

# Variación de la calidad del agua del arroyo Chicamtoltina a través de su recorrido por dos ejidos urbanos

Nancy B. Larrosa<sup>1</sup>, Laura A. Reyna Musso<sup>1</sup>, Daniela Romero Agujón<sup>2</sup>, José M. Díaz Lozada<sup>1-3</sup> y Ana F. Nadal<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Facultad de Ciencias Exactas Físicas y Naturales, Universidad Nacional de Córdoba, Córdoba, Argentina.

<sup>2</sup>Administración Provincial de Recursos Hídricos, Córdoba, Argentina

<sup>3</sup>Instituto de Estudios Avanzados en Ingeniería y Tecnología (IDIT CONICET UNC)

Fecha de recepción del manuscrito: 10/06/2020

Fecha de aceptación del manuscrito: 19/10/2021

Fecha de publicación: 31/10/2021

**Resumen**— El arroyo Chicamtoltina atraviesa la ciudad de Alta Gracia (Córdoba) y se caracteriza por dos usos principales a lo largo de su recorrido. Desde su nacimiento hasta finalizar el ejido urbano tiene uso recreativo con un importante valor paisajístico. Fuera del ejido urbano, es receptor del efluente proveniente de la estación depuradora de aguas residuales (EDAR). En este trabajo se aplicó el índice de calidad de agua (ICA) del Consejo Canadiense de Ministros de Medio Ambiente (CCME por sus siglas en inglés) para evaluar la variación en la calidad del agua del arroyo a lo largo de su recorrido. A su vez, se realizó un estudio de composición iónica para evaluar las diferencias que pueden significar las distintas fuentes que desembocan en el arroyo. Luego de la descarga de la EDAR el ICA cae aproximadamente 20 puntos, pasando de una condición de aceptable a pobre. Sin embargo, los resultados muestran que el arroyo tiene capacidad de autodepuración, evidenciado por la estabilización de los indicadores de materia orgánica (DBO<sub>5</sub> y OD) pero no es suficiente la recuperación de los aspectos sanitarios (altos niveles de *Escherichia coli*). La composición iónica muestra un cambio en el estado iónico de sus aguas, pasando de un estado calcáreo y tipo carbonatadas hacia un estado más alcalino. Finalmente, debe resaltarse la dificultad de gestionar un cuerpo de agua con valor paisajístico y recreativo cuando el mismo tiene además un uso de alto impacto negativo como es la recepción de efluentes.

**Palabras clave**—Índice de calidad de agua, arroyo Chicamtoltina, composición iónica

**Abstract**— The Chicamtoltina stream is located in Alta Gracia city (Córdoba) and characterized by two main uses along its length. From source of stream to inside boundary of city, Chicamtoltina stream has use for recreation as well as important landscape value. Downstream of the city of Alta Gracia, the stream receives a point discharge of effluent from the wastewater treatment plant (WWTP). The Canadian Council of Ministers of the Environment (CCME) Water Quality Index (WQI) was applied to evaluate the variation in water quality of the stream along its course, considering its landscape importance and recreational use. At the same time, a study of ionic composition was carried out to evaluate the differences that the different sources flowing into the stream can mean. It can be noted that, the ICA value depletes 20 points downstream of the discharge. It means that the stream goes from acceptable to poor quality. The stabilization of the organic material indicators (BOD and DO) evidences that the stream has a good self-depuration capacity. However, the recuperation of the sanitary aspects is not enough, showing by high levels of *Escherichia coli*. The ionic composition shows a change in the ionic state of its waters, going from a calcareous and bicarbonate-type state to a more alkaline state. Finally, it should be noted that different factors make it difficult the management of Chicamtoltina stream due to disparate uses.

**Keywords**— Water quality index, Chicamtoltina stream, ionic composition

## INTRODUCCIÓN

El arroyo Chicamtoltina atraviesa la ciudad de Alta Gracia (Córdoba, Argentina) de oeste a sureste, es por ello que se lo conoce también con el nombre de arroyo Alta Gracia. Se encuentra en el Valle de Paravachasca ubicado en el cordón oriental de las Sierras de Córdoba, también denominado Sierras Chicas, que se extiende a lo largo de 245 kilómetros, con una orientación de norte a sur.

