

**Hidroquímica y materia orgánica del agua superficial de la cuenca alta del río
Sauce Grande**

**Hydrochemistry and Organic Matter of the Surface Water in the Upper Basin of
the Sauce Grande river**

**Javier Álvarez¹; Ana María Martínez^{1, 2}; Pablo Oscar Ábalo³; Carlos Fernando
Weis³ y Sandra Noemí Fernández^{3,4,5}**

¹Departamento de Química. Universidad Nacional del Sur. Avenida Alem 1253. (8000)
Bahía Blanca. Argentina.

²Instituto de Química del Sur (INQUISUR) UNS-CONICET. Avenida Alem 1253. (8000)
Bahía Blanca. Argentina.

³Departamento de Ingeniería. Universidad Nacional del Sur. Avenida Alem 1253.
(8000) Bahía Blanca. Argentina.

⁴Comisión de Investigaciones Científicas (CIC). Calle 526 e/10 y 11. (1900) La Plata.
Argentina.

⁵Instituto de Ingeniería II-UNS-CIC. Avenida Alem 1253. (8000) Bahía Blanca.
Argentina.

E-mail: anamartinez.quimica@gmail.com

Álvarez, J., Martínez, A.M., Ábalo, P.O., Weis, C.F., & Fernández, S.N. (2018).
Hidroquímica y materia orgánica del agua superficial de la cuenca alta del río Sauce
Grande. *Revista Estudios Ambientales*, 6(2), 22-45.

Recibido: 16 de octubre de 2018

Aceptado: 10 de noviembre de 2018

Publicado: 31 de diciembre de 2018

RESUMEN

El presente trabajo aborda el estudio de la variabilidad temporal y espacial de los principales componentes mayoritarios del agua superficial de la cuenca alta del río Sauce Grande. El área de estudio se localiza en el Sistema de Ventania, en el sudoeste de la provincia de Buenos Aires, Argentina. El avance en el conocimiento de la relación entre las variables medidas, proporciona herramientas básicas para resolver de una manera ecológica y sustentable las problemáticas ambientales. Se analizaron los principales parámetros fisicoquímicos de la cuenca, se hizo una caracterización hidroquímica y se realizó una estimación de la cantidad de materia orgánica presente y su biodegradabilidad. Se llevaron a cabo seis campañas desde julio de 2017 a abril de 2018, en cuatro sitios de muestreo ubicados estratégicamente sobre el cauce principal del río. Se contó con dos estaciones limnigráficas y una estación meteorológica a partir de las cuales se obtuvieron datos de nivel de agua y de precipitación-temperatura del aire, respectivamente. Los resultados mostraron que la composición iónica del agua superficial de la cuenca es principalmente bicarbonatada cálcica-sódica, siendo la meteorización el proceso que controla su composición. El agua es ligeramente alcalina y con baja carga de material particulado en suspensión. El contenido de sales, en general, aumenta en el sentido del flujo del río. El carácter de la materia orgánica es variable, refractaria en invierno y aumenta su biodegradabilidad en verano.

Palabras Claves: río Sauce Grande, abastecimiento, recurso hídrico, caracterización química, materia orgánica.

ABSTRACT

This paper is about temporal and spatial variability of the major components of the Sauce Grande river upper basin water surface. Study area is located in the Ventania System, in the southwestern of Buenos Aires province, Argentina. Knowledge profundization about relation between the water surface variables measured provide basic tools to solve environmental problems in an ecological and sustainable way. Main basin physicochemical parameters, hydrochemical characterization were analyzed and estimation of the amount of organic matter present and its biodegradability was made.

Six campaigns were carried out from July 2017 to April 2018, at four sampling sites strategically located in the main river channel. Two limnigraphic stations and a meteorological station provided water surface level and precipitation-air temperature data, respectively. The results showed that the ionic composition of the basin water surface is mainly calcic-sodium bicarbonate, being weathering the process that controls its composition. The water is slightly alkaline, with low concentration of suspended particulate matter. Salts content, in general, increases downstream. Organic matter character is variable, refractory in winter and increases its biodegradability in summer.

Key Words: Sauce Grande river, water supply, water resource, chemical characterization, organic matter.

INTRODUCCIÓN

La Cuenca Alta del río Sauce Grande (CASG) se ubica en el sudoeste de la Provincia de Buenos Aires (Figura 1) y es uno de los recursos hídricos más importantes a nivel regional. Desde su nacimiento en el Sistema de Ventania hasta su llegada al Embalse Paso de las Piedras, su cuenca abarca una superficie de 1490 km² y en ella el río recorre 76 km de longitud (Fernández *et al.*, 2016).

Está integrada por 18 subcuencas que drenan al curso principal (Figura 1). El tramo superior de la CASG recibe el aporte de diversos afluentes de régimen torrencial: arroyos de las Piedras, del Abra, Atravesado y Abra Fea sobre su margen izquierda, y arroyos del Oro, con sus afluentes Belisario y Las Piedras y Rivero, sobre su margen derecha. En el tramo medio de la cuenca alta recibe sobre la margen izquierda las aguas del arroyo El Negro y sus afluentes los arroyos Toro Negro y Piedra Azul, y sobre la margen derecha, los arroyos San Teófilo, Rivera y San Bernardo con su afluente el arroyo San Diego. En este tramo el río atraviesa las localidades de Sierra de la Ventana, Villa Arcadia y Saldungaray. En el tramo inferior de la CASG hasta su desembocadura en el Embalse Paso de las Piedras, el río Sauce Grande recibe sólo aportes sobre su margen izquierda: arroyos Toro y El Zorro (UNS *et al.*, 2004).

En 1978 se construyó el complejo hidráulico Paso de las Piedras como fuente de abastecimiento de agua para consumo humano y uso industrial destinado para las

ciudades de Bahía Blanca, Ingeniero White, General Cerri, Punta Alta y la Base Naval Puerto Belgrano, todas localidades externas a su cuenca, incluyendo al polo industrial petroquímico.

La CASG constituye el principal aporte de agua al embalse, de 328 hm³ de volumen máximo (Schefer, 2004), donde se han registrado proliferaciones masivas de cianobacterias desde 1982 (Echenique *et al.*, 2001; Echenique *et al.*, 2003; Parodi *et al.*, 2005; Fernández *et al.*, 2009) y de dinoflagelados en 1997 (Guerrero y Echenique, 1997; Echenique *et al.*, 1999), ocasionando inconvenientes en el proceso de potabilización.

La CASG está morfométricamente caracterizada, sus parámetros de relieve y drenaje están establecidos (Gaspari, 2012), se ha documentado el uso y distribución del suelo (Aduriz *et al.*, 2003) y se han empleado algunos indicadores (Fiorentino, 1999; Marchena Matos, 2002; Gil, 2009) tanto bióticos como abióticos.

En términos generales, los suelos representativos del área pertenecen al Orden Molisoles; se hallan asociados a la diversidad del paisaje como a las condiciones edáficas de temperatura y humedad del suelo; estos factores actúan de condicionantes en los procesos pedogenéticos y en el desarrollo de las plantas. En el área de estudio, así como en la mayor parte de la provincia de Buenos Aires, el más importante y predominante material formador de suelo lo constituye el extenso manto superficial de sedimentos, conocido comunmente como "loess pampeano". Se trata de un material limoso, con proporciones menores de arena y arcillas, en el que se destacan mineralógicamente los materiales de origen volcánico-piroclástico, que son de color pardo claro, no presentan estratificación y contienen carbonato de calcio terroso (INTA, 1989). La CASG presenta tres unidades geomorfológicas importantes: las serranías, los niveles de piedemonte con cobertura loésica y el valle del río (Rabassa, 1982).

