



“Diseño de equipos de filtración para el tratamiento de agua, con elevado contenido de cianobacterias, en la comuna de Potrero de Garay. Un caso de responsabilidad social”.

Proyecto integrador para la obtención del título de
Ingeniero Químico.

por

Brissio, Flavio Augusto

Córdoba, 2018

El presente Proyecto Integrador “Diseño de equipos de filtración para el tratamiento de agua, con elevado contenido de cianobacterias, en la comuna de Potrero de Garay. Un caso de responsabilidad social” desarrollado por Brissio Flavio Augusto, alumno de la carrera de Ingeniería Química, ha sido dirigido por:

.....
Prof. M. Cs. Raquel del Valle Bazán

Directora del Proyecto Integrador

.....
Prof. Ing. Carlos Quagliotti
Codirector del Proyecto Integrador

Dicho Proyecto ha sido aprobado el....., mereciendo la calificación de.....
(.....)

.....
Prof. Ing. Héctor Zanoni Raúl

.....
Prof. Dr. Alasino Noelia Pia Ximena

.....
Prof. Dr. Nassetta Mirtha Maria

DEDICATORIA

A mi madre, padre y hermana, sin su amor, aliento y apoyo incondicional no lo habría logrado nunca.

A mi segunda familia, “los Monsalve”, su amor fue uno de los pilares necesarios para lograr la finalización de mis estudios.

A mis abuelos, abuelas, tíos, tías y primos. Sin su constante apoyo no hubiera logrado ninguna de mis metas.

A mis amigos, por apoyarme siempre, incluso en tiempos donde el estrés invadía mi forma de relacionarme con ellos.

A mis profesores, por los conocimientos brindados.

AGRADECIMIENTOS

A la profesora Raquel Bazán, por su incansable seguimiento y apoyo.

Al profesor Carlos Quagliotti, por su invaluable consejo y experticia.

A Juan Manuel Fernandez, de Fluidos Patagonia, por su apoyo, consejo, experticia y por donar los materiales necesarios para la realización del proyecto.

A la profesora Nancy Larrosa, por su apoyo en momentos de urgencia.

Gabriel Carnichelli de la Administración Provincial de Recursos Hídricos (APRHI), por su apoyo desinteresado en la colaboración de toma de muestras.

A Juan Melian de la Administración Provincial de Recursos Hídricos (APRHI), por su colaboración en el traslado al embalse Los Molinos por brindar el Taller sobre cianobacterias.

Manuel y Cristian del Departamento de Estructuras de la Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, por suministrar los tamices necesarios para la realización del proyecto.

A Enzo Bonfanti por su colaboración en la toma de muestra del agua cruda del Embalse San Roque y donar los recursos para la determinación analítica de geosmina.

A María Inés Rodríguez por su colaboración en la toma de muestra del agua cruda del Embalse San Roque.

A Hernán Vivas, del Grupo Especial de Rescate por brindar el espacio para dar el Taller sobre concientización sobre la problemática de las cianobacterias y su incidencia en la salud.

A la profesora Ana Cossavella por su participación conjunta para brindar los talleres en las comunas de Potrero de Garay y al GERS de Calamuchita.

A Marta Pons, la Directora de la escuela Alfonsina Storni, de Potrero de Garay por abrir sus puertas para dar el Taller: “¿Por qué nuestros embalses están verdes?”

ÍNDICE GENERAL

1. INTRODUCCIÓN.....	2
2. DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO.....	4
3. MARCO TEÓRICO	6
3.1. Eutrofización	6
3.2. Cianobacterias	9
3.3. Cianotoxinas	11
3.3.1. Inhalación o dérmica	14
3.3.2. Dérmica.....	14
3.3.3. Intravenosa	14
3.4. Cianotoxinas y niveles máximos de referencia	14
3.5. Problemática local y antecedentes	15
4. OBJETIVOS.....	17
4.1. Objetivo General	17
4.2. Objetivos Específicos	18
4.3. Impacto del Proyecto.....	18
5. MÉTODOS DE REMOCIÓN DE CIANOBACTERIAS	20
5.1. Pretratamientos.....	20
5.1.1. Filtración vertical ascendente	20
5.1.2. Columnas verticales de filtración	21
5.2. Métodos químicos	21
5.2.1. Cloración.....	21
5.2.2. Ozono	22
5.2.3. Permanganato de Potasio (KMnO ₄)	22
5.3. Métodos físicos	22
5.3.1. Cribado y prefiltración	22
5.3.2. Coagulación y clarificación	22
5.3.3. Filtración rápida directa	23
5.3.4. Coagulación, sedimentación y filtración rápida.....	24
5.3.5. Filtración lenta de arena.....	24
5.3.6. Adsorción en carbón activado	26
5.4. Selección del método	26
6. DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE LOS EQUIPOS.....	30
6.1. Diseño de Prefiltro vertical ascendente (PFVA).....	30

6.2.	Diseño de Filtro Lento de Arena (FLA)	32
6.2.1.	Filtro Lento de Arena (FLA1)	33
6.2.2.	Filtro Lento de Arena (FLA2)	34
6.3.	Selección de materiales	35
6.3.1.	Caracterización de la arena.....	35
6.3.2.	Prefiltro Vertical Ascendente (PFVA).....	39
6.3.3.	Filtro Lento de Arena (FLA)	40
6.4.	Construcción	40
6.4.1.	Prefiltro Vertical Ascendente (PFVA).....	40
6.4.2.	Filtro Lento de Arena (FLA)	44
6.4.3.	Prototipos obtenidos	48
6.5.	Costos de las propuestas.....	49
6.5.1.	Costos de los filtros.....	49
6.5.2.	Costo de la implementación a nivel domiciliario	50
6.6.	Ensayos	52
6.6.1.	Prefiltro vertical ascendente (PFVA).....	52
6.6.2.	Filtro Lento de Arena (FLA)	53
6.6.3.	Resultados y discusión.....	54
6.7.	Caracterización del agua del embalse.....	56
6.7.1.	Identificación de Fitoplancton	58
6.7.2.	Resultados	59
7.	EFICIENCIA DE LOS EQUIPOS	63
7.1.	Introducción	63
7.2.	Sólidos en suspensión	63
7.3.	Recuento	64
7.4.	Resultados y discusión	68
7.4.1.	Prefiltro vertical ascendente	68
7.4.2.	Filtro lento de arena.....	69
8.	TALLERES BRINDADOS Y COMPROMISO SOCIAL	73
8.1.	Importancia Sanitaria de las Cianobacterias	73
8.2.	Aplicaciones del equipo diseñado.....	74
9.	CONCLUSIONES	77
9.1.	Respecto del objetivo general.....	77
9.2.	Respecto de los objetivos particulares	77
9.3.	Recomendaciones a Futuro	78
	ANEXOS.....	80

Anexo I. Manual de usuario para la construcción, uso y mantenimiento de filtro lento de arena	80
Anexo II. ENCUESTA Calidad de agua y contaminación.....	86
Anexo III. ENCUESTA DE OPINIÓN. Construcción del Filtro Lento de Arena.....	88
BIBLIOGRAFÍA.....	90

ÍNDICE DE ABREVIATURAS

BSF: Bio-Sand Filter.

CAA: Código alimentario argentino.

CAG: Carbón activado granular

cél: Células

cm: Centímetro.

cm²: Centímetros cuadrados.

dm³: Decimetro cúbico.

ELM: Embalse Los Molinos.

FCEFN: Facultad de Ciencias, Exactas y Naturales.

FLA: Filtro lento de arena.

GAC: Granulated activated carbon

GERS: Grupo especial de rescato y salvamento.

h: Horas.

INA-CIRSA: Centro de la Región Semiárida del Instituto Nacional del Agua.

IRAM: Instituto Argentino de Normalización y Certificación.

LSR: Lago San Roque.

L: litro.

m: Metro.

m²: Metros cuadrados.

m³: Metros cúbicos.

MC: Microcistina.

MCs: Microcistinas.

mg: Miligramo.

min: Minutos.

mL: Mililitro.

mm: Milímetro.

OMS: Organización Mundial de la Salud.

OECD: Organización para la Cooperación Económica y Desarrollo.

PAC: powdered activated carbon.

PE: Polietileno.

PFVA: prefiltro vertical ascendente.

pH: Potencial Hidrógeno.

PI: Proyecto integrador.

PP: Polipropileno.

PVC: Policloruro de Vinilo.

s: Segundos.

µg: Microgramo

UFC: Unidades formadoras de colonias.

UNC: Universidad Nacional de Córdoba.

UNESCO: Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura.

UV: Ultravioleta.

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. a) Agua de red Potrero de Garay. b) Coloración verdosa del agua del embalse Los Molinos.	3
Figura 2. Ubicación relativa del embalse Los Molinos.	4
Figura 3. Evolución demográfica de Potrero de Garay entre 1991 y 2001.	5
Figura 4. Vista panorámica del desarrollo urbano de Potrero de Garay.	6
Figura 5. Esquema con las principales consecuencias de la eutrofización.	8
Figura 6. Distribución Porcentual de Cianobacterias entre 2001 y 2009.	17
Figura 7. Distribución Porcentual de Cianobacterias entre 2010 y 2017.	17
Figura 8. Diagrama de bloques de las propuestas.	30
Figura 9. Diseño del equipo de Prefiltración (PFVA).	31
Figura 10. Esquema de los filtros lentos de arena (FLA).	32
Figura 11. Diferencia en la disposición de los medios filtrantes para cada alternativa. .	33
Figura 12. a) Arena sin lavar b) Arena limpia luego del lavado.	34
Figura 13. Extracción de arena en el río Los Reartes.	35
Figura 14. Diagrama acumulado del análisis granulométrico de arena del río.	37
Figura 15. Diagrama acumulado del análisis granulométrico de arena de construcción.	38
Figura 16. A la izquierda un adaptador tanque sin modificar, a la derecha un adaptador tanque a la que se le removieron parte de las orejas.	41
Figura 17. A la izquierda, la cañería modificada y a la derecha la cupla de reducción con la doble tapa perforada.	42
Figura 18. Fondo del prefiltro.	43
Figura 19. Salida del tanque de agua.	43
Figura 20. a) Tapas completas. b) Tapas sin bordes.	45
Figura 21. De izquierda a derecha, la doble tapa del prefiltro y las does de los filtros ..	45
Figura 22. A la izquierda la grilla con las perforaciones, y a la derecha las doble tapa perforadas.	46
Figura 23. Manguera cristal asegurada con precintos.	47
Figura 24. Equipos de filtración (en los extremos) y prefiltro (en medio).	48

Figura 25. Parte inferior de los equipos.....	48
Figura 26. Variación de la carga obtenida en el tiempo para FLA1.....	55
Figura 27. Variación de la carga obtenida en el tiempo en FLA2.....	56
Figura 28. Costa donde se realizaron los muestreos.....	57
Figura 29. Ubicación de la toma de agua de San Pedro, mediante una de las cuales la Comuna de Potrero de Garay succiona agua para abastecerse.....	57
Figura 30. Lago San Roque y el punto de muestreo sobre la playa.....	58
Figura 31. Dispositivo para crear vacío, kitasato con tapón y vaso contenedor de muestra, sostenido por una pinza metálica.....	59
Figura 32. <i>Staurastrum sp.</i> obtenida en muestra del ELM.....	60
Figura 33. <i>Dolichospermum sp.</i> obtenida en muestra del LSR.....	60
Figura 34. <i>Ceratium sp.</i> obtenida en muestra del LSR.....	60
Figura 35. <i>Aulacoseira sp.</i> obtenida del filtro FLA2 con agua del ELM.....	61
Figura 36. <i>Navícula sp.</i> obtenida en muestra del ELM.....	61
Figura 37. Caja de Petri invertida con el dibujo de 4 transectas.....	65
Figura 38. Resultados del tratamiento del agua luego de transcurridos 22 días.....	70
Figura 39. Resultados del tratamiento del agua con el prefiltro y el filtro FLA1 luego de transcurridos 22 días.....	71
Figura 40. A la izquierda se encuentra personal del GERS, a la derecha el autor del proyecto.....	74
Figura 41. Taller brindado en la escuela primaria Alfonsina Storni.....	74

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Cianotoxinas identificadas hasta la fecha sintetizados por diversos géneros de cianobacterias.	13
Tabla 2. Límites tolerables para parámetros complementarios de calidad para agua de consumo.....	15
Tabla 3. Ventajas y desventajas de los métodos de remoción de cianobacterias.	27
Tabla 4. Análisis granulométrico de arena del río Los Reartes.....	36
Tabla 5. Análisis granulométrico de arena de construcción.....	38
Tabla 6. Costos de la alternativa FLA1	49
Tabla 7. Costos de la alternativa FLA2.....	50
Tabla 8. Costo de realizar la instalación a nivel domiciliario.....	51
Tabla 9. Carga en función del tiempo para la Alternativa 1 (FLA1).....	55
Tabla 10. Carga en función del tiempo para Alternativa 2 (FLA2).	55
Tabla 11. Cálculo de desvío estándar.....	68
Tabla 12. Remoción de sólidos suspendidos en agua problema, proveniente del LSR.....	68
Tabla 13. Recuento de fitoplancton y cianobacterias.....	69
Tabla 14. Eficiencia de remoción de todo el sistema	70

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1. Tasa de carga.....	53
Ecuación 2. Número de organismos por mililitro.....	67
Ecuación 3. Desvío estándar.....	67

RESUMEN

En el presente Proyecto Integrador se desarrollan y construyen a escala piloto dos alternativas de filtros de arena (uno de ellos incluye además carbón activado granular) y un prefiltro vertical ascendente con el objetivo de remover cianobacterias del agua para uso domiciliario como agua corriente. Los equipos se construyeron para dar una solución a una cierta parte de la población de la comuna de Potrero de Garay en la provincia Córdoba, la cual es abastecida directamente con agua del embalse Los Molinos sin previo tratamiento.

Para llevar a cabo el proyecto, se realizaron mediciones *in situ* y en laboratorio para caracterizar el agua del embalse y el agua clarificada obtenida tras la filtración. Las mediciones y determinaciones realizadas se ejecutaron según métodos normalizados. Posteriormente, se seleccionó el método de remoción de cianobacterias más adecuado para ser reproducido por los vecinos de la comuna de Potrero de Garay. Se realizó la construcción de los equipos de prefiltración y filtración y se evaluó su eficiencia realizando la identificación y recuento de cianobacterias al microscopio. Para el prefiltro, además se evaluó la remoción de sólidos a través de la determinación de material en suspensión.

