

Bacteriología e hidroquímica de ríos de montaña, Tucumán, Argentina

Bacteriology and hydrochemistry of mountain rivers, Tucumán, Argentina

Nora C. Romero^{a, b}, Adriana P. Chaile^{a, c}; Maria J. Amoroso^{b, d}

Palabras Clave:
Bacteriología de agua, Hidrología, Hidroquímica, Calidad de agua, Noroeste argentino

Keywords: water bacteriology, hidrology, water quality, Argentina NW

ABSTRACT

This work was developed in Tafi Valley which occupies 0.45% of Tucumán Province in Argentina with two important villages: Mollar and Valley of Tafi. One of the main problems in this area is the provision of drinking water.

There are two treatment plants: Churqui and Quebradita which supplies water to 50% of the population in Valley of Tafi. The rest of the population is supplied through cooperative services. The aim of this work was to establish the hydrochemical and microbiological quality of water for human consumption.

Three water sampling points were established at rivers Blanquito, Churqui and Tafi. The samples were collected every 2 months in the 2007-2008 period. The analyzed parameters were pH, conductivity, T °C, dissolved oxygen, alkalinity, Cl⁻, sulphates, nitrites and nitrates, calcium and magnesium, sodium, potassium, manganese, arsenic, iron and zinc. The bacteriological analyses determined UFC.100mL⁻¹ of coliforms, fecal coliforms and Streptococcus faecalis. The pH varied from 6.7 to 8.7 and conductivity between 72 and 296 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$. The OD collected data showed good oxygenation in all rivers, fluctuating between 5.2 and 8.6 mgL⁻¹ with temperature dependency. Major ionic composition showed that river water was stable with a bicarbonate-calcium composition. Arsenic showed values lower than 0.02 mgL⁻¹. Copper concentration was 2.5 mgL⁻¹ in Churqui river. This value was higher than the maximum allowed by AAC (1.0 mgL⁻¹) for human water consumption. Iron concentration was lower than 0.1 mg.L⁻¹. Zinc concentration was lower than 5.0 mg.L⁻¹ in the three rivers. The bacteriological content was lower than 103 UFC.100mL⁻¹ in all the sampling points, however Churqui River showed the greatest bacteriological deterioration. It is possible to conclude that chemical and microbiological water qualities at Tafi Valley showed that its waters are excellent for human consumption.

RESUMEN

Este trabajo se desarrolló en el Valle de Tafi (Tucumán, Argentina), a 2000 m snm, en la cadena del Aconquija, donde se emplazan dos poblaciones importantes: la comuna El Mollar (3471 habitantes) y el municipio de Tafi del Valle (3250 habitantes). Uno de los problemas importantes de ambas comunidades es el suministro de agua potable en cantidad y calidad. Existen dos plantas potabilizadoras: El Churqui y La Quebradita, que abastecen aproximadamente al 50 % de la población de Tafi del Valle. El resto se abastece a través de servicios a cargo de cooperativas y de pozos propios. El objetivo de este trabajo es caracterizar la calidad de las aguas superficiales destinadas a consumo humano, desde el punto de vista hidroquímico y bacteriológico. Se fijaron 3 puntos de muestreo en los ríos Blanquito, Churqui y Tafi, bimensualmente, durante los años 2007-2008. Se analizaron parámetros bacteriológicos, físico-químicos y metales traza. Se utilizó metodología estandarizada para la colecta, conservación y determinación de las muestras de agua (APHA, 1992). El rango de pH varió de 6.7 a 8.7 y el de conductividad osciló entre 62 y 296 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$. El OD entre 5.2 y 8.6 mgL⁻¹, dependiendo de la temperatura., mostró que la oxigenación fue buena en todos los ríos. La composición iónica mayoritaria de las aguas de los ríos se mantiene constante a lo largo del tiempo, con característica bicarbonatada-cálcica dominante. El Zn, Hierro y Arsénico no presentaron valores de riesgo (<5.0; < 0.1 y < 0.02 mg.L⁻¹ respectivamente), mientras que el Cu en el río Churqui, en noviembre de 2008 registró un valor máximo de 2.5 mg.L⁻¹, superior al máximo para agua de consumo humano permitido por la AAC (1.0 mgL⁻¹). En ningún punto de muestreo el contenido bacteriano fue mayor de 103 UFC.100mL⁻¹. El río Churqui evidencia mayor deterioro desde el punto de vista bacteriológico. Se concluye que la composición química y bacteriológica de las aguas del Valle de Tafi permite establecer que dichas aguas son de excelente calidad, para ser usadas como fuente de captación, potabilización y consumo.

Recibido 06 de junio de 2010; Aceptado 17 de octubre de 2010

Autor para correspondencia: 54-0381-4307515- mjamoroso@ciudad.com.ar

^a Sociedad Aguas del Tucumán- Av Sarmiento 991- San Miguel de Tucumán (4000) –

^b Facultad de Bio., Química y Farmacia, UNT. Ayacucho 491. Tucumán.

^c Facultad de Ciencias Exactas y Tecnología, UNT. Av Independencia 1800. Tucumán

^d PROIMI- Av. Belgrano y Pje Caseros. Tucumán.

