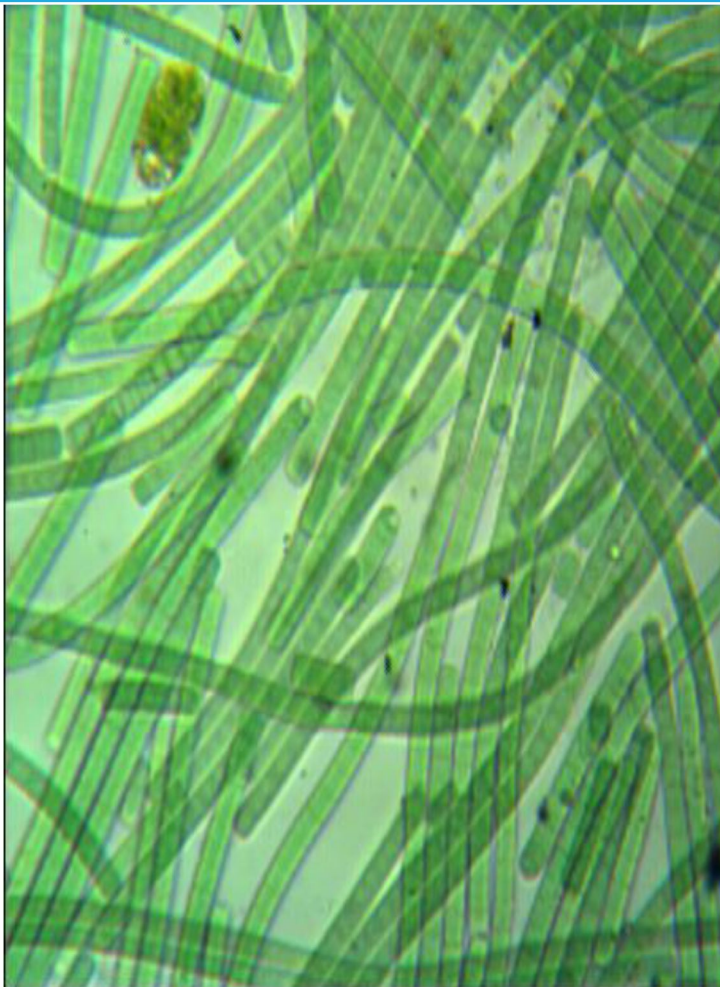




2021

# Informe de Práctica Profesional “Monitoreo de Cianobacterias potencialmente toxígenas del Arroyo Belgrano, Comodoro Rivadavia-Chubut”



Alumna: Gabriela  
Beatriz Villegas  
FCNyCS-UNPSJB

## ÍNDICE

PREFACIO .....	3
RESUMEN.....	4
INTRODUCCIÓN.....	5
OBJETIVOS .....	7
OBJETIVO GENERAL .....	7
OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	7
MATERIALES Y MÉTODOS.....	8
ÁREA DE ESTUDIO.....	8
CARACTERÍSTICAS FISIAGRÁFICAS.....	8
CARACTERÍSTICAS AMBIENTALES .....	9
METODOLOGÍA DE CAMPO Y DE LABORATORIO.....	9
MUESTREOS .....	9
PROCESAMIENTO DE LAS MUESTRAS.....	11
CULTIVO Y AISLAMIENTO DE CIANOBACTERIAS .....	12
ANÁLISIS ESTADÍSTICO .....	12
RESULTADOS .....	14
ANÁLISIS TAXONÓMICO.....	14
RECUENTO DE MICROALGAS .....	15
CULTIVO Y AISLAMIENTO .....	16
ANÁLISIS DE LOS DATOS FÍSICOQUÍMICOS.....	16
DATOS ESTADÍSTICOS .....	17
DISCUSIÓN.....	21
CONCLUSIONES .....	24
AGRADECIMIENTOS.....	25
BIBLIOGRAFÍA.....	26
ANEXO.....	31
MUESTREOS EN EL ARROYO BELGRANO.....	31

## PREFACIO

Este informe de Práctica Profesional se presenta como parte de los requisitos para optar al Título de Grado de **Licenciado/a en Protección y Saneamiento Ambiental** de la Universidad Nacional de la Patagonia San Juan Bosco.

En la misma se exponen los motivos para la elección del tema y las actividades desarrolladas para el logro de los objetivos planteados.

El trabajo se llevó a cabo en los Laboratorios y Sala de Microscopía dependientes del Departamento de Biología y Ambiente, Facultad de Ciencias Naturales y Ciencias de la Salud, bajo la supervisión de la MSc. Hilda del Valle Zalazar como Prof. Asesor.

## RESUMEN

El conocimiento de la relación entre los factores ambientales y las comunidades de cianobacterias en los cuerpos de agua continentales constituye una información importante dado que son consideradas bioindicadores de la calidad del agua y algunas de sus especies son sensibles a los cambios que ocurren en ella.

El objetivo general de este trabajo fue analizar la composición y distribución de cianobacterias potencialmente toxígenas en el Arroyo Belgrano, impactado por la actividad antrópica. En el período comprendido entre noviembre de 2016 a marzo de 2017, se tomaron con una frecuencia mensual, por triplicado, muestras directas de superficie en los sitios seleccionados en los barrios Presidente Ortiz-Km5 y J.J. Castelli, registrándose los parámetros físico químicos. Se emplearon métodos estandarizados para el tratamiento de las muestras destinadas a cultivo, conservación y conteo de cianobacterias. El recuento de los organismos se llevó a cabo mediante el método de Sedgwick-Rafter. Para el análisis taxonómico se empleó microscopio óptico binocular. Se identificaron dos especies de cianobacterias potencialmente toxigénicas: *Planktothrix isothrix* y *Pseudanabaena limnetica*. La abundancia relativa de *P. isothrix* fue mayor en los dos sitios muestreados, tanto en primavera como verano. *P. limnetica* se observó solamente en verano. Mediante el análisis multivariado se definieron tres asociaciones en relación a las muestras y los factores ambientales considerados. La primera asociación estuvo representada por muestras relacionadas con las variables temperatura ambiente, sólidos totales disueltos, el sitio Belgrano en verano y las especies *P. isothrix* y *P. limnetica*. La segunda asociación estuvo conformada por profundidad, potencial de óxido reducción, pH, viento y el sitio Belgrano en primavera. Las variables conductividad, salinidad, oxígeno disuelto y el sitio Castelli en verano formaron la tercera asociación. Los resultados de este trabajo representan un primer aporte al conocimiento sobre la influencia de los factores ambientales en la composición y distribución de las cianobacterias en el área de estudio.

**Palabras claves:** cianobacterias toxígenas, distribución, taxonomía, variables ambientales.

## INTRODUCCIÓN

Las cianobacterias constituyen un grupo muy diverso de organismos procariotas, pertenecientes al dominio Bacteria, capaces de realizar la fotosíntesis oxigénica. A pesar de presentar características fotosintéticas similares a las algas eucariotas y plantas superiores, su organización estructural y bioquímica se corresponde con las de las bacterias Gram-negativas (Stanier & Cohen-Bazire, 1977).

