# Estudio de calidad de agua para diversos usos en el Río Tercero (Ctalamochita) Córdoba

*Gabriel Carnicelli[1], Ana Cossavella[1,2], Esteban Lubrina[1], Patricia O´Mill,[1,2], Ignacio Rodriguez[1], Mariana Roqué[1]*

[1] Administración Provincial de Recursos Hídricos (APRHi)

[2]Facultad de Ciencias Exactas

E-mail: preservacionaprhi@gmail.com

RESUMEN: El presente trabajo consiste en la evaluación de la calidad del agua para uso recreativo, como fuente de abastecimiento de agua potable para tratamiento convencional y protección de la vida acuática en el Río Tercero (Ctalamochita), provincia de Córdoba. Esto se logra a través del uso de índices de calidad de agua que unifican a los resultados de análisis de parámetros físico-químicos y bacteriológicos en un numero de 0 a 100. En el presente trabajo se empleó el "Water Quality Index" del "Canadian Council of Ministers of the Environment" que consiste en el cálculo de tres factores (F1: Factor de parámetros no conformes, F2: Factor de ensayos fallidos y F3: Factor de desviación del valor de referencia) y de diversos valores guías empleados como referencia para cada parámetro evaluado. Se establecieron doce estaciones de monitoreo estratégicamente distribuidas en función de posibles impactos antrópicos y de los usos del recurso hídrico establecidos en las mencionadas estaciones. En cada estación se tomaron muestras y se realizaron mediciones in-situ para la determinación de un total de catorce parámetros.

Como resultado del estudio se logró evidenciar una pérdida de calidad de agua (evaluada para diferentes usos del recurso) conforme avanza el río, que estaría gobernada por aportes difusos de contaminantes que aumentan la concentración de varios parámetros. No obstante, también se destacan vertidos puntuales de aguas residuales tratadas de origen doméstico que son desechadas de forma directa al río desde las estaciones depuradoras de las principales urbanizaciones que se asientan en la costa del sistema fluvial estudiado.

## INTRODUCCION

En la actualidad el crecimiento exponencial de la población y los hábitos de consumo de las personas que pretenden un progreso económico a fin de mantener y/o mejorar sus estándares de calidad de vida, generan una excesiva presión sobre los recursos naturales. La acción antrópica sobre el ambiente en general y el medio acuático en particular, es responsable de muchas de las alteraciones que sufren los cuerpos de agua superficiales. Así, los problemas de calidad de agua que presentan ríos, lagos y embalses se incrementan con el uso multipropósito de estos sistemas (Bazán, 2010).

En general, las aguas superficiales están sometidas a contaminación de origen natural, arrastre de material particulado y disuelto y presencia de materia orgánica natural y de origen antrópico, descargas de aguas residuales, domésticas, escorrentía agrícola, efluentes de procesos industriales, entre otros (Torres et al., 2009).

El deterioro de la calidad de agua supone un grave problema ambiental, económico y social a nivel mundial. Esto es particularmente importante en los países en vías de desarrollo, en donde el tratamiento de las aguas residuales tiene grandes rezagos tecnológicos y de infraestructura, por lo cual la mala calidad de las aguas aumenta la presión sobre los recursos hídricos existentes y limita las posibilidades de desarrollo de los países del mundo (Martínez et al., 2008).

Uno de los recursos hídricos que se ve afectado por las mencionadas acciones son los ríos que son la fuente de agua dulce más importante para el hombre. En el pasado, el desarrollo social, económico y político se ha relacionado en gran medida con la disponibilidad y distribución de las aguas dulces contenidas en los sistemas ribereños (Chapman, 1992). En los sistemas fluviales convergen intereses sobre los usos del recurso hídrico entre los usuarios aguas arriba, que producto de su actividad, degradan la calidad del recurso para los usuarios aguas abajo, por ejemplo: Uso industrial aguas arriba y uso recreativo aguas abajo.

En las últimas décadas, se ha registrado una progresiva aceptación respecto a la gestión integrada de los recursos hídricos; asumiendo que los usos del agua son interdependientes y que la solución de los problemas hídricos debe ser abordada en forma integral abarcando participativamente a cada uno de los actores y reconociendo el rol que cada uno cumple en la sociedad (Paris et al., 2009).

Para llevar a cabo la gestión de los recursos hídricos, resulta imprescindible realizar monitoreos que documenten la variabilidad de la calidad del agua (Betancur Vargas et al., 2011). A través de los distintos índices se pueden evaluar cambios y tendencias en la calidad del agua a partir de una sola variable unificadora, en contraposición a hacerlo sobre la base de numerosos parámetros (Chapman, 1992; Debels et al., 2005). Además, los índices facilitan

la comunicación e interpretación por parte del público en general y para aquellos que deben tomar decisiones sobre el manejo y conservación de los recursos hídricos (Torres et al., 2010).

El presente trabajo consiste en la evaluación de la calidad del agua para uso recreativo, abastecimiento de agua potable y protección de la vida acuática en el Río Tercero (Ctalamochita), Córdoba, a través del uso de índices de calidad "Water Quality Index" de "Canadian Council of Ministers of the Environment" y de diversos valores guías empleados como referencia para cada parámetro evaluado.