INTRODUCCIÓN

La Provincia de Tucumán está ubicada al noroeste de la República Argentina, entre los 26° y 28° grados de latitud sur y los 64° y 66° de longitud oeste, su extensión es de 22 524 km², presentando en esta reducida superficie una variada cantidad de paisajes. Desde el punto de vista de su fisiografía, es una región compleja por su gran variedad de cordones montañosos, valles, quebradas y una importante red hidrográfica (Sayago *et al.*, 1998).

El Valle de Tafí (700 km²) está situado en las serranías occidentales de la Provincia de Tucumán, en la cadena de Aconquija, perteneciente a la unidad hidrográfica Cuenca Media del Río Salí, Subcuenca Balderrama (Alderete, 1998). Forma parte del Departamento Tafí y se encuentra a unos 100 km aproximadamente de la capital provincial.

Posee un clima con una temperatura media anual de 13.2 °C, la media del mes más cálido (Enero) 18.6 °C y la media del mes más frío (Julio) 8.1 °C. La precipitación anual es de 412 mm, existiendo 9 meses con deficiencia de humedad. Las heladas se producen entre marzo y septiembre con una frecuencia de 44 días al año, con valores importantes en cuanto a intensidad y duración. Desde las Cumbres de Tafí, al este, y del cerro Muñoz, al oeste, descienden el río Blanco y el río El Infiernillo, que dan origen al río Churqui. Este último recibe el aporte de arroyos de curso perennes hasta formar el río Tafí, principal colector del valle, que tiene como afluente del margen izquierdo, al río Blanquito (Fig. 1). El río Tafí, al igual que el río Mollar, desembocan en el Embalse La Angostura, cuerpo de agua de forma subtriangular con un volumen embalsado de 1600 hm³. Aguas abajo del Embalse, el río recibe el nombre de Los Sosa (Pérez Miranda *et al.*, 2001).

Los suelos de esta región poseen un bajo contenido de materia orgánica, y se originaron sobre materiales aluviales, coluviales y eólicos. Además, hay que considerar que estos suelos contienen un alto grado de pedregosidad, que dificulta

las actividades agrícolas principalmente.

La morfogénesis de esta región se caracteriza por una gran ladera hacia el E, un glacis cubierto, conformado por material cenoglomerado, un glacis de erosión, conformado por material loésico y nichos de deslizamiento (todos ellos de origen denudativo). En cuanto los componentes morfogenéticos de origen fluvial y aluvial, podemos nombrar las terrazas fluviales, el cauce actual del río y la llanura de inundación. En la morfodinámica se distinguen dos tipos de erosión: la natural y la antrópica. Los procesos erosivos son la consecuencia de la influencia de distintos factores, como la alternancia del clima, el suelo de tipo loésico, el manejo incorrecto de los cultivos, etc.

Un tipo de erosión hídrica que ha afectado a la zona es la erosión laminar, que se produce en terrenos desprovistos de cubierta vegetal por el impacto de la gota de lluvia y que poco a poco va destruyendo el suelo, dando origen, al llegar a la saturación, a escurrimientos mantiformes que arrastran las partículas más finas a las áreas más deprimidas. Esta erosión se observa en el pie de la ladera con diferentes intensidades, mayormente sobre el material cenoglomerado y en menor medida en la parte loésica (Herrera, 2002).

La erosión en cárcavas, que se produce por la incisión por un escurrimiento suficientemente concentrado, alcanzando distintas dimensiones. Se observan cárcavas diseminadas por toda el área en dirección a la depresión de escorrentía del río Tafí, y generalmente están asociadas a procesos de remoción en masa (Ojeda Moncayo *et al.*, 2001)

Un caso extremo de las cárcavas lo son las formaciones de barrancos, de aspecto similar a un pequeño valle fluvial. En este caso son muy profundos y tienen mayor longitud que las cárcavas.

En estos barrancos también encontramos indicios de escarpas de remoción en masa. Esto aporta gran cantidad de sedimentos a

los cauces y consecuentemente aumenta su capacidad erosiva y acelera la colmatación de los ríos.

En el Valle de Tafí se encuentran dos poblaciones importantes:

- El Mollar, Comuna Rural, con 3800 habitantes
- Tafi Del Valle, Municipio, con aproximadamente 7000 habitantes

De acuerdo a datos proporcionados por el INDEC (2001), el porcentaje de Necesidades Básicas Insatisfechas (NBI) en El Mollar es de 28.38 %, mientras que en Tafí del Valle es de 33.19 %.

Uno de los problemas más importantes de las comunidades es el suministro de agua potable en cantidad y calidad, lo cual es determinante en la calidad de vida de sus pobladores.

Desde el punto de vista de la provisión de agua potable, se encuentra Sociedad Aguas del Tucumán (SAT), que posee dos plantas potabilizadoras: El Churqui, sobre el río homónimo, y La Quebradita, abastecida por el río Blanquito.

El tratamiento incluye decantación natural, sin agregado de químicos, en piletas de 60 cm de profundidad; filtración por mantos de arena de diferente granulometría; almacenamiento en cisternas y posterior desinfección con cloro.

La planta de potabilización El Churqui abastece el centro de Tafí del Valle, mientras que la planta de potabilización La Quebradita abastece la zona comprendida por el Hospital, la Comisaría y la Hostería del Automóvil Club, abasteciendo a una población de 3700 habitantes. El resto de la población recibe suministro de agua potable a cargo de cooperativas formadas por 4 juntas vecinales: B° San Martín, La Banda, La Costa y La Ovejera.