Debido a su gran variedad morfológica, estructural y fisiológica, las cianobacterias pueden estar distribuidas en todo tipo de hábitats (Whitton & Potts, 2000). Son capaces, por tanto, de tolerar distintas clases de ambientes y adaptarse a cambios de luz, salinidad, temperatura, humedad, radiación, disponibilidad de oxígeno y de nutrientes, etc. Forman parte importante de ecosistemas terrestres, acuáticos de agua dulce y salada, donde se encuentran poblaciones planctónicas, bentónicas, intertidales, entre otras (Fay, 1983). En el medio marino, la presencia de cianobacterias supone la principal contribución de la producción primaria, afectando de manera notable a los ciclos de nutrientes y a la estructura de la comunidad acuática en los océanos.

Las cianobacterias, al encontrarse en la base de las cadenas tróficas experimentan los efectos negativos de la contaminación antes que otros organismos, de esta manera pueden generar un “efecto onda” en los niveles tróficos superiores, por lo que se consideran indicadores relevantes en el campo de la evaluación medioambiental (Kelly & Whitton, 1998; Whitton & Potts, 2000; Vásquez Silva *et al.*, 2006; Yucra & Tapia, 2008; Quintero *et al.*, 2009).

A escala global, uno de los problemas de calidad de agua más extendido es el incremento progresivo de la eutrofización de los ambientes acuáticos. Sus efectos producen cambios en la composición taxonómica y abundancia del fitoplancton; aumenta la frecuencia y densidad de floraciones por lo que las cianobacterias desplazan a los demás grupos de algas interfiriendo significativamente en la red trófica y en el uso y calidad estética del cuerpo de agua.

Entre los trabajos realizados en Argentina para caracterizar la calidad del agua en ambientes continentales, de acuerdo a los grupos de especies

fitoplanctónicas, figuran los llevados a cabo por Isasmendi *et al.* (2002); Mirande & Tracanna (2003 y 2005); Mirande *et al.* (2009); De Monte (2013).

El Arroyo Belgrano atraviesa numerosos barrios del ejido norte de la ciudad de Comodoro Rivadavia y ha sido impactado por la actividad industrial y las descargas de aguas domésticas (Campano, 2007). La comunidad fitoplanctónica del mismo, a la altura del Km 5, ha sido caracterizada por De Monte (2013), determinando como potenciales bioindicadores de la calidad ambiental de este cuerpo de agua a las cianobacterias *Planktothrix isoethrix*, *Planktolyngbya limnetica* y *Pseudanabaena limnetica*, citadas en la bibliografía como especies potencialmente productoras de toxinas.

Como continuación del estudio iniciado por De Monte en el año 2013, en este trabajo se analizan la composición específica y la distribución de las cianobacterias en el tramo B° Presidente Ortiz-B° Castelli del Arroyo Belgrano, así como las relaciones entre las cianobacterias potencialmente tóxicas y las variables ambientales.

## **OBJETIVOS**

### **OBJETIVO GENERAL**

Analizar la composición y distribución de cianobacterias potencialmente toxígenas colectadas en el Arroyo Belgrano.

### **OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

1. Examinar mediante métodos cualitativos y cuantitativos las taxocenosis de cianobacterias potencialmente toxígenas presentes en diferentes tramos del Arroyo Belgrano.
2. Determinar la relación de dichas taxocenosis con las variables ambientales.
3. Cultivar y aislar las especies de interés.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### ÁREA DE ESTUDIO

#### CARACTERÍSTICAS FISIOGRAFICAS

El área de estudio se enmarca en la ciudad de Comodoro Rivadavia (45°47' de latitud sur y 67°30' de longitud oeste), cabecera del Departamento Escalante (Fig. 1).

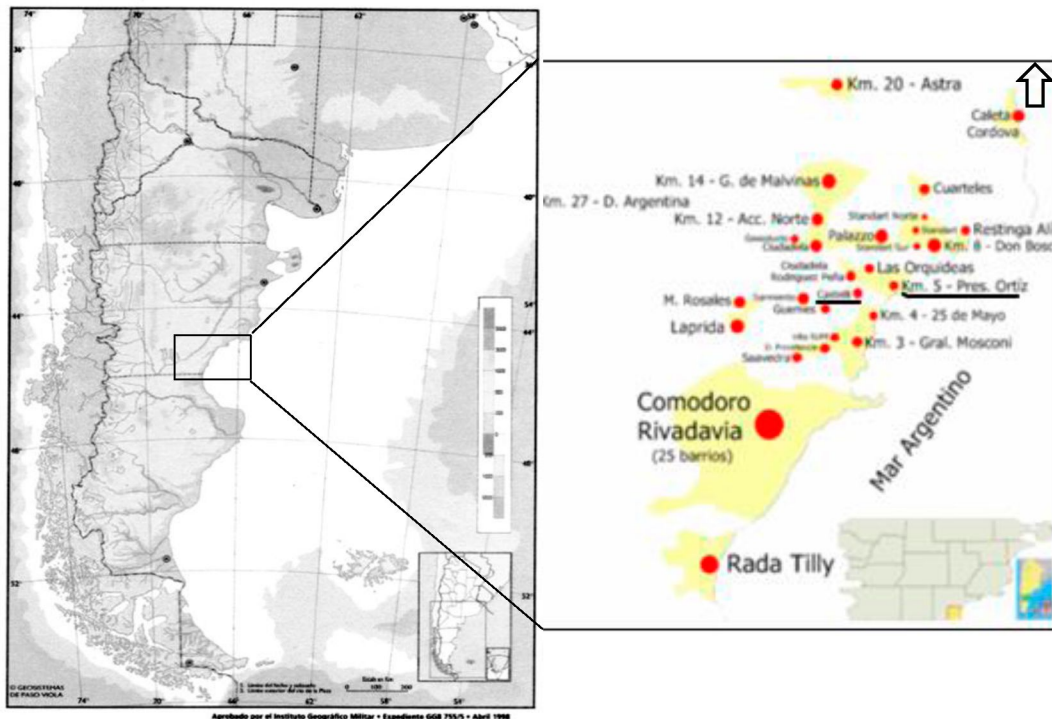


Fig. 1. Ubicación relativa del área de estudio en Comodoro Rivadavia, Chubut.

Las características geomorfológicas del área permiten discriminar dos sectores muy contrastantes entre sí: extensos territorios mesetiformes al norte y oeste y cordones litorales costeros al este. Las mesetas se encuentran recortadas por valles fluviales encajonados y aterrazados. La erosión hídrica fue labrando los valles profundos de arrumbamiento preferencial este-oeste que descienden de las mesetas como cañadones más o menos estrechos e irregulares y se amplían en proximidad a su desembocadura en el mar (Feruglio, 1950). En general los sectores costeros presentan acantilados de moderada a baja altura, playas de grava angostas, de arena amplias y restingas extendidas.

## CARACTERÍSTICAS AMBIENTALES

La zona de estudio corresponde a la Región Patagonia Oriental, caracterizada por un clima semiárido según la Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO, 1997). Los vientos en la zona son secos y fríos, predominantes del oeste con una leve influencia oceánica, que solo se transmite hacia las temperaturas medias anuales. El viento tiene una velocidad media anual de 32 km/h promediando tanto las ráfagas como las calmas. Las precipitaciones quedan por debajo de los 300 mm anuales. En la provincia la temperatura media máxima de los meses de enero, febrero y marzo es de 24, 2° C y la media mínima es de 12, 4° C; durante los meses de junio, julio y agosto la temperatura media máxima es de 11, 3° C y la media mínima es de 3, 4° C (Datos Servicio Meteorológico Nacional).