El clima de la región es templado, con veranos secos y calurosos, otoños lluviosos y templados, inviernos fríos y secos y primaveras lluviosas con heladas tardías y vientos fuertes (UNS *et al.*, 2004). La temperatura media en el mes más frío (julio) es de 7 °C y de 23,5 °C en el más caluroso (enero), con una media anual de 15 °C (Gil, 2009).

Las precipitaciones anuales en la zona de estudio oscilan entre 650 y 950 mm (Vouilloud *et al.*, 2005) con un promedio anual de 763 mm. Los registros de lluvias no

son regulares a lo largo del año, sino que se concentran principalmente durante primavera y otoño. Esto hace que el río presente variaciones muy importantes en el nivel de agua y en la velocidad de la corriente hasta su llegada al dique, a partir del cual el caudal del río depende de los niveles de erogación del embalse (López Cazorla *et al.*, 2003).

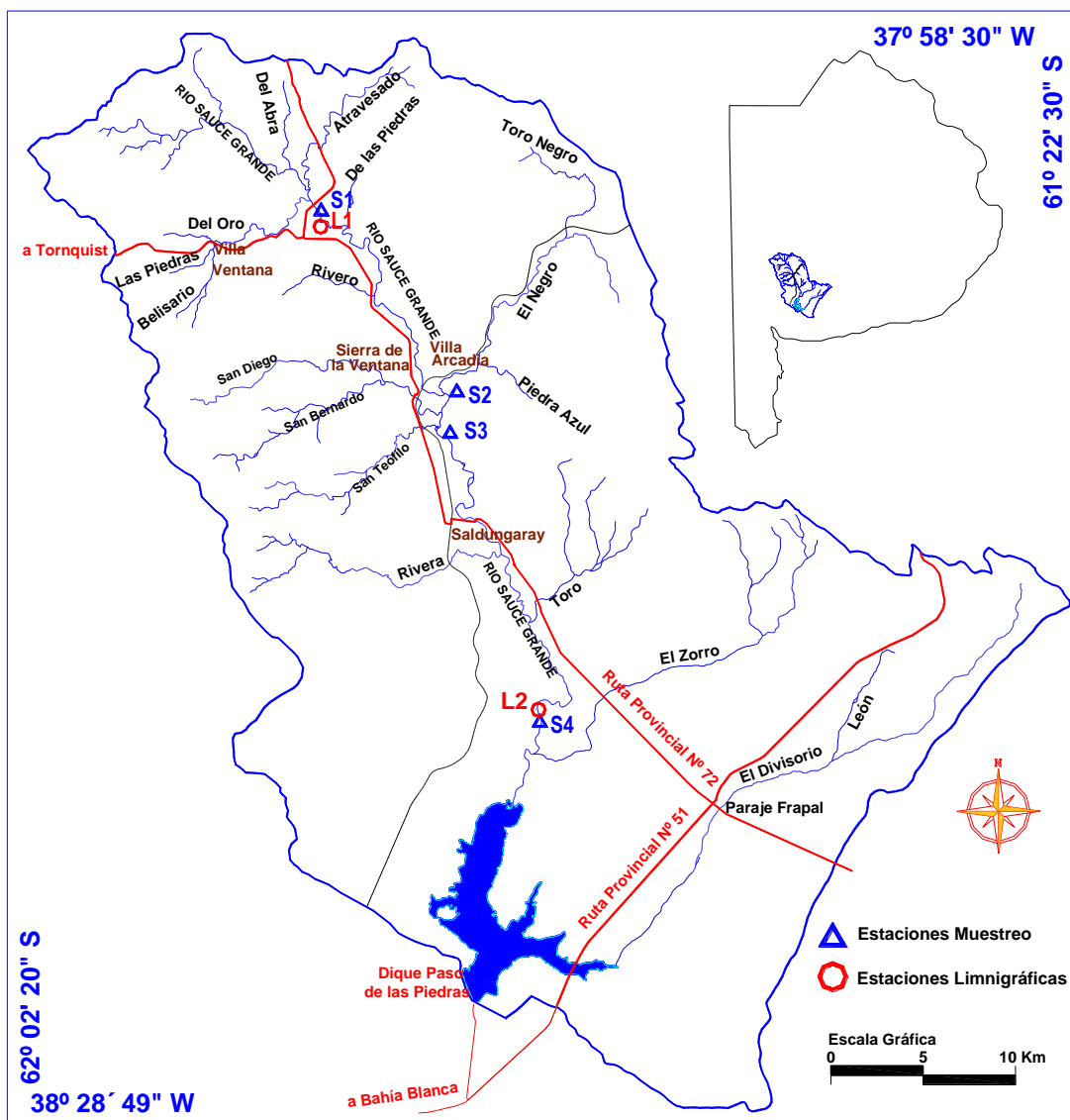


Figura 1. Mapa de ubicación de la zona de estudio, sitios de muestreo y estaciones limnigráficas: desde la naciente hacia la zona próxima al embalse, se identifican como Recovecos (S1), Los Angelitos (S2), El Retiro (S3), La Toma (S4), Recovecos (L1) y La Toma (L2) respectivamente.

Los últimos relevamientos publicados corresponden al trienio 1998-1999-2000 por Aduriz *et al.* (2003) e indican que en la cuenca alta el 72 % de la superficie se encuentra abocada a la ganadería y el restante 28 % a la agricultura. Actualmente, se han diversificado los tipos de cultivos, incorporándose la plantación de olivos, vides y plantas aromáticas, como consta en el Proyecto y Fundamentos del Plan de Desarrollo del Sudoeste - Ley 13.647 (Gil, 2009).

Asimismo, el Sistema de Ventania ha cobrado importancia como atractivo turístico regional y provincial en torno al eje mar - sierra. El área de estudio se encuentra estimulada desde hace una década por el aprovechamiento turístico, principalmente el ecoturismo y turismo rural o de estancia. Esto provocó un crecimiento de las localidades serranas, entre ellas Sierra de la Ventana, Villa Ventana, Saldungaray y Villa La Gruta, las cuales forman parte de la denominada Comarca Turística de Sierra de la Ventana (Gil, 2009), siendo la calidad de vida uno de los atractivos de mayor peso en la elección de este destino (Grippeo y Visciarelli, 2006).

De la evolución demográfica de los centros de la zona de estudio se destaca el incremento de Sierra de la Ventana, Villa Arcadia, Villa Ventana y Saldungaray, localidades que acusaron un aumento poblacional de 43 %, 42 %, 37 % y 5 % respectivamente, según datos censados por el INDEC en 2001 y 2010, y cuyas superficies representan el 0,25; 0,1; 0,17 y 0,08 % respectivamente del área total de la cuenca.

El incremento de la población estable sumado al aumento de residentes temporarios en épocas de vacaciones y feriados comienza a resaltar dos realidades territoriales de funcionamiento: la de los residentes permanentes y la de los residentes temporarios. Esto genera nuevos conflictos (nuevos loteos, previsión de servicios básicos, cuidado del ambiente ante el crecimiento de la población, nuevas actividades económicas) que la gestión política debe tener en cuenta en la planificación y ordenamiento del espacio y la actividad turística. Estos elementos son esenciales para mantener la sustentabilidad territorial y ambiental (Grippeo y Visciarelli, 2006; Caruso *et al.*, 2006).

La CASG, al igual que los ecosistemas acuáticos de todo el mundo se encuentra sometida a un rango variado de estresores, en general antropogénicos, de manera directa o indirecta. Particularmente la intensificación del uso de los servicios ecosistémicos y modificaciones debidas al cambio climático.

