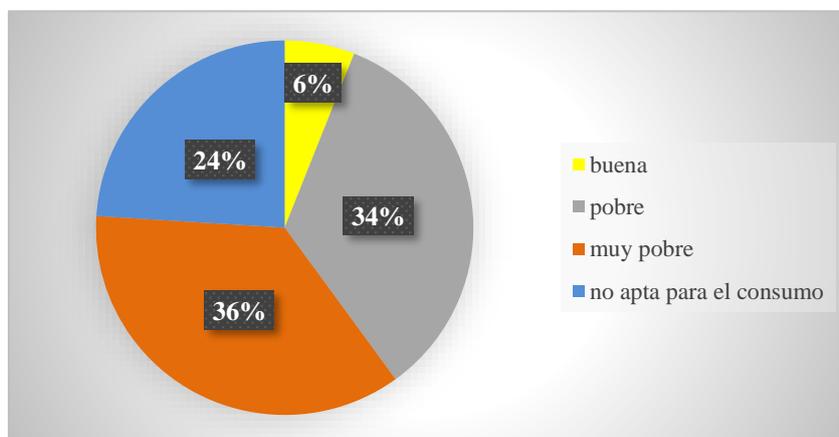


Figura 2. Porcentajes obtenidos según la clasificación del ICA en aguas subterráneas del departamento Castellanos

Los resultados demuestran que no hay pozos analizados con calidad de agua subterránea “excelente”, sólo el 6% de las muestras corresponde a aguas clasificadas como “buenas”. El mayor porcentaje (36%) resultó en la clasificación de calidad “muy pobre”, siguiendo la considerada “pobre” (34%) y el 24% corresponde a las “no apta para el consumo humano”.

**Tabla 3. Valores promedio, mínimos y máximos de los pozos monitoreados**

Parámetros	Promedio (n=50)	Mínimo	Máximo	Límite máximo permisible (CAA)
pH	7,84	6,95	8,70	7,50
Sólidos totales (mg/L)	792,2	776	1535	1500
Dureza Total (mg CaCO <sub>3</sub> /L)	287,2	24,8	1821,5	400
Cloruros (mg Cl <sup>-</sup> /L)	337,4	3,0	2565,9	350
Sulfatos (mg SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup> /L)	516,2	44,6	2616,7	400
Nitrato (mg NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> /L)	180,2	14,4	739,5	45
As (mg As/L)	0,067	0,001	0,551	0,01

En líneas generales, las muestras estudiadas no cumplen con algunos límites establecidos por el C.A.A. (2007) para consumo humano debido a que poseen altas concentraciones de sólidos totales, nitratos, sulfatos y arsénico. En cuanto al pH, los valores oscilaron entre 6,5 - 8,5, rango que es adecuado según lo establecido por el C.A.A. (2007).

Los tipos de iones y las concentraciones que contiene el agua subterránea dependen de la naturaleza del material geológico y la calidad del agua de reposición. En las muestras analizadas, si bien algunas se encuentran por debajo del valor permitido por el C.A.A. (1500 mg/L), el promedio de sólidos totales es levemente superior al permitido (1535 mg/L).

Se encontró que las aguas subterráneas de la zona en estudio se clasifican, de acuerdo con la dureza, en media a alta (límite del C.A.A.: 400 mg/L). En lo que respecta a cloruro, es un ion móvil que contribuye a la salinidad de las aguas, encontrándose en la mayoría de las aguas naturales. Las concentraciones del mismo están, en su mayoría, por debajo del límite establecido por el C.A.A. (350 mg Cl<sup>-</sup>/L). Si bien los valores de referencia no están basados en efectos sobre la salud, las altas concentraciones de éste confieren un sabor salado al agua y aumentan la velocidad de corrosión de los metales en las cañerías de distribución (OMS 2003a).

En el caso del ion sulfato, las concentraciones promedio (516,2 mg SO<sub>4</sub><sup>-</sup>/L) son mayores a 400 mg/L (límite del C.A.A.). Altas concentraciones en aguas para consumo humano, puede producir deshidratación, y muy altos niveles puede provocar un efecto laxante en los consumidores, siendo los niños más sensibles que los adultos (OMS, 2007).

Respecto a los nitratos, se consideran aguas no aptas para consumo humano, aquellas con concentraciones superiores a 45 mg NO<sub>3</sub><sup>-</sup>/L, límite máximo establecido por el C.A.A. (2007). Las altas concentraciones de nitratos resultan perjudiciales para los seres humanos y los animales, especialmente para los bebés y niños pequeños ya que, en el organismo se transforma en nitrito, el cual puede causar metahemoglobinemia, que es un incremento de metahemoglobina en la sangre. Se produce una excesiva conversión de hemoglobina a metahemoglobina, que es incapaz de fijar el oxígeno y provoca limitaciones de su transporte en los tejidos, pudiendo causar incluso la muerte (Larios Ortiz, 2009; Jingtao et al., 2010).