## OBJETIVOS

a) Mejorar el conocimiento del estado de la calidad del agua del Río Tercero (Ctalamochita).

b) Realizar un diagnóstico de la situación ambiental del Río Tercero (Ctalamochita) con enfoque integral.

## BREVE DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

La cuenca del Río Tercero o Ctalamochita constituye un sistema de alimentación pluvial con régimen permanente cuya área es de 9.580 $km^2$. Los principales afluentes en la cuenca alta que aportan a la subcuenca del Río Tercero (Ctalamochita), enunciados de norte a sur, son: el río Santa Rosa, Arroyo Amboy, Río Grande, Río Quillinzo y Río de La Cruz o de los Sauces, siendo el Río Grande el tributario más importante con escurrimientos principalmente conformados por los arroyos Durazno, Manzano y las Letanías. (García et al., 2017).

La cuenca alta del Río Tercero (Ctalamochita) es explotada hidroeléctricamente a través de dos sistemas. Por un lado, el complejo Río Grande, conformado por los embalses Cerro Pelado y Arroyo Corto; y por el otro, el sistema llamado Río Tercero, constituido por los embalses Río Tercero, Ingeniero Cassaffousth, Ingeniero Benjamín Reolín y Piedras Moras. Este último actúa como regulador y condiciona el caudal escurrido en el Río Tercero (Ctalamochita) (Lenarduzzi, 2013).

El Río Tercero (Ctalamochita), además de ser una importante fuente para el suministro de agua potable en la zona sur y este de la provincia de Córdoba, es utilizado como cuerpo receptor para disposición final de las aguas residuales industriales y de estaciones depuradoras de efluentes cloacales. (Cossavella, 2003). En sus márgenes se localizan importantes centros poblados. En la zona serrana los centros turísticos son Va. Del Dique, Va. Rumipal, Embalse y aguas abajo hasta la confluencia con el río Saladillo, las poblaciones de Almafuerte, Río Tercero, Va. Ascasubi, Pampayasta, Villa María y Bell Ville, entre otras. Alrededor de medio millón de habitantes utilizan las aguas del río Ctalamochita para distintos usos: volcamiento de efluentes, extracción de áridos, abastecimiento de agua potable, riego, recreación, etc. (Cosavella, 2005).

## MATERIALES Y MÉTODOS

### *Puntos de monitoreo Río Tercero (Ctalamochita)*

Los lugares donde se tomaron muestras de agua se describen a continuación:

Balneario Almafuerte (BA): Este punto se encuentra cercano al dique Piedras Moras y se utiliza como línea de base del río para conocer la calidad del agua en sus nacientes. En este punto se destaca el uso recreativo del recurso.

Balneario Río Tercero (BRIII): Esta estación se emplea principalmente para el conocimiento de la calidad del recurso aguas abajo del polo petroquímico de la localidad de Río Tercero.

Puente los Potreros (PLP): Este punto de monitoreo se emplea para conocer la variación de la calidad de agua del río posiblemente impactada por vertidos de la localidad de Río Tercero destacándose el de la EDAR (Estación Depuradora de Aguas Residuales) Río Tercero.

Villa Ascasubi (VA): El conocimiento de la calidad de agua en este punto es importante, dado que en esta estación las aguas se usan para recreación con contacto directo.

Puente Andino (PA): La localidad más poblada de la cuenca en la zona de estudio es Villa María. Se debe conocer la variación de calidad del recurso producto de su paso por la zona urbana. Esto se logra a través del muestreo aguas arriba y aguas debajo de la ciudad. El puente Andino se usa como calidad de agua de base previo paso por la urbanización.

Puente Nestlé (PN): Este punto se monitorea porque los habitantes de la ciudad de Villa María utilizan el Río en esta zona para recreación con contacto directo.

Aguas abajo EDAR Villa María (BOSN): Este punto se encuentra debajo del vertido de la planta depuradora de efluentes cloacales de la Ciudad de Villa María.

Puente Altura Ballesteros (AB): Al igual que en el Puente Nestlé de Villa María, en Ballesteros Sud los habitantes hacen uso recreativo del agua con contacto directo.

Azud Bell Ville (ABV): En este punto se centra el interés en el uso del recurso para consumo humano dado que se encuentra cercano a la toma de agua de la planta potabilizadora de Bell Ville.

Aguas abajo EDAR Bell Ville (AACCBV): Este punto se encuentra debajo del vertido de la planta depuradora de efluentes cloacales de la Ciudad de Bell Ville.

Azud San Marcos (ASM): Este punto se emplea también para el conocimiento de la calidad del recurso que se usa con fines de abastecimiento de agua potable. La planta potabilizadora San Marcos abastece de agua a 39 localidades del sudeste Cordobés y 2 en territorio de la provincia de Santa Fe.

Monte Buey (MB): Este punto se encuentra cercano a la confluencia del Río Tercero con el Río Saladillo.