El arroyo nace de la confluencia de los arroyos de la Buena Esperanza y Los Paredones, los que tienen comienzo en la región serrana, y confluye en el río Anisacate, tributario del río Segundo (Xanaes).

Las actividades socioeconómicas conllevan en general vertidos de efluentes en los recursos hídricos naturales, lo que provoca que su ecosistema se vea afectado. Cuando dicho recurso tiene otros usos, como la actividad recreativa, la gravedad del problema de contaminación se acentúa. Este es el caso de la ciudad de Alta Gracia, donde uno de los problemas ambientales de mayor trascendencia es la calidad de agua del arroyo Chicamtoltina. A medida que este avanza por la zona urbana, va recibiendo fuentes de distinta naturaleza y carga hasta llegar al final de ejido urbano

Dirección de contacto:

Variación de la calidad del agua del arroyo Chicamtoltina, Avenida Vélez Sársfield 1611 Ciudad Universitaria, X5016 CGA. Tel: 5353800 interno 29000, xxx.xxx@unc.edu.ar

donde recibe la descarga de la planta de tratamiento de líquidos cloacales (EDAR).

El uso de los Índices de Calidad de Agua (ICA) como herramienta para evaluar el estado de la calidad de los ríos se ha utilizado desde su introducción, en la década de 1960, hasta la actualidad. Teniendo en cuenta la facilidad de su uso y la base científica, los ICA se han convertido en herramientas importantes y ampliamente difundidas para evaluar la calidad de los recursos hídricos en todo el mundo, particularmente de los ríos (Sutadian et al., 2015). La principal ventaja que ofrece un ICA es la evaluación espacio-temporal de la calidad del agua a partir de una sola variable unificadora, en contraposición a hacerlo sobre la base de una matriz compleja de datos.

Representan una herramienta de evaluación del estado del recurso que ayudan a la toma de decisiones en materia de políticas públicas y en el seguimiento de las acciones de mitigación que pueden ser llevadas a cabo, o el nivel de impacto si dichas medidas no son tomadas.

El objetivo de este trabajo es contribuir con la gestión del uso del arroyo Chicamtoltina a través de la determinación de un índice de calidad de agua y el análisis de iones mayoritarios. Este índice permitirá mostrar el impacto que la ciudad de Alta Gracia ejerce sobre el arroyo y caracterizar al mismo por tramos según el uso al que se lo destina, mientras el análisis de iones permitirá comprender cambios en la composición iónica debido a fuentes antropogénicas.

## MATERIALES Y MÉTODOS

Se realizaron ocho campañas estacionales de monitoreo distribuidas en dos períodos de estudio. El primer período incluye cuatro monitores estacionales realizados en el año 2017: Marzo (verano), mayo (otoño), agosto (invierno) y noviembre (Primavera). El segundo período incluye cuatro monitoreos realizados en el año 2019: Mayo (otoño), agosto (invierno), octubre (primavera) y diciembre (primavera).

Los sitios de muestreo se definieron en función de las actividades antrópicas. Así, se establecieron cuatro puntos: La naciente del arroyo (S1), 50 m antes de la descarga de la EDAR (S2), 1 Km aguas debajo de la EDAR (S3) y al final del arroyo 100 m antes de la confluencia con el río Anisacate (S4). En la Tabla 1 se detallan las coordenadas geográficas de cada sitio, distribuidos a lo largo de los 13 Km de longitud del arroyo y en la Fig. 1 se ubican los sitios de muestreos.

**TABLA 1: COORDENADAS GEOGRÁFICAS LOS SITIOS DE MONITOREO**

Sitios	Coordenadas GPS	Progresiva en Km
S1	31°38'47.94"S - 64°27'3.11"O	0
S2	31°40'34.64"S - 64°24'57.33"O	6,1
S3	31°41'1.30"S - 64°24'31.60"O	7,2
S4	31°43'19.90"S - 64°24'19.60"O	13,2

*In situ*, se midieron pH, temperatura (T), conductividad eléctrica (CE) y oxígeno disuelto (OD) con sensores y se tomaron muestras para determinaciones analíticas en laboratorio. Durante los monitoreos del año 2019 se midió el caudal con Velocímetro Acústico Doppler (ADV) YSI/SonTek FlowTracker.