En el Valle de Tafí no existe red cloacal, la disposición de las excretas se realiza en pozos ciegos.

El objetivo de este trabajo es caracterizar la

calidad de las aguas superficiales destinadas a consumo humano, desde el punto de vista hidroquímico y bacteriológico.

Existen antecedentes de estudios realizados en la zona del Valle de Tafí, donde se caracterizaron 7 ríos de montaña a fin de interpretar las variaciones espacio-temporales de los parámetros físico y químicos, en relación con la dinámica hidrológica de la región (Isasmendi et al., 2007). En este trabajo, las aguas de los ríos fueron caracterizadas como bicarbonatadas cálcicas, de baja mineralización, coincidente con la litología de la zona montañosa.

METODOLOGÍA

Se efectuaron 12 campañas bimensuales entre enero de 2007 a diciembre de 2008, en 3 puntos de muestreo:

- 1 - Río Blanquito (26° 49' S. 65° 42' W), 2350 msnm.
- 2 - Río El Churqui (26° 50' S., 65° 43' W), 2150 msnm
- 3 - Río Tafí, (26° 53' S., 65° 42' W), 1950 msnm

La posición de los sitios de muestreo se localizó mediante GPS 12XL (Figura 1). Se colectaron muestras de agua superficial en forma manual para análisis físico-químico, bacteriológico y de trazas. Las muestras para bacteriología se recogieron en frascos estériles de 250 mL de capacidad; para el análisis físico-químico se recogieron en recipientes plásticos de 1.5 L, para el análisis de trazas las muestras se filtraron en campo con membranas de nitrocelulosa de 0.47 µm de tamaño de poro y se usó como conservante ácido nítrico diluido.

Las muestras se conservaron en frío hasta el laboratorio donde se analizaron los siguientes parámetros: alcalinidad total, OD, Cl⁻, SO₄⁼, NO₂⁻ y NO₃⁻, Ca y Mg, Na, K, Mn, As, Fe, Cu y Zn.