**Tabla 1.-** Estaciones de muestreo. fuente: Elaboración propia

| Estación de Muestreo | Coordenadas (latitud, longitud) | Progresiva (km) |
|---|---|---|
| Balneario Almafuerte (BA) | S 32°10´06,36´´ W 64°13´49,38´´ | 2 |
| Balneario Río III (BRIII) | S 32°09´35,00´´ W 64°06´39,00´´ | 15 |
| Puente Los Potreros (PLP) | S 32°09´05,00´´ W 64°01´33,00´´ | 26 |
| Villa Ascasubi (VA) | S 32°10´20,00´´ W 63°53´45,00´´ | 39 |
| Puente Andino (PA) | S 32°25´12,00´´ W 63°18´09,00´´ | 113 |
| Puente Nestlé (PN) | S 32°25´19,00´´ W 63°14´40,00´´ | 121 |
| Aguas Abajo Colectora Cloacal Villa María (BOSN) | S 32°28´18,00´´ W 63°10´12,00´´ | 130 |
| Puente Altura Ballestero (AB) | S 32°34´52,00´´ W 63°01´22,00´´ | 161 |
| Azud Bell Ville (ABV) | S 32°37´31,45´´ W 62°42´14,61´´ | 220 |
| Aguas Abajo Colectora Cloacal Bell Ville (AACCBV) | S 32°37´22,00´´ W 62°35´35,00´´ | 236 |
| Azud San Marcos (ASM) | S 32°40´22,00´´ W 62°29´45,00´´ | 262 |
| Monte Buey (MB) | S 32°54´49,00´´ W 62°19´32,00´´ | 294 |

***Figura 1.-*** *Imagen satelital de las estaciones de muestreo, fuente: Elaboración propia.*

*Muestreos*

Los muestreos se realizaron con envases plásticos con capacidad de 2 litros sin cámara de aire para una determinación más representativa de la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5) y Demanda Química de Oxígeno (DQO). Con esa muestra se analizaron los parámetros físico–químicos. Para análisis bacteriológicos se utilizaron envases esterilizados de 100 mL. Esta muestra lleva cámara de aire para mantener la respiración de microorganismos. Tomadas ambas muestras, los envases se llevan a una conservadora refrigerada a temperatura

menor a 4 °C, ya que los cambios provocados por el crecimiento de microorganismos se retardan por almacenamiento de la muestra en la oscuridad y a baja temperatura (<4° C, pero sin congelar).

*Técnicas utilizadas*

La metodología utilizada para la toma de muestras, almacenamiento, preservación y análisis es la clásica (Standard Methods, 1998). Los parámetros físico-químicos y microbiológicos propuestos inicialmente para analizar son los siguientes:

**Mediciones in situ:** Temperatura, pH y oxígeno disuelto, medidos con sondas multiparamétricas Horiba U-10 y W-22XD.

**Determinaciones de laboratorio:** nitrógeno de amonio(N-NH4+), nitrógeno de nitrito (N-NO2-), nitrógeno de nitrato (N-NO3-), fósforo total (PT), iones mayoritarios, demanda bioquímica de oxígeno (DBO5), demanda química de oxígeno (DQO), bacterias coliformes totales.

Técnicas analíticas: A continuación, se detallan las técnicas analíticas utilizadas en la determinación de cada uno de los parámetros citados anteriormente:

**Tabla 2.-** Técnicas analíticas aplicadas. fuente: Elaboración propia

| Parámetro | Método Analítico |
|---|---|
| Cloruros | APHA 4500-Cl B |
| Sulfatos | APHA 4500-SO4-2-E |
| Fluoruros | APHA Method 4500-F |
| Demanda bioquímica de oxígeno, DBO5 | APHA 5210-B |
| Turbiedad | APHA 2130-T |
| Solidos Disueltos | APHA 2540-S |
| Fósforo total | APHA 4500-P E |
| Nitritos (NO-2) | Método colorimétrico (4500-NO-2 A) |
| Nitratos (NO-3) | Método (4500-NO-3 B) |
| Bacterias Coliformes totales | Método (9221 B y C) |
| Amonio | Método ASTM D 1426-89 |

*Aplicación de índices de calidad de agua*

Los programas de monitoreo de calidad de agua generalmente incluyen la cuantificación de numerosos parámetros físico-químicos y microbiológicos, y en función de los valores obtenidos comparados con otros de referencia, establecidos dentro de un marco legal y definidos en función del uso, se realiza la estimación del estado del recurso hídrico (Chapman, 1992).

El Canadian Council of Ministers of the Environment 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 buena calidad de agua, mientras que valores bajos son indicativos del deterioro de la misma (Tabla 4).