Los resultados mostraron que las muestras crudas tenían elevada concentración de cianobacterias (en algunos casos alcanzando valores de hasta $3,8 \times 10^5$ cél/L), siendo removidas en un 91,67% por el filtro de arena, que además fue más efectivo que el de arena con carbón activado en la remoción de fitoplancton por 6,64 %. El prefiltro fue eficiente en la remoción de cianobacterias para muestras de agua cruda con $3,8 \times 10^5$ cél/L, pudiendo remover hasta un 96,85%. Finalmente la remoción conjunta de ambos equipos alcanzó valores de hasta 99,74%.

Como parte del compromiso social estudiantil se desarrollaron talleres participativos con el fin de establecer una relación dialógica entre universidad y sociedad para responder a las demandas de la comuna de Potrero de Garay y elaborar conjuntamente propuestas que permitan su desarrollo.

Palabras clave: Remoción de cianobacterias, prefiltro vertical ascendente, filtro lento de arena, eficiencia de remoción.

ABSTRACT

In this Project, two alternatives of sand filters are developed and built at pilot scale (one of them also includes granular activated carbon) and an ascending vertical pre-filter with the objective of removing cyanobacteria from water for home use as running water. The equipment was built to provide a solution to a certain part of the population of the Potrero de Garay Commune in Córdoba province, which is supplied directly with water from the Los Molinos reservoir without prior treatment.

To carry out the project, measurements were made *in situ* and in the laboratory to characterize the reservoir water. The measurements and determinations made were executed according to standardized methods. Subsequently, the most appropriate cyanobacterial removal method was selected and to be reproduced by the residents of the Potrero de Garay Commune. The construction of the pre-filtration and filtration equipment was carried out and their efficiency was evaluated, making the identification and counting of cyanobacteria under the microscope. For the pre-filter, the removal of solids through the determination of suspended material was also evaluated.

The results showed that the crude samples had a high concentration of cyanobacteria (in some cases reaching values of up to 3.8×10^5 cells / L), being removed in 91.67% by the sand filter, which was also more effective than the sand with activated carbon filter in the phytoplankton removal by 6.64 %. The prefilter was efficient in the removal of cyanobacteria for samples of raw water with 3.8×10^5 cells / L, being able to remove up to 96.85%. Finally, the joint removal of both equipment reached values of up to 99.74%.

As part of the student social commitment participatory workshops were developed in order to establish a dialogical relationship between university and society to respond to the demands of the Potrero de Garay Commune and jointly develop proposals that allow its development.

Key words: Removal of cyanobacteria, ascending vertical pre-filter, slow sand filter, removal efficiency.

INTRODUCCIÓN

1. INTRODUCCIÓN

El agua es un elemento esencial para el desarrollo de toda sociedad. Parte de este recurso se almacena en lagos y embalses, los cuales son sitios estratégicos por ser reservorios de agua dulce utilizados para satisfacer necesidades del medio ambiente y la sociedad, siendo además indicadores del cambio climático (Dörnhöfer & Oppelt 2016). Las fuentes de aguas superficiales son eje de desarrollo de los seres humanos, ya que permiten el abastecimiento para diferentes actividades socioeconómicas llevadas a cabo en los asentamientos poblacionales. No obstante, de forma paradójica, muchas de éstas actividades causan alteración y deterioro de las mismas (Torres et al., 2009). Estos sistemas, al igual que el resto de los recursos hídricos del mundo, sufren los impactos generados por degradación ambiental, siendo la eutroficación, definida como el enriquecimiento de las aguas con nutrientes (Bhagowati & Ahamad 2018), el proceso con mayor implicancia en el deterioro de la calidad del agua, impactando negativamente en la salud pública/animal, el desarrollo económico y la capacidad de los ecosistemas para proporcionar servicios esenciales (Yan et al. 2017).

Así como los alimentos, el agua es un vehículo para la transmisión de una variedad de microorganismos patógenos, siendo la causa de importantes brotes de enfermedades en todo el mundo, en los países desarrollados y en desarrollo (Kirby et al., 2003). Particularmente, en cuerpos de agua eutróficos la presencia de cianobacterias adquiere una significativa importancia.

Las cianobacterias son procariotas que sintetizan una gran variedad de metabolitos cuya función natural es variada. Dichos metabolitos, afectan la salud fundamentalmente de animales terrestres y seres humanos, y también a la biota acuática. Las toxinas producidas, denominadas cianotoxinas, pueden ser hepatotóxicas, neurotóxicas y dermatotóxicas produciendo afecciones que van desde síndromes gastrointestinales, alteraciones respiratorias y cutáneas, promoción de tumores hepáticos y de colon, y hasta muerte por fallo hepático (Ruiz et al., 2013).

El embalse Los Molinos (ELM), ubicado en la provincia de Córdoba, Argentina, desde el año 2010 presenta florecimientos de cianobacterias frecuentes y casi

permanentes, producto de la eutrofización antropogénica a la que se encuentra sometido (Bazán et al., 2017, 2018a, 2018b).

Cuando el agua es utilizada para abastecimiento es sometida a un proceso de potabilización mediante el cual los peligros inherentes son eliminados o reducidos a niveles aceptables por las normativas vigentes. Particularmente, la población de Potrero de Garay manifestó su preocupación por recibir agua corriente de red abastecida directamente desde el ELM sin previo tratamiento, de coloración verdosa (Figura 1 a y b) y registrándose algunos casos de irritación dérmica en niños.

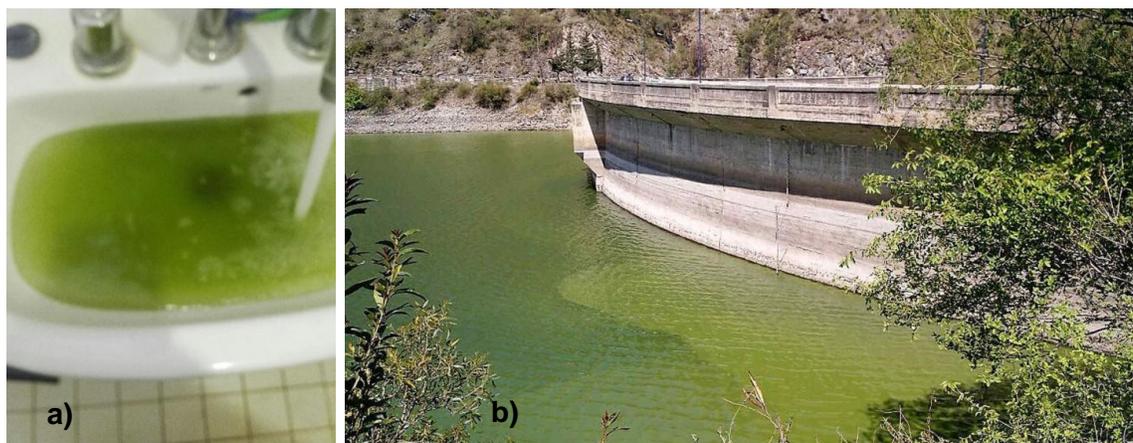


Figura 1. a) Agua de red Potrero de Garay. **b)** Coloración verdosa del agua del embalse Los Molinos.
Fuente: Imagen cedida por los vecinos de la comuna, fecha 31/10/17 y

<http://www.lavoz.com.ar/ciudadanos/ahora-es-los-molinos-verde-de-algas>

Tal situación fue de público conocimiento e hizo eco en los medios de comunicación, los cuales señalaron que los nutrientes (Fósforo y Nitrógeno) son el alimento de las cianobacterias y que provienen del casi nulo tratamiento de cloacas de las localidades de su cuenca de aporte, acentuado por un notorio crecimiento urbanístico sobre su perilago. Además, se suma el impacto de la materia fecal de la producción ganadera y el uso de agroquímicos en campos de esa zona. Los conceptos de eutrofización y cianobacterias son descriptos en la prensa y llegan a la población.

Los vecinos y dueños de emprendimientos perciben un cambio en la calidad de agua del embalse y lo atribuyen a la contaminación por efluentes cloacales (La Voz del

Interior, 2/11/2017. https://eldoce.tv/sociedad/verde-y-peligroso-el-drama-en-el-dique-los-molinos-mirada-telenoche-informe-contaminacion-agua-lago_53557).

2. DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

El ELM se encuentra ubicado en el Valle de Los Reartes o Santa Ana, en el límite de los departamentos Santa María y Calamuchita; a 65 km al sudoeste de la ciudad capital y su principal vía de acceso es la ruta provincial N° 5. Las coordenadas geográficas de su espejo de agua son $31^{\circ} 43' 30''$ S y $64^{\circ} 32' 20''$ W. Su cuenca de alimentación se extiende entre las cumbres de las Sierras Grandes (Pampa de Achala y Cumbre del mismo nombre hasta el Cerro Negro), al oeste, y los cordones de las Sierras Chicas al este (llamados Sierra del Tala y Cumbre del Hinojo) con un área de 978 km^2 (Figura 2).

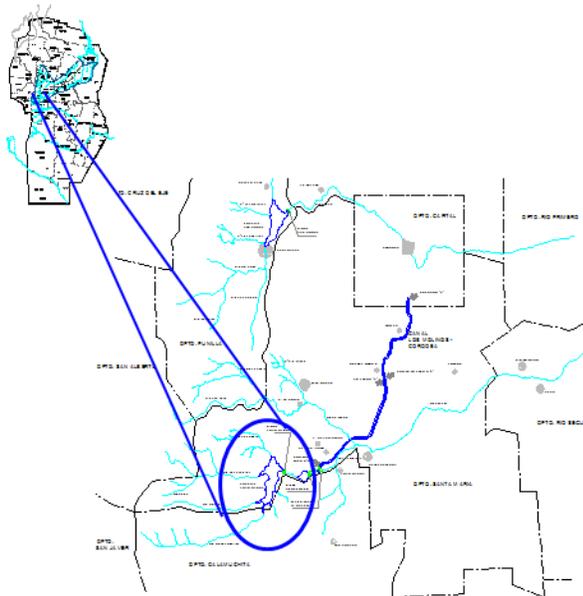


Figura 2. Ubicación relativa del embalse Los Molinos.
Fuente: Bazán, (2006).

El embalse Los Molinos (ELM) es un cuerpo de agua multipropósito sometido a un gran impacto antropogénico como consecuencia de un creciente desarrollo urbanístico en el perilago y por la práctica de actividades agrícola-ganaderas en su cuenca. Estas actividades contribuyen al aporte de nutrientes al embalse, acelerando su proceso de eutroficación (Bazán, 2018b).

De las localidades situadas en el perillago del embalse, Potrero de Garay es la comuna con mayor crecimiento demográfico. Según datos del último censo nacional cuenta con 1.017 habitantes (INDEC, 2010), lo que representa un incremento del 50 % frente a los 677 habitantes (INDEC, 2001) del censo anterior. Su población en el censo nacional de 2001, incluía 174 moradores de Barrio Villa Gran Parque. El Censo 2001 contabilizó 491 viviendas, por tratarse de una localidad turística, con muchas casas de fin de semana. Este número refleja un crecimiento importante, porque en el anterior conteo de población, realizado en 1991, arrojó sólo 135 pobladores (Figura 3).

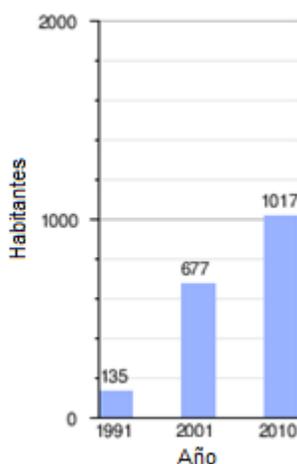


Figura 3. Evolución demográfica de Potrero de Garay entre 1991 y 2001.

Fuente: Potrero de Garay. (2018, 30 de junio). Wikipedia, La enciclopedia libre. Fecha de consulta: 23:35, Noviembre 4, 2018 desde https://es.wikipedia.org/w/index.php?title=Potrero_de_Garay&oldid=109027691

En la Figura 3 se observa un crecimiento demográfico anual de aproximadamente 9%. No obstante, se destaca que mediante comunicación personal con la jefa comunal (la Sra. Susana Stabio), se informa que la población actual asciende a 5.000 habitantes y dicha población llega a triplicarse durante el periodo estival.

Potrero de Garay es una localidad situada en el departamento Santa María, provincia de Córdoba, Argentina (Figura 4). Se encuentra ubicada al sudoeste departamental, a orillas del embalse Los Molinos, entre las desembocaduras de los ríos San Pedro y Los Espinillos. Dista a 28 Km de la cabecera departamental Alta Gracia y 59 Km de la capital provincial. La principal actividad económica de la comuna es el turismo, debido a sus valles, su cercanía con las sierras y sus ríos. La zona en que está enclavada la comuna es propicia para realizar actividades como equitación, trekking y ciclismo de

montaña (Vista de una parte de la comuna desde un cerro cercano, sin fecha, Wikipedia). Se destacan también los deportes náuticos, especialmente kit surf y pesca.



Figura 4. Vista panorámica del desarrollo urbano de Potrero de Garay.

Fuente: https://es.wikipedia.org/wiki/Potrero_de_Garay#/media/File:Vista_Potrero_de_Garay.jpg

3. MARCO TEÓRICO

3.1. Eutrofización

La eutrofización o eutrofización es parte de un proceso natural de envejecimiento de los lagos que ocurre independientemente de la actividad del hombre. Sin embargo, la creciente urbanización, por un lado y el desarrollo de actividades agrícolas por otro, aceleran el proceso natural, acortando así la vida útil del cuerpo de agua, afectando el uso del recurso (Vallentyne, 1978; Klaper, 1991). Recientes estudios señalan al cambio climático como uno de los factores ambientales que promueven la eutrofización y en consecuencia los florecimientos de cianobacterias (Vallentyne, 1978; Klaper, 1991).

Cuando el uso principal del recurso es el abastecimiento de agua potable, este fenómeno denominado “eutrofización cultural” (para distinguirla del proceso natural) provoca efectos no deseados a corto y mediano plazo. No obstante, una masa de agua que sufre eutrofización cultural puede ser tratada de forma que vuelva a tener una velocidad de “envejecimiento” característica de una eutrofización natural. Sin embargo,

para cuerpos de agua sometidas a eutrofización cultural intensa, las medidas de control necesarias pueden resultar bastante costosas y difíciles de aplicar.