La metodología que se siguió para los análisis físico-químicos se indica en la

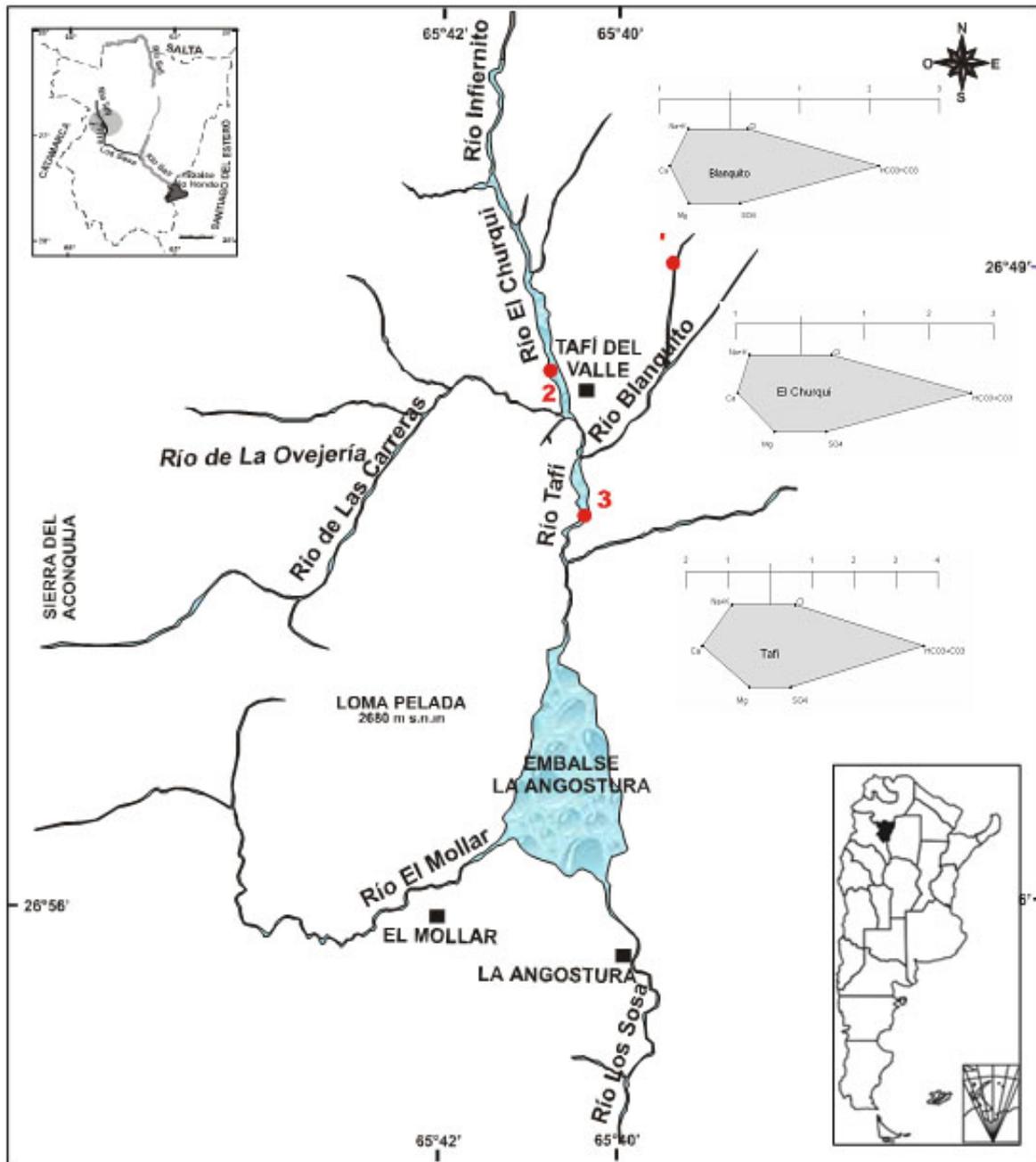


Figura 1: Área de estudio y puntos de muestreo: 1- Río Blanco, 2- Río El Churqui, 3- Río Tafi. Diagrama de Stiff de la composición química media.

Figure 1. Study area and sampling points: 1- Río Blanco, 2- Río El Churqui, 3- Río Tafi. Stiff diagram of mean chemical composition

Tabla 1, y corresponde a la recomendada por APHA (1992). La composición iónica mayoritaria de cada registro de muestra ha sido controlada mediante el cálculo del error del balance iónico y contrastando la suma de aniones y de cationes (expresados

Parámetro	Unidades	Referencia de método correspondiente a Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (APHA, 1992)
Alcalinidad Total	mg CaCO ₃ .L ⁻¹	Método de Titulación SM 2320 B
Oxígeno Disuelto	mg.L ⁻¹	SM 4500-O C. Modificación de Azida
Cloruro	mg.L ⁻¹	SM 4500-Cl D. Método Argentométrico
Sulfato	mg.L ⁻¹	SM 4500-SO ₄ ²⁻ E. Método Turbidimétrico
Nitrito	mg.L ⁻¹	SM 4500-NO ₂ ⁻ B. Método Colirimétrico
Nitrato	mg.L ⁻¹	SM 4500-NO ₃ ⁻ B. Método Espectrométrico Ultravioleta Selectivo
Calcio	mg.L ⁻¹	SM 3500-Ca D. Método Titulométrico de EDTA
Magnesio	mg.L ⁻¹	SM 3500-Mg E. Método de Cálculo
Sodio	mg.L ⁻¹	SM 3500-Na D. Método fotométrico de Emisión de Llama
Potasio	mg.L ⁻¹	SM 3500 K D. Método Fotométrico de Llama
Manganeso	mg.L ⁻¹	SM 3500 Mn D. Método del Persulfato
Arsénico	mg.L ⁻¹	SM 3500 As D. Método del Dietilditiocarbamato de Plata
Hierro	mg.L ⁻¹	SM 3500 Fe D. Método de Fenantrolina
Cobre	mg.L ⁻¹	SM 3500 Cu E. Método de Batocuproina
Zinc	mg.L ⁻¹	SM 3500 Fe D. Método de la Ditiizona

Tabla 1. Detalle de métodos usados para las determinaciones físico-químicas y de elementos trazas. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (APHA, 1992).

Table 1. Methods used for the physico-chemical and trace element determinations. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (APHA, 1992).

en meq.L⁻¹) con el valor de conductividad eléctrica del agua (APHA, 1992).

Para el recuento bacteriológico se determinaron bacterias Coliformes totales (CT), Coliformes fecales (CF) y *Streptococcus faecalis* (EF). La técnica empleada fue la de filtración por membrana (FM). Si bien en la bibliografía y trabajos anteriores el recuento de bacterias se realiza por técnica de las diluciones sucesivas (NMP, número más probable), se eligió la técnica de la membrana filtrante por que es más exacta, rápida y realiza el recuento directo de

colonias y reduce los falsos positivos. Los resultados de esta técnica y NMP pueden ser diferentes pero comparables siempre que las concentraciones de bacterias no superen valores de 10³ UFC 100 mL. Esto se debe a que la técnica de NMP tiene base estadística, expresando una probabilidad de la existencia de ése número de bacterias; en cambio la técnica de filtración por membranas informa la cuenta exacta de bacterias existentes en un volumen fijado de 100 mL de muestra.

La enumeración de CT por FM se realiza en una etapa, filtrando un volumen de 100

mL de muestra a través de un filtro de membrana estéril de 0.45 μm de tamaño de poro incubando sobre caldo ENDO a 37 $^{\circ}\text{C}$, durante 24 horas. Los CT desarrollan colonias de color rojo oscuro; con brillo metálico. Los resultados se expresan como colonias de Coliformes Totales por 100 ml ($\text{UFC} \cdot (100 \text{ mL})^{-1}$). El recuento de CF por FM se basa en la capacidad de los Coliformes Fecales de desarrollar colonias azules cuando se incuban en medio agar m-FC a 44.5 ± 0.2 $^{\circ}\text{C}$ durante 24 horas.