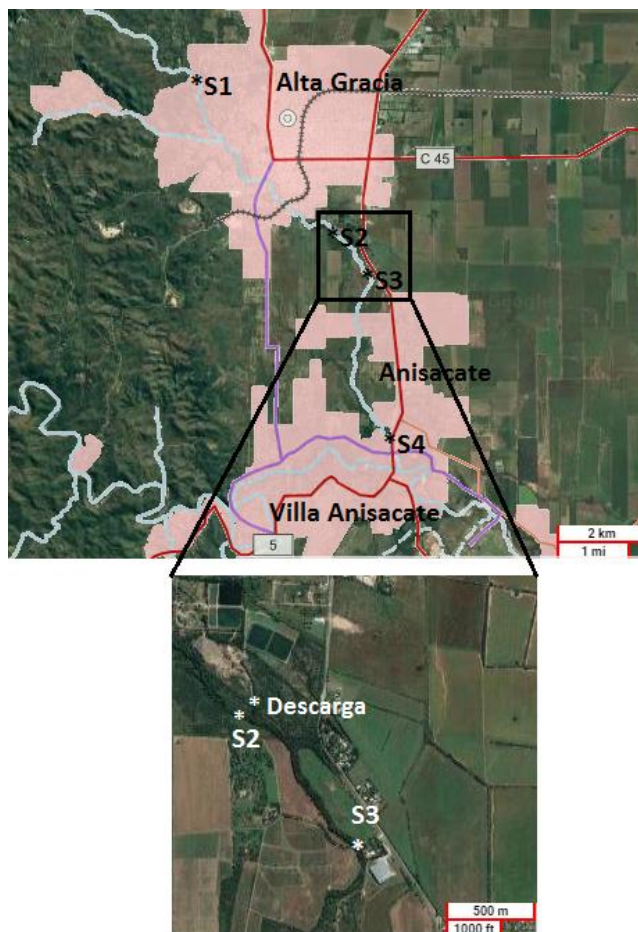


Fig. 1: Ubicación de los sitios de muestreo a lo largo del arroyo de Alta Gracia. Fuente: Elaboración propia a partir del SIGAM-SEGEMAR

### Cálculo del índice de calidad de agua (ICA)

Para evaluar la calidad de agua del arroyo Chicamtoltina a partir de variables físico-químicas y biológicas, se aplicó el ICA del Consejo Canadiense de Ministros de Medio Ambiente (CCME, 2001), conocido como CCME WQI por sus siglas en inglés (Canadian Council of Ministers of the Environment Water Quality Index).

Para el cálculo del ICA se utilizaron 10 parámetros: pH como parámetro que regula la actividad metabólica del ecosistema, CE para determinar la salobridad, demanda biológica de oxígeno (DBO<sub>5</sub>) y OD, como indicadores de materia orgánica, fósforo total (PT), amonio (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>), nitrato (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>), nitrito (NO<sub>2</sub><sup>-</sup>) como indicadores de estado trófico. Debido al uso recreativo del arroyo se consideró *Escherichia coli* como indicadora de sanidad y sólidos suspendidos (SS) como indicador paisajístico.

Debido a que no existen normativas provinciales ni nacionales que regulen los parámetros químicos y biológicos para aguas superficiales, se escogieron como niveles guía (NG) los límites de la Comisión Nacional de Medio Ambiente de Brasil (CoNaMA) para Aguas Dulces Clase II. Esta clase considera que el recurso es destinado a:

Abastecimiento de agua potable con tratamiento convencional, protección de comunidades acuáticas, recreación de contacto primario, irrigación de frutas, verduras y jardines con acceso del público y actividades de pesca. Para DBO<sub>5</sub>, OD, PT, NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, NO<sub>3</sub><sup>-</sup> y NO<sub>2</sub><sup>-</sup> se utilizaron los NG de la Resolución 357-2005 y para *E. coli*, la Resolución 274-2000, contacto directo categoría satisfactoria.