***Tabla 3.-*** *Categorización del índice de calidad de agua. Fuente: CCME (2001).*

| VALOR DEL INDICE (CCME WQI) | CATEGORIA |
|---|---|
| **95-100:** libre de contaminantes que la deterioren. Cerca de las condiciones de agua pura. | EXCELENTE |
| **80-94:** cercana a las condiciones naturales o los niveles de calidad deseables. | BUENA |
| **65-79:** agua de calidad regular. En ocasiones alejada de los criterios deseables de calidad. | ACEPTABLE |
| **45-64:** Agua contaminada. Calidad deteriorada o amenazada. | MARGINAL |
| **0-44:** Agua de muy baja calidad. Fuera de los criterios deseables en todo momento. | POBRE |

*Cálculo del índice*

Una vez que se ha definido el cuerpo de agua sobre el cual se va a realizar el estudio, el período de tiempo, las variables y los valores de referencia, se calcula el índice. El modelo conceptual del mismo se basa en el logro de objetivos, es decir, límites fijados por una legislación con el fin de proteger los usos del agua. 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 (Ecuación 1).

$$F1 = \frac{N° \ de \ parámetros fallidos}{N° \ total \ de \ parámetros} 100 \quad (1)$$

La frecuencia (F2) representa el porcentaje de ensayos individuales que dieron resultados diferentes a la guía (ensayos fallidos), del total de ensayos realizados en el período estudiado. Con ensayo se hace referencia a los análisis de laboratorio realizados para cada parámetro (Ecuación 2).

$$F2 = \frac{N° \ de \ ensayos \ fallidos}{N° \ total \ de \ ensayos \ realizados} \quad 100 \ (2)$$

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 (Ecuaciones 3 y 4). 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 Ecuación 3:

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

Si el parámetro no debe ser inferior a un valor límite, la excursión se calcula con la Ecuación 4:

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

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

$$\text{sne}= \frac{\Sigma\ exc}{N°\ total\ de\ ensayos\ realizados} \quad (5)$$

Finalmente, con los datos obtenidos se puede cuantificar la amplitud (Ecuación 6):

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

Una vez calculados los factores, el índice en sí se obtiene sumando cada uno de ellos como si fueran vectores (Ecuación 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.

$$CCME\ WQI=100 - \frac{(\sqrt{\text{F1}^2+\text{F2}^2+\text{F3}^2})100}{173{,}2} \quad (7)$$

El valor de 173,2 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 (Ecuación 8):

$$\sqrt{100^2 + 100^2 + 100^2} = 173{,}2 \quad (8)$$

El divisor 173,2 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).

### *Valores de referencia*

Un criterio o nivel guía de calidad se define como una expresión cuantitativa o narrativa que surge de un requerimiento científico, inherente a un parámetro de calidad respecto a un destino específico asignado al agua ambiente (SSRHN, 2004). En la selección de los mismos y dada la falta de valores guía específicos para el cuerpo de agua en estudio, se utilizaron como referencia: valores guía brindados por Consejo Nacional de Medio Ambiente de Brasil (CONAMA), Directivas de la Comunidad Económica Europea (CEE) y Guías de Calidad de agua del Consejo Canadiense de Ministros de Medio Ambiente (CCME). En los casos en que se dispuso de más de un valor de referencia a partir de la bibliografía consultada, se optó por aquel que, acorde a las condiciones locales y de acuerdo a los resultados obtenidos en múltiples monitoreos, resultara ser más acorde para evaluar la calidad del río en estudio. Se seleccionaron valores de referencia para calidad de agua destinada a consumo humano, actividades recreativas con contacto directo y para protección de la vida acuática.

***Tabla 4.-*** *Valores empleados como referencia para cada parámetro de acuerdo al uso*

| Parámetro | Unidad | Destinada a consumo humano* | | Actividades recreativas con contacto directo | | Protección de la vida acuática | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | Valor | Referencia | Valor | Referencia | Valor | Referencia |
| Oxígeno disuelto | mg/L | > 5 | CONAMA | > 5 | CONAMA | > 5 | CCME |
| pH | | 6-9 | CONAMA | 6-9 | CONAMA | 6-9 | CONAMA |
| Conductividad | uS/cm | < 1000 | CEE | (1) | | (1) | |
| Turbiedad | UNT | (1) | | < 40 | CONAMA | < 40 | CONAMA |
| Fosforo Total | µg/L | < 400 | CEE | (1) | | (1) | |
| Nitratos | mg/L | < 10 | CONAMA | 10 | CONAMA | < 10 | CONAMA |
| Nitritos | mg/L | < 1 | CONAMA | < 1 | CONAMA | < 1 | CONAMA |
| Nitrógeno amoniacal | mg/L | < 1 | CONAMA | < 0,02 | CONAMA | < 0,02 | CONAMA |
| DBO | mg/L | < 3 | CONAMA | < 3 | CONAMA | < 3 | CONAMA |
| Coliformes Totales | NMP/100mL | < 5000 | CONAMA | < 1250 | CONAMA | < 1000 | CONAMA |
| Sólid. disueltos Totales | mg/L | < 500 | CONAMA | < 500 | CONAMA | < 1500 | CCME |
| Cloruros | mg/L | < 200 | CEE | < 250 | CONAMA | < 250 | CONAMA |
| Fluoruros | mg/L | < 1,4 | CEE | < 0,75 | CONAMA | < 1,4 | CONAMA |
| Sulfatos | mg/L | < 150 | CEE | < 250 | CONAMA | < 250 | CONAMA |

(1) No se asignó valor de referencia.
* Previo tratamiento convencional en planta potabilizadora.