Los resultados se expresan como colonias de Coliformes Fecales por 100 ml. Para la detección de *Streptococcus faecalis* (EF) se filtraron 100 mL de cada dilución, a través de membranas de ésteres de celulosa, con poros de 0.45 micrómetros de diámetro. Las membranas se incubaron en agar KF a una temperatura de 35° ó $37^{\circ} \pm 0.5$ $^{\circ}\text{C}$ durante 48 ± 3 horas. Este medio de cultivo es estable y selectivo para los *Streptococcus faecalis* (Figura 2).



Figura 2. Coliformes Totales, Coliformes Fecales y Streptococos fecales. Técnica de la membrana filtrante.

Figure 2. Total coliforms, fecal coliforms and Streptococcus faecalis. Membrane filter technique.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la Tabla 2 se muestran los registros de valores, mínimos, máximos, medios y desviación estándar de los parámetros químicos analizados durante el período de estudio.

Los valores de nitritos y arsénico resultaron siempre por debajo de $0.02 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$, siendo el valor máximo permitido por el Código Alimentario Argentino (CAA) para Aguas de Consumo Humano, para nitrito de $0.1 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ y para arsénico $0.05 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$.

Los registros de análisis evidenciaron un error de balance iónico menor al 10%, y la suma aniones y suma de cationes ($\text{meq} \cdot \text{L}^{-1}$) contrastadas con la conductividad eléctrica (en $\mu\text{S} \cdot \text{cm}^{-1}$) se mantuvo entre 0.9 y 1.1.

En cuanto a los metales analizados en el presente estudio, en ningún caso se observó una concentración de hierro mayor de $0.1 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$. Cobre registró un valor máximo de $2.5 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$, en el río Churqui, en noviembre de 2008, mientras que el valor promedio en el período de estudio se encontró alrededor de $0.8 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$. La presencia de este metal traza, en algunos casos, supera $1 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$, valor máximo permitido indicado por el Código Alimentario Argentino (CAA, 2007) para agua de consumo. El mayor valor registrado en el río Blanquito fue de $0.6 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ y de $1.8 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ en el río Tafí. La presencia de cobre, que presenta comportamiento claramente estacional, puede ser de origen antropogénico por el uso de pesticidas y fertilizantes que contiene dicho catión en

su formulación química, de acuerdo a lo reportado por Isasmendi *et al.* (2007).

El contenido de zinc fue siempre menor que 5 mg.L⁻¹, valor máximo permitido indicado por

el Código Alimentario Argentino para agua de consumo humano. El mayor contenido de Zn se detectó en el río Tafí, siendo de 0.83 mg.L⁻¹

	Río Blanquito				Río El Churqui				Río Tafí			
	Min	Max	X	DS	Min	Max	X	DS	Min	Max	X	DS
pH	6.7	7.8	7.3	0.33	6.8	8.2	7.5	0.43	7.5	8.7	8.2	0.36
CE (µS.cm ⁻¹)	62	170	130	20	120	250	157	4.0	110	296	206	58
T (°C)	4	15	10	4	15	20	17	5	14	26	20	4
OD (mg.L ⁻¹)	6.0	8.1	5.5	1.0	6.0	8.6	7.8	1.2	5.2	8.2	7.0	1.0
Alcalinidad T (mg.L ⁻¹)	70	120	105	12	82	147	130	15	135	219	180	23
Cloruro (mg.L ⁻¹)	7.1	11	9.2	0.8	14.2	19.6	17.2	1.5	18.6	23.8	21.4	1.8
Sulfato (mg.L ⁻¹)	6.5	9.8	7.2	0.7	18.0	21.6	19.5	1.8	18.2	25.8	23.6	2.8
Nitrato (mg.L ⁻¹)	0.3	2.9	1.2	0.2	1.3	4.1	2.7	0.5	0.4	1.5	0.8	0.2
Calcio (mg.L ⁻¹)	12.0	20.0	17.2	2.1	14.0	25.5	19.3	3.2	22.0	36.3	32.3	4.3
Magnesio (mg L ⁻¹)	1.8	9.3	7.1	0.3	2.6	6.1	4.8	0.2	3.2	9.7	6.0	0.2
Sodio (mg.L ⁻¹)	8.2	17.3	11.5	1.2	11.7	21.3	16.1	2.3	12.6	24.2	18.4	2.8
Potasio (mg L ⁻¹)	2.2	5.3	3.5	0.2	1.8	4.5	3.1	0.2	2.5	6.3	4.2	0.2
Hierro (mg.L ⁻¹)	0.010	0.090	0.045	0.025	0.030	0.080	0.046	0.028	0.020	0.100	0.040	0.020
Cobre (mg L ⁻¹)	0.02	0.60	0.42	0.21	0.03	2.50	0.80	0.18	0.08	1.80	0.50	0.30
Zinc (mg.L ⁻¹)	0.10	0.80	0.52	0.12	0.20	0.71	0.58	0.16	0.18	0.83	0.62	0.15

Tabla 2. Valores mínimos (Min), máximos (Max), medios (X) y desviación estándar (DS) de parámetros químicos. Periodo enero de 2007 a diciembre de 2008

Table 2. Chemical parameters. Minimum (Min), maximum (Max), mean (X) and standard deviation (DS) values of Period: January 2007 to December 2008

En la Figura 3 se muestra, mediante diagrama de Piper, la composición química en cuanto a iones mayoritarios. Para la construcción del diagrama se usó el programa Rockworks 2006, revisión 6.9.7. Se observa que las aguas de los ríos son del mismo tipo, bicarbonatada cálcica, con baja mineralización ya que el contenido de sales no supera el valor de conductividad eléctrica de $300 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$, durante los dos años de muestreo, aumentando ésta desde el río Blanquito hasta el Tafí (Figura 1).