El Arroyo Belgrano nace en la vertiente oriental de la Pampa del Castillo (ubicada al sureste de la provincia) para luego de recorrer extensos cañadones desembocar en una zona costera de playa de grava, a la altura del Barrio Presidente Ortiz, Km 5. Los principales flujos de entrada al cuerpo de agua son las precipitaciones y el aporte de acuíferos de carácter salobre. El régimen hídrico del Arroyo históricamente fue de carácter temporario, aunque actualmente presenta un flujo continuo de escaso caudal. Este cambio de régimen se debe al aporte constante de efluentes cloacales sin tratar y probables efluentes industriales (Campano, 2007).

## METODOLOGÍA DE CAMPO Y DE LABORATORIO MUESTREOS

El monitoreo del Arroyo Belgrano se llevó a cabo en los tramos comprendidos entre los barrios Presidente Ortiz-Km 5 y Juan José Castelli, seleccionándose dos sitios de muestreo: sitio 1, en inmediaciones del puente de ingreso al Barrio Presidente Ortiz y sitio 2 próximo al puente del Barrio Castelli (Fig. 2 y Anexo). Se eligió este último tramo por ser el sector donde convergen efluentes domiciliarios que provienen de distintos barrios. Según Gallhofer (2013) la descarga cloacal del barrio Castelli al Arroyo Belgrano es más importante que la del barrio Presidente Ortiz, posiblemente debido a que una gran parte de este último barrio está conectado a la red cloacal.



**Fig. 2.** Ubicación de los sitios de muestreo en los Barrios Presidente Ortiz (45° 49' 14,68" S y 67° 27' 25,89" O) y Castellí (45°48' 52,54" S y 67° 27' 16,03" O).

En el período comprendido entre noviembre de 2016 a marzo de 2017, se tomaron con una frecuencia mensual, por triplicado, muestras directas de superficie de 100 mL (24 unidades muestrales). Las muestras fueron recolectadas en frascos de plástico (capacidad de 120 mL) y transportadas en heladera portátil a las instalaciones del laboratorio.

Se realizaron registros *in situ*, de los factores físico-químicos (pH, salinidad, temperatura del agua y ambiente, oxígeno disuelto, sólidos totales disueltos, potencial de óxido-reducción) utilizando una sonda multiparamétrica YSI 556 MPS, asimismo se realizaron observaciones de campo (viento, color del agua, presencia de espumas, olor) (UNESCO, 2009).

Los valores de conductividad eléctrica se obtuvieron de la conversión de los valores de Sólidos Totales Disueltos (TSD) (Datos de Lenntech):

$$\begin{aligned} \text{TSD (ppm)} &= f \times \text{CE (Us /cm)} \quad \text{es decir:} \\ \text{CE (Us/cm)} &= \text{TSD (ppm)} / f \\ \text{CE} &= \text{conductividad eléctrica} \\ f &= \text{Factor de conversión} = 0,5 \end{aligned}$$

## PROCESAMIENTO DE LAS MUESTRAS

Una parte de cada muestra se mantuvo *in vivo* para la observación del fitoplancton y el cultivo de cianobacterias; la otra se fijó con formaldehído al 4% depositándolas en el laboratorio debidamente rotuladas. Las muestras destinadas al análisis cuantitativo fueron fijadas y luego concentradas a 80 mL mediante pipeta Pasteur.

## ANÁLISIS CUALITATIVO DEL FITOPLANCTON

Las muestras se observaron con microscopio óptico binocular Zeiss y Axioplan con aumentos de 40X y de 100X. Cada una de ellas se analizó hasta que no se encontraron nuevas especies en la observación de cinco preparados microscópicos consecutivos.

## ANÁLISIS TAXONÓMICO

Las determinaciones se realizaron siguiendo bibliografía específica para cada grupo taxonómico (Parra *et al.*, 1982 I; Rivera *et al.*, 1982; Streble & Krauter, 1987; Komárek & Anagnostidis, 2005; Komárek *et al.*, 2003; Rosowski, 2003; Kocielek & Spaulding, 2003; Patrick & Reimer, 1966). Los organismos han sido ilustrados mediante el uso de cámara fotográfica CMOS Tucsen incorporada a los microscopios binoculares empleados. Las mediciones de los ejemplares fueron realizadas mediante ocular micrométrico graduado.

## ANÁLISIS CUANTITATIVO DE CYANOBACTERIA

Para la cuantificación de las cianobacterias se aplicó el método de Sedgwick-Rafter, recomendado cuando predominan las formas filamentosas. Se analizaron para cada sitio y estación 3 muestras por duplicado (24 um en total), contabilizándose en cada una de ellas las cianobacterias presentes en 50 celdillas y luego se promediaron los valores. Posteriormente, los valores obtenidos en el conteo se extrapolaron a número de células por mililitro empleando las siguientes fórmulas:

$$\text{Cél/mL} = \frac{\text{N}^\circ \text{ de células contadas} \times 1000}{\text{N}^\circ \text{ celdas contadas}} \Bigg/ \text{FC (Factor de Corrección)}$$

$$\text{FC} = \frac{\text{Volumen original (mL)}}{\text{Volumen final de concentrado}}$$

## CULTIVO Y AISLAMIENTO DE CIANOBACTERIAS

Para el cultivo de las especies de cianobacterias se empleó el medio BG11(Rippka *et al.*, 1979), inoculándose por triplicado 5 mL de las muestras en frascos de vidrio con 50 mL de medio nutritivo líquido (6 frascos en total). Los cultivos fueron incubados bajo condiciones ambientales de laboratorio y monitoreados semanalmente por un período de 30-40 días.

Para el aislamiento posterior de las especies se aplicó el método de pipeteo capilar (Álvarez Arellano, 1994). Los inóculos seleccionados fueron cultivados en medio BG11 líquido y mantenidos en condiciones de laboratorio.

## ANÁLISIS ESTADÍSTICO

El Análisis de Componentes Principales (ACP) es una técnica de ordenación, en el cual los ejes son seleccionados para que representen combinaciones de las variables suministradas. Los datos se ingresaron a partir de una matriz de 4 unidades muestrales por 12 variables: temperatura del agua y del aire, sólidos totales disueltos, salinidad, oxígeno disuelto, pH, potencial de óxido reducción, profundidad, conductividad, velocidad del viento y las especies *Planktothrix isoethrix* y *Pseudanabaena limnetica*.

Los gráficos de las variables se representaron en un diagrama simple (denominado biplot), a la misma escala y con los ejes superpuestos. Con el programa empleado las observaciones son graficadas como puntos azules y las variables como vectores desde el origen con terminaciones en círculos amarillos.

Las variables dispuestas en ángulo agudo se hallan correlacionadas positivamente, en tanto que aquellas dispuestas en ángulos obtusos indican correlaciones negativas. Los vectores correspondientes a variables cuantitativas

se orientan en el sentido del máximo cambio de los parámetros respectivos en el diagrama.