## ANÁLISIS Y RESULTADOS

### *Agua destinada a consumo humano con tratamiento convencional*

A través del índice propuesto con sus respectivos valores de referencia para agua destinada a consumo humano, se puede observar como la calidad del recurso hídrico se degrada proporcionalmente acorde al avance del río en su recorrido. Haciendo un análisis de los valores de la ecuación del índice (ver tabla 5) se puede apreciar que proporcionalmente al progresar el recorrido del río Tercero se van hallando un mayor número de parámetros que superan el valor guía (F1: ver figura 2). Como excepción al resto de los puntos monitoreados se puede encontrar el puente Nestlé, donde el agua presenta una pérdida de calidad antrópica generada en el centro del ejido urbano de la localidad de Villa María. Se deducen causas naturales como los motivos de la pérdida de calidad en este caso, por la tendencia al aumento aguas abajo de sólidos disueltos, turbiedad, conductividad, cloruros, sulfatos, etc. A través del uso del índice propuesto se puede argumentar que el agua destinada para consumo masivo extraída en el azud Bell Ville y Azud San Marcos son aptas para el consumo humano a través de un proceso de potabilización tradicional (tratamiento físico-químico y desinfección). En Monte Buey se pierde la calidad de agua abruptamente y se deduce que el río en este punto puede estar influenciado por la salinidad del Saladillo antes de su confluencia en el Río Carcarañá.

***Tabla 5.-*** *Resultado de índices de calidad para agua destinada a consumo humano*

| Estación de monitoreo | Periodo de estudio | F1 | F2 | F3 | Valor del índice | Categoría |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Balneario Almafuerte | 2014-2017 | 0 | 0 | 0 | 100 | EXCELENTE |
| Balneario Río III | 2014-2017 | 7,7 | 2,4 | 0,8 | 95,3 | EXCELENTE |
| Villa Ascasubi | 2014-2017 | 7,7 | 0,5 | 0,5 | 95,5 | EXCELENTE |
| Puente Andino | 2014-2017 | 23,1 | 3,1 | 26,6 | 79,6 | ACEPTABLE |
| Puente Nestlé | 2014-2017 | 15,4 | 1,9 | 58 | 65,3 | ACEPTABLE |
| Azud Bell Ville | 2014-2017 | 38,5 | 5,3 | 30,9 | 71,3 | ACEPTABLE |
| Azud San Marcos | 2014-2017 | 46,2 | 13 | 8,9 | 71,8 | ACEPTABLE |
| Monte Buey | 2014-2017 | 53,8 | 29,8 | 63,1 | 49,1 | MARGINAL |

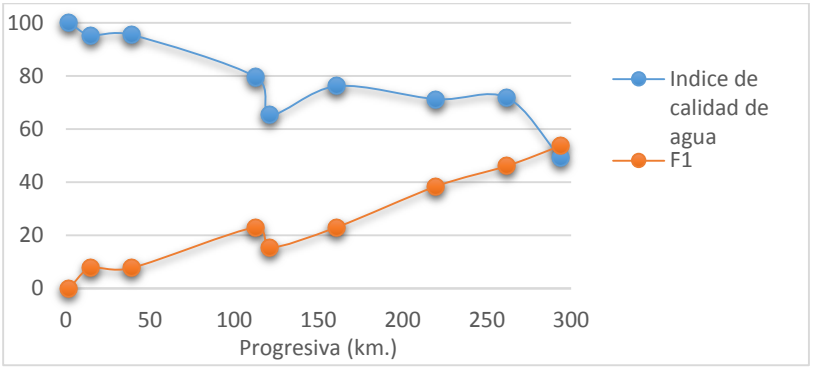


***Figura 2.-*** *Grafico de tendencia de variación espacial de calidad de agua p/consumo humano.*

### *Agua destinada a uso recreativo con contacto directo*

Analizando el agua para uso recreativo con contacto directo se puede observar la misma tendencia que el dado con el índice de calidad de agua para consumo humano. Con la diferencia que la pendiente de la pérdida de calidad es mayor, dado que los valores de referencia para este uso son más rigurosos para análisis bacteriológicos y tienen límites establecidos para turbiedad (ver figuras 4 y 5: Parámetros que presentan mayor cantidad de no conformidades respecto a la referencia). Se puede observar que aguas abajo van aumentando los ensayos que tienen resultados mayores al valor guía (F2: Ver figura 3). Y también se puede apreciar que esos ensayos no conformes a la referencia presentan una desviación cada vez mayor al valor guía de acuerdo avanza la progresiva del río (F3: Ver figura 3). A través del cálculo del índice propuesto se observa que a partir de la ciudad de Villa María la calidad de agua del río no sería apta para uso recreativo con contacto directo. Se suponen causas naturales y antrópicas que degradarían la calidad del agua para este uso. La causa natural de la degradación de calidad de agua seria el incremento de solidos suspendidos en el río. Y antrópicas por el uso del recurso propio de las urbanizaciones, vertidos y contaminación difusa del área de estudio donde están localizados los balnearios.