El término eutrofización es empleado también para describir la secuencia de cambios en los ecosistemas acuáticos causados por un incremento en la tasa de suministro de nutrientes al agua. La respuesta inmediata del ecosistema es un aumento de la fotosíntesis y de la producción primaria, lo que se traduce en un aumento excesivo de material biológico, deterioro de la calidad del agua y envejecimiento prematuro del sistema (IETC, 2001; Ongley, 1997). La Organización para la Cooperación Económica y Desarrollo (OECD) define la eutrofización como “el enriquecimiento en nutrientes de las aguas, que provoca la estimulación de una serie de cambios sintomáticos entre los que el incremento en la producción de algas y macrófitas, el deterioro de la calidad del agua y otros cambios sintomáticos resultan indeseables e interfieren con la utilización y calidad estética del agua” (Ryding y Rast, 1992).

De acuerdo con recientes estimaciones de las Naciones Unidas, está previsto que la población mundial aumente en más de 1.000 millones de personas en los próximos 15 años, por lo que se alcanzarían los 8.500 millones en 2030, 9.700 millones en 2050 y 11.200 millones en 2100. Como en todas las proyecciones, existe cierto margen de error en cuanto a estos últimos datos. Cada persona necesitará agua pura para sustentar su existencia y generará a diario fósforo, nitrógeno y carbono orgánico como residuos. La necesidad de satisfacer la demanda de alimentos de cada uno, la agricultura fertilizada y la cría de ganado generarán residuos orgánicos adicionales ricos en nutrientes. Se deben encontrar soluciones para disminuir las fuentes de aportes de nutrientes, generando producción o tecnologías limpias, reutilizando efluentes o de lo contrario el proceso de eutrofización aumentará afectando los diferentes usos.

Entre las diversas fuentes de aportes de nutrientes a los cuerpos de agua superficiales pueden mencionarse:

- a) Residuos urbanos: La fracción húmeda de los residuos orgánicos urbanos sin tratar contienen elevada cantidad de materia orgánica, incluyendo nutrientes.
- b) Ganadería: las heces de los animales son ricas en nutrientes, principalmente nitrógeno. Su presencia puede provocar altos niveles de contaminación al ser

arrastradas por escorrentías o quedar sumergidas en zonas ribereñas cuando el nivel del agua aumenta.

- c) Residuos industriales y cloacales: El vertido de estos efluentes sin un tratamiento adecuado puede derivar en severos problemas de contaminación.
- d) Agricultura: Grandes cantidades de nitrógeno y fósforo suelen estar contenidos en los fertilizantes. De no ser utilizados correctamente pueden alcanzar fácilmente cuerpos de agua cercanos.

Los efectos de la eutrofización son considerados negativos en muchos lugares del mundo y frecuentemente reflejan la percepción humana de una mala calidad de agua. Entre sus consecuencias se puede citar:

- a) Disminución de la calidad del agua.
- b) Floraciones frecuentes de cianobacterias potencialmente tóxicas
- c) Pérdida de biodiversidad.
- d) Disminución del nivel de oxígeno disuelto en el agua, esencial para el desarrollo de la biota acuática.
- e) Encarecimiento de los sistemas de potabilización.
- f) Generación de olores nauseabundos.
- g) Generación de sabor desagradable en agua potable.
- h) Riesgo para la salud humana y animal por la ingesta de cianotoxinas.

En la (Figura 5) se resumen las consecuencias de la eutrofización en forma de esquema.

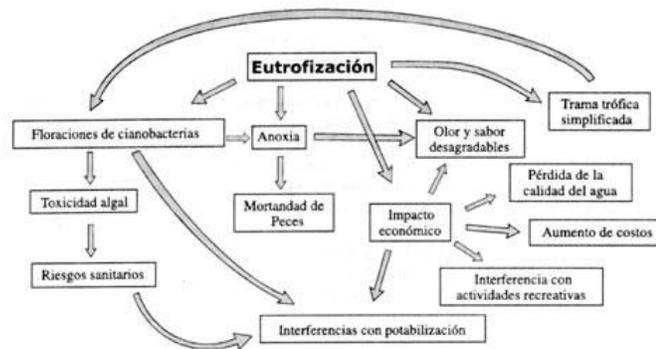


Figura 5. Esquema con las principales consecuencias de la eutrofización.

Fuente: http://imasd.fcien.edu.uy/difusion/educamb/eco_acuatica/eutrof_clasica.htm

3.2. Cianobacterias

Uno de los resultados generalizados del enriquecimiento de lagos y embalses con nutrientes es un mayor crecimiento de fitoplancton (constituido por algas y cianobacterias). Las cianobacterias constituyen un grupo especialmente problemático que puede alcanzar grandes concentraciones, formar aglomerados superficiales antiestéticos y perjudiciales, agotar el oxígeno disuelto, producir eventualmente la muerte de peces, ganado y otros animales debido a la producción de cianotoxinas (IETEC, 2001; UNESCO, 2005).

Las Cyanobacterias, Cyanophyta o Cyanoprokaryota (antiguamente llamadas algas verde-azules), constituyen un grupo de organismos que poseen características propias de bacterias así como de las algas y plantas eucariotas. Algunas especies son consideradas beneficiosas para el hombre por sus diversas aplicaciones biotecnológicas, mientras que otras son conocidas por sus aspectos perjudiciales dada su capacidad para sintetizar y liberar cianotoxinas, o por alterar las características organolépticas del agua. Las cianobacterias son organismos procariotas que presentan el mismo aparato fotosintético de las algas eucariotas y de las plantas superiores, incluyendo los dos fotosistemas y la presencia de clorofila-a. Se asume que los cloroplastos de los grupos eucariotas derivan de las cianobacterias, como resultado del establecimiento de relaciones simbióticas en el pasado (Anagnostidis K, Komárek J. 1985).

La mayoría de los representantes del grupo son de vida libre, encontrándose principalmente en ambientes acuáticos continentales y marinos; aunque también habitan los terrestres. El grupo se reconoce por su habilidad para establecerse en ambientes extremos, habitando sistemas hipersalinos, aguas termales (hasta 80 °C) e incluso regiones polares, a varios grados bajo cero. Tienen la habilidad de sobrevivir a largos periodos de desecación y algunas especies producen una vaina pigmentaria externa que les permite sobrevivir en ambientes con alta radiación UV (Graham LE, Wilcox LW, 2000; Komárek & Anagnostidis, 1998). Su facilidad de crecimiento favorece su aparición tanto en el suelo como en el medio acuático, preferentemente en los ambientes dulceacuícolas de aguas neutras a alcalinas con pH entre 6 y 9, y entre temperaturas entre 15 y 30 °C con elevadas concentraciones de nutrientes, principalmente fósforo y nitrógeno (OMS, 1999; UNESCO, 2005). Las cianobacterias participan en la formación de estromatolitos

(fósiles y actuales) y son los únicos organismos fotoautotróficos que presentan mecanismos y adaptaciones para la fijación de nitrógeno atmosférico (Komárek, 2006). Se encuentran estromatolitos fósiles en todas las eras geológicas y uno de los indicios más antiguos de vida en la Tierra son las estructuras estromatolíticas de hace 3500 millones de años encontradas en Warrawoona (Australia).

Bajo determinadas condiciones ambientales, algunas cianobacterias tienen la capacidad de originar “floraciones algales” o “blooms”, proliferaciones masivas protagonizadas por una o pocas especies que dominan el fitoplancton (Oliver & Gant, 2000). El fenómeno puede desencadenarse en pocas horas o varios días y puede desaparecer rápidamente o permanecer por períodos prolongados. En muchos casos, las floraciones se reconocen a simple vista porque el agua se colorea. Las acumulaciones superficiales suelen lucir como una capa de pintura de color azul-verdoso, rojizo y hasta negruzco. Sin embargo, no siempre las floraciones son visibles, ya que algunas poblaciones pueden presentarse dispersas en toda la masa de agua o concentrarse a cierta profundidad, por lo que no resultan evidentes (Meichtry de Zaburlín M, et al, 2009).

Las floraciones de cianobacterias tienen un amplio rango de impactos sanitarios, económicos y ambientales. En general, resultan de alto riesgo para los seres humanos vía aguas recreacionales o agua de consumo dada la potencial producción y liberación de compuestos tóxicos de diversa naturaleza química que reciben el nombre general de cianotoxinas.

En algunos casos las floraciones de organismos de este grupo son acompañadas además, por la síntesis y liberación de compuestos volátiles (geosmina, β -metilisoborneol, etc.) que alteran las características organolépticas del agua. Las cianotoxinas (metabolitos secundarios) representan un serio riesgo para el hombre y para la biota asociada a los cuerpos de agua afectados (Carmichael, 1992).

En ocasiones son causantes de trastornos respiratorios y digestivos en personas sensibles (Echenique R., et al, 2006). Los problemas sanitarios generados por la presencia de toxinas y compuestos volátiles se informan a nivel mundial y el gran número de casos indica que las floraciones algales nocivas son fenómenos muy frecuentes (Perovich G, et al, 2008).

Otros impactos incluyen la pérdida de los espacios de recreación, de recursos pesqueros y significativos incrementos en los costos de tratamiento del agua destinada al consumo humano. Por otro lado, se altera el equilibrio acuático, lo que muchas veces desencadena cambios importantes en las cadenas tróficas y una disminución de la biodiversidad (Meichtry de Zaburlín M, et al, 2009; Rahman AKM, et al, 2005).

3.3. Cianotoxinas

La creciente eutroficación de los ambientes acuáticos y el cambio climático favorece la aparición de floraciones de cianobacterias capaces de producir toxinas con graves repercusiones en la salud pública y en la sanidad animal. Existen registros que más del 50 % de las proliferaciones masivas de cianobacterias en el mundo son tóxicas (Bazán, 2006).

Las cianotoxinas son un grupo química y toxicológicamente diverso de toxinas naturales. A pesar de su origen acuático, la mayor parte de las cianotoxinas que se han identificado hasta la fecha parecen ser más peligrosas para los mamíferos terrestres que para la biota acuática (Andrinolo, 2017).

No todas las cianobacterias son productoras de cianotoxinas, y en general todavía no se conoce a ciencia cierta el mecanismo o la razón por las que son producidas Echenique y Aguilera, (2009). No obstante, es bien sabido que algunas especies de cianobacterias son productoras de toxinas, capaces de originar efectos agudos y crónicos en el hombre y animales (Pietsch et al., 2001). Por lo tanto, la preocupación de la salud pública en relación a las cianobacterias se centra principalmente en la capacidad que tienen algunas especies de producir toxinas (OMS, 1998; OMS, 2004; Amé et al., 2003; Amé, 2004; Cazenave et al., 2005; 2006).

Diversas fuentes de información muestran interés por los daños a la salud causados por cianobacterias tóxicas en aguas recreacionales. Existen numerosos casos de intoxicación letal de animales por beber agua con presencia masiva de cianobacterias. El primer caso documentado de una intoxicación letal de ganado por beber agua de un lago con un gran florecimiento de cianobacterias fue publicado hace más de dos siglos,

y los casos informados desde entonces incluyen ovejas, ganado vacuno, caballos, cerdos, perros, peces, roedores, anfibios, aves acuáticas y cebras (Codd *et al.*, 1989).

Las primeras intoxicaciones de poblaciones humanas por el consumo de agua contaminada con cepas tóxicas de cianobacterias fueron documentadas en Australia, Estados Unidos, Inglaterra, China y África del Sur (Falconer, 1994; Tisdale, 1931). La muerte de seres humanos se ha limitado a pacientes sometidos a diálisis renal en un centro de salud en Brasil, episodio de Caruaru en 1996 (Azevedo, 1996) donde murieron más de 50 enfermos sometidos a hemodiálisis. No obstante, se sabe de daños a la salud a partir de numerosos informes esporádicos de irritaciones en la piel y/o membranas mucosas y a partir de casos documentados de enfermedades luego de la exposición a través de consumo de agua de bebida así como de ingestión accidental o aspiración de espuma (Hindman *et al.*, 1975; Falconer, 1993; Falconer *et al.*, 1983; Yu, 1995). Sin embargo, el bajo número de casos informados se puede deber a la falta de conocimiento sobre la toxicidad de las cianobacterias ya que ni los pacientes ni los médicos asocian los síntomas con esta causa. Los síntomas descritos incluyen: “dolor abdominal, náuseas, vómitos, diarrea, dolor de garganta, tos seca, dolor de cabeza, ampollas en la boca, neumonía atípica y elevado número de enzimas hepáticas en el suero, especialmente transferasa gamma omsglutamil” (Charmichael, 1995); así como también fiebre, mareos, cansancio, irritaciones en la piel y ojos. Estos síntomas pueden tener diversas causas e incluir varias clases de toxinas y géneros de cianobacterias.

La aparición de especies potencialmente tóxicas en los ambientes acuáticos, precisa de estudios de control y seguimiento ante el peligro de que pequeñas dosis de toxinas en exposiciones prolongadas puedan aumentar la incidencia de enfermedades: dermatitis, problemas gastrointestinales e intoxicaciones agudas o crónicas con producción de tumores hepáticos en las poblaciones expuestas.

Las cianotoxinas se pueden clasificar por su efecto en **hepatotoxinas**, como las *microcistina*, *nodularina* y *cilindrospermopsina*; **neurotoxinas**, como *saxitoxinas* y *anatoxinas*, y **dermatotoxinas** como *lipopolisacaridos* (Bartram J, et al, 1999; Carmichael WW, 2008).

Los géneros involucrados en la producción de cianotoxinas son:

- Hepatotoxinas potencialmente producidos por cepas del género *Microcystis*, *Planktothrix*, *Oscillatoria*, *Dolychospermum* (ex *Anabaena*), *Nostoc* y *Cylindrospermopsis* (OMS, 1998).
- Neurotoxinas producidas principalmente por cepas del género *Dolychospermum* (ex *Anabaena*), *Oscillatoria*, *Aphanizomenon* y *Cylindrospermopsis* (OMS, 1998).
- Dermototoxinas: producida por todas, existen algunos registros de *Lyngbia* (OMS, 1998, Andrinolo, 2017).

Cuando se produce la lisis celular, estas toxinas son liberadas al agua (UNESCO, 2005; Pietsch, et al. 2001).

En la Tabla 1 se resumen las cianotoxinas identificadas a la fecha según Andrinolo, 2017 modificado de Chorus & Bartram, 1999 junto a los géneros producidos y el órgano blanco afectado.

Tabla 1. Cianotoxinas identificadas hasta la fecha sintetizados por diversos géneros de cianobacterias.