Complementariamente se llevó a cabo un Análisis de Clasificación (Modo Q) mediante el método UPGMA de aglomeración jerárquica (Sneath & Sokal, 1973; Legendre & Legendre, 1979), aplicando el índice de distancia Euclidiana, el cual es adecuado para datos físicos y químicos. El número de grupos fue obtenido de acuerdo a la mayor distancia entre grupos en pasos sucesivos de la aglomeración (Hair *et al.*, 1992). Para estos análisis se empleó el programa INFOSAT (Di Rienzo *et al.*, 2018).

## RESULTADOS

### ANÁLISIS TAXONÓMICO

A partir de las muestras tomadas durante el período establecido, el análisis taxonómico del fitoplancton determinó un total de dos especies registradas para Cyanobacteria, Orden Oscillatoriales: *Planktothrix isothrix* (Familia Phormidiaceae) y *Pseudanabaena limnetica* (Familia Pseudanabaenaceae) ilustradas en las Figs. 3 y 4, respectivamente. Otros grupos taxonómicos observados en los sitios analizados fueron Euglenophyta y Bacillariophyta.

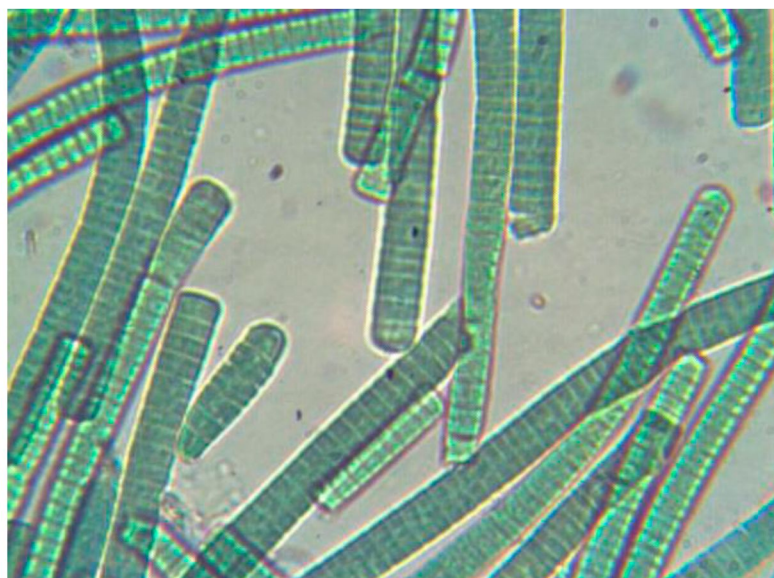


Fig. 3. *Planktothrix isothrix* (Skuja) Komárek et Komárková 2004. (M.O.C.100X)



Fig. 4. *Pseudanabaena limnetica* (Lemmermann) Komárek 1974. (M.O.C.100X)

## RECUESTO DE MICROALGAS

En la Tabla 1 se indica el valor total del recuento realizado a las muestras provenientes de los sitios estudiados, correspondiendo el mayor valor a las muestras de verano.

**Tabla 1.** Recuento total de cianobacterias observadas en las muestras.

Sitio	Estación	Cianobacterias totales
Belgrano	Primavera	311,83
	Verano	16900,5
Castelli	Primavera	4248,16
	Verano	18599,5

En la Tabla 2 se indica el número de células por mililitro correspondiente a las muestras de primavera y verano. En los dos sitios, los valores más altos se registraron en la época estival. Por otro lado, en primavera, el número de células/mL fue notoriamente elevado en el sitio Castelli en relación al sitio Belgrano.

**Tabla 2.** Cálculo del número de células por mililitro. FC (Factor de corrección) = 100ml/80ml

Sitio	Estación	N° de cél/mL	FC
Belgrano	Primavera	4989,28	1,25
	Verano	270408	
Castelli	Primavera	67970,56	1,25
	Verano	297542	

En la Tabla 3 se indica la relación porcentual de cada taxón con respecto al total de taxones identificados.

**Tabla 3.** Abundancia relativa de cada especie en las muestras fijadas.

Sitio	Estación	<i>Planktothrix isothrix</i>	<i>Pseudanabaena limnetica</i>
Belgrano	Primavera	311,83 (100%)	0
	Verano	14911,16 (88%)	1989,33 (12%)
Castelli	Primavera	4248,16 (100%)	0
	Verano	17736,83 (95%)	862,66 (5%)

La mayor abundancia relativa correspondió a *Planktothrix isothrix* (Phormidiaceae) en las dos estaciones del año y sitios estudiados.

## CULTIVO Y AISLAMIENTO

De las dos especies de cianobacterias potencialmente tóxicas identificadas y cultivadas, sólo *Planktothrix isothrix* fue aislada y se mantuvo viable en el medio nutritivo BG11 líquido bajo condiciones ambientales (Fig.5).

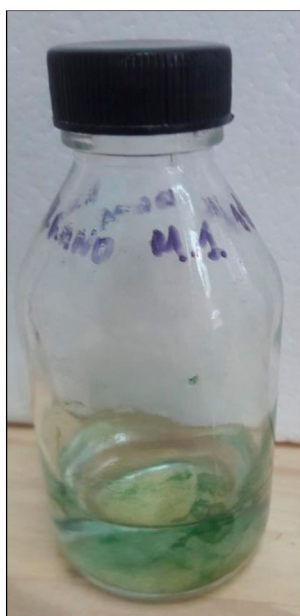


Fig. 5. Filamentos de *Planktothrix isothrix*.

## ANÁLISIS DE LOS DATOS FISICOQUÍMICOS

Los valores fisicoquímicos tomados en los sitios muestreados se observan en la Tabla N° 4.

Tabla 4. Características fisicoquímicas del Arroyo Belgrano por estación y sitios.

Sitio de Muestreo	Belgrano		Castelli	
	Primavera	Verano	Primavera	Verano
Estación del Año				
Temperatura del Agua (°C)	18,4	19,5	16,65	18,2
Temperatura Ambiente (°C)	17	17,5	17	17,5
Salinidad	2,94	3,6	5	6,2
pH	10,02	9,6	9,6	9,4
% Oxígeno Disuelto	115,9	122,5	133,8	133,2
Potencial Óxido Reducción	-98,2	- 82,5	-78,4	-80,2
Oxígeno Disuelto (mg/L)	10,72	12,1	12,66	12,8
Sólidos Totales Disueltos (g/L)	3,52	5,78	3,82	6,2
Conductividad (uS/cm)	7040	11560	11560	12400
Profundidad (cm)	25	20	5	3
Velocidad del Viento (km/h)	25,75	19	25,75	19

La temperatura del agua no presentó diferencias notorias entre estaciones y sitios, observándose un valor mínimo en primavera, sitio Castelli y uno máximo en verano, sitio Belgrano. La temperatura ambiente registró valores similares entre estaciones y sitios.

Los valores de salinidad resultaron mayores en primavera y verano en sitio Castelli con respecto al sitio Belgrano. Los valores de pH variaron dentro de un rango alcalino, superiores a 9, sin grandes variaciones entre estaciones y sitios. El oxígeno disuelto en agua presentó valores mayores en primavera y verano en sitio Castelli en relación al sitio Belgrano. Los valores negativos más bajos del potencial de óxido-reducción se registraron en primavera y verano, sitio Belgrano. Los sólidos totales disueltos presentaron valores mayores en ambos sitios durante el verano con respecto a primavera. La conductividad del agua fue menor en primavera en sitio Belgrano y mayor en verano en sitio Castelli, registrándose valores semejantes entre verano Belgrano y primavera Castelli. La profundidad fue mayor en sitio Belgrano con respecto al sitio Castelli.