***Tabla 6.-*** *Resultado de índices de calidad para agua destinada a uso recreativo con contacto directo*

| Estación de monitoreo | Periodo de estudio | F1 | F2 | F3 | Valor del índice | Categoría |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Balneario Almafuerte | 2014-2017 | 8,3 | 1 | 1,7 | 95,1 | EXCELENTE |
| Balneario Río III | 2014-2017 | 8,3 | 2,6 | 0,9 | 94,9 | BUENA |
| Villa Ascasubi | 2014-2017 | 25 | 2,6 | 3,8 | 85,3 | BUENA |
| Puente Andino | 2014-2017 | 25 | 7,2 | 62,6 | 60,9 | MARGINAL |
| Puente Nestlé | 2014-2017 | 16,7 | 8,9 | 85,9 | 49,2 | MARGINAL |
| Altura Ballesteros | 2014-2017 | 33,3 | 13,2 | 75,5 | 51,7 | MARGINAL |
| Azud Bell Ville | 2014-2017 | 41,7 | 13 | 99 | 37,5 | POBRE |
| Monte Buey | 2014-2017 | 50 | 29,2 | 99 | 33,8 | POBRE |

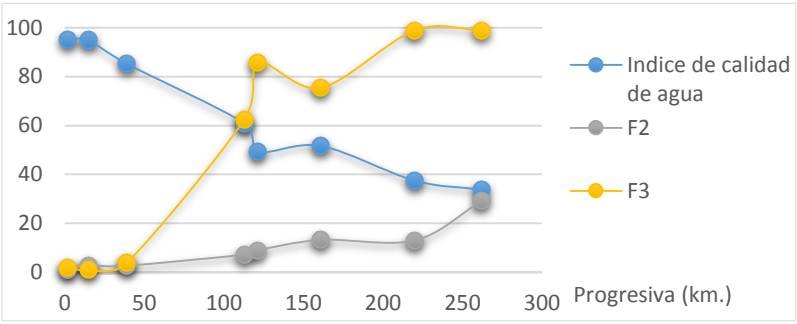


***Figura 3.-*** *Grafico de tendencia de variación espacial de calidad de agua para uso recreativo.*

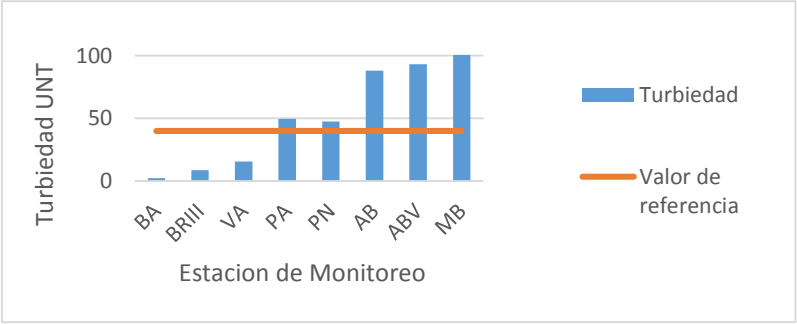


***Figura 4.-*** *Grafico de tendencia de variación espacial de la turbiedad.*

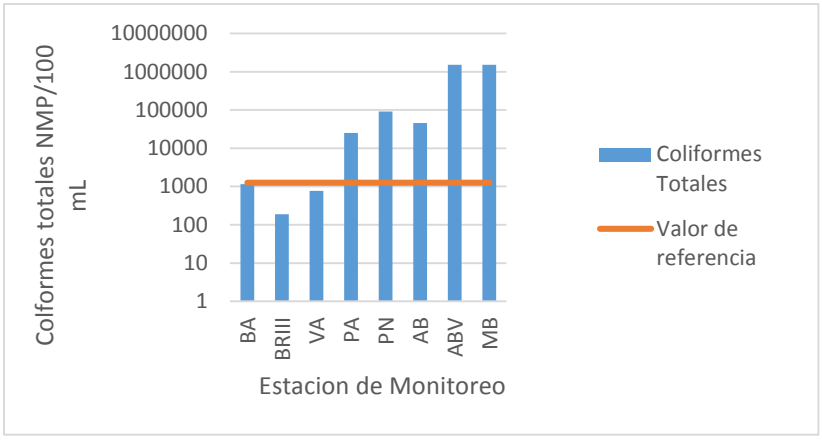


***Figura 5.-*** *Grafico de tendencia de variación espacial de coliformes totales.*

*Índices de calidad de agua para la protección de la vida acuática*

A través de la aplicación de este índice basado en parámetros esenciales para la protección de la ictiofauna se evalúa la variación espacial de la calidad de agua en todos los puntos de monitoreo. Para el caso de protección de la fauna acuática se hallan tendencias similares en los factores del índice para uso recreativo (F2 y F3: Ver figura 6). Esto se debe al uso de valores guías establecidos para turbiedad y para coliformes totales. Si bien este índice sirve para tenerlo en cuenta como referencia, se deben seguir recopilando datos de compuestos tóxicos para la vida acuática para mejorar la evaluación de calidad.