El CCME WQI se compone de tres factores:

El alcance (F1) representa el porcentaje de parámetros que no cumplen con el valor de referencia (definido en función del uso del agua) al menos una vez, en el período de tiempo analizado (parámetros fallidos), con respecto al número total de parámetros empleados, ec. (1).

$$F1 = \frac{N^{\circ} \text{ de parámetros fallidos}}{N^{\circ} \text{ total de parámetros}} \times 100 \quad (1)$$

La frecuencia (F2) representa el porcentaje de ensayos individuales que dieron resultados diferentes a lo establecido por la normativa (ensayos fallidos), del total de ensayos realizados en el período considerado. Con ensayo se hace referencia a los análisis de laboratorio realizados para cada parámetro y a los parámetros medidos en campo, ec.(2).

$$F2 = \frac{N^{\circ} \text{ de ensayos fallidos}}{N^{\circ} \text{ total de ensayos realizados}} \times 100 \quad (2)$$

La amplitud (F3) representa la magnitud con la cual el resultado de cada ensayo se desvía del criterio de conformidad o valor límite.

Para obtener dicho factor primero se deben calcular las excursiones. Se entiende por excursión el número de veces que el valor de un parámetro no cumple con su valor de referencia.

Si un parámetro no debe exceder un valor límite, la excursión se calcula mediante la ec. (3):

$$exc = \frac{\text{valor inaceptable}}{\text{valor límite}} - 1 \quad (3)$$

Si el parámetro no debe ser inferior a un valor límite, la excursión se calcula con la ec. (4):

$$exc = \frac{\text{valor límite}}{\text{valor inaceptable}} - 1 \quad (4)$$

Luego se debe realizar la suma normalizada de las excursiones (nse), la cual representa la magnitud colectiva por la que las mediciones individuales no cumplen sus objetivos ec. (5).

$$nse = \frac{\sum exc}{N^{\circ} \text{ total de ensayos realizados}} \quad (5)$$

Finalmente, con los datos obtenidos se puede cuantificar la amplitud F3, ec. (6)

$$F3 = \frac{nse}{0,01 nse + 0,01} \quad (6)$$

Una vez calculados los factores, el ICA se obtiene sumando cada uno de ellos como si fueran vectores, ec. (7). La suma de los cuadrados de cada factor es igual al cuadrado del índice. Dicho enfoque trata al índice como

una variable en el espacio tridimensional definido por cada uno de los factores a lo largo de un eje. Con este modelo, el índice cambia de manera directamente proporcional con los cambios que se produzcan en los valores de los factores.

$$CCME WQI = 100 - \frac{\sqrt{F1^2 + F2^2 + F3^2}}{1,732} \quad (7)$$

El valor de 1,732 surge porque cada uno de los tres factores individuales puede ir tan alto como 100. Esto significa que el vector de longitud puede llegar a la ec. (8):

$$100^2 + 100^2 + 100^2 = \sqrt{3000} = 17 \quad (8)$$

El divisor 1,732 normaliza el valor resultante en un rango entre 0 y 100, donde cero representa la peor calidad del agua y cien la mejor (CCME, 2001).

### Categorización en función del valor del ICA

El Consejo Canadiense de Ministros de Medio Ambiente, clasifica la calidad del agua en cinco categorías descriptivas en función del valor del índice comprendido en el rango entre cero y cien. Valores altos reflejan una buena calidad del agua, mientras que valores bajos son indicativos del deterioro de la misma (Tabla 2).

TABLA 2: CARACTERIZACIÓN DEL ÍNDICE DE CALIDAD DE AGUA. Fuente: CCME (2001).

VALOR DEL ÍNDICE	CATEGORIA
CCME WQI = 100-95: agua de buena calidad, libre de contaminantes que la deterioren. Este rango de valores se obtiene cuando todas las mediciones están dentro de los objetivos fijados.	Excelente
CCME WQI = 94-80: agua de buena calidad, cercana a las condiciones naturales o los niveles de calidad deseables.	Buena
CCME WQI = 79-65: agua de calidad regular. En ocasiones alejada de los criterios deseables de calidad.	Aceptable
CCME WQI = 64-45: agua contaminada. Usualmente alejada de los niveles guía.	Marginal
CCME WQI = 44-0: agua de muy baja calidad. Se encuentra casi en todo momento fuera de los criterios deseables de calidad.	Pobre

### Estudio de composición iónica

Complementariamente en las tres últimas campañas del año 2019 se analizaron los iones mayoritarios, importantes indicadores de la aptitud de un agua para bebida o posible uso industrial: Carbonatos (CO<sub>3</sub><sup>2-</sup>), bicarbonatos (HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>), cloruro (Cl<sup>-</sup>), fluoruro (F<sup>-</sup>), sulfato (SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>), calcio (Ca<sup>2+</sup>), magnesio (Mg<sup>2+</sup>), potasio (K<sup>+</sup>) y sodio (Na<sup>+</sup>), según Standard Methods (APHA; WWA; WFA, 2012).