El área en estudio contiene altas concentraciones de As en el agua subterránea (superiores al límite recomendado por el C.A.A.: 0,01 mg/L), debido a la meteorización de minerales de origen volcánico y debido a las condiciones fisicoquímicas del agua que favorece la migración de este elemento (Smedley et al., 2005). La ingestión permanente de aguas con altas concentraciones de arsénico provoca la aparición de arsenicosis, una enfermedad con alta incidencia que se denomina Hidroarsenicismo Crónico Regional Endémico (HACRE) (Tello, 1986).

La obtención del ICA ha sido una herramienta útil que permitió identificar la calidad del agua subterránea en diferentes pozos de monitoreo, en un período de tiempo determinado. Los parámetros fisicoquímicos seleccionados para el cálculo han sido representativos/suficientes para la clasificación de las aguas de acuerdo con su aptitud para consumo humano.

## Conclusiones

El Índice de Calidad de Agua (ICA) permitió demostrar que la calidad química del agua subterránea de los pozos monitoreados, en la zona en estudio, no es aceptable. La baja calidad de las aguas, hace que las mismas no puedan ser utilizadas para consumo humano directo sin previo tratamiento de potabilización.

Se prevé la ampliación de los análisis de agua para obtener más información de la zona analizada.

En base a los datos recolectados se evaluará la factibilidad de efectuar tratamientos para permitir su consumo.

## Referencias bibliográficas

- APHA. Rice, E. W., Baird, R. B., & Eaton, A. D. (2017). Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 9-56. American Public Health Association, American Water Works Association, Water Environment Federation.
- Código Alimentario Argentino Capítulo XII Bebidas Hídricas, Agua y Agua Gasificada Agua Potable Artículo 982 - (Resolución Conjunta SPRyRS y SAGPyA N° 68/2007 y N° 196/2007).
- Jingtao, L., Jichao, S., Yuxi, Z., Ying, Z., Jincui, W., Guanxing, H., ... & Haiwei, C. (2010, December). Study on Nitrite, Nitrate and Ammonia (NNA) Pollution of Goundwater in Typical Urbanization Areas. In *2010 International Conference on Digital Manufacturing & Automation* (Vol. 2, pp. 518-522). IEEE.
- Organización Mundial de la Salud, (2003 a): Chloride in drinking-water. Documento de referencia para la elaboración de las Guías de la OMS para la calidad del agua potable. Ginebra (Suiza), Organización Mundial de la Salud (WHO/SDE/WSH/03.04/3).
- Organización Mundial de la Salud, "Guías para la calidad del agua potable", (2007). Biblioteca de la OMS, vol. 1, N° 3, p. 1-398.
- Ortiz, L. L. (2009). Contaminación del agua por nitratos: significación sanitaria. *Archivo Médico de Camagüey*, 13(2).
- Paris, M., Tujchneider, O., Pérez, M., & D'Elia, M. (2014). Protección de pozos de abastecimiento. Indicadores de la calidad del agua subterránea. *Tecnología y ciencias del agua*, 5(4), 5-22.
- Ramakrishnaiah, C. R., Sadashivaiah, C., & Ranganna, G. (2009). Assessment of water quality index for the groundwater in Tumkur Taluk, Karnataka State, India. *E-Journal of chemistry*, 6(2), 523-530.
- Sadat-Noori, S., Ebrahimi, K., & Liaghat, A. (2014). Groundwater Quality Assessment using the Water Quality Index and GIS in Saveh-Nobaran aquifer, Iran. *Environ. Earth Sci.*, 71, 3827-3843.
- Smedley, P. L., Kinniburgh, D. G., Macdonald, D. M. J., Nicolli, H. B., Barros, A. J., Tullio, J. O., ... & Alonso, M. S. (2005). Arsenic associations in sediments from the loess aquifer of La Pampa, Argentina. *Applied geochemistry*, 20(5), 989-1016.
- Soni, H. B., & Thomas, S. (2014). Assessment of surface water quality in relation to water quality index of tropical lentic environment, Central Gujarat, India. *International journal of environment*, 3(1), 168-176.
- Tello EE. (1986). Arsenicismos hídricos: ¿qué es el hidroarsenicismo crónico regional endémico argentino (HACREA)? *Arch Arg Dermatol.*, 26(4), 197-214.

- Torres, P., Cruz, C. H., & Patiño, P. J. (2009). Índices de calidad de agua en fuentes superficiales utilizadas en la producción de agua para consumo humano: Una revisión crítica. *Revista Ingenierías Universidad de Medellín*, 8(15), 79-94.
- Yogendra, K., & Puttaiah, E. T. (2008). Determination of water quality index and suitability of an urban waterbody in Shimoga Town, Karnataka. In *Proceedings of Taal2007: The 12th world lake conference* (Vol. 342, p. 346).