Grupo de toxinas y toxinas	Principal órgano blanco en mamíferos	Géneros de cianobacterias productoras de toxinas
Peptidos Cíclicos		
Microcystinas	Hígado	Microcystis, Anabaena, Planktothrix (Oscillatoria), Nostoc, Hapalosiphon, Anabaenopsis
Nodularina	Hígado	Nodularia
Alcaloides		
Anatoxina-a	Sinápsis colinérgicas	Anabaena, Planktothrix (Oscillatoria), Aphanizomenon
Anatoxina-a(S)	Sinápsis colinérgicas	Anabaena
Aplysiatoxins	Piel	Lyngbya, Schizothrix, Planktothrix (Oscillatoria)
Cylindrospermopsinas	Hígado	Cylindrospermopsis, Aphanizomenon, (Umezakia)
Lyngbyatoxin-a	Piel, tracto gastrointestinal	Lyngbya
Axitoxinas	Axones neuronales, inhibe la conducción del impulso nervioso	Anabaena, Aphanizomenon, Lyngbya, Cylindrospermopsis
Lipopolisacáridos (LPS)	Potencial irritante, afecta cualquier tejido expuesto	Todas

Los mecanismos de toxicidad cianobacterial descritos y entendidos actualmente son muy diversos y se extienden desde efectos hepatotóxicos, neurotóxicos y dermatotóxicos a la inhibición general de la síntesis de proteínas.

Las vías de exposición pueden ser:

3.3.1. Inhalación o dérmica

- a) Actividades recreacionales.
- b) Actividades profesionales.
- c) Contacto directo y/o duchas.

3.3.2. Dérmica

- a) Contacto directo y/o duchas.
- b) Alimento (bioacumulación).
- c) Suplementos dietarios.
- d) Actividades recreacionales.

3.3.3. Intravenosa

- a) Diálisis renal.
- b) Parenteral.

3.4. Cianotoxinas y niveles máximos de referencia

En 1997, la Organización Mundial de la Salud (OMS) estableció como valor provisional de referencia, 1 µg/L como nivel máximo aceptable para el consumo oral diario de microcistina-LR, en aguas de abastecimiento público. Y como límite al número de cianobacterias informa que, como no todas son productoras de toxinas, en general se debe evitar su presencia.

Hasta el año 2016, en nuestra provincia la legislación en materia de calidad de agua no contemplaba la obligatoriedad de detectar y medir cianotoxinas ni tampoco establecía un valor límite. Actualmente, las Normas provinciales de calidad y control de aguas para bebidas (Resolución N° 174/2016), establece límites tolerables para parámetros complementarios de calidad donde ha incluido por primera vez la

concentración de microcistinas totales (Tabla 2). Dicho valor es el mismo que fuera establecido por la OMS.

Tabla 2. Límites tolerables para parámetros complementarios de calidad para agua de consumo.

Parámetros	Túbos Múltiples (NMP/100 mL)	Membranas filtrantes
Enterococos	< 2,0	0 en 100 mL
<i>Clostridium perfringens</i>	< 2,2	0 en 100 mL
<i>Giardia Lamblia</i>	-	0 en 700/2000 L
Fitoplancton y Zooplancton	Debe evitarse la presencia***	
Microcistinas Totales	<1 µg/L	

***Nota: Aún no hay datos suficientes para establecer un límite numérico, pero debe evitarse la presencia de organismos o sus metabolitos perjudiciales para la salud

3.5. Problemática local y antecedentes

El embalse Los Molinos es monitoreado de manera sistemática desde el año 1999 hasta la fecha. A través de los años, el monitoreo se ha rediseñado en función de las problemáticas existentes y de la revalorización de alguno de sus usos. En una primera instancia, con el objetivo de determinar el estado trófico del embalse y cuantificar las distintas fuentes de aporte, se iniciaron monitoreos estacionales de calidad de agua y sedimentos, conducidos por el Laboratorio de Hidráulica de la Facultad de Ciencias Exactas Físicas y Naturales (F.C.E.F. y N.) de la Universidad Nacional de Córdoba (U.N.C.) con la participación de la Dirección Provincial de Agua y Saneamiento (actualmente, Administración Provincial de Recursos Hídricos).

En el año 2001 se incorporó la empresa Aguas Cordobesas S.A. con el propósito de ampliar las variables medidas, aumentar la frecuencia de monitoreo y realizar un control continuo de la fuente de abastecimiento. Por los registros a campo, se observó que a partir del año 2005 se hizo notorio el crecimiento de los asentamientos urbanos en la zona del perillago y en las comunas de Los Reartes y Potrero de Garay; con el consecuente cambio en el uso del suelo. En el trabajo final de Molinero Rodríguez (2008) se destaca al embalse por el importante atractivo turístico que representa para sus visitantes, tanto como recurso natural, como por su ubicación privilegiada y el número de actividades recreativas que se realizan.

A partir de estos antecedentes y al permanente desarrollo de cianobacterias y floraciones tóxicas (que constituye un riesgo para la salud pública) desde el año 2010 hasta la fecha, junto con el Centro de la Región Semiárida del Instituto Nacional del Agua (INA- CIRSA) se decidió realizar monitoreos de calidad de agua para uso recreativo, muestreando las playas.

Según Bazán et al. (2018) el ELM es un cuerpo de agua clasificado como mesotrófico a eutrófico. Los florecimientos de cianobacterias se detectaron más frecuentemente desde el año 2004, luego de los incendios forestales ocurridos en la zona. Durante el año 2017 se intensificó la aparición de dichos florecimientos mostrando el riesgo sanitario para una parte de la población que recibe agua sin tratamiento de potabilización y para los usuarios del recurso que realizan actividades como deportes acuáticos, pesca, recreación y para actividades profesionales como guardavidas y personal náutico.

Durante el periodo de enero a julio del 2004, se observó la presencia de microcistinas (MC) en el 100% de los blooms estudiados. La concentración de MC total encontrada varió entre 7 y 736 mg/g de cianobacteria liofilizada (Bazán, 2006). Estos valores son similares a los reportados en lagos y embalses de otros países como Canadá y Japón, y del mismo orden que los reportados por Amé (2003) y Amé et al. (2010) para el embalse San Roque (Córdoba, Argentina).

En los últimos 7 años el ELM presenta una mayor diversidad y frecuencia de floraciones de cianobacterias como consecuencia del avance de su estado de eutrofia. Bazán et al. (2017) reportaron que durante el periodo 2001-2009 el 94% de las floraciones se debieron a sólo 2 géneros de cianobacterias: *Microcystis sp.* y *Dolychospermum sp.* (Figura 6). Mientras que en el periodo 2010-2017 se registró una mayor diversidad de cianobacterias representada por 8 géneros (Figura 7), siendo *Microcystis sp.* y *Dolychospermum sp.* los géneros más frecuentes con una dominancia del 65%. En orden creciente aparecen *Pseudoanabaena sp.* (14%) y *Aphanocapsa* (11%).

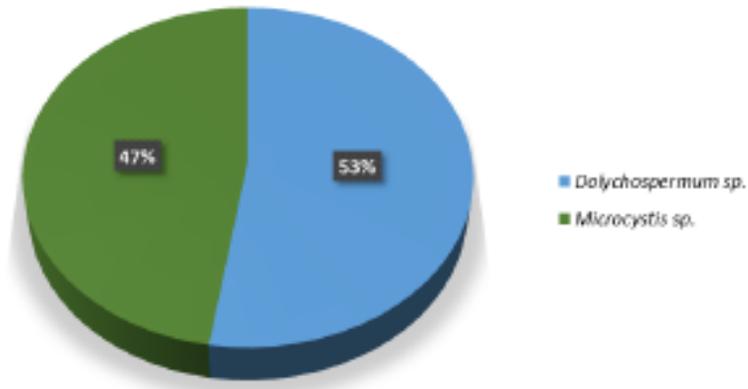


Figura 6. Distribución Porcentual de Cianobacterias entre 2001 y 2009.

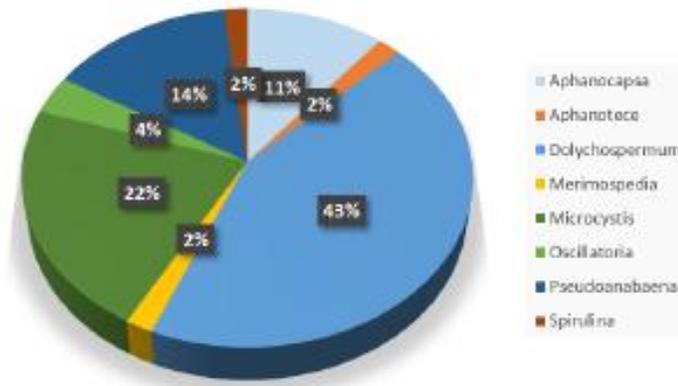


Figura 7. Distribución Porcentual de Cianobacterias entre 2010 y 2017.

4. OBJETIVOS

4.1. Objetivo General

Este Proyecto Integrador (PI) pretende dar solución al problema que afecta a una parte de la población de Potrero de Garay, la cual es abastecida con agua directamente desde el ELM sin previo tratamiento. Se propone realizar el diseño y construcción de prefiltros y filtros de agua domiciliarios destinados a la remoción de cianobacterias y sus metabolitos.

4.2. Objetivos Específicos

- Diseñar y construir equipos de prefiltración y filtración económicamente accesibles.
- Comprobar la eficacia y la eficiencia de los equipos construidos utilizando agua cruda del embalse Los Molinos.
- Cumplir con la normativa vigente para agua potable en relación a la presencia de fitoplancton.
- Brindar talleres participativos a la comunidad del perilago del embalse sobre el problema de eutrofización y cianobacterias.
- Emplazar los filtros construidos en el laboratorio 209 de la FCEFyN.

4.3. Impacto del Proyecto

Dado que el agua propicia el bienestar de la población y el crecimiento inclusivo, y tiene un impacto en la vida de las personas, al incidir en aspectos relacionados a la seguridad alimentaria, a la salud humana y al ambiente; el presente PI contribuirá en:

- a) Mejorar la calidad del agua para alcanzar niveles de aceptabilidad por parte de los consumidores.
- b) Contribuir a una mejor calidad de vida de una parte de la población de Potrero de Garay.

MÉTODOS DE REMOCIÓN DE CIANOBACTERIAS

5. MÉTODOS DE REMOCIÓN DE CIANOBACTERIAS

La falta de agua dulce de buena calidad es uno de los problemas más serios de la actualidad. Los cambios provocados en la naturaleza por la erosión o las actividades humanas pueden aumentar la tasa de nutrientes y sustancias orgánicas a los sistemas acuáticos afectando las características cuali y cuantitativas de los cuerpos de agua (adaptado de Bauzá y Giannuzzi, 2017).

La eutrofización se ha convertido en un problema en todo el mundo, causando un deterioro en el ambiente acuático y serios problemas para el uso del agua, especialmente en el tratamiento para su potabilización. Por lo tanto, resulta necesario orientar los esfuerzos en la búsqueda de tecnologías eficientes para asegurar la calidad del agua. Un ejemplo de ello es la planta Suquía de la empresa Aguas Cordobesas S.A., la cual emplea ozonización y carbón activado para la remoción de cianobacterias y sus metabolitos.

En este apartado se presenta una revisión de las tecnologías de remoción y control de las cianobacterias y sus metabolitos.

5.1. Pretratamientos

5.1.1. Filtración vertical ascendente

Es un tratamiento ampliamente utilizado en la remoción de material particulado en suspensión presente en el agua. Consiste en un recipiente en el que se introduce grava gruesa en la parte inferior, para que sirva como soporte a la arena filtrante que se introduce en la parte superior. El agua cruda se introduce por la parte inferior y se recoge tratada por la parte superior. Como ventaja en la utilización de éste pretratamiento se puede decir que es relativamente fácil de limpiar y requiere de poco mantenimiento. Como desventaja, la caída de presión a través de la arena puede ser elevada, necesitando en ciertos casos de una bomba que ayude al trasiego del agua.

5.1.2. Columnas verticales de filtración

Constituidos por dos tubos concéntricos, separados por arena fina, el tubo exterior posee aberturas y el interior posee perforaciones de un diámetro determinado. Como barrera de contención de la arena se utiliza una malla no tejida.

Introducido en el interior de un tanque adaptado de cierto volumen, permite recoger el agua tratada por el tubo interior, mientras que el material particulado queda retenido en el tubo exterior.

5.2. Métodos químicos

Estos métodos suelen utilizarse en combinación con los físicos para lograr un mejoramiento en la remoción de cianobacterias y sus productos tóxicos. Suele emplearse una oxidación acompañada de desinfección.

5.2.1. Cloración

En general al agregar cloro al agua cruda suele causar lisis celular y la subsecuente liberación de cianotoxinas intracelulares, por lo que si bien es un potente desinfectante, aumenta considerablemente la cantidad de cianotoxinas presentes en el agua. Además, de que su participación en la oxidación de las toxinas es altamente dependiente de la concentración de cloro residual, el pH y el tiempo de contacto.

La cloración como operación previa a la de un filtro lento de arena entonces tampoco es adecuada, dado que, además del problema mencionado anteriormente, puede alterar la biodiversidad de la biocapa (apartado 5.3.5.) por la presencia de cloro residual.

5.2.2. Ozono

Es el proceso más eficiente en cuanto a la desinfección del agua cruda y oxidación de toxinas intra y extracelulares. Las propiedades oxidantes del ozono son tales que permiten una correcta eliminación de gran parte de la materia orgánica presente.

Los inconvenientes principales en la utilización de ozono son: inversión inicial elevada que requiere la adquisición de los equipos (cuyo volumen depende del caudal de agua a tratar), se deben tomar extremas medidas de cuidado para evitar exposición ocupacional a niveles tóxicos en el aire y evitar la emisión de ozono a la atmósfera.

5.2.3. Permanganato de Potasio (KMnO₄)

No es eficiente en la remoción de cianobacterias, pero controlando la concentración, el pH y el tiempo de contacto, puede oxidar cianotoxinas extracelulares.

5.3. Métodos físicos

5.3.1. Cribado y prefiltración

Estos procesos normalmente no retienen cianobacterias. Sin embargo algunas pantallas finas pueden retener grandes algas y algunas células de cianobacterias. La lisis celular causada por la sobrepresión en las pantallas no se ha abordado suficientemente.

5.3.2. Coagulación y clarificación

Algunas sustancias químicas usadas comúnmente para la coagulación durante el proceso de potabilización incluyen compuestos de aluminio y sales de hierro férrico. Más recientemente, se utilizan algunos polímeros orgánicos y/o sales con metales multivalentes. Se aplican para remover material en suspensión, incluyendo turbidez provocada por arcilla o limo, materia orgánica de gran peso molecular, microorganismos (entre ellos cianobacterias), y formas oxidadas e insolubles de hierro y manganeso.