Las concentraciones de cationes y aniones mayores fueron transformadas en meq/L y luego se expresaron en por ciento de aniones y cationes utilizando el Diagrama de Piper. Para el cálculo de los iones y la elaboración del gráfico se utilizó el programa Easy Quim 5.0v2012 diseñado por el Grupo de Hidrología Subterránea del

departamento de Ingeniería del Terreno de la Universidad Politécnica de Catalunya.

## RESULTADOS

### Índice de calidad de agua

En la Tabla 3 se muestran los porcentajes de parámetros que al aplicar el CCME WQI no cumplieron con las directrices al menos una vez (F1), los porcentajes de pruebas individuales que no cumplieron con las pautas (F2), la amplitud con la cual los valores de pruebas fallidas no cumplieron con sus pautas (F3) y el resultado del cálculo del ICA para los dos períodos estudiados.

**TABLA 3: PORCENTAJES DE LOS FACTORES QUE COMPONEN EL CCME WQI**

Sitio	S1		S2		S3		S4	
	1°	2°	1°	2°	1°	2°	1°	2°
F1%	11,1	20,0	33,3	20,0	55,6	50,0	55,6	40,0
F2%	3,0	5,7	18,8	11,4	48,5	42,9	45,5	34,3
F3%	0,5	6,1	44,9	36,0	91,9	92,7	85,0	58,9
ICA	93,3	87,5	66,0	75,3	32,0	34,3	35,8	54,4

P: Período. 1°: Año 2017. 2°: Año 2019

En S1 los parámetros que tuvieron test fallidos fueron *E. coli* en el 25 % de las muestras en ambos años y PT en el 25 % de las muestras del año 2019.

En S2 en el año 2017 hubo test fallidos para OD en el 33,3 % de las muestras, en el 25 % de PT y en el 100 % de las muestras de *E. coli*. En el año 2019 el 25 % de las determinaciones de PT y el 75 % de las de *E. coli* estuvieron por encima de los NG.

En S3 se observa el gran impacto producido por la EDAR, que se refleja en los mayores % de los tres factores (Alcance, frecuencia y amplitud) del ICA. El 100 % de las determinaciones de DBO, PT,  $\text{NH}_4^+$  y *E. coli* durante los dos años estuvieron por encima de los NG considerados en este trabajo. Los SS fallaron en el 50 % de las muestras en el año 2019. Finalmente el OD, el  $\text{NO}_3^-$  y el  $\text{NO}_2^-$  también sufren deterioro aunque sin incumplir los NG.

De igual manera en S3 es donde se aprecian las mayores desviaciones de los NG. Si se promedian los valores las distintas campañas se observa que la  $\text{DBO}_5$  (NG: 5 mg/L) es superada aproximadamente 3 veces, el PT (NG: 50  $\mu\text{g/L}$ ) 17, *E. coli* (NG: 800 NMP/100 mL) 84 y el  $\text{NH}_4^+$  (NG: 2,6 mg/L) 3.

En S4, en los dos años de estudio se repite el 100 % de fallas para PT,  $\text{NH}_4^+$  y *E. coli*, es decir, en ninguna muestra de todas las campañas realizadas, el indicador de estado cumplió con los NG recomendados. La DBO tuvo el 66,7 % de muestras fuera de los NG en el año 2017 y el 33,3 % en el año 2019. Los SS tuvieron un 33,3 % de fallas en el año 2017.

En la Fig. 2 se muestra la categorización de los sitios de acuerdo a los valores del ICA promediando los valores de las campañas de 2017 y 2019. Se puede apreciar el impacto luego de que el arroyo atraviesa la ciudad de Alta Gracia, pasando de calidad buena a aceptable y un fuerte impacto negativo luego de recibir la descarga de la EDAR, pasando

de calidad aceptable a pobre. Al llegar a la localidad de Anisacate, el arroyo comienza a recuperarse sin llegar a los valores aceptables que tenía en la ciudad de Alta Gracia.