Los factores de disturbio ambiental, que afectan tanto a los servicios ecosistémicos de soporte (ej. producción primaria, bucle microbiano) como culturales (ej. aprovechamiento de agua dulce, usos recreativos y paisajísticos) requieren actualización y monitoreo periódico (Skoulikidis *et al.*, 2017).

Teniendo en cuenta que la variabilidad de los escurrimientos superficiales y subterráneos opera sobre la hidroquímica del sistema hidrológico que conforma una cuenca y que múltiples estresores alteran la calidad de los recursos: se plantea evaluar el comportamiento espacial y temporal de los constituyentes mayoritarios en la CASG. Esta tarea permitirá avanzar en el conocimiento del grado de correlación entre las variables hidrodinámicas, hidroquímicas y físicas medidas en el recurso hídrico.

MATERIALES Y MÉTODOS

Estrategia de muestreo

Se realizaron muestreos en cuatro sitios ubicados estratégicamente a lo largo de la CASG, considerando una frecuencia que permite obtener muestras que cubren el rango de condiciones hidrológicas y eventos ambientales extraordinarios, como dos incendios ocurridos en verano (31/01/2018 y 16/02/2018, respectivamente). En total se realizaron muestreos en 6 campañas, cuyas fechas fueron las siguientes:

Campaña 1 (C1)	Campaña 2 (C2)	Campaña 3 (C3)	Campaña 4 (C4)	Campaña 5 (C5)	Campaña 6 (C6)
12/07/2017	26/09/2017	21/11/2017	28/12/2017	22/02/2018	23/04/2018

En el presente trabajo se realiza una comparación y análisis entre los resultados obtenidos para los cuatro sitios de muestreo ubicados sobre el cauce principal del río Sauce Grande, que se identifican, desde la naciente hacia la zona próxima al embalse, como: Recovecos (S1), Los Angelitos (S2), El Retiro (S3) y La Toma (S4) (Figura 2).

Parámetros fisicoquímicos y toma de muestras




Se realizaron las determinaciones de pH, temperatura, conductividad, salinidad, y turbidez *in situ* empleando una sonda multiparamétrica Horiba U52-G. Se colectaron en botellas de borosilicato de 300±5mL muestras para la estimación de la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) por duplicado, fijando el OD *in situ* empleando el método de Winkler (Carpenter, 1965) para obtener el OD inicial, y las botellas para incubar fueron trasladadas en oscuridad hasta su incubación en el laboratorio durante 5 días a 20°C según APHA (2005). La DBO se obtuvo mediante la diferencia entre el OD inicial y el final de cada set. Para la estimación de la Demanda Química de Oxígeno se emplearon viales comerciales (HACH® -LR) colocando en el vial 2mL de muestra inmediatamente después de ser colectada. Las muestras para las demás determinaciones se tomaron en frascos de vidrio escrupulosamente lavados con HCl 10% y agua ultrapura. Fueron trasladadas y refrigeradas al abrigo de la luz e inmediatamente filtradas y fraccionadas al volver de cada una de las campañas. Para la determinación del Material Particulado en Suspensión se filtraron volúmenes adecuados de muestra a través de filtros de fibra de vidrio de 0,7µm previamente lavados con agua ultrapura y prepesados y se determinó el contenido total de Material Particulado en Suspensión (MPS) por gravimetría.

Caudales

Los datos se obtuvieron de dos estaciones limnigráficas, denominadas Recovecos (L1) y La Toma (L2) (Figura 1), instaladas sobre el cauce principal del río Sauce Grande con sus respectivas ecuaciones de caudales, las cuales fueron determinadas y calibradas como parte de un proyecto de investigación dirigido por la Dra. Ing. Sandra Fernández y el Ing. Mario Sequeira (Departamento de Ingeniería, UNS) y financiado por la Secretaría de Ciencia y Tecnología (SECyT) Universidad Nacional del Sur.

Datos meteorológicos

Se obtuvieron datos de precipitación diaria y temperatura diaria (máxima, mínima y promedio) del aire registrados en una estación meteorológica ubicada en: Latitud: 38.136832° S; Longitud: 61.794203° O; Elevación: 248,6 m.s.n.m.

	<p style="text-align: center;">Sitio 1 (S1) - Recovecos</p> <p>Ubicación: Latitud: 38° 03' 07" S; Longitud: 61° 51' 31" O.</p> <p>Distancia desde la naciente: 21 km.</p> <p>Actividades: Agrícola-ganadero; actividad terciaria relacionada con los servicios originados por el turismo. Asentamiento urbano de Villa Ventana (10 km agua arriba).</p>
<p style="text-align: center;">Sitio 2 (S2) - Los Angelitos</p> <p>Ubicación: Latitud: 38° 8'21.83"S; Longitud: 61°46'43.53"O.</p> <p>Distancia desde la naciente: 40 km.</p> <p>Distancia con S1: 19 km.</p> <p>Actividades: Asentamiento urbano de Sierra de la Ventana. Actividad terciaria relacionada con los servicios originados por el turismo, recreativas.</p>	
	<p style="text-align: center;">Sitio 3 (S3) - El Retiro</p> <p>Ubicación: Latitud: 38° 9'39.75"S; Longitud: 61°46'50.54"O.</p> <p>Distancia con la naciente: 43 km.</p> <p>Distancia con S1: 22 km.</p> <p>Distancia con S2: 3 km.</p> <p>Actividades: Agrícola-ganadera. Asentamiento</p>


<p style="text-align: center;">Sitio 4 (S4) - La Toma</p> <p>Ubicación: Latitud: 38°17'27.58"S; Longitud: 61°43'8.82"O.</p> <p>Distancia desde la naciente: 70 km.</p> <p>Distancia con S1: 49 km.</p> <p>Distancia con S3: 27 km.</p> <p>Distancia con el Embalse Paso de las Piedras: 6 km.</p> <p>Actividades: Agrícola-ganadera.</p>	<p>urbano de Saldungaray (5 km agua abajo).</p> 
---	--

Figura 2. Descripción de los sitios de muestreo.

Caracterización hidroquímica

Las muestras filtradas por filtros de fibra de vidrio de 0,45µm de tamaño de poro, se almacenaron en recipientes limpios y se mantuvieron refrigerados para la determinación de la composición salina mayoritaria que se realizó empleando metodología estándar (APHA, 2005). Se emplearon balances iónicos y de masa para controlar la calidad de los datos, diagramas de Piper y el modelo de boomerang de Gibbs para clasificar y establecer los procesos predominantes. Las determinaciones fueron realizadas por duplicado.

Materia orgánica y biodegradabilidad

- a) La determinación de la Demanda Química de Oxígeno (DQO) se realizó mediante oxidación a 150°C, durante 2h empleando viales comerciales (HACH®-LR).
- b) La DBO se obtuvo por diferencia en la concentración de oxígeno disuelto de las muestras antes y después de incubarse a 20°C durante 5 días. Las concentraciones de OD se estimaron por el método iodométrico (APHA, 2005). El cálculo de la biodegradabilidad se realizó como DQO/DBO.

Todas las determinaciones realizadas se hicieron por duplicado.

Procesamiento de datos

Se realizó empleando programas específicos para clasificación hidroquímica y de análisis estadístico: Aquachem y Origin v8.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Datos meteorológicos

Los datos meteorológicos presentados en la Figura 3 resumen las precipitaciones diarias acumuladas entre las fechas de muestreo, y puede observarse las precipitaciones diarias máximas que registran su mínimo durante las campañas de verano, C4 y C5, que exhibieron las temperaturas diarias máximas promedio más elevadas. Durante el período de estudio se mantiene el comportamiento de veranos secos y calurosos, otoños lluviosos y templados, inviernos fríos y secos y primaveras lluviosas.