La coagulación con sales metálicas multivalentes también puede ser mejorada por el agregado de varios polímeros orgánicos que promuevan el crecimiento del floculo. Una eficiente remoción de algas depende de la optimización de las dosis químicas y el pH de coagulación. Mouchet y Bonnélye (1998) han demostrado que la dosis para la coagulación de algas es proporcional a la suma de alcalinidad y el logaritmo del número de células. Bernhardt y Clasen (1991) han informado que la coagulación de células de algas que son lisas y más o menos esféricas se produce en gran parte por neutralización de carga. Las algas filamentosas y las grandes algas pueden ser removidas por coagulación por arrastre con grandes cantidades de hidróxido metálico.

La gran ventaja que ofrece este método, por su naturaleza, es la remoción de las cianobacterias intactas, y con ellas la mayoría de las cianotoxinas intracelulares. Para MCs, una variedad de publicaciones han demostrado que la coagulación tiene una capacidad muy limitada de remover estas cianotoxinas disueltas en el agua. Rositano y Nicholson (1994), demostraron la disminución de toxinas totales presentes en el agua como resultado de la remoción de células de cianobacterias en lugar de las toxinas extracelulares. Utilizando sulfato férrico, aluminio y cloruro de polialuminio encontraron que esencialmente no hubo remoción de toxinas extracelulares.

5.3.3. Filtración rápida directa

La filtración es un proceso para remover materia suspendida, incluyendo arcilla, limo, materia orgánica, flóculos coagulados, precipitados de hierro y magnesio, y microorganismos (Hamann *et al.*, 1990). Los filtros para agua más comunes están compuestos por material de granulometría media como, arena gruesa, carbón de antracita triturado y carbón activado granular (o GAC, por sus siglas en inglés). Para aguas con baja turbiedad se suele utilizar filtración directa luego de una etapa de coagulación/desestabilización, sin la necesidad de una etapa de clarificación con remoción de flóculos. Normalmente, estos filtros necesitan ser lavados con regularidad para mantener un alto rendimiento.

Algunas investigaciones de este proceso incluyen resultados obtenidos por Mouchet y Bonnélye (1998), quienes reportaron una remoción del 10 a 75 %,

dependiendo de la especie de fitoplancton, por filtración directa, sin tratamiento químico previo. Drikas *et al.* (1997) encontró que la remoción de células de *Microcystis aeruginosa* en la filtración a escala piloto varió entre un 14 y un 30 % después de una coagulación/sedimentación con alumbre. La filtración rápida directa, incluyendo GAC mejoró el desempeño, alcanzando 42 % de reducción de células de cianobacterias, aunque existe preocupación sobre la cantidad de toxinas liberadas al agua por las células retenidas en el carbón activado.

Como una conclusión general Mouchet y Bonnélye (1998) señalaron que la filtración directa en general no es satisfactoria, a menos que se utilicen filtros más sofisticados y adecuados pretratamientos.

Una preocupación inherente a grandes corridas con estos filtros, es que no ha sido adecuadamente investigado la muerte y lisis de las cianobacterias retenidas, lo que podría llevar a un aumento substancial de las cianotoxinas totales en el agua.

5.3.4. Coagulación, sedimentación y filtración rápida

Es común que se combinen estos tres procesos para lograr un rendimiento aceptable. En consecuencia muchas de las investigaciones dirigidas a la remoción de cianobacterias y sus toxinas han sido dirigidas al estudio de distintas combinaciones de ellas, más que sus rendimientos individuales.

Finalmente, la mejor oportunidad para extraer toxinas en procesos de separación es lograr la remoción de las células intactas, dado que la mayoría de las cianotoxinas disueltas no son fácilmente separadas del agua. Los resultados disponibles en la actualidad indican que la coagulación convencional y la rápida filtración asisten en la remoción de toxinas, particularmente si la cianobacteria se mantiene intacta.

5.3.5. Filtración lenta de arena

En contraste con la filtración rápida, estos filtros operan a velocidades menores, con flujo de agua descendente y la subsecuente formación de una capa biológica en la superficie denominada “schmutzdecke”. Formada después de aproximadamente 22 días

de operación del filtro, esta biocapa contribuye significativamente a la degradación de sustancias disueltas, además de lograr la retención de células de algas y cianobacterias. Mouchet y Bonnelye (1998) informaron una remoción del 99 % de dichas células. La misma se forma en la superficie del filtro que primero entra en contacto con el agua cruda.

La composición biológica de la *schmutzdecke* en los BioSand Filters (BSF) suele incluir distintos microorganismos tales como algas, plancton, diatomeas, protozoarios, rotíferas y bacterias. Con un espesor de aproximadamente 2 o 3 centímetros, se dan distintos procesos biológicos en los que estos microorganismos atrapan, digieren y degradan la materia orgánica presente y participan en la depredación de otras células. El resultado entonces es la disminución de la materia orgánica disuelta y microorganismos presentes, entre ellos las cianobacterias.

La operación de estos filtros en ausencia de luz puede prevenir un intensivo crecimiento de algas. Sin embargo, si se sobrecarga el filtro con agua cruda puede darse un bloqueo rápido, requiriendo la extracción de parte de la capa bioactiva.

Keijola *et al.* (1988) reportó un porcentaje de remoción mayor del 80 % de toxinas de *Microcystis* y un 30-65 % provenientes de *Planktothrix* (*syn Oscillatoria*). Esto demostraría que en los filtros lentos de arena se dan procesos bioquímicos dado que no se espera que las cianotoxinas queden retenidas mecánicamente.

Estos filtros lentos de arena (FLA) son muy utilizados en Brasil, dado que existen muchas comunidades que no pueden acceder a agua tratada, son relativamente accesibles económicamente y tienen una elevada capacidad de disminución de bacterias en general (Rocha *et al.*, 2008).

Uno de los principales inconvenientes que presentan es el bloqueo de los poros, lo que se traduce en un aumento en el número de veces que se debe realizar mantenimiento. El mismo puede consistir en retirar los primeros 2 centímetros de arena de la superficie o hacer circular agua en contracorriente. En la actualidad, el más utilizado es el de remoción de la biocapa superficial. Otra forma de evitar el rápido bloqueo de los BSF es utilizar procesos de pretratamiento, tales como floculación, preozonización, prefiltración, etc.

5.3.6. Adsorción en carbón activado

En general suele utilizarse carbón activado en polvo (PAC) o GAC. Éste último es el que mayor rendimiento tiene en la extracción de materia orgánica presente en el agua según informa Bodin, (2003).

Se observa un aumento considerable en la remoción de cianobacterias, durante el proceso de formación de la capa bioactiva en la superficie del BSF si se añade una capa de GAC en el interior de la zona de arena fina, en forma de sándwich. Tal aumento podría deberse a que las células que logran atravesar la primer capa de arena quedan retenidas al alcanzar la capa de GAC. Después de formada la schmutzdecke, los filtros con y sin GAC alcanzan el mismo rendimiento de remoción Bodín, (2003).

5.4. Selección del método

Para seleccionar el método de remoción que se desarrollará en el presente proyecto, se realizó una comparación de las ventajas y desventajas de cada método y la remoción esperada según los autores mencionados en los apartados 5.1 al 5.3.

Tabla 3. Ventajas y desventajas de los métodos de remoción de cianobacterias.

Método	Remoción	VENTAJAS	DESVENTAJAS
Cloración	-	El cloro es un muy buen desinfectante, con poder residual y de bajo costo.	Produce lisis celular, con una consecuente liberación de cianotoxinas, por lo que resulta ser más perjudicial.
Ozono	>98%	Excelente poder oxidante, causa oxidación en metabolitos intra y extracelulares.	Costo de instalación y operación elevado. Se deben tener precauciones para evitar contaminación ambiental y problemas en salud de operadores de planta.
KMnO ₄	Bajo	Regulando concentración, pH y tiempo de exposición, puede eliminar toxinas extracelulares	No es eficiente en la remoción de cianobacterias
Cribado y prefiltración	Bajo	Se utiliza para eliminar sólidos en suspensión.	Puede causar lisis celular.
Columna vertical de filtración	Bajo	Se utiliza para eliminar sólidos en suspensión.	Elevado costo debido al uso de membrana no tejida.
Prefiltro vertical ascendente	Bajo	Ampliamente utilizado para eliminar sólidos en suspensión. Combinado con filtración dan muy buenos resultados de remoción. Fácil de limpiar y requiere de poco mantenimiento.	Puede requerir bomba por caída de presión.
Coagulación y clarificación	>80%	Remueve las células sin romperlas y con ellas la mayoría de las cianotoxinas intracelulares.	No es buena en la remoción de cianotoxinas extracelulares disueltas en el agua.
Filtración rápida directa	>60%	Es utilizado para la remoción de sólidos en suspensión. Para bajas concentraciones puede no requerir una clarificación previa.	Requiere de pretratamientos para una remoción satisfactoria. Puede provocar lisis celular. Requieren lavados frecuentes.
Coagulación, sedimentación y filtración combinadas	>90%	Tienen un excelente rendimiento cuando son combinadas.	
Filtración lenta de arena	>90%	Elevada remoción de sólidos y cianobacterias. Método sencillo, económico y con muy buen rendimiento. Aplicable a escala domiciliaria por los bajos caudales de tratamiento permitidos.	Requiere limpieza superficial de la biocapa para evitar el bloqueo de los poros. Requiere 22 días para que se forme la biocapa.
Adsorción en carbón activado	>90%	Adsorbe células y metabolitos. Mejora el rendimiento de los filtros lentos de arena hasta la formación de la biocapa.	Es costoso, produce residuos.

La Tabla 3 resume una matriz de decisión para seleccionar el método más adecuado para la remoción de cianobacterias. Se analiza la aptitud de acuerdo a costos, capacidad de remoción, facilidad de operación y adquisición de materiales. Estos factores de decisión se eligen en función de las condiciones de mercado, del tipo de calidad de agua cruda y de las dificultades de construcción e instalación futura del sistema elegido por parte de los vecinos de la comuna de Potrero de Garay.

Analizando las ventajas y desventajas de los métodos de remoción investigados se propone la realización de un prefiltro rápido ascendente como tratamiento previo al de filtración en los FLA. Para éstos últimos, se plantean dos alternativas: con y sin CAG. En una etapa posterior, el prototipo ensayado será construido a escala domiciliaria junto a los vecinos de la comuna con los materiales existentes en su entorno (arena y grava) debido a que son destinados para un sector de la población de bajos recursos. Los criterios de selección finales estuvieron relacionados a la elevada eficiencia de remoción y su facilidad de construcción.

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE LOS EQUIPOS

6. DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE LOS EQUIPOS

De acuerdo a Bojcevska & Jergil (2003) y el manual realizado por Lee (2001), se propuso el diseño y realización de los equipos para verificar la posibilidad de aplicar los métodos de prefiltración y filtración lenta de arena para la remoción de cianobacterias y sus metabolitos.

Las propuestas se trabajaron por separado, es decir que (según el caso) se hizo circular agua por uno de los equipos y luego de recoger el agua de salida en un recipiente, se la hizo circular por otro equipo o se tomaron muestras.

Sin embargo, a continuación se presenta un diagrama de bloques de cómo se podría implementar dichas alternativas a nivel domiciliario (Figura 8), de manera que funcione en forma continua.

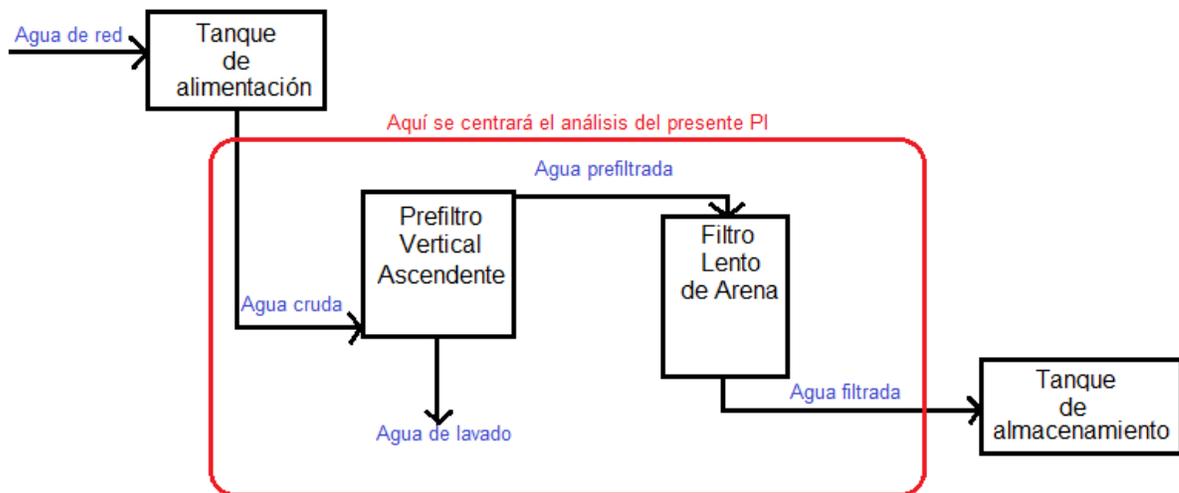


Figura 8. Diagrama de bloques de las propuestas.
Fuente: propia.

6.1. Diseño de Prefiltro vertical ascendente (PFVA)

En la Figura 9 se presenta el diseño del prefiltro vertical ascendente (PFVA). Se observa la alimentación en la parte inferior, y la salida por la parte superior.

La granulometría de la arena utilizada desde arriba hacia abajo es:

- a) *Arena fina*: granulometría comprendida entre 0,833 y 1,18 mm.
- b) *Grava fina*: granulometría comprendida entre 1,18 y 6,3 mm.
- c) *Grava gruesa*: granulometría comprendida entre 6,3 y 13,2 mm.