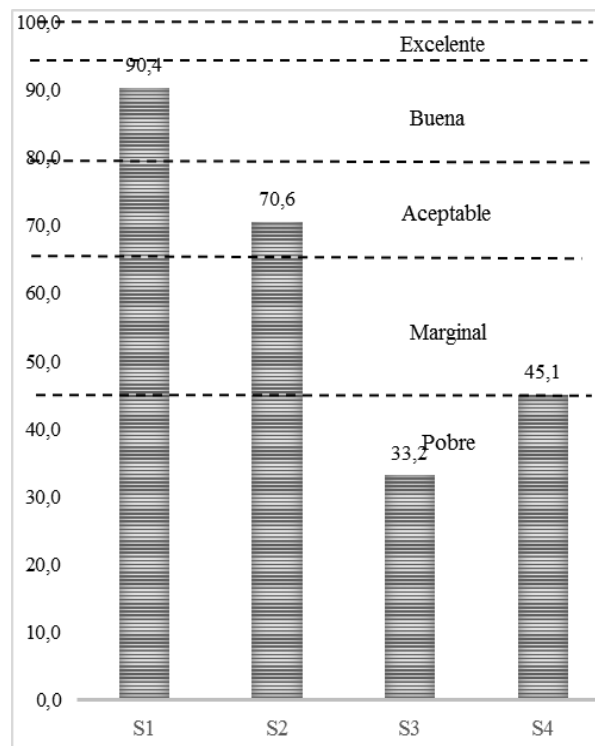


Fig. 2: Valores promedio del ICA de los dos años de estudio y categorización de su calidad

### Composición de iones mayoritarios

La Tabla 4 muestra los valores de los iones mayoritarios en las campañas de invierno y primavera del 2019. Para la estación primavera se utilizó la media de los valores obtenidos en los monitoreos de los meses de octubre y diciembre de 2019.

**TABLA 4: VALORES DE LOS IONES MAYORITARIOS**

S	S1		S2		S3		S4	
	I	P	I	P	I	P	I	P
Caudal	160	59	280	236	340	315	443	393
CE	468	510	450	386	456	450	634	612
$(\text{HCO}_3)^-$	245	249	212	156	220	159	235	202
$(\text{SO}_4)^{-2}$	9,5	10,2	16,9	14,5	14,9	13,5	58,8	36,5
$\text{Cl}^-$	5,1	6,4	7,9	7,9	14,6	16,0	20,4	21,7
$\text{F}^-$	0,5	0,4	0,8	0,6	0,9	0,7	0,8	0,6
$\text{Na}^+$	13,0	15,1	20,9	17,9	26,2	25,5	47,3	45,9
$\text{Ca}^{+2}$	60,7	60,5	53,7	39,3	49,9	25,8	58,4	46,8
$\text{Mg}^{+2}$	19,7	21,9	17,0	12,1	15,1	11,3	21,2	15,8

S: Sitio; E: Estación; I: Invierno; P: Primavera  
Caudal en L/s; CE en  $\mu\text{S/cm}$ ;  $(\text{HCO}_3)^-$ ,  $(\text{SO}_4)^{-2}$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{F}^-$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Ca}^{+2}$  y  $\text{Mg}^{+2}$  en mg/L

S1 es el sitio más representativo para realizar análisis relacionados con las condiciones hidrológicas naturales de la cuenca, ya que en el no hay fuentes antrópicas de caudal importantes como las existentes aguas arriba de S2 (descarga de la planta potabilizadora de agua) y de S3



(descarga de la EDAR). Como se observa en la Tabla 4, en este sitio contrariamente a lo esperado, los caudales registrados en primavera fueron menores al de invierno (estación seca). Esto se debe a que los caudales se midieron en fechas en las cuales las precipitaciones ocurridas no fueron suficientes para mantener un caudal base como el medido en la campaña de invierno, en donde en los meses de febrero, marzo y abril se registraron importantes precipitaciones que produjeron que el caudal base sea importante, llegando a valores cercanos a los 600 L/s en el mes de mayo de 2019.

Entre S1 y S4, la concentración de  $\text{Na}^+$  y  $\text{SO}_4^{2-}$  aumentan tres y cuatro veces respectivamente.