El contenido de cloruro se mantiene

prácticamente constante en cada río, durante los dos años del estudio, con un aumento leve desde el río Blanquito al Tafí. Se trata de un ión conservativo en ambientes acuáticos por lo que la constancia en los valores registrados muestra poca alteración de las aguas de los ríos en estudio.

En general, el contenido de sulfato es muy bajo, no superando $24 \text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$, en el río Tafí. Los valores de pH van de neutro en el río Blanquito hasta levemente alcalino en el río Tafí, lo que se relaciona con un aumento en los registros de alcalinidad total.

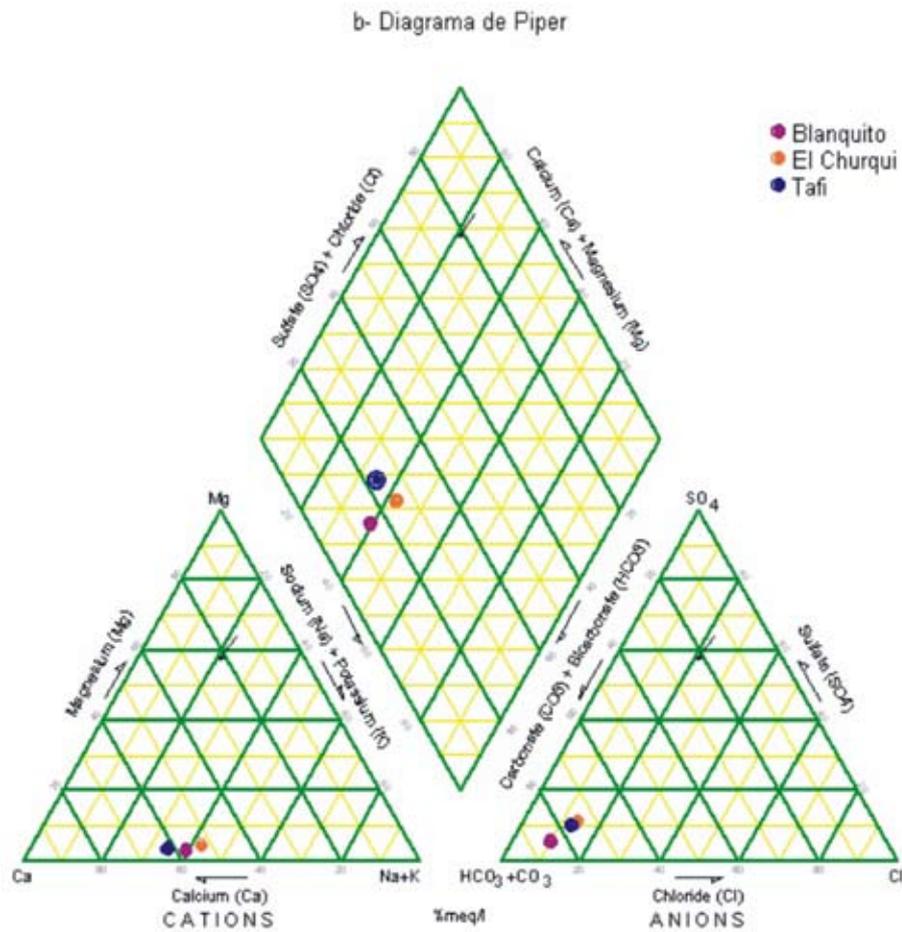


Figura 3. Diagrama de Piper. Valores promedio de composición iónica mayoritaria. Periodo enero 2007 a diciembre de 2008

Figure 3. Piper diagram. Mean values for major ion composition. Period: January 2007 to December 2008

En el diagrama de Piper (Figura 3) se observa que los puntos de control se encuentran alineados formando una línea recta que va desde el río Blanquito hasta el Tafí, lo que evidencia que éste último es el resultado de la mezcla de las aguas de los otros dos, a pesar que recibe el aporte de cursos de agua de la zona (por ejemplo, el río De Las Carreras y la Ovejería), que no influyen sobre las características químicas del río Tafí.

El análisis bacteriológico muestra que en ningún caso los indicadores de calidad bacteriológica de agua superan 10^3 UFC.100mL⁻¹ de contenido total de bacterias (Tabla 3).

En el río Blanquito la actividad bacteriana es menor que en los otros puntos de muestreo, registrándose valores máximos de Coliformes Totales de $2.3 \cdot 10^2$ UFC.100 mL⁻¹, $1.5 \cdot 10^1$ UFC.100 mL⁻¹ de Coliformes Fecales y $8 \cdot 10^1$ UFC.100 mL⁻¹ de *Streptococcus faecalis*.

El río Churqui evidencia mayor deterioro desde el punto de vista bacteriológico, con valores máximos de Coliformes Totales de $9.2 \cdot 10^3$ UFC.100mL⁻¹, $2.3 \cdot 10^3$ UFC.100mL⁻¹ de Coliformes Fecales y $6.4 \cdot 10^3$ UFC.100mL⁻¹ de *Streptococcus faecalis*.