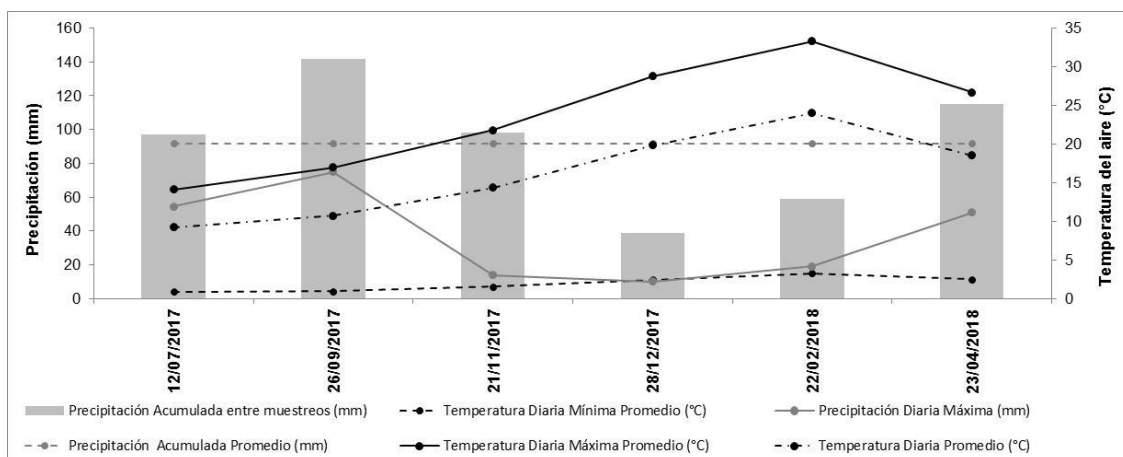


Figura 3. Datos de precipitaciones y temperaturas atmosféricas entre los muestreos.

Caudales

El caudal promedio registrado durante el período de estudio en la estación limnigráfica La Toma (L2), ubicada aproximadamente a 6 km aguas arriba del Embalse Paso de Las Piedras, fue similar al caudal promedio plurianual del río Sauce Grande de 4,54

m^3s^{-1} informado por Schefer (2004) y resultado del análisis estadístico de los caudales medidos en la Ex - Toma de agua de Aguas Corrientes de Obras Sanitarias. El caudal horario máximo ($\sim 90 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$) se registró al finalizar el invierno 2017 como respuesta a un evento de tormenta que alcanzó un milimetraje cercano a los 90 mm de precipitación promedio medidos durante este estudio. Este resultado se condice con el comportamiento de la distribución de las lluvias en la comarca serrana que se concentran principalmente durante primavera y otoño. Los caudales horario mínimos ($\sim 1 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$) se registraron sobre el fin del verano y principios del otoño.

El volumen acumulado de agua escurrido en la estación limnigráfica La Toma, durante el período de estudio, representó el 35% de la capacidad máxima del embalse Paso de las Piedras.

Por su parte, en la estación limnigráfica Recovecos (L1) se registraron, en épocas similares a los registrados en La Toma, el caudal horario máximo y mínimo de $\sim 20 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ y $\sim 0,18 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$, respectivamente. El caudal promedio resulta de $\sim 0,78 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$.

Parámetros fisicoquímicos

La temperatura del agua presenta pequeñas variaciones entre los sitios, diferenciándose entre las estaciones del año, consistente con la amplitud térmica de la zona de estudio. Los máximos valores se obtuvieron en la campaña 4 realizada el 28/11/2017 con una media de $24,6 \text{ }^\circ\text{C}$ mientras que los valores mínimos ($7,7^\circ\text{C}$) se registraron en invierno, en la campaña 1 realizada el 12 de julio de 2017 (Figura 4a). El pH considerando todos los registros *in situ* ($n=24$) tiene una variabilidad en el rango de 7,13 (C1-S1) y un máximo de 8,38 (C4-S3) con una distribución según la Figura 4b, clasificándose como neutra a ligeramente alcalina.

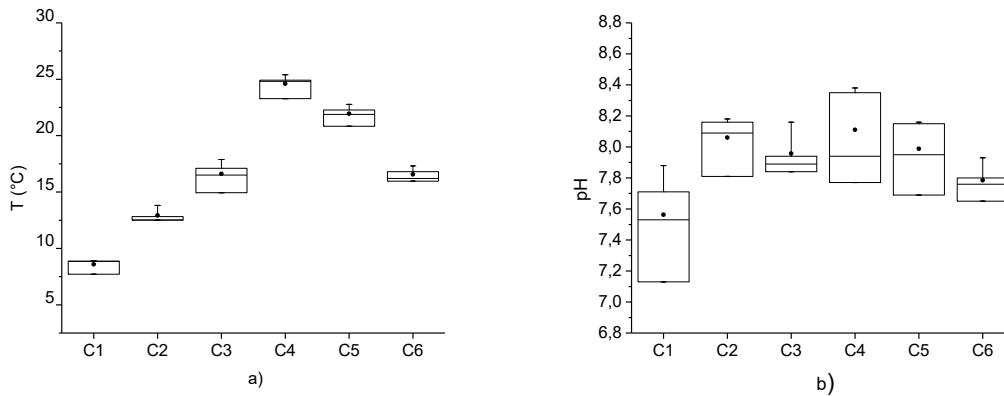


Figura 4. Variación temporal de a) Temperatura y b) de pH (n=24).

La conductividad de las muestras medidas *in situ* muestra un patrón similar durante todo el período de muestreo, aumentando en el sentido del flujo del río, con valores mínimos en el sitio 1 y máximos en el sitio 4. Por otra parte, aumenta desde la C1 a la C5 donde se registraron los valores máximos para todos los sitios, disminuyendo en la C6, campaña representativa de otoño (Figura 5a). La conductividad y la temperatura tienen una fuerte correlación ($r = 0,77$; $p < 0,0005$; $n = 24$).

El promedio de sólidos disueltos totales (SDT) considerando el período estudiado es 166 mgL^{-1} en el sitio 1, 258 mgL^{-1} y 253 mgL^{-1} para los sitios 2 y 3 respectivamente y 294 mgL^{-1} en el sitio 4 (Figura 5b).

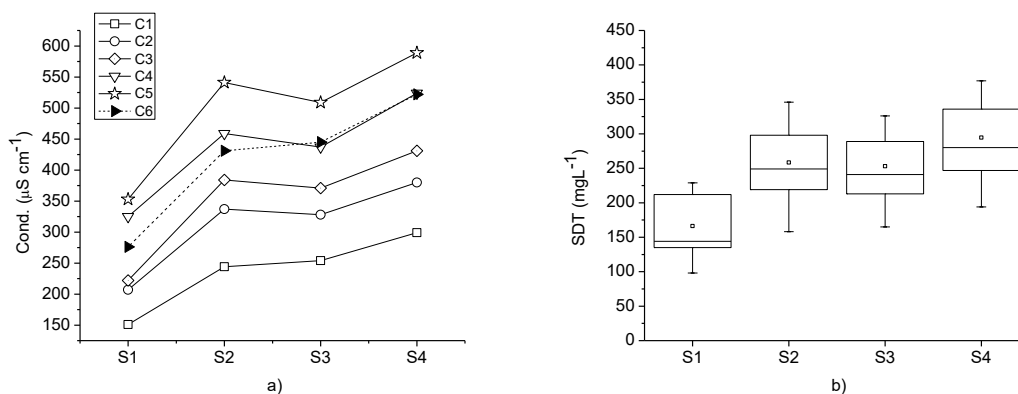


Figura 5. a) Conductividad ($\mu\text{S cm}^{-1}$) y b) sólidos disueltos totales (mgL^{-1}). La línea punteada corresponde a la C6.