Durante los meses de muestreo la nubosidad promedio (50%) correspondió a la categoría parcialmente nublado (Datos de Weather Spark). La velocidad del viento fue mayor en primavera (25,75 km/h) que en verano (19 km/h). En ambas estaciones del año, el agua del sitio Belgrano presentó olor fétido, color verdoso intenso, acentuado en verano, espuma y burbujeo. En sitio Castelli, el color del agua fue similar al de sitio Belgrano, observándose en verano una mancha superficial de color verde azulado brillante próxima a una de las orillas.

## DATOS ESTADÍSTICOS

En el ACP se emplearon dos Componentes Principales (CP) que explicaron el 96% de la variabilidad total de los datos. El CP1 explicó el 63% de la variabilidad mientras que el CP2 representó el 33% concentrando en dos dimensiones la variabilidad estudiada (Tabla 5).

**Tabla 5.** Autovalores del Análisis de Componentes Principales.

Lambda	Valor	Proporción	Proporción Acumulada
1	7,56	0,63	0,63
2	3,97	0,33	0,96
3	0,47	0,04	1,00
4	0,00	0,00	1,00
5	0,00	0,00	1,00
6	0,00	0,00	1,00
7	0,00	0,00	1,00
8	0,00	0,00	1,00
9	0,00	0,00	1,00
10	0,00	0,00	1,00
11	0,00	0,00	1,00
12	0,00	0,00	1,00

Los autovectores e1 y e2 (Tabla 6) muestran los coeficientes con que cada variable original fue ponderada para constituir las CP1 y CP2.

**Tabla 6.** Autovectores del Análisis de Componentes Principales.

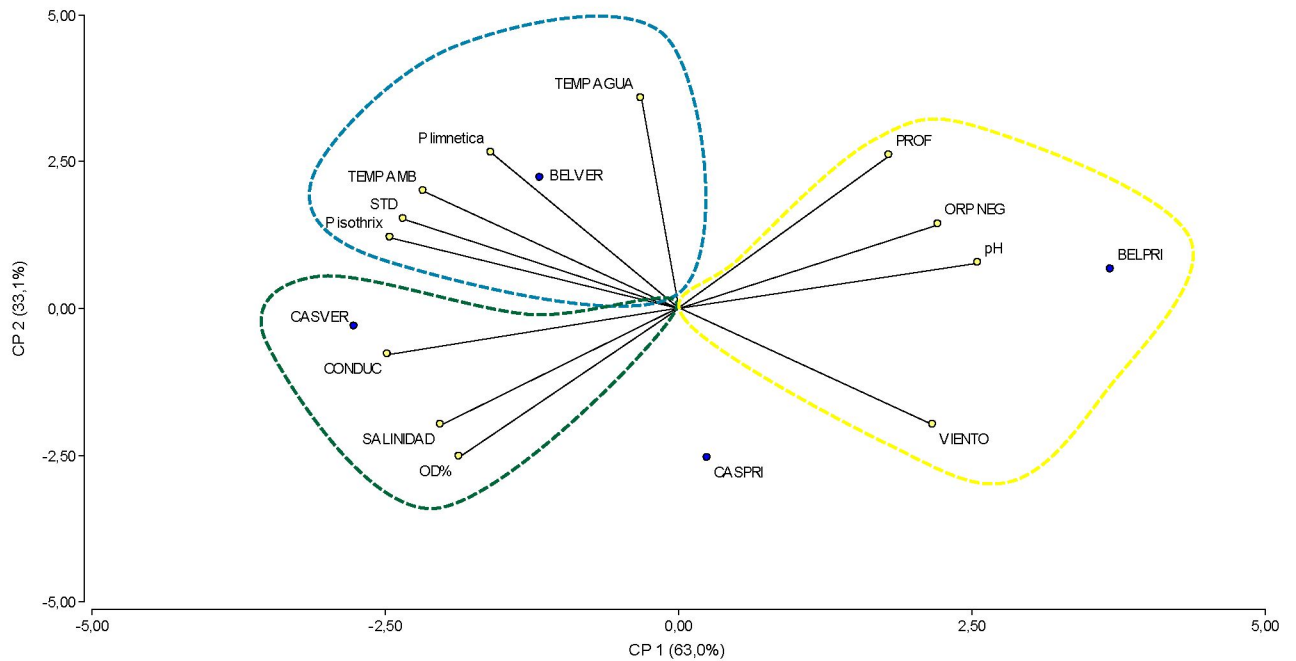
Variables	e1	e2
Temperatura del agua	-0,04	0,50
Sólidos totales disueltos	-0,32	0,21
Salinidad	-0,28	-0,28
pH	0,36	0,11
Oxígeno disuelto %	-0,26	-0,35
Potencial de óxido reducción	0,31	0,20
Profundidad	0,25	0,36
Conductividad	-0,34	-0,11
Viento	0,30	-0,28
Temperatura ambiente	-0,30	0,28
<i>P. isothrix</i>	-0,34	0,17
<i>P. limnetica</i>	-0,22	0,37

Al construir la CP1 las variables pH, potencial de óxido reducción y viento reciben pesos positivos relativamente altos y las variables conductividad, sólidos totales disueltos, temperatura ambiente y *P. isothrix* pesos negativos medianamente altos. La temperatura del agua presentó el peso negativo más bajo.

Al construir la CP2 las variables profundidad y *P. limnetica* reciben pesos positivos relativamente altos y temperatura del agua el más alto. La variable pH obtuvo el peso positivo más bajo y conductividad el peso negativo más bajo, mientras que el oxígeno disuelto recibió un peso negativo medianamente alto.

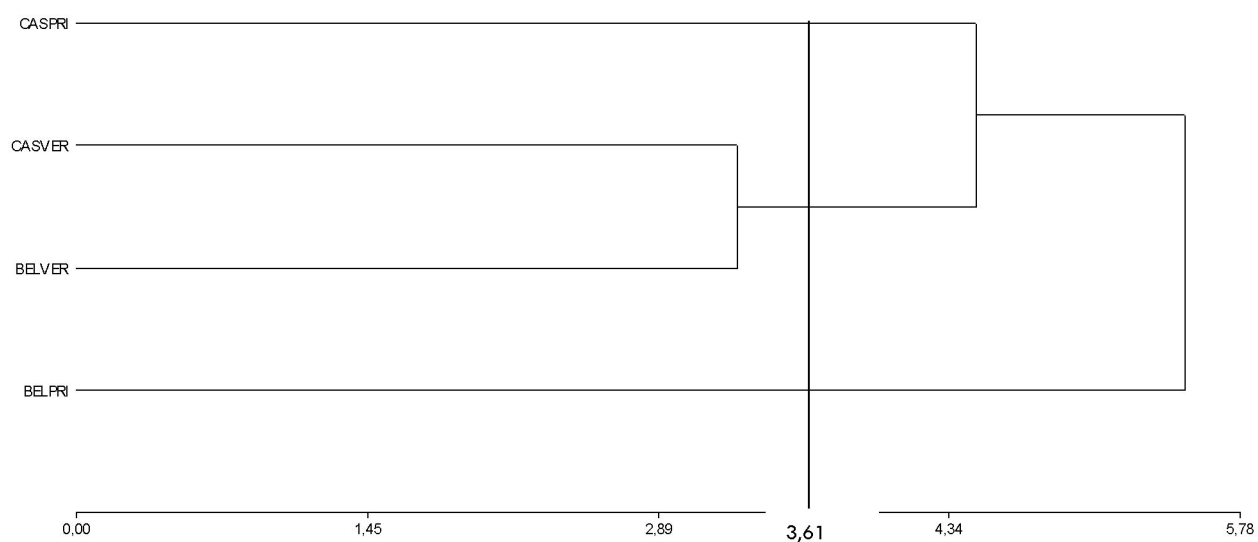
El gráfico de dispersión o biplot (Fig. 6) realizado con las dos componentes principales permitió visualizar tres asociaciones. En la primera asociación señaló una correlación positiva entre las variables temperatura ambiente, sólidos totales disueltos, el sitio Belgrano en verano y las especies *P. isothrix* y *P. limnetica*. La