El río Tafí mostró un comportamiento intermedio entre los dos ríos mencionados anteriormente, evidenciando una recuperación en la calidad bacteriológica de sus aguas, como consecuencia del proceso de mezclado y aireación.

Los EF son cocos Gram positivos que habitan el tracto digestivo del hombre y de los animales de sangre caliente. Estos microorganismos, junto con los CF, se han utilizado para diferenciar la contaminación fecal humana de la de otros animales de sangre caliente.

Standard Methods (APHA, 1992) sugiere que la relación entre CF y EF, podría

Fecha de muestreo	RIO BLANQUITO			RIO CHURQUI			RIO TAFI		
	CT	CF	EF	CT	CF	EF	CT	CF	EF
-----UFC. 100 mL ⁻¹ -----									
Ene/07	$2.0 \cdot 10^2$	$1.7 \cdot 10^2$	$5.0 \cdot 10^1$	$9.2 \cdot 10^3$	$5.5 \cdot 10^3$	$7.2 \cdot 10^3$	$5.0 \cdot 10^3$	$3.5 \cdot 10^3$	$4.2 \cdot 10^3$
Mar/07	$1.8 \cdot 10^2$	$1.5 \cdot 10^2$	$7.0 \cdot 10^1$	$8.7 \cdot 10^3$	$6.0 \cdot 10^3$	$8.5 \cdot 10^3$	$4.7 \cdot 10^3$	$2.8 \cdot 10^3$	$3.7 \cdot 10^3$
May/07	$1.0 \cdot 10^2$	$9.0 \cdot 10^1$	$7.0 \cdot 10^1$	$5.0 \cdot 10^3$	$4.8 \cdot 10^3$	$6.0 \cdot 10^3$	$4.0 \cdot 10^3$	$3.1 \cdot 10^3$	$3.5 \cdot 10^3$
Jul/07	$7.0 \cdot 10^1$	$6.0 \cdot 10^1$	$3.0 \cdot 10^1$	$7.0 \cdot 10^2$	$6.5 \cdot 10^2$	$8.0 \cdot 10^2$	$3.5 \cdot 10^2$	$1.9 \cdot 10^2$	$2.7 \cdot 10^2$
Sep/07	$1.2 \cdot 10^2$	$1.0 \cdot 10^2$	$5.0 \cdot 10^1$	$9.0 \cdot 10^2$	$7.2 \cdot 10^2$	$1.0 \cdot 10^3$	$5.0 \cdot 10^2$	$3.8 \cdot 10^2$	$4.5 \cdot 10^2$
Nov/07	$1.8 \cdot 10^2$	$1.7 \cdot 10^2$	$8.0 \cdot 10^1$	$2.4 \cdot 10^3$	$2.0 \cdot 10^3$	$4.5 \cdot 10^3$	$1.5 \cdot 10^3$	$1.4 \cdot 10^3$	$1.2 \cdot 10^3$
Ene/08	$1.8 \cdot 10^2$	$1.7 \cdot 10^2$	$9.0 \cdot 10^1$	$7.5 \cdot 10^3$	$6.3 \cdot 10^3$	$7.0 \cdot 10^3$	$3.7 \cdot 10^3$	$2.9 \cdot 10^3$	$3.4 \cdot 10^3$
Mar/08	$1.5 \cdot 10^2$	$1.5 \cdot 10^2$	$1.2 \cdot 10^2$	$6.2 \cdot 10^3$	$5.8 \cdot 10^3$	$6.0 \cdot 10^3$	$3.2 \cdot 10^3$	$2.7 \cdot 10^3$	$3.0 \cdot 10^3$
May/08	$7.0 \cdot 10^1$	$6.8 \cdot 10^1$	$5.0 \cdot 10^1$	$3.0 \cdot 10^3$	$2.7 \cdot 10^3$	$2.8 \cdot 10^3$	$2.2 \cdot 10^3$	$1.8 \cdot 10^3$	$2.2 \cdot 10^3$
Jul/08	$5.0 \cdot 10^1$	$4.0 \cdot 10^1$	$3.5 \cdot 10^1$	$7.0 \cdot 10^2$	$6.7 \cdot 10^2$	$9.9 \cdot 10^2$	$4.9 \cdot 10^2$	$3.5 \cdot 10^2$	$4.6 \cdot 10^2$
Sep/08	$7.0 \cdot 10^1$	$5.0 \cdot 10^1$	$5.0 \cdot 10^1$	$3.5 \cdot 10^3$	$3.0 \cdot 10^3$	$4.3 \cdot 10^3$	$1.8 \cdot 10^3$	$1.2 \cdot 10^3$	$1.6 \cdot 10^3$
Nov/08	$1.2 \cdot 10^2$	$8.0 \cdot 10^1$	$8.0 \cdot 10^1$	$3.8 \cdot 10^3$	$3.1 \cdot 10^3$	$3.5 \cdot 10^3$	$1.6 \cdot 10^3$	$1.1 \cdot 10^3$	$1.3 \cdot 10^3$

CT= coliformes totales; CF= coliformes fecales; EF= *Streptococcus faecalis*

Tabla 3. Resultados de determinaciones de indicadores de contaminación bacteriológica. Período enero de 2007 a noviembre de 2008.