La variabilidad espacial (Figura 6a) del material particulado en suspensión es menor en el sitio 1, presentando valores entre $2,0 \text{ mgL}^{-1}$ y $6,4 \text{ mgL}^{-1}$. El MPS es mayor y más variable en el sitio próximo al ingreso al embalse (S4). El valor del sitio 4 para la campaña 5 es extremadamente elevado ($66,5 \text{ mgL}^{-1}$) y se corresponde con un período de sequía acompañado con dos incendios de verano (ocurridos el 31 de enero y 16 de febrero, respectivamente) y una precipitación de 37mm caída los días previos al muestreo. Temporalmente la variabilidad aumenta en las campañas C5 (verano) y C6 (otoño) (Figura 6b).

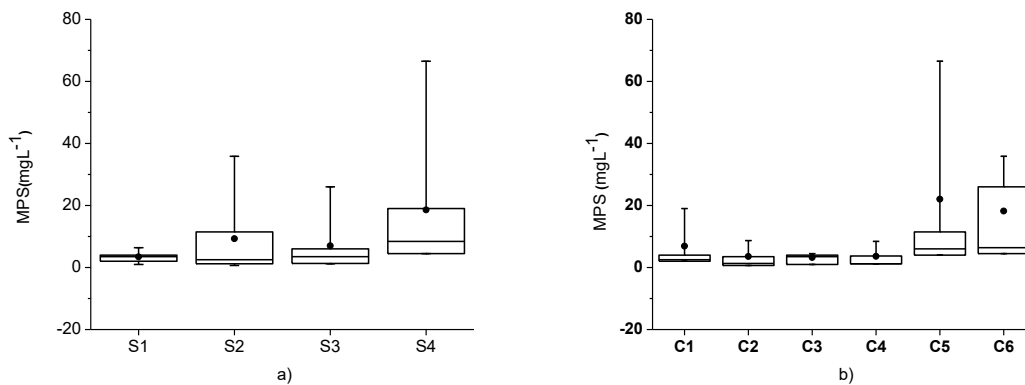


Figura 6. Distribución de las estimaciones de MPS (mgL^{-1}) a) espacial b) temporal.

La variabilidad de los sólidos en suspensión representada por las lecturas de turbidez *in situ* se observa en la Figura 7. Los datos de turbidez y MPS fueron transformados a logaritmo natural (Ln) para su análisis. La dispersión de Ln (Turbidez) y Ln (MPS) presentan un coeficiente de correlación $r = 0,76$ ($n=24$; $p<0,005$). Las diferencias observadas probablemente se relacionan con el tamaño del MPS, el cual está constituido mayoritariamente por material extremadamente fino.

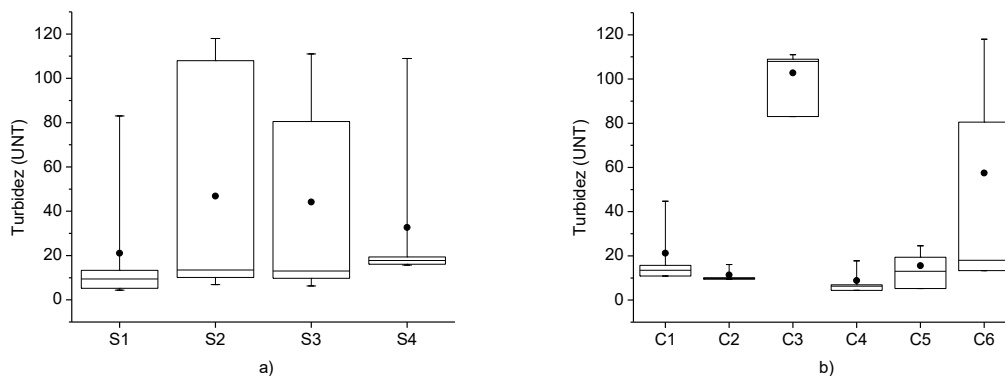


Figura 7. Distribución de las mediciones de Turbidez (UNT) a) espacial y b) temporal.

Caracterización hidroquímica

Las aguas naturales van a contener en su seno una amplia variedad de especies químicas, debido a la gran capacidad disolvente y reactiva del agua y a su potencial erosivo. El contenido de sustancias minerales disueltas es convencionalmente dividido según su concentración en mayoritarios y minoritarios. Los mayoritarios, representan más del 95% y determinan el tipo de agua. La concentración de los constituyentes está relacionada con dos factores principales: la abundancia y solubilidad, mientras que el tipo de iones depende de la influencia relativa del clima, el contexto geológico, las condiciones hidrológicas de las cuencas, así como de los procesos físicos, químicos y biológicos. Además del origen natural de los constituyentes químicos del agua, la intervención del hombre puede modificar sustancialmente la composición natural (Gibbs, 1970; Dupré *et al.*, 2003; Depetris *et al.*, 2014; Formica *et al.*, 2015).

De acuerdo con la composición aniónica mayoritaria ($> 1\text{mgL}^{-1}$) las aguas se clasifican como bicarbonatadas. El HCO_3^- es el anión dominante alcanzando entre el 76% y el 88% del total de aniones, con concentraciones promedio desde 145mgL^{-1} en el S1 y de 230mgL^{-1} en el S4. De acuerdo con su abundancia, le siguen $\text{Cl}^- > \text{SO}_4^{2-}$ en todos los sitios. Los iones cloruro aumentan en promedio desde el S1 al S4 de $11,3\text{mgL}^{-1}$ a $26,8\text{mgL}^{-1}$ (Figuras 8a y 8b).

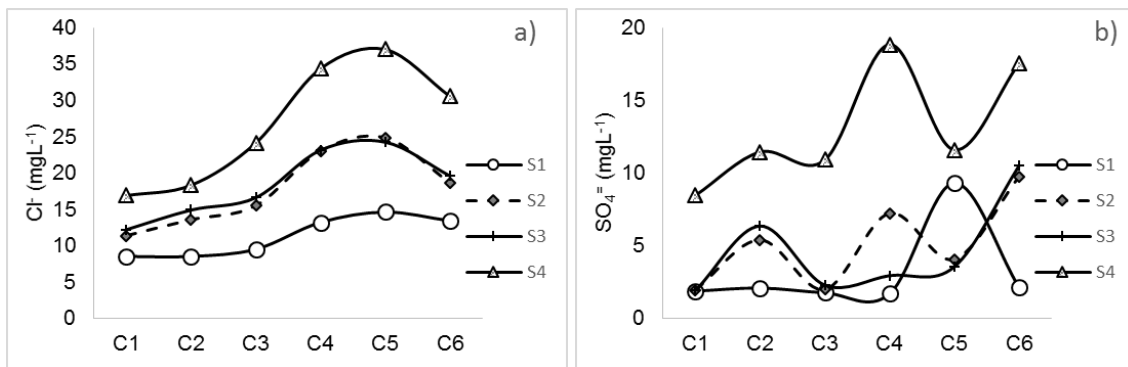


Figura 8. Distribución de los valores promedio de a) cloruro (mgL^{-1}) y b) sulfato (mgL^{-1}) por campaña y sitio.

Como se describe en la Figura 8a, las mayores concentraciones para Cl^- se encontraron en las campañas 4, 5 y 6, donde las temperaturas registradas fueron mayores. El incremento de las temperaturas provoca evaporación del agua y un aumento en la concentración de los iones. El comportamiento del Cl^- es similar al del Na^+ y tienen una elevada correlación ($r=0,94$; $p<0,0005$), aumentando en verano.

La relación iónica Na^+/Cl^- es 3,5 (Figura 9a). El SO_4^{2-} tiene correlación significativa ($p<0,005$) únicamente con Na^+ ($r=0,66$) entre los cationes (Figura 9b), y se relacionan positivamente con el Cl^- (Figura 9c).