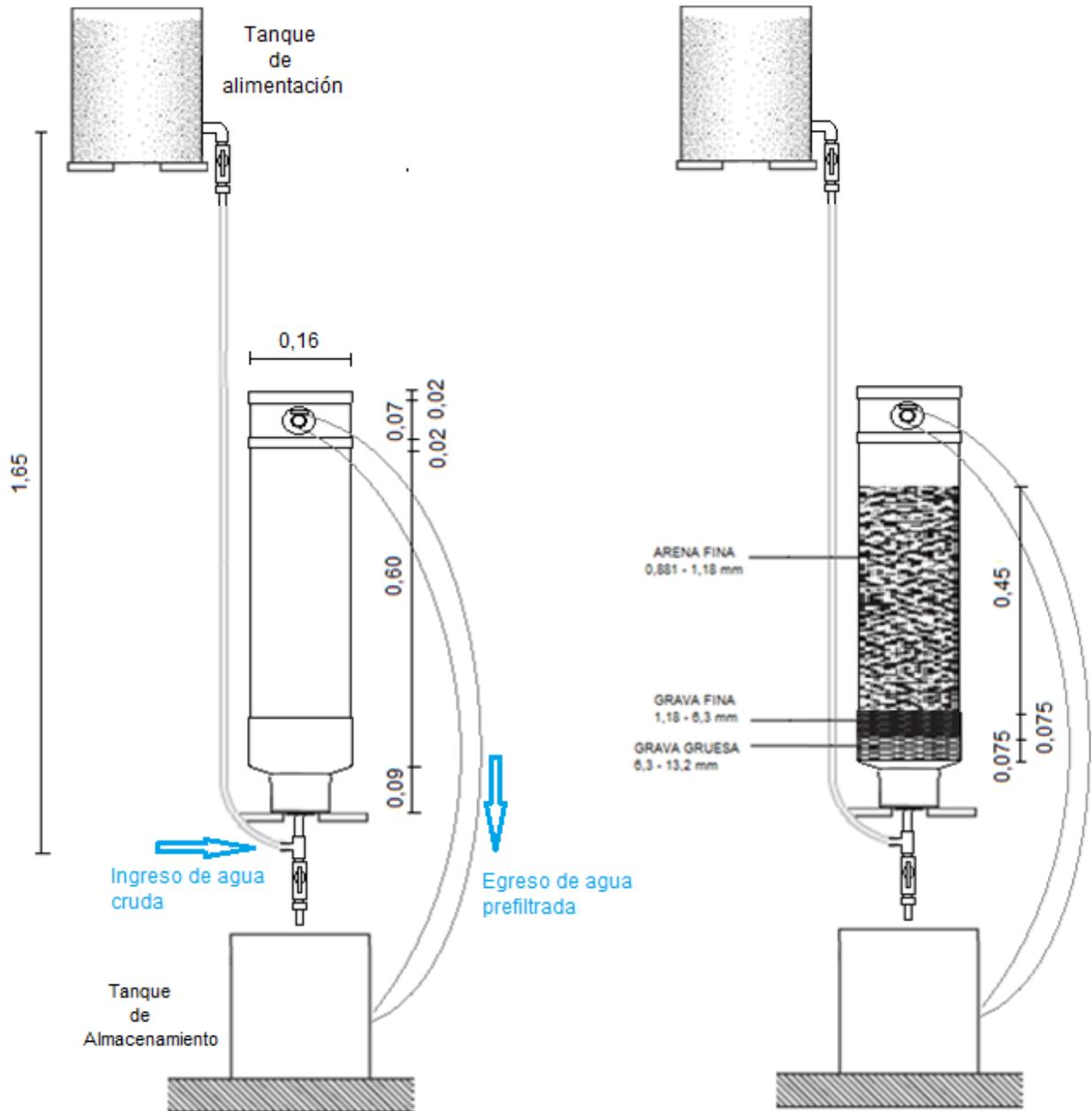


Figura 9. Diseño del equipo de Prefiltración (PFVA).
Fuente: propia.

6.2. Diseño de Filtro Lento de Arena (FLA)

De acuerdo a la información recopilada, se propuso la realización de dos filtros lentos de arena: Alternativa 1 y 2, que en el presente proyecto serán denominados FLA1 y FLA2. Se asume que se obtendrán distintos rendimientos, por lo que se realizará una comparación para discernir cuál es la alternativa más adecuada para lograr los objetivos planteados para la remoción de cianobacterias.

Las Figuras 10 y 11 muestran el diseño de los filtros lentos de arena según cada alternativa.

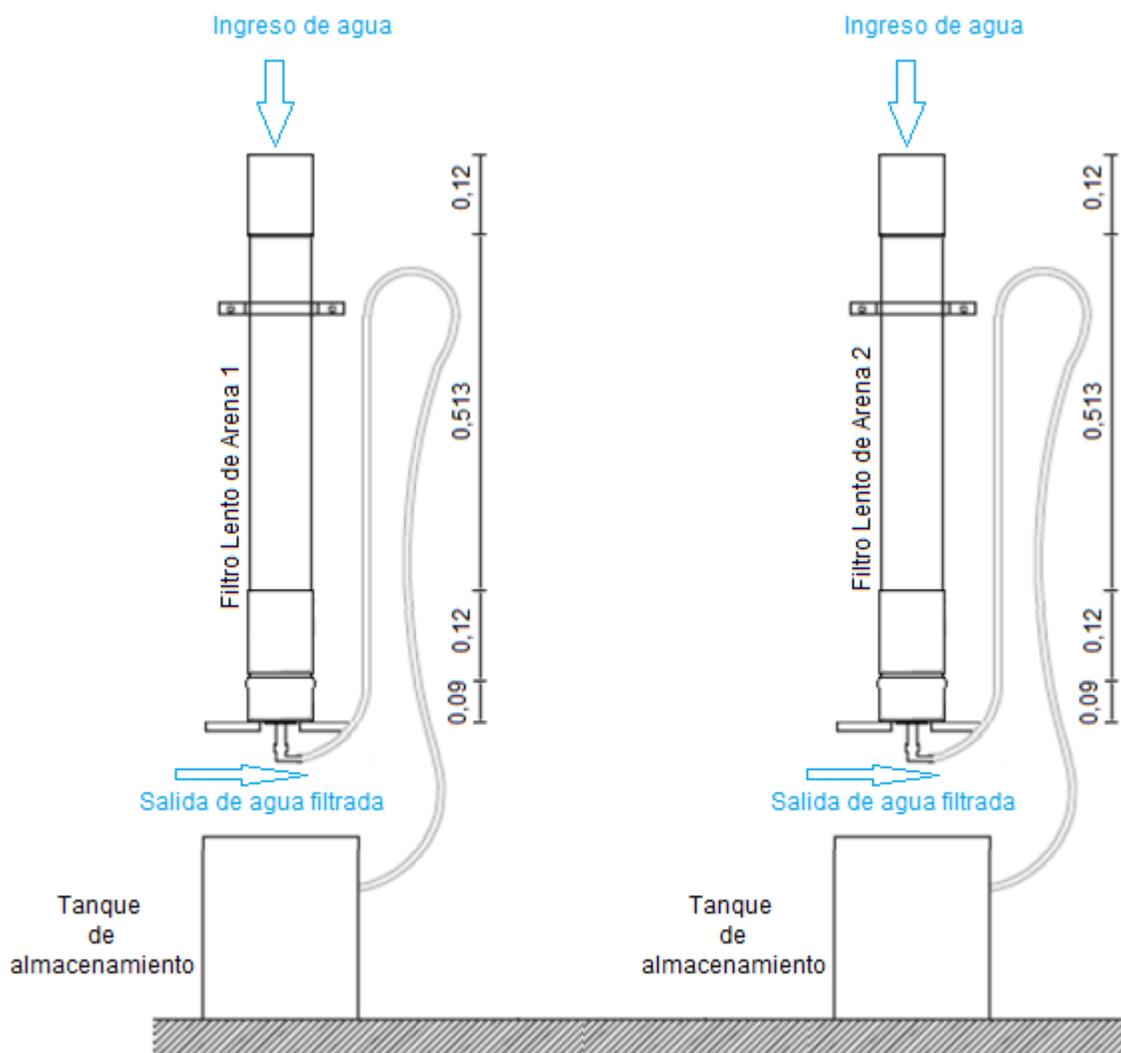


Figura 10. Esquema de los filtros lentos de arena (FLA).
Fuente: propia.

6.2.1. Filtro Lento de Arena (FLA1)

En esta alternativa el lecho filtrante es de 45 cm de arena fina, 5 cm de grava fina y 5 cm de grava gruesa.

La granulometría de los medios filtrantes fue:

- Arena fina*: granulometría comprendida entre 0,833 y 1,18 mm.
- Grava fina*: granulometría comprendida entre 1,18 y 6,3 mm.
- Grava gruesa*: granulometría comprendida entre 6,3 y 13,2 mm.

Por razones de disponibilidad de tamices al momento de la caracterización de la arena y para obtener una mayor velocidad de percolación a través del filtro se decidió adquirir comercialmente arena de construcción (apartado 6.3.1.).

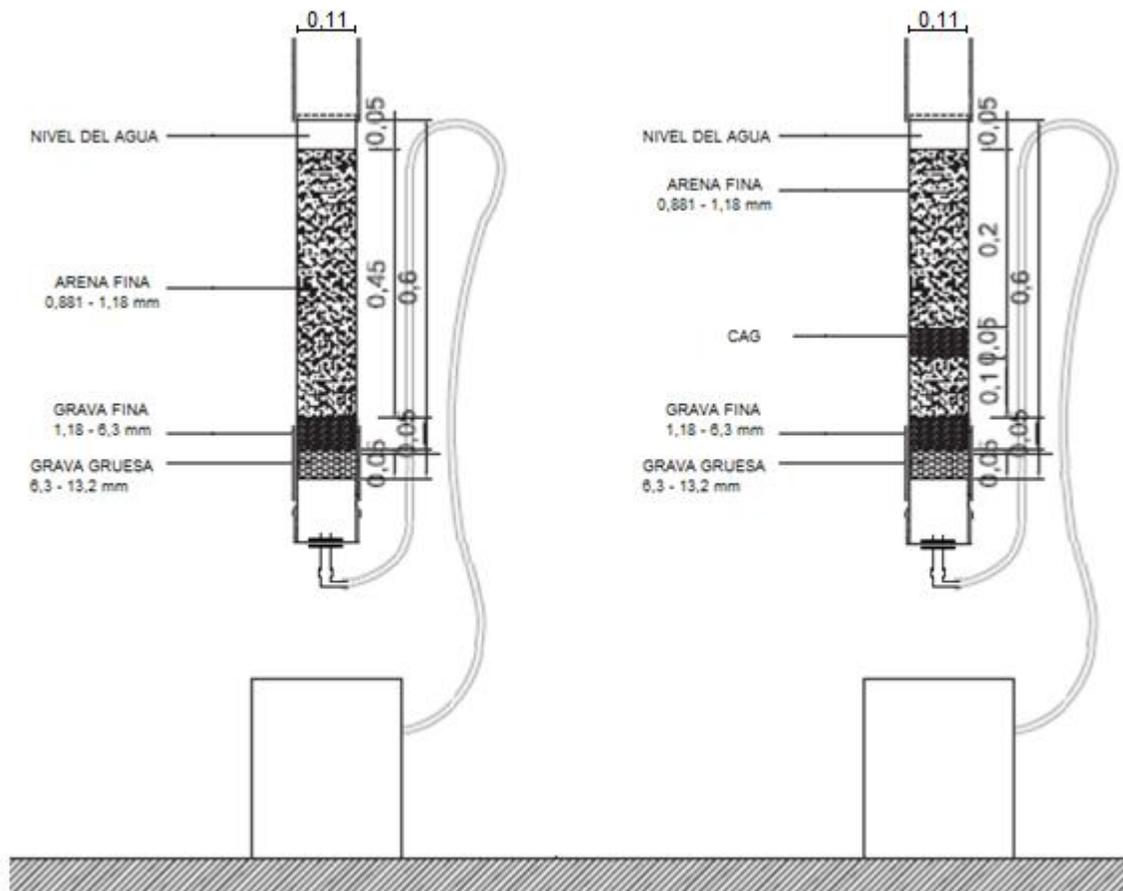


Figura 11. Diferencia en la disposición de los medios filtrantes para cada alternativa.
Fuente: propia.

6.2.2. Filtro Lento de Arena (FLA2)

En esta alternativa el lecho filtrante es de 30 cm de arena fina, 5 cm de CAG, seguido de 10 cm de arena fina nuevamente (se forma un sándwich), 5 cm de grava fina y 5 cm de grava gruesa.

La granulometría de los medios filtrantes fue:

- a) *Arena fina*: granulometría comprendida entre 0,833 y 1,18 mm.
- b) *Grava fina*: granulometría comprendida entre 1,18 y 6,3 mm.
- c) *Grava gruesa*: granulometría comprendida entre 6,3 y 13,2 mm.

La bibliografía no define específicamente la granulometría que debe tener el carbón activado granular, se decidió por un CAG obtenido comercialmente debido a la disponibilidad de materiales.

Con el fin de evitar el taponamiento de los poros, en la Figura 12 se observa el lavado de la arena utilizada. La misma fue enjuagada 10 veces para remover la mayor cantidad de sustancias solubles y orgánicas hasta obtener un agua de lavado transparente.

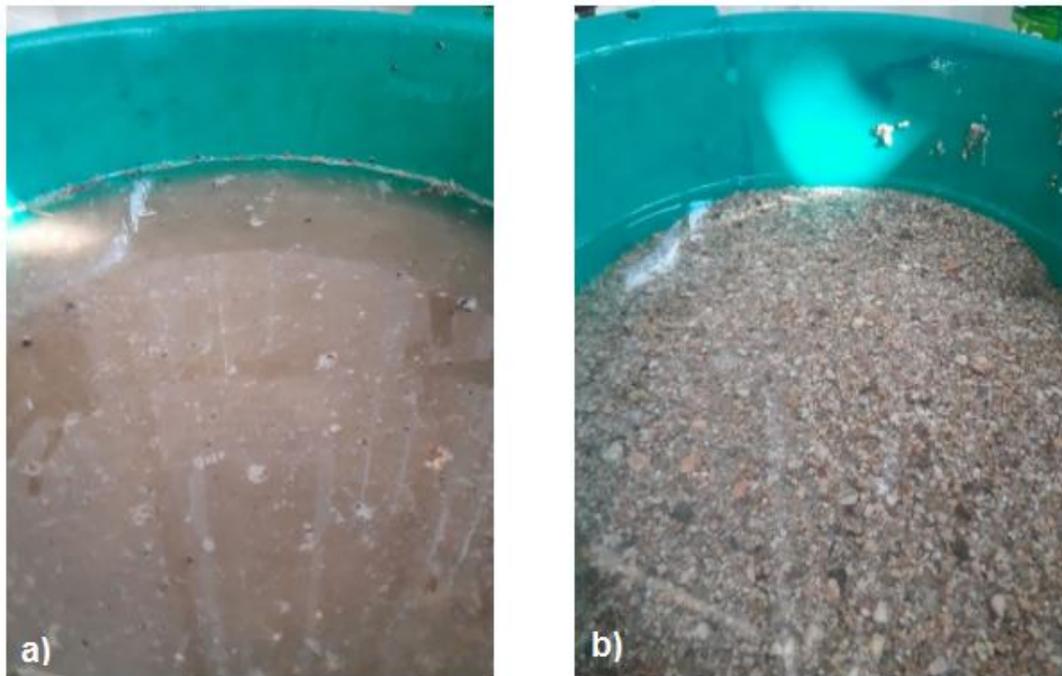


Figura 12. a) Arena sin lavar b) Arena limpia luego del lavado.
Fuente: propia.