***Tabla 7.-*** *Resultado de índices de calidad del para la protección de la vida acuática*

| Estación de monitoreo | Periodo de estudio | F1 | F2 | F3 | Valor del índice | Categoría |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Balneario Almafuerte | 2014-2017 | 9,1 | 1,7 | 2,6 | 94,5 | BUENA |
| Balneario Río III | 2014-2017 | 9,1 | 2,8 | 1 | 94,5 | BUENA |
| Puente Los Potreros | 2014-2017 | 27,3 | 3,4 | 17,2 | 81,3 | BUENA |
| Villa Ascasubi | 2014-2017 | 27,3 | 2,8 | 5,1 | 83,9 | BUENA |
| Puente Andino | 2014-2017 | 27,3 | 9,1 | 69,5 | 56,6 | MARGINAL |
| Puente Nestlé | 2014-2017 | 18,2 | 10,8 | 89,2 | 47 | MARGINAL |
| A. Abajo Villa María | 2014-2017 | 27,3 | 12,7 | 76,9 | 52,3 | MARGINAL |
| Altura Ballesteros | 2014-2017 | 27,3 | 13,9 | 80,7 | 50,2 | MARGINAL |
| Azud Bell Ville | 2014-2017 | 27,3 | 11,9 | 70,9 | 55,6 | MARGINAL |
| A. Abajo colectora cloacal Bell Ville | 2014-2017 | 27,3 | 15,3 | 92 | 43,9 | POBRE |
| Azud San Marcos | 2014-2017 | 25 | 12 | 88,2 | 46,6 | MARGINAL |
| Monte Buey | 2014-2017 | 54,5 | 29,5 | 88,9 | 37,4 | POBRE |

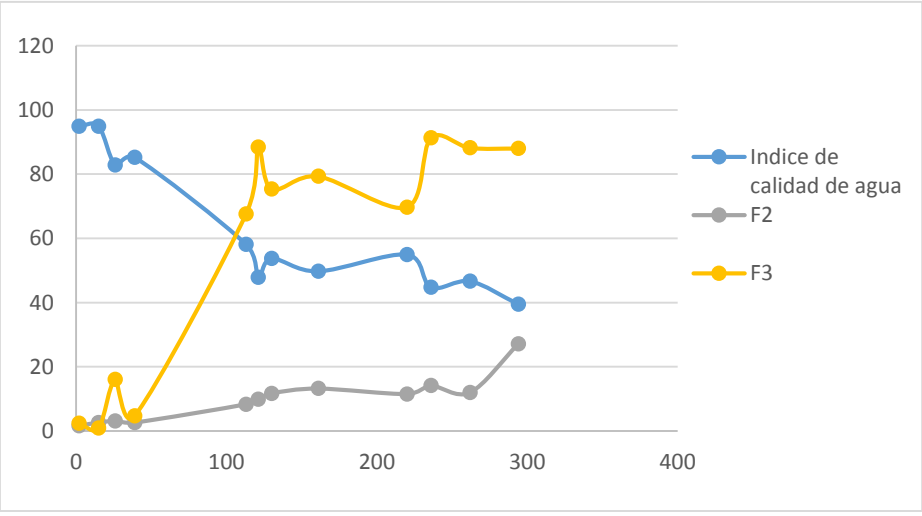


***Figura 6.-*** *Grafico de tendencia de variación espacial de calidad de agua para la protección de la vida acuática.*

Los aportes de corrientes difusas son altamente dependientes del uso del suelo. En estos casos se podría hablar de aportes urbanos influenciados por la impermeabilización del suelo producto de las construcciones (casas, calles, edificios, veredas, etc.). Las fuentes difusas pueden llevar arrastradas en sus escorrentías metales, hidrocarburos, microorganismos y compuestos orgánicos que pueden aumentar la DBO y DQO. Mientras que los aportes por escorrentías agrícolas en zonas rurales se caracterizan por tener alta concentración de sólidos suspendidos, turbiedad, agroquímicos, conductividad, etc. Conforme avanza el río, éstas fuentes difusas degradan la calidad del agua sobre todo en los centros urbanos, donde se disparan los valores de varios parámetros antes del vertido de la estación depuradora de líquidos residuales. Algunos de los parámetros físico-químicos que estarían afectando la pérdida de calidad conforme avanza el río son la turbiedad, solidos disueltos totales, conductividad, fósforo total, coliformes totales, sulfatos y cloruros. Los sólidos disueltos, los sulfatos y los cloruros están asociados a la composición de los suelos de la cuenca (llegando al cauce del río por escorrentías superficiales o por aportes subterráneos). Mientras que las bacterias coliformes totales y el fosforo total en el orden de magnitud determinado tienen origen netamente antrópico, ya que estos parámetros aumentan aguas abajo del vertido de las estaciones depuradoras de las ciudades que no tienen tratamiento terciario y una desinfección probablemente deficiente.