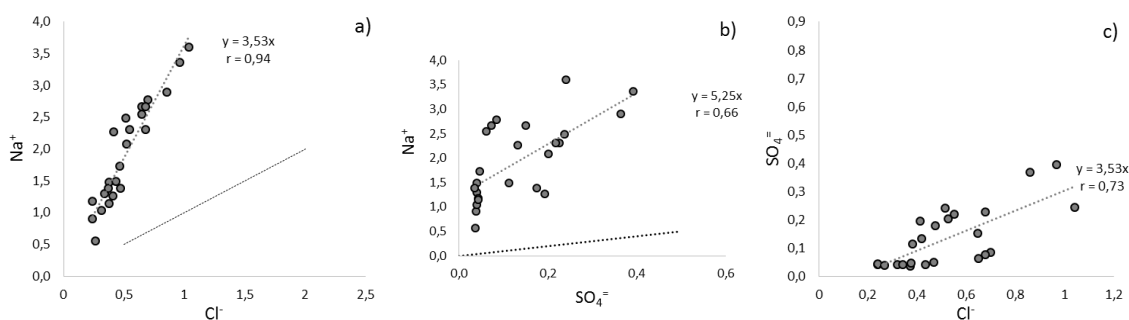


Figura 9. Relaciones iónicas en mEqL^{-1} . La línea punteada de color negro indica la relación 1:1.

Las concentraciones de cationes mayoritarios decrecen en el orden $\text{Ca}^{2+} \sim \text{Na}^+ \gg \text{Mg}^{2+} \sim \text{K}^+$. Los dos primeros tienen una dominancia compartida en el total de cationes con una contribución del 78% al 88% al total de cationes.

El Na^+ correlaciona positivamente con Ca^{2+} ($r = 0,689$; $p < 0,005$) y ambos contribuyen en porcentajes elevados a la composición. Por otra parte, la relación $\text{Ca}^{2+} + \text{Na}^+ / \text{HCO}_3^-$ indica el balance del HCO_3^- (Figura 10).

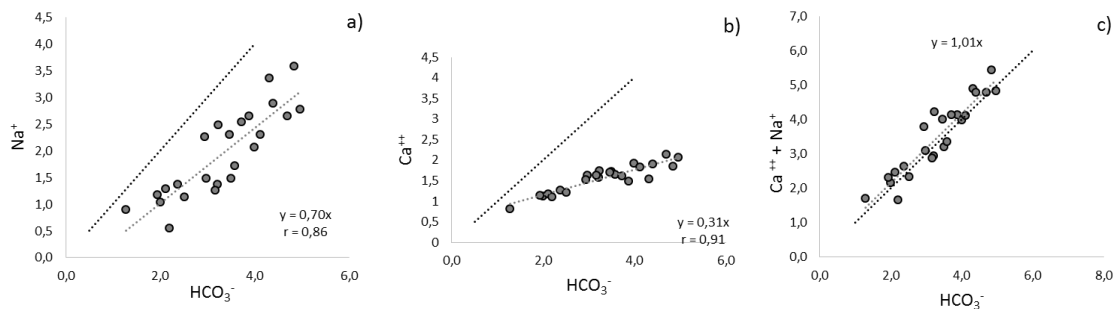


Figura 10. Relaciones iónicas en mEqL^{-1} . La línea punteada de color negro indica la relación 1:1.

Los resultados graficados en el diamante central del diagrama de Piper-Hill, muestran las características generales de la química del agua (Pant et al., 2018).

En el sitio 1 la contribución porcentual de Ca^{2+} es mayor que la del Na^+ , el HCO_3^- es mayoritario y generalmente ningún par de iones superan el 50% de la composición iónica, clasificando el sitio 1 como dominado por ácidos débiles y dominio compartido entre cationes. Clasifica como bicarbonatada cálcica (Figura 11a).

En el sitio 4 la contribución porcentual de Ca^{2+} y Na^+ se invierte y hay un aumento en la contribución del Na^+ , sin embargo, ningún par supera el 50% y su clasificación general es mixta, bicarbonatada cálcica-sódica (Figura 11d).

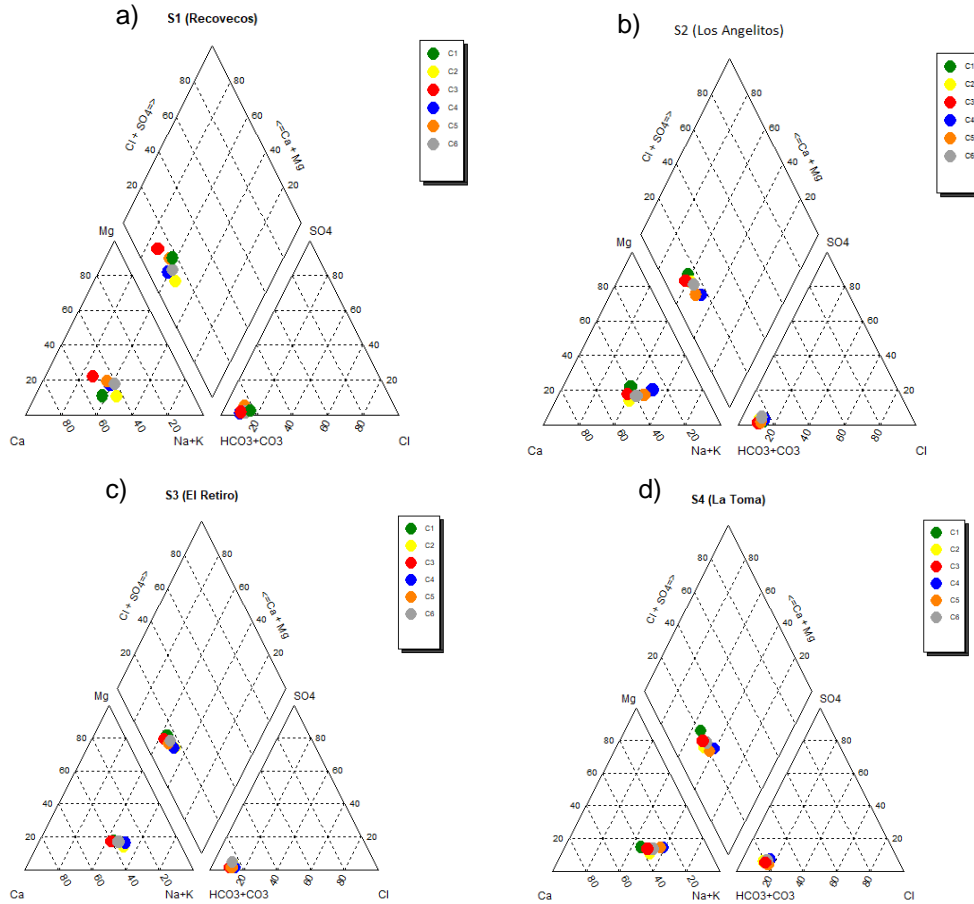


Figura 11. Diagrama de Piper-Hill aplicado a los sitios de muestreos.

Según el modelo tipo boomerang (Gibbs, 1970) que describe la dinámica de la composición química y clasifica los factores que la controlan, las aguas del río Sauce Grande en su cuenca alta, tienen como fuente natural, la meteorización química (Figura 12).