Las concentraciones de cationes mayoritarios decrecen en el orden  $\text{Ca}^{2+} > \text{Na}^+ > \text{Mg}^{2+} > \text{K}^+$ . Los dos primeros iones constituyen más del 70 % del total de cationes (en meq/L). Por otro lado el  $(\text{HCO}_3)^-$  es el anión dominante, superando siempre el 80 % del total de aniones (en meq/L). De acuerdo con su abundancia, los aniones siguen el orden  $(\text{HCO}_3)^- > (\text{SO}_4)^{2-} > \text{Cl}^-$ . La clasificación química del agua en relación con sus iones mayoritarios se presenta en la Fig. 4. Según el Diagrama de Piper, S1 y S2 tienen una composición cálcica mientras que S3 y S4 una composición mixta. Por otro lado, respecto de la composición de aniones, los 4 sitios presentan características de bicarbonatadas. Si bien se observa un aumento en la concentración de  $\text{Cl}^-$  y  $\text{SO}_4^{2-}$  entre S1 y S4 la clasificación del agua se mantiene como bicarbonatada. El aumento de la concentración de estos iones disueltos en las aguas fluviales es un indicio de la contaminación que experimentan el recurso debido a actividades humanas mayoritaria en relación a indicadores de contaminación orgánica (Meybeck, 2005).

Tanto los resultados de composición catiónica como aniónica se corresponden con los estudiados por Daziano, (2011) y Gaiero, et al, (1998) en la misma cuenca.

En Gaiero, et al (1998) la concentración de cloruros aumentó desde el punto de muestreo ubicado aguas arriba de la ciudad hasta la confluencia con el río Anisacate, de manera similar a lo sucedido en este trabajo. A su vez, muestran un aumento de la concentración de  $\text{Na}^+$ ,  $(\text{SO}_4)^{2-}$  y  $\text{HCO}_3^-$  en época seca que no se correlaciona con los valores medidos en el presente estudio.

El descenso de la CE entre S1 y S2 se reconoce como el efecto de la dilución que se produce cuando el arroyo recibe el agua que la planta potabilizadora descarga en el mismo. Posteriormente por efectos antrópicos la CE comienza a subir, con un importante aumento en S4 cuyo origen aún se está investigando. En el estudio reportado por Gaiero en 1998 no se observaron los aumentos de CE que en este estudio se aprecian entre S3 y S4, lo que podría indicar que las mismas serían debidas a contaminación antrópica actuales como las reportadas en Neal, et al. (2008); Li, et al. (2009) y Pasquini, et al. (2012).

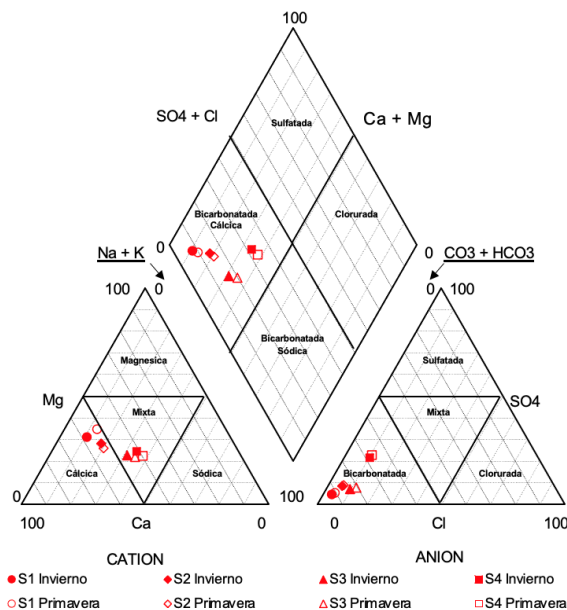


Fig. 4: Diagrama Piper de los diferentes sitios del arroyo. Fuente: Elaboración propia.

## CONCLUSIONES

Los resultados del ICA permiten caracterizar el arroyo en tres categorías. El inicio del arroyo (ICA 90) con agua de buena calidad, cercana a las condiciones naturales o los niveles de calidad deseables. Un segundo tramo hasta antes de la EDAR (ICA 70) con agua de calidad aceptable, en ocasiones alejada de los criterios de calidad deseables. Por último, después de la descarga de la EDAR la calidad del agua pasa a ser pobre (<44), agua de muy baja calidad que se encuentra casi en todo momento fuera de los criterios deseables de calidad. Esta condición comienza a revertirse en el límite con el ejido urbano de Anisacate, y cuando el arroyo llega a la confluencia, recupera 12 puntos en el valor del ICA, esencialmente relacionado al valor paisajístico, pero no siendo suficiente la recuperación de los aspectos sanitarios fundamentales para un recurso con uso recreativo.