6.3. Selección de materiales

6.3.1. Caracterización de la arena

Como el objetivo es que cada habitante realice el equipo en su hogar, se recomienda utilizar la arena y grava de los ríos que tributan al embalse. La misma posee una granulometría variada y depende de la zona de donde se extraiga. Para el presente PI por razones logísticas se extrajo arena y grava del río Los Reartes (Figura 13).



Figura 13. Extracción de arena en el río Los Reartes.
Fuente: propia.

A la arena extraída se le realizó un análisis granulométrico con el objetivo de obtener la distribución por tamaño de las partículas presentes en la muestra.

De los distintos métodos existentes para realizar el análisis granulométrico, el más utilizado es la tamización en seco con tamices normalizados y numerados acoplados en serie. Para realizarlo se coloca un juego de tamices ordenados de arriba hacia abajo por orden decreciente de luz o abertura de malla. La muestra a analizar, luego de ser lavada, se la incorpora sobre el primer tamiz, es decir aquel de abertura de malla mayor y luego se somete el conjunto a un movimiento vibratorio (Norma IRAM 1505, 1987).

En la Tabla 4 y Figura 14 se muestra el análisis granulométrico realizado. El mismo se llevó a cabo para conocer qué porcentaje de arena estaba presente en cada fracción y en consecuencia determinar la cantidad de arena necesaria para procesar y separar en las distintas fracciones. Finalmente, se pudo establecer la cantidad de arena necesaria para la construcción de los equipos.

Tabla 4. Análisis granulométrico de arena del río Los Reartes.

DATOS DE ENSAYO						
Masa inicial [grs] :		500,0		Error de ensayo:		
Tamiz IRAM		RETENIDO			PASANTE	
[mm]	[pulgadas]	grs	%	Acumulado	grs	%
63	2-1/2"				500	100,0
53	2"				500	100,0
37,5	1-1/2"				500	100,0
26,5	1"				500	100,0
19	3/4"				500	100,0
13,2	1/2"				500	100,0
9,5	3/8"	21,2	4,2	4	478,8	95,8
4,75	No 4	42,5	8,5	13	436,3	87,3
2,36	No 8	157,5	31,5	44	278,8	55,8
1,18	No 16	224,5	44,9	89	54,3	10,9
0,6	No 30	52,2	10,4	100	2,1	0,4
0,3	No 50	1,6	0,3	100	0,5	0,1
0,15	No 100	0,2	0,0	100	0,3	0,1
fondo		0,3	0,1	100		
TOTAL		500,0	100,0	100,0		

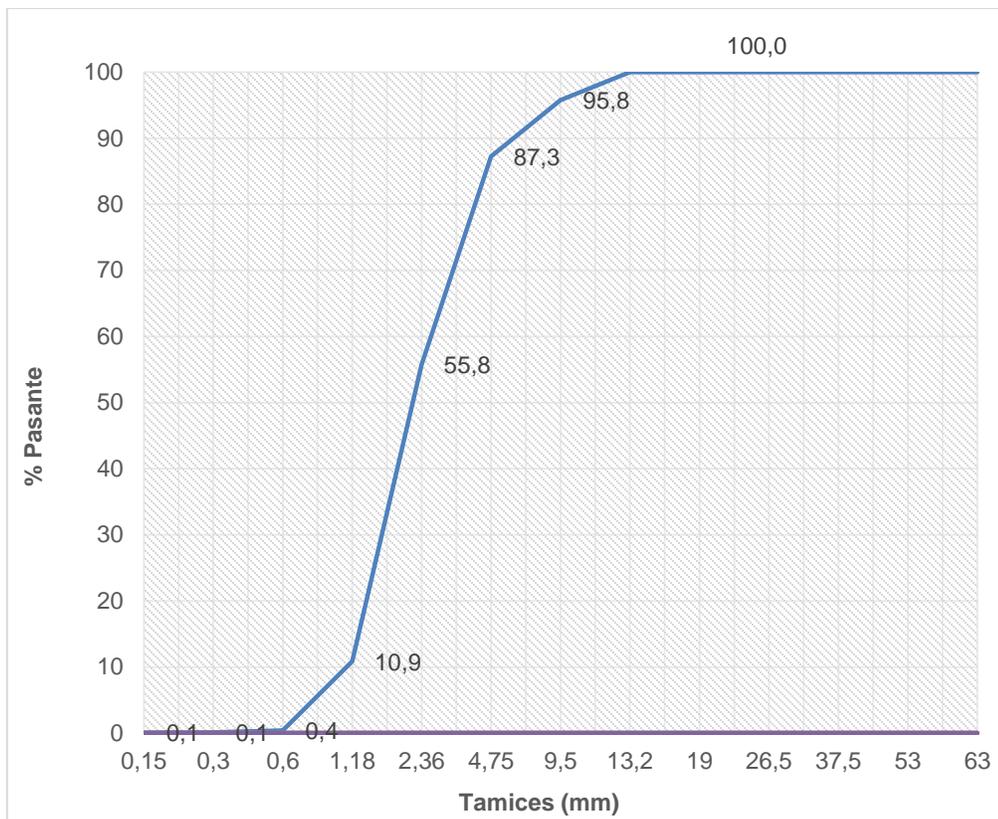


Figura 14. Diagrama acumulado del análisis granulométrico de arena del río.
Fuente: propia.

De dicho análisis se desprende que:

- Aproximadamente, el 4,4 % de la arena corresponde a una granulometría con un diámetro de entre 0,833 y 1,18 mm.
- Aproximadamente un 80% de la arena corresponde a una granulometría comprendida entre 1,18 y 6,3 mm.
- Aproximadamente un 9,1% de la arena corresponde a una granulometría comprendida entre 6,3 y 13,2 mm.

Dado que el porcentaje de arena fina fue muy bajo, y es la fracción de arena que más se requiere (aproximadamente $4,3 \text{ dm}^3$ para cada filtro y 8 dm^3 para el prefiltro), se decidió utilizar arena de construcción que posee una granulometría compuesta por mayor cantidad de finos (Tabla 5 y Figura 15).

Tabla 5. Análisis granulométrico de arena de construcción

DATOS DE ENSAYO						
Masa inicial [grs] :		500,0		Error de ensayo:		
Tamiz IRAM		RETENIDO			PASANTE	
[mm]	[pulgadas]	grs	%	Acumulado	grs	%
63	2-1/2"				500	100,0
53	2"				500	100,0
37,5	1-1/2"				500	100,0
26,5	1"				500	100,0
19	3/4"				500	100,0
13,2	1/2"				500	100,0
9,5	3/8"				500	100,0
4,75	No 4	2,7	0,5	1	497,3	99,5
2,36	No 8	50,9	10,2	11	446,4	89,3
1,18	No 16	146,0	29,2	40	300,4	60,1
0,6	No 30	165,5	33,1	73	134,9	27,0
0,3	No 50	102,8	20,6	94	32,1	6,4
0,15	No 100	27,2	5,4	99	4,9	1,0
fondo		4,9	1,0	100		
TOTAL		500,0	100,0	100,0		

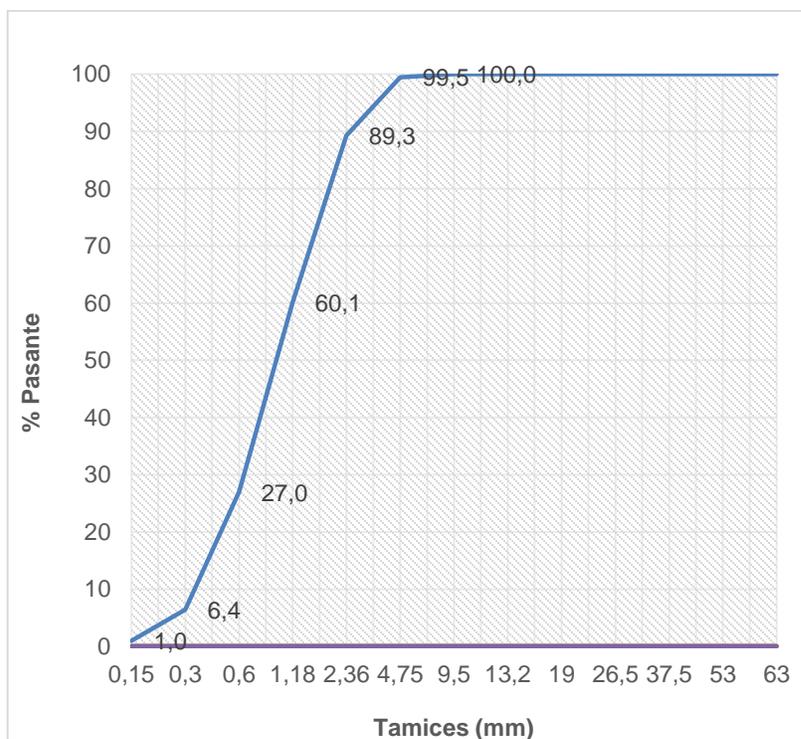


Figura 15. Diagrama acumulado del análisis granulométrico de arena de construcción.
Fuente: propia.

De dicho análisis se desprende que:

- Aproximadamente el 16,1 % de la arena corresponde a una granulometría con un diámetro de entre 0,833 y 1,18 mm.
- Aproximadamente un 39,6% de la arena corresponde a una granulometría comprendida entre 1,18 y 6,3 mm.
- Aproximadamente un 0,3% de la arena corresponde a una granulometría comprendida entre 6,3 y 9,5 mm.

De acuerdo a los resultados obtenidos, se utilizó como grava fina y grava gruesa a la obtenida de la arena proveniente del río, y arena fina a la obtenida de la arena comercial de construcción. Las cantidades necesarias a tamizar para la construcción de los filtros fueron: 53,75 dm³ de arena de construcción, 1,25 dm³ de arena del río para grava fina y gruesa.

6.3.2. Prefiltro Vertical Ascendente (PFVA)

Para realizar la construcción del PFVA se tuvo en cuenta principalmente la disponibilidad de materiales y su accesibilidad económica.

En cuanto a la arena seleccionada, la bibliografía especifica una granulometría (para la grava de soporte) de entre 1 y 2,5 cm, como esta capa es sólo de soporte podría ofrecer resistencia al paso del agua. Por lo tanto, se decidió establecer dos capas de grava, de 6,3 a 13,2 mm y 1,18 a 6,3 mm.

Para la contención del lecho filtrante se utilizaron materiales de PVC, dado que poseen la ventaja de tener una alta resistencia al agua y resultan fácil de trabajar, sin requerir demasiados conocimientos técnicos para ser construidos. Las piezas se pegaron con un adhesivo comercial que trabaja por termofusión molecular. En las roscas se colocó cinta de teflón y sellarosca (en las uniones tanque) para evitar pérdidas.

Para las descargas y la alimentación se utilizaron mangueras de PVC cristal, además del bajo coste, permiten observar el nivel del agua dentro del equipo por su transparencia.

6.3.3. Filtro Lento de Arena (FLA)

En cuanto a la arena seleccionada, si bien la bibliografía especifica una granulometría menor a la utilizada, pues para la arena fina aclara que debe ser menor a 1 mm y la grava fina sea menor a 6 mm y mayor a 1 mm, se decide utilizar 6,3 y 1,18 mm respectivamente para poder aumentar el caudal obtenido de agua filtrada. Esta decisión se basó en que una granulometría muy fina provocaría una disminución en el flujo de agua a tratar, y a los fines microbiológicos esta diferencia no tendría mayores repercusiones en los objetivos perseguidos.

Los materiales seleccionados para su construcción son idénticos a los empleados en el PFVA.

Durante su construcción, para sellar las roscas sólo se utilizó cinta de teflón para evitar pérdidas.

6.4. Construcción

6.4.1. Prefiltro Vertical Ascendente (PFVA)

Se utilizaron los materiales que se detallan a continuación:

- a) Caño de PVC (\varnothing 160 mm), 0,8 m de largo.
- b) 2 tapas hembras para caño de PVC (\varnothing 160 mm).
- c) 1 tapa hembra de PP con O-ring (\varnothing 110 mm).
- d) 2 adaptadores para tanque de $\frac{1}{2}$ ".
- e) 1 codo espiga de PE de $\frac{1}{2}$ ".
- f) 3 m de manguera PVC cristal de $\frac{1}{2}$ ".
- g) Adhesivo para PVC de alta presión, pega por fusión molecular.
- h) Cinta de teflón.
- i) Sellarosca
- j) 1 cupla de PVC (\varnothing 160 mm).
- k) 1 cupla de reducción de PVC (de \varnothing 160 mm a \varnothing 110 mm)

- l) 2 válvulas esféricas de PVC de ½”.
- m) Tee de PP de ½”.
- n) Tanque de PP de 25 L.
- o) 1 entrerroscas de PP de ½”.
- p) 1 codo mh de PP de ½”

Para su construcción se siguieron los siguientes pasos:

1. Se cortó la cañería de PVC en un largo de 0,71 m.
2. Se removieron los bordes a las tapas de PVC, de manera que entren en el interior de la cupla de reducción (Figura 20). Se reservaron los bordes de las tapas.
3. Con adhesivo, se pegaron las tapas (la pieza aquí conformada se llamará doble tapa y se muestra en la Figura 21) y se procedió a su perforación de la misma forma que para los filtros (ver más adelante).
4. Se pegó la doble tapa a la cupla de reducción (Figura 17).
5. Se adhirió uno de los bordes de las tapas obtenidos en el paso 2 en un extremo, y el otro a 0,07 m de éste. El único objetivo que tienen éstos es de reforzar la estructura. (Figura 17).
6. Se perforó la cañería de 160 mm entre los refuerzos mencionados en el punto anterior, con una mecha de 5 mm, de manera que pueda entrar un adaptador tanque (Figura 17).
7. Por medio de una sierra, se removieron los bordes de una de las orejas del adaptador tanque (Figura 16).