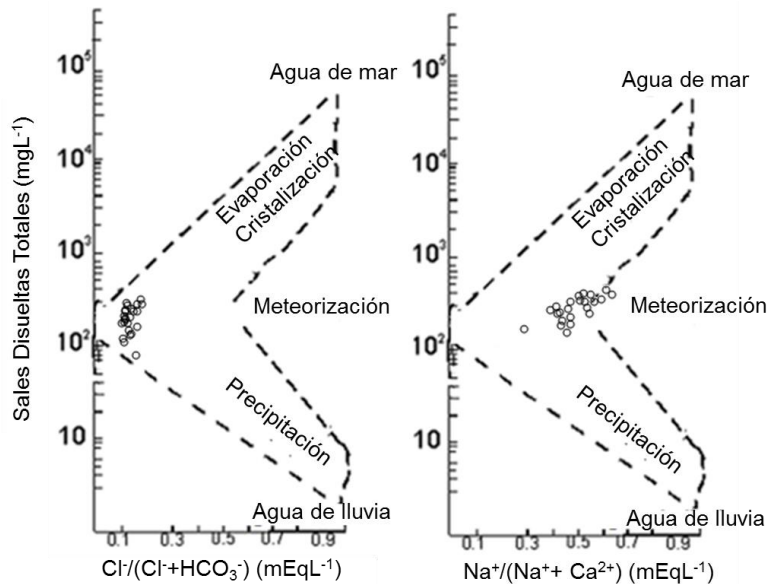


Figura 12. Diagrama de Gibbs del río Sauce Grande.

Materia orgánica y biodegradabilidad

Los resultados de la estimación de la materia orgánica a partir de los valores de la DQO muestran valores variables, mayores en las C2 y C3 que se encuentran entre 45 mgL⁻¹ y 76 mgL⁻¹. Puede observarse una tendencia inversa entre la DQO y la biodegradabilidad. En las campañas 2 y 3, para todos los sitios, el material orgánico presente en las muestras tiene carácter refractario, menos del 5% es biodegradable. En las campañas 4, 5 y 6 el porcentaje de biodegradabilidad aumenta y particularmente en la C6 en el S4 el valor de DQO es mínimo con una degradabilidad del 70% (Figura 13).

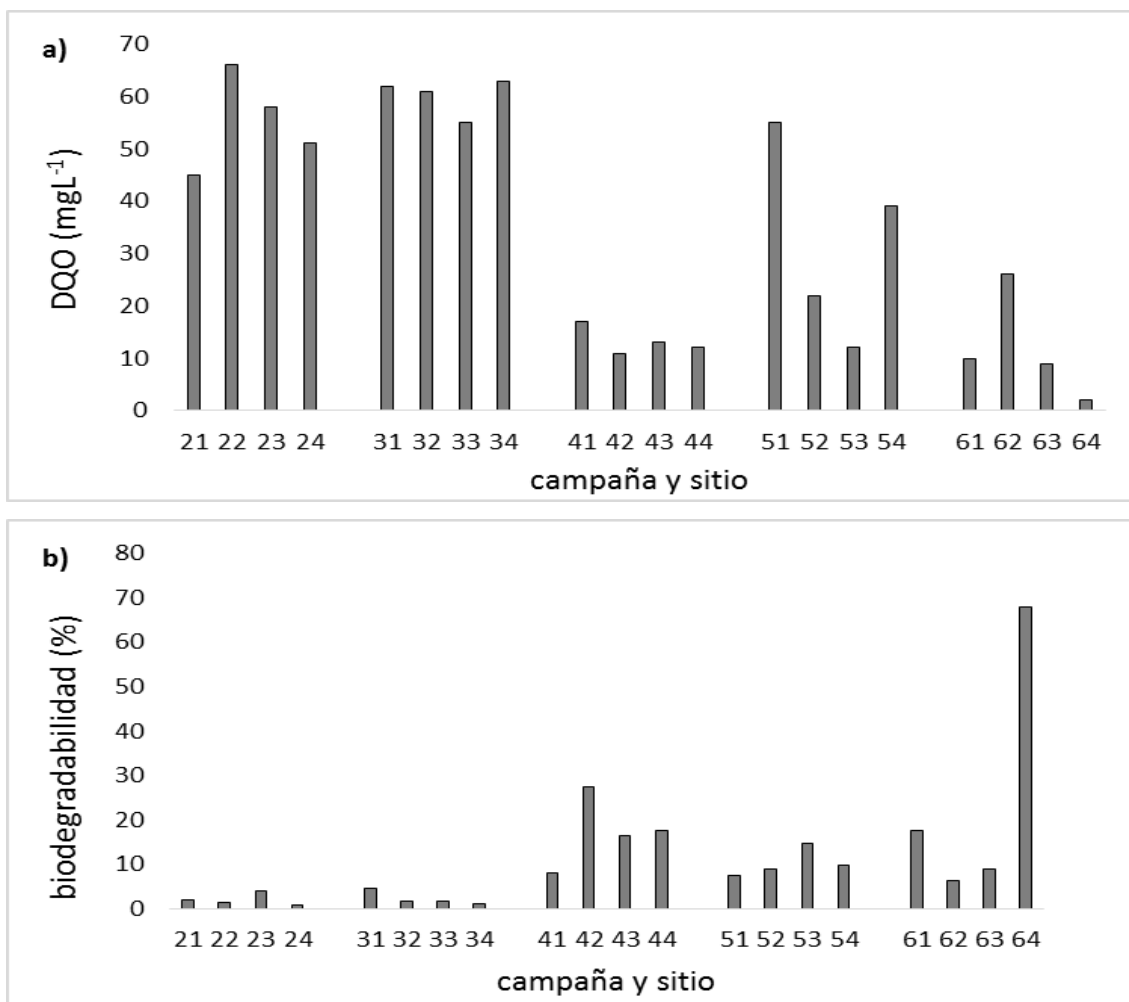


Figura 13. Valores promedio de a) estimación de la materia orgánica total a partir de la DQO y b) porcentaje de material biodegradable estimado a partir del cociente DBO/DQO de las campañas C2 a C6. De la C1 no se obtuvieron datos.

CONCLUSIONES

Las aguas del río Sauce Grande constituyen un recurso clave que trasciende los límites de la CASG, considerando que una prestación vital es la provisión de agua de consumo humano e industrial a centros urbanos entre los que se encuentra la ciudad de Bahía Blanca.

El caudal promedio registrado en el sitio La Toma durante el período de estudio fue aproximadamente de 4,54 m³s⁻¹. El caudal horario máximo se obtuvo a fines del invierno de 2017 y el caudal horario mínimo durante fines del verano y principios de otoño de 2018, coincidiendo con la distribución de las lluvias en la comarca serrana.

La temperatura del agua presenta pequeñas variaciones entre los sitios, diferenciándose entre las estaciones del año, consistente con la amplitud térmica de la zona de estudio. Los máximos valores se obtuvieron en la campaña 4 (fin de primavera) con una media de 24,6 °C mientras que los valores mínimos (7,7 °C) se registraron en invierno, en la campaña 1.

En su composición iónica mayoritaria el mayor contribuyente es el ión HCO_3^- balanceado por los iones Ca^{2+} y Na^+ . El proceso que controla la composición es la meteorización. Las aguas van enriqueciéndose en Na^+ en el sentido del flujo del río comenzando bicarbonatada-cálcica y transformándose en bicarbonatada-cálcica-sódica. Son ligeramente alcalinas y generalmente, con baja carga de material particulado en suspensión, el cual puede ser incrementado abruptamente por ingresos alóctonos. Los incendios registrados en varios puntos de la cuenca alta durante el verano cálido y seco del período de estudio, seguidos de lluvias, incrementaron más de 10 veces su concentración. La variabilidad espacial del material particulado en suspensión es menor en el sitio 1, presentando valores entre 2,0 mgL^{-1} y 6,4 mgL^{-1} . El MPS es mayor y más variable en el sitio próximo al ingreso al embalse (Sitio 4).