variable temperatura del agua presentó una correlación negativa con el sitio Castelli en primavera. Una segunda asociación estuvo conformada por profundidad, potencial de óxido reducción, pH, viento y el sitio Belgrano en primavera. Las variables conductividad, salinidad, oxígeno disuelto y el sitio Castelli en verano formaron la tercera asociación.



**Fig. 6.** Diagrama de ordenación mediante la técnica de Componentes Principales. Matriz de 4x12. Muestras: BELPRI: Belgrano Primavera. BELVER: Belgrano Verano. CASPRI: Castelli Primavera. CASVER: Castelli Verano. Variables: TEMP AMB: Temperatura ambiente. pH. STD: Sólidos Totales Disueltos. COND: Conductividad. SAL: Salinidad. OD%: Oxígeno Disuelto %. ORP: Potencial de Óxido Reducción. TEMP AGUA: Temperatura del agua. PROF: Profundidad. VIENTO. *P. isothrix*. *P. limnetica*. Asociación 1 (líneas punteadas azules); Asociación 2 (líneas punteadas amarillas); Asociación 3 (líneas punteadas verdes).

El carácter complementario de la técnica de agrupamiento (Modo Q) aplicado a las unidades muestrales BELPRI, BELVER, CASVER y CASPRI señaló un resultado similar al obtenido con el ACP y un índice de correlación cofenética = 0,806. Se fijó un criterio de corte arbitrario en la distancia 3,61 mostrando el fenograma (Fig. 7) un agrupamiento principal compuesto por las muestras CASVER y BELVER y como muestras no agrupadas CASPRI y BELPRI.



**Fig. 7.** Diagrama de agrupamiento del análisis de UPGMA, sobre las unidades muestrales BELPRI: Belgrano Primavera. BELVER: Belgrano Verano. CASPRI: Castelli Primavera. CASVER: Castelli Verano.

## DISCUSIÓN

El conocimiento de la relación entre los factores ambientales y las comunidades de cianobacterias en los cuerpos de agua continentales constituye una información importante dado que son consideradas bioindicadores de la calidad del agua y algunas de sus especies son sensibles a los cambios que ocurren en ella. Según Russo y Giannuzzi (2017) las modificaciones del ambiente influyen sobre las floraciones de cianobacterias y favorecen la permanencia de las poblaciones, algunas de las cuales producen y liberan toxinas que representan un problema para otros organismos que habitan el medio acuático, para la salud y actividades que realiza el hombre.

Según el análisis taxonómico, el fitoplancton en el área de estudio está representado por las Clases Cyanobacteria, Euglenophyceae y Bacillariophyceae. La comunidad de cianobacterias está compuesta por dos especies, este bajo número podría deberse a cambios en las condiciones ambientales del arroyo que causarían pérdidas de la diversidad, o como cita Aragão-Tavares *et al.* (2013), a la ocurrencia de floraciones dominadas por una o más especies de cianobacterias, en este caso, *Planktothrix isoethrix* y *Pseudanabaena limnetica*, formadoras de floraciones y potencialmente toxigénicas (Pizzolón, 1996; Wenzel & Díaz, 2008).

En los sitios Belgrano y Castelli existió un incremento importante en el número de células durante el verano (270.408 y 297.542 células/mL respectivamente), posiblemente debido a una mayor disponibilidad de nutrientes, principalmente fósforo y nitrógeno.

La abundancia relativa presentó variaciones notorias. Los mayores valores de abundancia (88-100%) corresponden a *P. isoethrix* en las dos estaciones del año y sitios estudiados, mientras que para *P. limnetica*, registrada en verano, los valores más altos (12%) se observan en el sitio Belgrano. La ausencia de esta especie en primavera podría relacionarse con la acción de lavado producida por influencia de los parámetros físicos (velocidad de la corriente y turbidez) y químicos del agua (pH) que afectan al desarrollo de cianobacterias susceptibles. Por otro lado, la menor abundancia estival de *P. limnetica* en sitio Castelli, podría explicarse por la proliferación masiva de *P. isoethrix* durante esta estación, evidenciada como una mancha de pintura vestigial

de color verde azulado brillante. Según UNESCO (2009) y Aguilera & Echenique (2017) las floraciones de cianobacterias suelen ir acompañadas por la liberación de toxinas que representan un serio riesgo para la biota asociada a los cuerpos de agua afectados.

En el medio de cultivo empleado crecieron y fueron aislados inóculos de *P. isothrix*. Es probable que las condiciones de cultivo empleadas no fueran adecuadas a los requerimientos específicos de *Pseudanabaena limnetica*.

La composición específica del arroyo se puede atribuir, posiblemente, a la influencia de los parámetros físicos y químicos analizados, en los que no se observaron fluctuaciones considerables. Los valores de oxígeno disuelto indican que el agua está sobresaturada, esto se adjudica a la acción de las algas (cianobacterias y microalgas eucariotas fotooxigénicas) que producen oxígeno más rápido del que puede ser usado o liberado a la atmósfera. Los valores altos de conductividad en el sector evidencian la elevada salinidad de las aguas. Las variaciones en los valores de salinidad entre sitios de muestreo se pueden deber a diferencias locales en la geología y mineralogía de los estratos por los que circula el arroyo (Hirtz *et al.*, 2000). Los valores de pH variaron dentro de un rango alcalino superiores a 9. Éstos se relacionan con una elevada actividad fotosintética que desplaza el equilibrio ácido-base, aumentando la concentración de carbonatos (Wetzel, 1981). Los potenciales redox negativos pueden deberse a un crecimiento extensivo de microorganismos heterótrofos (Atlas & Bartha, 2002). Es posible adjudicar en parte la presencia de estos microorganismos al aporte de los efluentes cloacales, según Gallhofer (2013) fuente primaria de contaminación del arroyo.

Los sólidos totales disueltos, con valores más altos en verano, procederían de varias fuentes como son los efluentes cloacales, las aguas residuales industriales y aguas subterráneas, entre otros.