## CONCLUSIONES

- ✓ El uso de índices para la evaluación de calidad de agua en el curso del Río Tercero (Ctalamochita) arrojó resultados esperables. Al incorporar en su estructura una referencia a normas de calidad y criterios para usos específicos aportó información de gran valor contribuyendo a la gestión de la Cuenca.
- ✓ Los vertidos industriales del polo petroquímico de la ciudad de Río Tercero no estarían afectando la calidad aguas abajo en la estación de muestreo del Balneario Río Tercero para los usos estudiados con los parámetros empleados.
- ✓ A partir de las estaciones de muestreo estudiadas el río se puede dividir en 2 zonas claramente diferenciadas, la zona alta del río en las primeras cuatro estaciones donde los valores de los índices oscilaron entre 85% y 100%. Luego, la zona baja del río partiendo desde la localidad de Villa María donde los valores de los índices descienden abruptamente por el aumento de varios parámetros como turbiedad, solidos disueltos, conductividad, sulfatos, cloruros, fosforo total y bacterias coliformes totales. El aumento de estos parámetros impediría el uso recreativo con contacto directo a partir de la ciudad de Villa María. Sin embargo, en cuanto al agua para consumo humano previo tratamiento convencional, sería apta para el mencionado uso hasta el Azud San Marcos a partir de los parámetros estudiados.
- ✓ Por último, el índice de calidad de agua para preservación de la vida acuática resultó ser el más limitado en este estudio, dado que no se disponían parámetros de toxicología (metales, fenoles, surfactantes, etc.) para los organismos presentes en ecosistemas acuáticos. Resulta fundamental avanzar en el estudio de estos parámetros para un mayor conocimiento de una posible existencia de barreras químicas para la migración de especies en este ecosistema ya afectado por barreras físicas (azud Villa María, azud Bell Ville, azud San Marcos, represa Molino Semino S.A.). No obstante, los valores de Oxígeno disuelto medidos en los puntos de muestreo nunca arrojaron valores bajos que pudiesen suponer condiciones anóxicas que ponen en riesgo las especies de la macrofauna de la cuenca.

## REFERENCIAS


Bazán R. (2010) "*Evaluación de la calidad del agua, nivel de eutrofización y sus consecuencias en el embalse Los Molinos (Córdoba)*". pp. 1

Betancur Vargas, T.; Campillo Pérez, A. K. y García Leoz, V. (2011). *Una metodología para la formulación de planes de ordenamiento del recurso hídrico*. Ingenierías Universidad de Medellín, 10 (19), 67-78.

CCME National Water Quality Index Workshop. 2004. *A Path forward for consistent implementation and reporting. November 2003*. Workshop proceedings. Halifax, Nova Scotia.

Chapman, D. (1992) "*Water Quality Assessments - A Guide to Use of Biota, Sediments and Water in Environmental Monitoring*" Ed. D. Chapman on behalf of UNESCO, WHO and UNEP, London. Second ed., pp. 28.

Cossavella, A.M.; Carranza, P.; Monarde, F.; Larrosa, N.; Roqué, M.; Nuño, C.; Hunziker, M.L.; Ferreyra, M. y Melián J. et al. (2003). "*Gestión de efluentes líquidos en la cuenca del Río Tercero (Ctalamochita)*". XXIVº Congreso Nacional del Agua 2013, San Juan, Argentina.

García C. M.; Herrero H. S.; Díaz Lozada J. M.; Heredia Ligorria A.; Vaschalde T.; López F.; Castelló E.; Brarda J. P.; Cosavella A. (2017) "*Río Carcarañá. Resultados de la cuantificación del escurrimiento superficial en localizaciones de la Provincia de Córdoba. Período: 2012 – 2017*" pp. 6.

Lenarduzzi, M. G. (2013). "*Caracterización hidrodinámica experimental de un tramo del Río Tercero (Ctalamochita) con fines hidroambientales*". Tesis de grado. Facultad de Ciencias Exactas Físicas y Naturales. Universidad Nacional de Córdoba. Argentina.

Martínez, L. M.; Demetrio Meza, R.; Aguirre R. A.; Josué G. y Corza Camacho M. (2008). "*Impacto de metales pesados en el ecosistema acuático del rio Ayuquila. Instituto Manantlán de Ecología y conservación de la Biodiversidad*". Universidad de Guadalajara, pp. 2-24.

Paris, M. C.; Zucarelli, G. V. y Pagura, M. F. (2009). "*Las miradas del agua*". Universidad Nacional del Litoral. Santa Fe. Primera ed., pp. 46.

Torres, P.; Cruz, C. H.; Patiño, P. J.; Escobar, J. C. y Pérez A. 2010. Applying water quality indexes (WQI) to the use of water sources for human consumption. Ingeniería e Investigación, 30 (3), pp. 86-95.

Torres, P.; Cruz 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 Ingeniería Universidad de Medellín, vol. 8, No. 15 especial pp. 79-94.