El contenido de sales totales varía estacionalmente y proporcional a la temperatura, mientras que espacialmente aumenta significativamente en el sentido del flujo del río.

El carácter de la materia orgánica es variable, refractaria en invierno y aumenta su biodegradabilidad en verano.

El avance en el conocimiento de la relación entre las variables medidas, proporciona herramientas básicas para resolver de una manera ecológica y sustentable las problemáticas ambientales.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo se desarrolló en el marco del Proyecto PGI 24/J073 financiado por la Secretaría de Ciencia y Tecnología de la Universidad Nacional del Sur.

BIBLIOGRAFÍA

- Aduriz, M.A., Gargano, A.O., Chimeno, P., Saldungaray, M.C. & Conti, V.P. (2003). Caracterización de los Agrosistemas predominantes de la Cuenca alta del río Sauce Grande. *Revista de Investigaciones Agropecuarias*, 32, 3, pp. 3-26.
- APHA. (2005). *Standard methods for the examination of water and wastewater*. Washington, DC: American Public Health Association.
- Carpenter, J.H. (1965). The accuracy of the Winkler method for dissolved oxygen analysis. *Limnology and Oceanography*, 10, pp. 135-140.
- Caruso, M.J., Vaquero, M.C., & Rodriguez, C. (2006). Posicionamiento del Partido de Coronel Suarez como destino turístico. *Actas IV Jornadas Interdisciplinarias del Sudoeste Bonaerense*. Universidad Nacional del Sur. Bahía Blanca, pp. 215-221.
- Depetris P.J., Pasquini A.I., & Lecomte K.L. (2014). *Weathering and the riverine denudation of continents*. Holanda: Springer. 95 pp.
- Dupré, B., Dessert, C., Oliva, P., Goddérís, Y., Viers, L.F., Millot, R., & Gaillardet, J. (2003). Rivers, chemical weathering and Earth's climate. *C.R. Geoscience*, 335, pp. 1141-1160.
- Echenique, R., Sala, S., Guarrera, S., Guerrero, J.M., González, D., Silva, H., Labollitta, H., Lagos, N., Andrinolo, D., Cano, M., & Gorriti, G. (1999). Presencia de algas nocivas en cuerpos de agua continentales de Argentina. *V Congreso Latinoamericano de Ficología*. Puerto Varas. Chile.
- Echenique, R.O., Ferrari, L., & González, D. (2001). Cyanobacterial blooms in Paso de las Piedras reservoir (Buenos Aires, Argentina). *Harmful Algae News* (UNESCO), 22, 3.
- Echenique, R., Giannuzzi, L., Ferrari, L., & González, D. (2003). Estudios sobre la calidad del agua de red en Bahía Blanca, Argentina. *Anales 13º Congreso Argentino de Saneamiento y Medio Ambiente*, 30, pp.1-18.
- Fernández, C., Parodi, E.R., & Cáceres, E.J. (2009). Limnological characteristics and trophic state of Paso de las Piedras Reservoir: An inland reservoir in Argentina. *Lakes Reserv: Res. Manage*, 14, pp.85-101.

- Fernández, S.N., López, N.C., Sequeira, M.E., & Brandizi, L.D. (2016). Estudio preliminar de agua superficial para el desarrollo socio-económico complementario en una comarca turística. *Revista Estudios Ambientales*, 4, pp. 42-64.
- Fiorentino, C.E. (1999). *Evaluación y riesgo de contaminación de los recursos hídricos superficiales en las vertientes del Sistema de Ventania*. Bahía Blanca: Universidad Nacional del Sur.
- Formica, S.M., Sacchi G.A., Campodonico Vernea, A., Pasquini, A.I., & Cioccale, M.A., (2015). Modelado de calidad de agua en ríos de montaña con impacto antrópico. Caso de estudio: Sierra Chica de Córdoba, Argentina. *Rev. Int. Contam. Ambient* [online], 31, 4, pp. 327-341.
- Gaspari, F.J. (2012). Caracterización Morfométrica de la cuenca alta del río Sauce Grande, Buenos Aires, Argentina. *Séptimo Congreso de Medio Ambiente AUMG*. La Plata, Argentina.
- Gibbs, R.J. (1970). Mechanism controlling world water chemistry. *Science*, 170, pp. 1088-1090.
- Gil, V. (2009). *Hidrogeomorfología de la cuenca alta del río Sauce Grande aplicada al peligro de crecidas*. Bahía Blanca: Universidad Nacional del Sur.
- Grippio, S.B. & Visciarelli, S.M. (2006). Políticas públicas y promoción inmobiliaria en el desarrollo turístico de la localidad de Villa Ventana. *Actas IV Jornadas Interdisciplinarias del Sudoeste Bonaerense*. Universidad Nacional del Sur. Bahía Blanca. pp. 223-230.
- Guerrero, J.M., & Echenique, R.O. (1997). Ceratium hirundinella blooms in Argentina reservoirs. *Harmful Algae News* (UNESCO), 16, p. 3.
- INTA (Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria). (1989). *Mapas de suelos de la Provincia de Buenos Aires. Escala 1:500000*. Proyecto PNUD ARG 85/019. Buenos Aires, Argentina: Secretaría de Agricultura, Ganadería y Pesca. Pp. 533.
- López Cazorla, A., Durán, W., & Tejera, L. (2003). Alimentación de la ictiofauna del río Sauce Grande, provincia de Buenos Aires, Argentina. *Biología Acuática*, 20, pp. 73-79.

- Marchena Matos, A.J. (2002). *Indicadores bióticos y abióticos del recurso hídrico en la cuenca alta del río Sauce Grande, provincia de Buenos Aires y su dinámica temporal y espacial*. Bahía Blanca: Universidad Nacional del Sur.
- Pant, R.R., Zhang, F., Rehman, F.U., Wang, G., Ye, M., Zeng, C. & Tang, H. (2018). Spatiotemporal variations of hydrogeochemistry and its controlling factors in the Gandaki River Basin, Central Himalaya Nepal. *Science of The Total Environment*, 622–623, pp. 770–782.
- Parodi, E. R., Trobbiani, N., Estrada, V., & Argañaraz Bonini, G. (2005). Proliferaciones masivas de Cianofíceas en el Embalse Paso de las Piedras. *Conagua*.
- Rabassa, J. (1982). Variación regional y significado geomorfológico de la densidad de drenaje en la cuenca del Río Sauce Grande, Provincia de Buenos Aires. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 37 (3), pp. 268-284.
- Schefer, J.C. (2004). *Los recursos hídricos y el abastecimiento de agua: Región de Bahía Blanca*. Bahía Blanca. Argentina: CEPADE.
- Skoulikidis, N.T., Sabater, S., Datry, T., Morais, M.M., Buffagni, A., Dör, G., Zogaris, S., Sánchez-montoya, M., Bonada, N., Kalogianni, E., Rosado, J., Vardakas, L., Maria, A., Girolamo, D., & Tockner, K. (2017). Non-perennial Mediterranean rivers in Europe: status, pressures, and challenges for research and management. *Science of The Total Environment*, 577, pp. 1–18.
- Universidad Nacional del Sur (UNS), Aguas Bonaerenses S.A. (ABSA), Organismo Regulador de Agua Bonaerense (ORAB) y Autoridad del Agua (ADA). (2004). *Informe Final Convenio*. Bahía Blanca: Universidad Nacional del Sur.
- Vouilloud, A.A., Sala, S.E., & Sabbatini, M.R. (2005). Diatomeas perifíticas de la cuenca del Río Sauce Grande (Buenos Aires, Argentina). *IHERINGIA, Sér. Bot.*, 60, 1, pp. 77-89.