La composición iónica del agua del arroyo sufre variaciones a lo largo de su recorrido. La primera se presenta al recibir la descarga de la planta potabilizadora de agua de la ciudad de Alta Gracia disminuyendo notoriamente la CE, esta puede considerarse un impacto positivo ya que ocasiona dilución. La segunda se manifiesta con un incremento de la concentración de DBO, fósforo, amonio y cloruros, producto de la descarga de la EDAR en Alta Gracia. La tercera variación importante, con un aumento de la CE y de los iones  $\text{Na}^+$  y  $\text{SO}_4^{2-}$ , se evidencia en la localidad de Anisacate. De esta última variación no se ha identificado la fuente, situación que requiere continuar con estudios para conocer si dichos iones se asocian con otros que sean indicadores de un impacto antrópico o que provengan de fuentes naturales.

Finalmente, queda demostrada la dificultad de gestionar un cuerpo de agua con valor paisajístico y recreativo cuando el mismo tiene además un uso de alto impacto negativo como es la recepción de efluentes.

## AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a la Secretaría de Ciencia y Tecnología de la Universidad Nacional de Córdoba por financiar los proyectos de investigación que dieron origen a este trabajo: “Determinación de parámetros de autodepuración y calidad de agua en diferentes tramos del arroyo Chicamtoltina (Alta Gracia)”, 2016-2017 y “Optimización de la determinación de la capacidad de autodepuración del arroyo Chicamtoltina (Alta Gracia)”, 2018-2021”. También agradecen a la Administración Provincial de Recursos Hídricos de la provincia de Córdoba por facilitar los traslados a campo.

## REFERENCIAS

- [1] American Public Health Association, American Water Works Association, Water Environment Federation (2012), Estados Unidos, “Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater”.
- [2] Canadian Council of Ministers of the Environment (CCME)(2001). Canadian water quality guidelines for the protection of aquatic life: CCME Water Quality Index 1.0, User’s Manual. In: Canadian environmental quality guidelines, 1999, Canadian Council of Ministers of the Environment, Winnipeg.
- [3] CONAMA (2012). Conselho Nacional do Meio Ambiente (Brasil). Resoluções do Conama: Resoluções vigentes publicadas entre setembro de 1984 e janeiro de 2012. /Ministério do Meio Ambiente. Brasília: MMA, 1126 p.
- [4] Daziano, C. (2011). Hidroquímica y aptitud de aguas superficiales Alta Gracia -Córdoba Argentina. Córdoba, Argentina [Recuperado de <https://pdfs.semanticscholar.org/71c6/14a427323b2c790cd34eb8de38db59a611b5.pdf> el 13 de mayo de 2020]
- [5] Gaiero D, Pesci H, Depretis P. (1998). Effects of quarry mining and of other environmental impacts in the mountainous Chicamtoltina drainage basin (Córdoba, Argentina). *Environmental Geology* 34 (2/3).
- [6] Li S., Xu Z., Wang H., Wang J. y Zhang Q. (2009). Geochemistry of the upper Han River basin, China. 3: Antropogenic inputs and chemical weathering to the dissolved load. *Chem. Geol.* 264, 89-95.
- [7] Meybeck M (2005) Global occurrence of major elements in rivers. In: Drever JI (ed) *Surface and ground water, weathering and soils*, vol 5. (In: Holland HD, Turekian KK (eds) *Treatise of Treatise of geochemistry*, 1st edn.). Elsevier-Pergamon, Oxford, pp 207–223
- [8] Neal C., Jarvie H., Love A., Neal M., Wickham H. y Harman S. (2008). Water quality along a river continuum subject to point and diffuse sources. *J. Hydrol.* 350, 154-165.
- [9] Pasquini A.I., Formica S.M. y Sacchi G.A. (2012). Hydrochemistry and nutrients dynamic in the Suquia River urban catchment’s, Córdoba, Argentina. *Environ. Earth Sci.* 65, 453-467.
- [10] Sutadian, A. D., Muttill, N., Yilmaz, A. G., y Perera, B. J. C. (2015). Development of river water quality indices—a review. *Environmental Monitoring and Assessment*, 188(1). doi:10.1007/s10661-015-5050-0