Las características organolépticas del agua en verano evidenciaron la presencia de una floración algal acumulativa en los dos sitios estudiados.

El ACP separó a las muestras estivales de los sitios Belgrano (Km 5) y Castelli de las muestras de primavera, constituyéndose tres asociaciones a las que aportaron variables particulares. Los taxa *P. isothrix* y *P. limnetica* integraron

la asociación<sup>1</sup> (BELVER) correlacionando positivamente con los determinantes ambientales sólidos totales disueltos y temperatura ambiente.

La similitud entre los resultados del Análisis de Clasificación y los del ACP robustece el análisis realizado.

Para ampliar el conocimiento de la participación de los factores ambientales en el establecimiento y proliferación de las comunidades cianobacterianas en el Arroyo Belgrano se recomienda el monitoreo anual.

## CONCLUSIONES

- En el tramo del Arroyo Belgrano, comprendido entre los barrios Presidente Ortiz-Km 5 y Juan José Castelli de la ciudad de Comodoro Rivadavia, se identificaron dos especies de cianobacterias potencialmente tóxicas: *Planktothrix isoethrix* y *Pseudanabaena limnetica*.
- *Planktothrix isoethrix* fue la especie cianobacteriana dominante en los dos sitios muestreados, tanto en primavera como verano. *Pseudanabaena limnetica* se observó solamente en verano.
- Mediante el análisis multivariado se definieron tres asociaciones en relación a las muestras y los factores ambientales considerados. La primera asociación estuvo representada por muestras relacionadas con las variables temperatura ambiente, sólidos totales disueltos, el sitio Belgrano en verano y las especies *P. isoethrix* y *P. limnetica*. La segunda asociación estuvo conformada por profundidad, potencial de óxido reducción, pH, viento y el sitio Belgrano en primavera. Las variables conductividad, salinidad, oxígeno disuelto y el sitio Castelli en verano formaron la tercera asociación.
- Se determinó una correlación positiva entre las dos especies y los factores ambientales temperatura, sólidos totales disueltos, conductividad del agua, salinidad, oxígeno disuelto y correlación negativa con profundidad, potencial de óxido reducción, pH y viento.
- Este trabajo representa un primer aporte al conocimiento sobre la influencia de los factores ambientales en la composición y distribución de las cianobacterias en área de estudio.

## AGRADECIMIENTOS

Principalmente a mis padres que me dieron la vida y me enseñaron valores como la solidaridad, el respeto y el amor, y me inculcaron que la educación es lo más importante para que una sociedad pueda prosperar. A mi hermana, que gracias a su apoyo incondicional me dio fuerzas en momentos difíciles y me impulsó a terminar la Práctica Profesional a pesar de las adversidades.

A la Escuela Provincial N° 32 y a la Escuela Provincial N° 723 “Puerto Argentino” donde transcurrió mi trayectoria escolar, donde aprendí a leer, escribir y ser mejor persona. A mi profesora de primaria Cristina Carrizo que me guio en los primeros pasos de la vida escolar, una persona totalmente cariñosa y dulce que por muchos años fue como una mamá. A mi profesora de la secundaria, Blanco de la asignatura Ecología, que gracias a ella elegí la carrera universitaria Lic. En Protección y Saneamiento Ambiental, porque me inspiró a tenerle respeto al medio ambiente, a cuidarlo y preservarlo, generando conciencia a las generaciones presentes y futuras.

A la Universidad Nacional de la Patagonia San Juan Bosco que me vio crecer y convertirme a partir de hoy en una profesional, que me dio amigos imborrables, compañeros de cursada geniales y profesores que me llevo para siempre en mi corazón.

A mi Asesora de Práctica Profesional, MSc. Hilda del Valle Zalazar, por la paciencia, la orientación, la ayuda incondicional y el tiempo que me brindó en la elaboración de este trabajo, por su cariño y amistad que me permitieron aprender a cada instante.

A los docentes Roberto Cerda, Mónica Becerra y Claudia Ciuro por la ayuda, el material y el conocimiento brindado para la elaboración de este proyecto.

Al departamento de Biología y Ambiente por posibilitarme el uso de sus laboratorios.

Y para finalizar, a mis amigos que me impulsaron a terminar esta Práctica Profesional, me escucharon, me apoyaron y me dieron buenas energías para seguir adelante.

## BIBLIOGRAFÍA

- Aguilera, A. & Echenique, R.O. 2017. Consideraciones generales de Cianobacteria: aspectos ecológicos y taxonómicos. En Leda Giannuzzi et al. (Ed.). Cianobacterias como determinantes ambientales de la salud (21-40). Ministerio de Salud de la Nación. Departamento de Salud Ambiental.
- Alvarado, Z. G.; Amateco, R. F. S.; Borja, M. S.; Valdéz, S. Z. & Valero, G. M. E. 2009. Composición del fitoplancton del Lago de Catemaco, Veracruz, México. Metodología Científica IV. Universidad Autónoma de México.
- Álvarez Arellano, H.G. 1994. Introducción al método ficológico. Folleto de algas. Escuela Superior Politécnica del Litoral, Ecuador.
- Aragão-Tavares, N.K.C.; Moura, A.N. & Bittencourt-Oliveira, M.C. (2013). Planktonic Cyanobacteria forming blooms in reservoirs of northeastern Brazil. Revista Brasileira de Ciências Agrarias. Recife 8 (4), 662-668.
- Atlas, R.M. & Bartha, R. 2002. Ecología microbiana y Microbiología ambiental. Pearson Educación, S.A., Madrid. 696 pp.
- Campano, D.A. 2007. Estudio sobre la contaminación del Arroyo Belgrano en la zona de la desembocadura. Informe Final de Práctica Profesional, Universidad Nacional de la Patagonia San Juan Bosco.
- De Monte, M. D. 2013. Identificación de microalgas planctónicas de un ambiente perturbado por la actividad antrópica: Arroyo Belgrano, Comodoro Rivadavia- Chubut. Informe de Práctica Profesional, Universidad Nacional de la Patagonia San Juan Bosco.
- Di Rienzo J.A; Casanoves; F.; Balzarini, M.G.; González, L.; Tablada, M. & Robledo, C.W. InfoStat versión 2018. Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. URL <http://www.infostat.com.ar>.
- Fay, P. 1983. The Blue-greens (Cyanophyta-Cyanobacteria). The Institute of Biology's Studies in Biology nº 160. (Ed. E. Arnold) Ltd. London.
- Feruglio, E. 1950. Descripción Geológica de la Patagonia. Dirección General de Yacimientos Petrolíferos Fiscales. T.III 432 pp.
- Gallhofer, P.M. 2013. Conflicto Ambiental en Comodoro Rivadavia. Estudio de Caso Arroyo Belgrano. Tesis de Grado, Universidad Nacional de la Patagonia San Juan Bosco.