Table 3. Results for bacteriological contamination indicators. Period: January 2007 to November 2008

brindar información a cerca del origen de la contaminación. Una proporción superior a 4, indicaría contaminación fecal humana; mientras que una relación inferior a 0.7 sugeriría una contaminación de origen no humano. Si bien esta metodología ha sido cuestionada debido a la diferencia entre las tasas de supervivencia que presentan las especies de ambos grupos de microorganismos en el medio acuático, es sabido que el uso de indicadores de contaminación puede presentar variaciones en cuanto a la relación con los microorganismos patógenos, al aplicarse en diferentes regiones, estando influenciado por factores ambientales, características sanitarias de la población y hasta por la época del año en que se realiza el estudio.

En el Valle de Tafí, en los últimos años, se incrementó la población y la actividad agrícola ganadera, produciendo alteraciones antrópicas en el ambiente que se manifiestan en la calidad del agua. Se ha observado un deterioro paulatino de la calidad bacteriológica, en el río Churqui, en mayor medida, como consecuencia de un aumento en la cría de ganado caprino en la región. Esto se evidencia en los valores elevados de *Streptococcus faecalis* en relación con los Coliformes Fecales, siendo las primeras indicadoras de contaminación de origen animal. La relación CF/EF (Coliformes Fecales/*Streptococcus faecalis*), en casi todo el período de muestreo se mantienen con valores menores que 1, siendo en un 50 % de los casos, en el río Churqui, por debajo de 0.7.

CONCLUSIONES

Se puede concluir que las aguas de los ríos del Valle de Tafí presentan características de ríos de montaña que se recargan con agua de deshielo de las altas cumbres, con baja mineralización y contenido de sales prácticamente constante, lo que pone de manifiesto que a medida que los cursos de agua avanzan no disuelven en forma apreciable las sales de las rocas del basamento metamórfico ni del granito (Tineo et al., 1998). Los parámetros físico químicos detectados en las aguas de estos tres ríos, en ningún caso, presentan valores mayores que los indicados en el Código Alimentario Argentino, para agua de consumo, por lo que se presume buena calidad físico química.

Los valores de contenido bacteriano son normales para cursos de agua superficial, por lo que son aguas aptas para potabilización por métodos tradicionales.

El aumento de la población en los últimos años a incrementado los requerimientos de agua y gran parte de la misma no dispone de suministro adecuado en calidad y cantidad, así sería recomendable la realización de las obras correspondientes a fin de aumentar la capacidad de las plantas de tratamiento y extender la población usuaria. Además se podría aprovechar el agua del río Tafí como fuente de captación para la provisión de agua de consumo, debido a la misma posee una excelente calidad.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Alderete M C. 1998. Unidades Fisiográficas. En: Gianfrancisco M, Puchulu M E, Durango de Cabrera J & Aceñolaza G (eds) *Geología del Tucumán*. 2º Edición. Colegio de Graduados de Ciencias Geológicas. Tucumán. Argentina: 29-40
- APHA (American Public Health Association). 1992. *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. 18th Ed., American Public Health Association, Washington: 770 p
- CAA (Código Alimentario Argentino). 2007. Capítulo XII. *Bebidas hídricas*. Art.982. Ley 18284/69. Argentina
- Herrera A G. 2002. Geoarqueología de Carapunco. Tucumán. III Congreso Virtual Antropología y Arqueología. <http://www.naya.org.ar/>
- INDEC (Instituto Nacional de Estadísticas y Censos). 2001. *Censo Nacional de Población y Vivienda*. Dirección General de Estadísticas. Superior Gobierno de la Provincia de Tucumán. Ministerio de Economía Nº 3. Tucumán. República Argentina. <http://www.indec.mecon.ar>
- Isasmendi S, Tracanna B, Vendramini F, Navarro M, Barrionuevo M & Meoni S. 2007. Caracterización física y química de ríos de montaña (Tafí del Valle-Tucumán-Argentina). *Limnetica*, 26 (1): 129-142
- Ojeda Moncayo J, Castro Marín E, Valencia Núñez A & Fonseca González S. 2001. Evaluación de riesgo por fenómenos de remoción en masa. *INGEOMINAS*. Guía Metodológica. Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería. Colombia: 166 p
- Pérez Miranda C, Almada GH, Riviere CA, Gordillo MA, Fernández-Turiel L & Medina ME. 2001. Composición y calidad del agua de la Cuenca Hidrográfica del río Salí, Provincia de Tucumán, Argentina. Informe Proyecto AGUA. Gobierno de la Provincia de Tucumán, Argentina:103 p
- Sayago J M, Collantes M M & Toledo M A. 1998. Geomorfología. En: Gianfrancisco M, Puchulu ME, Durango de Cabrera J & Aceñolaza G (eds) *Geología de Tucumán*. 2º Edición. Colegio de Graduados de Ciencias Geológicas. Tucumán. Argentina: 241-257
- Tineo A, Falcón C, García J, D'urso G, Galindo G & Rodríguez G. 1998. Hidrogeología. En: Gianfrancisco M, Puchulu ME, Durango de Cabrera J. & Aceñolaza G (eds) *Geología del Tucumán*. 2º Edición. Colegio de Graduados de Ciencias Geológicas, Tucumán, Argentina: 259-274