- Hair, J. F., Anderson R E, Tatham R L & Black W C. 1992. Multivariate analysis with readings. Third Edition. Macmillan Publishing Company, New York. 544 pp.
- Hirtz, N.; Grizinik, M. & Blachakis, A. 2000. Geohidrología aplicada al desarrollo urbano de la ciudad de Comodoro Rivadavia. Chubut. Revista ASAGAI 15:4-10.
- Isasmendi, S.C.; Seeligmann, C.T.; Martínez De Marco, S.N. & Tracanna, B.C. 2002. Flora diatomológica de un canal de descarga de desechos mineros (Tucumán-Argentina). Bol. Soc. Argent. Bot. 37 (1-2):41-49.
- Kelly, M. G. & Whitton, B.A. 1998. Biological monitoring of eutrophication in rivers. Hidrobiología 384: 55–67.
- Kociolek, J.P. & Spaulding, S.A. 2003. Symmetrical naviculoid diatoms. In: Wehr J. D & Sheath, R. G (eds.) Freshwater Algae of North America. Ecology and Classification. Elsevier Science, USA. 637-653 pp.
- Komárek, J; Komárkova, J & Kling, H. 2003. Filamentous Cyanobacteria. In: Wehr, J. D & Sheath, R. G (eds.) Freshwater Algae of North America. Ecology and Classification. Elsevier Science, USA, 117-196 pp.
- Komárek, J. & Anagnostidis, K. 2005. Cyanoprokaryota.2. Oscillatoriales. In: Büdel, B.; Krienitz, L.; Gärtner, G.; Schagerl, M. (eds.) Süßwasser flora von Mitteleuropa. Spektrum Akademischer Verlag. 759 pp.
- Legendre, L. & P. Legendre, 1979. Ecologie numérique. Tomo 2: La structure des données écologiques. Masson et les Presses de l'Université du Québec, Paris, 247 pp.
- Lenntech. <https://www.lenntech.es/calculadoras/tds/tdsyconductividad-electrica.htm>. [Fecha de consulta: 04/02/22].
- Mirande, V. & Tracanna, B.C. 2003. El fitoplancton del río Gastona (Tucumán, Argentina) y su relación con la calidad del agua. Bol. Soc. Argent. Bot. 38 (1-2):51-64.
- Mirande, V. & Tracanna, B.C. 2005. Fitoplancton de un río del noroeste argentino contaminado por efluentes azucareros y cloacales. Bol. Soc. Argent. Bot. 40 (3-4):145-150.

- Mirande, V.; Barreto, G.A.; Haleblan, S.E. & Tracanna, B.C. 2009. Biodiversidad del Parque Nacional Pre-Delta (Entre Ríos, Argentina) II. Estudio cuantitativo del fitoplancton. Bol. Soc. Argent. Bot. 44 (1-2):3-7.
- Parra, O. O; González, M; Dellarosa, V; Rivera, P. & Orellana, M. 1982. I. Cyanophyceae del Manual Taxonómico del Fitoplancton de aguas Continentales con especial referencia al fitoplancton de Chile. Universidad de Concepción, Chile. 70 pp.
- Patrick, R. & Reimer, C. 1966. The Diatoms of the United States. Monographs of The Academy of Natural Sciences of Philadelphia, 13. 688 pp.
- Pizzolón, L. 1996. Importancia de las Cianobacterias como factor de toxicidad en las aguas continentales. Interciencia 21(6): 239-245. URL: <http://www.interciencia.org.ve>.
- Quintero, R.; Albarracín, I. & Salomón, R. 2009. Ensayo ecotoxicológico en efluentes cloacales de la ciudad de Trelew utilizando microalgas como bioindicadores. Iº Congreso Internacional en Ambiente Y Energías Renovables. Organizado por el Instituto de Ciencias Básicas y Aplicadas de la Universidad Nacional de Villa María, Delegación Argentina de la Fundación para la Promoción de la Investigación y el Desarrollo Tecnológico Industrial (ProDTI).
- Rippka, R.; Deruelles, J. B.; Herdman, M. & Stanier, R. Y. 1979. Generic assignments, strain history and properties of pure culture of cyanobacterias. J. Gen. Microbiol. 11: 1-61.
- Rivera, P; Parra, O. O; González, M; Dellarosa, V. & Orellana, M. 1982. IV.- Bacillariophyceae del Manual Taxonómico del fitoplancton de aguas continentales con especial referencia al fitoplancton de Chile. Universidad de Concepción, Chile. 97 pp.
- Rosowski, J.R. 2003. Photosynthetic euglenoids. In: Wehr, J. D & Sheath, R. G (eds.) Freshwater Algae of North America. Ecology and Classification. Elsevier Science, USA. 383-422 pp.
- Russo, L. & Giannuzzi, L. 2017. Factores ambientales y antropogénicos que afectan la formación de floraciones de cianobacterias y cianotoxinas. En Leda Giannuzzi et al.(Ed.). Cianobacterias como determinantes

ambientales de la salud (71-93). Ministerio de Salud de la Nación. Departamento de Salud Ambiental.

- Servicio Meteorológico Nacional.  
<http://www.smn.gov.ar/?mod=pron&id=4&provincia=Chubut&ciudad=Comodoro%20Rivadavia>. [Fecha de consulta: 03/10/2016].
- Sneath, P. H. A. & Sokal, R. R. 1973. Numerical taxonomy. The principles and practice of numerical classification. W. H. Freeman, San Francisco, 573 pp.
- Stanier, R.Y. & Cohen-Bazire, G. 1977. Phototrophic Prokaryotes: The Cyanobacteria. In M.P. Starr, J.L. Ingraham & A. Balows (eds.), Annual Review of Microbiology 31. Annual Reviews Inc., Palo Alto, CA, Oct 1977: 225-274.
- Streble, H. & Krauter, D. 1987. Atlas de los Microorganismos de Agua Dulce. La vida en una gota de agua. Ediciones Omega, S.A., Barcelona. 337 pp.
- UNESCO. 1997. Mapas de la distribución mundial de las regiones áridas. MapTech, Notas 7:1-54.
- UNESCO. 2009. Cianobacterias Planctónicas del Uruguay. Manual para la identificación y medidas de gestión. Sylvia Bonilla (editora). Documento Técnico PHI-LAC, N° 16.
- Vásquez Silva, G.; Castro Mejía, G.; González Mora, I.; Pérez Rodrigo, R. & Castro Barrera, T. 2006. Bioindicadores como herramientas para determinar la calidad del agua. Contactos 60: 41-48.
- Weather Spark. <https://es.weatherspark.com/y/27479/Clima-promedio-en-Comodoro-Rivadavia-Argentina-durante-todo-ea%C3%B1o>. Fecha de consulta: [04/02/2022].
- Wenzel, T. & Díaz, M. 2008. Cyanophyta del Parque Nacional Nahuel Huapi (Argentina), II. Darwiniana 46 (1): 51-65.
- Wetzel, R.G. 1981. Limnología. Barcelona. Omega. 679 pp.
- Whitton, B. A. & Potts, M. 2000. Introduction of cyanobacteria. En: The Ecology of Cyanobacteria. Their Diversity in Time and Space (Editores B. A. Whitton & M. Potts) Kluwer Academic Publishers, The Netherlands. pp. 1-10.

- Yucra, H.A. & Tapia, P.M. 2008. El uso de microalgas como bioindicadores de polución orgánica en Brisas de Oquendo, Callao, Perú. *Biologist (Lima)* 6 (1):41-47.

**ANEXO**

**MUESTREOS EN EL ARROYO BELGRANO**



**A**



**B**

A: Sitio 1 (B° Pte. Ortiz-Km5); B: Sitio 2 (B° J.J. Castelli).