Figura 16. A la izquierda un adaptador tanque sin modificar, a la derecha un adaptador tanque a la que se le removieron parte de las orejas.

Fuente: propia.

8. Se introdujo un adaptador tanque en la perforación realizada en la cañería, de manera de que la oreja modificada quede en la parte interior (Figura 17).
9. Para reforzar la estructura se introdujo la cupla de \varnothing 160 mm en la cañería (Figura 17).



Figura 17. A la izquierda, la cañería modificada y a la derecha la cupla de reducción con la doble tapa perforada.
Fuente: propia.

10. Se adhirieron, la cupla de reducción con el caño de 160 mm, con pegamento.
11. Se realizó una perforación en la tapa de PP (que va en el extremo de menor diámetro de la cupla de reducción), de un diámetro tal que permita el paso del adaptador tanque.
12. Se pegó el adaptador tanque a la tapa con sellarosca.
13. Se introdujo el tee en el extremo del adaptador tanque, en la boquilla hembra perpendicular a la rosca del adaptador tanque se le introdujo una espiga y en la salida se introdujo la válvula esférica (con ayuda de una entrerrosca), finalmente se introdujo una espiga recta a la válvula. Se utilizó teflón en todas las roscas (Figura 18).



Figura 18. Fondo del prefiltro.
Fuente: propia.

14. Se perforó el tanque de 25 L a una distancia conveniente (constructivamente) del fondo, de manera que pueda entrar un adaptador tanque.
15. Se introdujo el adaptador tanque y se selló con sellarosca.
16. Al otro extremo del adaptador tanque se le enroscó un codo macho hembra, luego se continuó con una válvula esférica y finalmente una espiga (Figura 19). Se usó teflón en todas las roscas.



Figura 19. Salida del tanque de agua.
Fuente: propia.

17. Se posicionó el filtro en el soporte de madera y se le introdujo un extremo de la manguera cristal (convenientemente cortada), a la espiga que queda en posición horizontal (Figuras 24 y 25).
18. Se posicionó el tanque en altura, y se vinculó el otro extremo de la manguera en la espiga libre de éste.
19. La espiga superior de la cañería se vinculó en una manguera cristal cuya longitud es la suficiente para alcanzar el nivel del suelo.
20. Finalmente se incorporó el medio filtrante (es decir la grava fina y gruesa y la arena fina).

6.4.2. Filtro Lento de Arena (FLA)

Para la construcción de los filtros se requirieron los siguientes materiales:

- a) Caño de PVC (\varnothing 110 mm), 2 m de largo.
- b) 6 tapas hembras para caño de PVC (\varnothing 110 mm).
- c) 2 tapas hembras de PP con O-ring (\varnothing 110 mm).
- d) 2 adaptadores para tanque de $\frac{1}{2}$ ".
- e) 2 codos espiga de PE de $\frac{1}{2}$ ".
- f) 3 m de manguera cristal de PVC de $\frac{1}{2}$ ".
- g) Adhesivo para PVC de alta presión, pega por fusión molecular.
- h) Cinta de teflón.
- i) 4 cuplas de PVC (\varnothing 110 mm).

Se siguieron los siguientes pasos en la construcción de ambos filtros:

1. Se dividió a la cañería de PVC en cuatro partes, dos de 60 cm y dos de 15 cm.
2. Se le removieron los bordes a las tapas de PVC, de manera que entren en el interior de las cuplas (Figura 20)

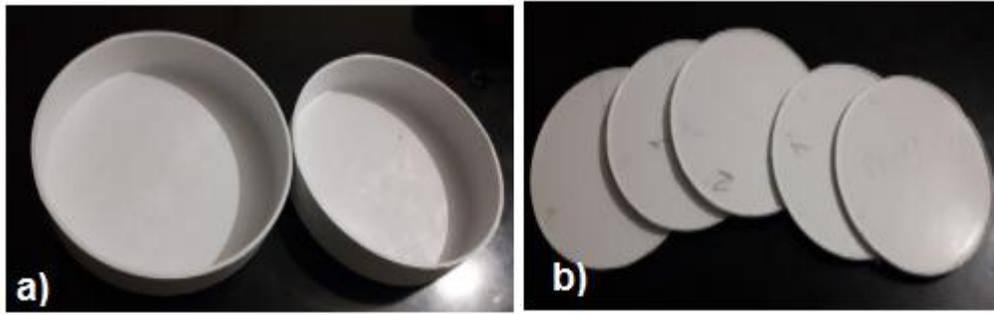


Figura 20. a) Tapas completas. b) Tapas sin bordes.
Fuente: propia.

3. De los tres pares de tapas resultantes, se pegaron dos pares (de ahora en más se llamarán “doble tapa”), que son los que (luego de ser perforados) van a resistir el peso del lecho filtrante (Figura 21).



Figura 21. De izquierda a derecha, la doble tapa del prefiltro y las dos de los filtros
Fuente: propia.

4. Se perforaron las tapas con una mecha adecuada de 3,5 mm de diámetro, y teniendo especial cuidado de que tres perforaciones contiguas sean no coincidentes entre ellas para evitar ruptura en línea recta. Esto se logró diagramando en una grilla la ubicación de los mismos, luego se pasó a las tapas y se procedió a realizar las perforaciones (Figura 22).



Figura 22. A la izquierda la grilla con las perforaciones, y a la derecha las doble tapa perforadas.
Fuente: propia.

5. Se perforaron las dos tapas restantes, que funcionaran como difusores. No se tomaron mayores recaudos, ya que la función del difusor es simplemente evitar que al caer el agua, no se forme un solo chorro que genere canalizaciones en la arena.
6. En orden ascendente se vincularon con adhesivo las siguientes partes (para ambos equipos): tubo de 15 cm, cupla, doble tapa perforada, tubo de 60 cm y cupla superficial. La cupla superficial se adhirió de manera de sobresalir del tubo aproximadamente 10,5 cm, para ejercer la función de receptor el agua que va a ser filtrada.
7. Se realizó una perforación en las tapas de PP, en la parte inferior, de un diámetro tal que permita el paso de los adaptadores tanque ($\frac{1}{2}$ ").
8. Se pegaron los adaptadores tanque con adhesivo.
9. Se colocó teflón en las roscas y se introdujeron los codo espiga.
10. Con ayuda de aceite de cocina, se ensamblaron las tapas de PP modificadas como ya se explicó, en el extremo inferior de cada reservorio. No se introdujo adhesivo para realizar este acople, dado que el o-ring de la tapa no permite que se escape agua.
11. Luego de colocado el medio filtrante (es decir la grava fina y gruesa, la arena fina, y dependiendo de la alternativa, el CAG), se introdujeron los difusores (simplemente apoyados) en la parte superior.
12. Finalmente se introdujeron los codo espiga en mangueras cristal, de un largo de aproximadamente 1,5 m cada una, de manera que el nivel normal del agua en el interior de los equipos sea a 5 cm de la superficie de la arena. Ésta se aseguró con precintos para evitar debilitar la estructura del soporte (Figura 23).



Figura 23. Manguera cristal asegurada con precintos.
Fuente: propia.

NOTA: Cuando se realizó la adhesión de las partes, se lijaron y limpiaron siempre las superficies a adherir. Se esperó al menos 10 minutos para su manipulación y 24 horas para su puesta en marcha (indicaciones de uso del adhesivo utilizado).

Para sostener los equipos se utilizó un soporte de madera, donado por el departamento de Química Industrial y Aplicada de la Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, al que se le introdujeron adaptaciones para poder contener a los equipos que, luego de ser incorporados, se aseguraron mediante abrazaderas y precintos.

6.4.3. Prototipos obtenidos

Se obtuvieron tres equipos dispuestos en hilera (Figura 24 y 25), y un tanque que se encuentra en altura (una altura de 1,65 m respecto del ingreso del agua al prefiltro).



Figura 24. Equipos de filtración (en los extremos) y prefiltro (en medio).
Fuente: propia.



Figura 25. Parte inferior de los equipos.
Fuente: propia.

6.5. Costos de las propuestas

6.5.1. Costos de los filtros

Con el fin de realizar una comparación económica entre el FLA1 y el FLA2, es que en este apartado se discutirán los costos que tienen cada alternativa (Tabla 6 y 7).

Para realizar los presupuestos, el día 15 de noviembre de 2018, se consultaron las siguientes fuentes:

- Elementos de sanitario: Sanitarios Avenida. Avenida Velez Sarsfield 1234, Córdoba Capital, Argentina.
- Arena de construcción: https://articulo.mercadolibre.com.ar/MLA-691113233-arena-fina-por-camionda-de-6-mts-cordoba-_JM?quantity=1
- Manguera cristal: https://articulo.mercadolibre.com.ar/MLA-603458871-manguera-cristal-12-x-2mm-12-aire-acondicionado-x-mtro-_JM?quantity=1
- Carbón activado granular: https://articulo.mercadolibre.com.ar/MLA-723133478-carbon-activado-granulado-por-kilo-_JM?quantity=1

Tabla 6. Costos de la alternativa FLA1

Filtro Lento de Arena 1			
Descripción	Precio Unitario	Cantidad	Costo Total
Caño PVC 110 6 m	\$ 381,89	0,17	\$ 63,65
Cupla lisa PVC 110	\$ 92,86	2,00	\$ 185,72
Tapa H PVC 110	\$ 56,33	3,00	\$ 168,99
Tapa H PP 110	\$ 71,03	1,00	\$ 71,03
Adaptador tanque PP 1/2"	\$ 84,22	1,00	\$ 84,22
Adhesivo P/PVC 100 CC.	\$ 77,53	1,00	\$ 77,53
Codo espiga 1/2" PE	\$ 6,44	1,00	\$ 6,44
Manguera cristal 1/2" 1 m	\$ 28,00	1,50	\$ 42,00
Cinta teflón 1/2" 10 m	\$ 7,70	1,00	\$ 7,70
Arena de construcción 1 m ³	\$ 1.200,00	0,05	\$ 64,80
TOTAL			\$ 772,08

Tabla 7. Costos de la alternativa FLA2.

Filtro Lento de Arena 2			
Descripción	Precio Unitario	Cantidad	Precio Total
Caño PVC 110 6 m	\$ 381,89	0,17	\$ 63,65
Cupla lisa PVC 110	\$ 92,86	2,00	\$ 185,72
Tapa H PVC 110	\$ 56,33	3,00	\$ 168,99
Tapa H PP 110	\$ 71,03	1,00	\$ 71,03
Adaptador tanque PP 1/2"	\$ 84,22	1,00	\$ 84,22
Adhesivo P/PVC 100 CC.	\$ 77,53	1,00	\$ 77,53
Codo espiga 1/2" PE	\$ 6,44	1,00	\$ 6,44
Manguera cristal 1/2" 1 m	\$ 28,00	1,50	\$ 42,00
Cinta teflón 1/2" 10 m	\$ 7,70	1,00	\$ 7,70
Arena de construcción 1 m ³	\$ 1.200,00	0,05	\$ 64,80
Carbón activado granular 1 kg	\$ 450,00	0,25	\$ 112,50
		TOTAL	\$ 884,58

Como se puede observar la alternativa FLA2 es aproximadamente un 15 % más costosa que la alternativa FLA2 debido al CAG. También se puede decir que el CAG representa un 13% del costo total del filtro.

Si bien en las tablas de costos existen materiales que en general no se venden fraccionados o que no se venden por menor volumen que el allí expresado (Caño PVC 110 6 m y Arena de construcción 1 m³), se idealizó la situación como posible o que los vecinos pueden hacer una compra conjunta para alcanzar juntos el volumen de venta.

6.5.2. Costo de la implementación a nivel domiciliario

Para realizar dicho presupuesto (Tabla 8) se consultaron las mismas fuentes que en el apartado anterior. En adición el costo del Recipiente PE 230 L y el del tanque de 25 L, se obtuvo de la empresa Zoppetti envases y embalajes. Salta 551. Córdoba Capital, Argentina.

Tabla 8. Costo de realizar la instalación a nivel domiciliario.

Instalación domiciliaria			
Descripción	Precio Unitario	Cantidad	Precio Total
Tanque tricapa 400 L	\$ 2.100,00	1,0	\$ 2.100,00
Cañería PP 3/4" 6 m	\$ 457,72	1,5	\$ 686,58
Recipiente PE 25 L	\$ 280,00	1,0	\$ 280,00
Recipiente PE 230 L	\$ 5.518,00	1,0	\$ 5.518,00
Accesorios	\$ 1.500,00	1,0	\$ 1.500,00
Tanque tricapa 300 L	\$ 1.957,18	1,0	\$ 1.957,18
Arena de construcción 1 m3	\$ 1.200,00	1,0	\$ 1.200,00
TOTAL			\$ 13.241,76

El proceso que seguiría el agua a tratar sería el siguiente:

1. Ingresa al domicilio a un tanque pulmón de 300 L.
2. Atraviesa el prefiltro, contenido en el tanque de 25 L.
3. Luego atraviesa el lecho filtrante de arena, el cual se encuentra contenido en el recipiente de PE de 230 L.
4. Finalmente se almacena en un tanque tricapa de 400 L que se puede utilizar como cisterna.

Aquí resulta importante aclarar que si bien se presupuestaron todos los materiales utilizados para la instalación domiciliaria, se pueden abaratar costos utilizando recipientes contenedores de pintura debidamente lavados y enjuagados (u otras alternativas, no existe sólo una forma de realizarlo, es por esto que en el Anexo I se discuten lineamientos para su construcción y no se dan los planos precisos para realizarlo) y arena de río.

6.6. Ensayos

6.6.1. Prefiltro vertical ascendente (PFVA)

Caudal máximo

Dado que el objetivo del prefiltro es disminuir la cantidad de sólidos suspendidos del agua para que los filtros no se saturen; y como éste equipo se encuentra antes que los filtros, el caudal a tratar debe tener las siguientes características:

- a) Ser igual o mayor al que se obtiene a la salida de los filtros (de preferencia mayor), para que éstos últimos no se queden sin agua para tratar (siendo el límite inferior de caudal, el que se obtiene a la salida de los filtros).
- b) El menor posible, de manera de que se produzca un flujo tal que atraviesen el lecho filtrante la menor cantidad de sólidos suspendidos, y éstos queden retenidos en su mayoría.

Se estableció el caudal máximo que puede tratar el equipo (para fijar un límite máximo constructivo y funcional). Se introdujo agua en el tanque con las válvulas superior e inferior cerradas y se realizó una marca en el tanque, de manera de que cuando el nivel del agua descienda hasta ese punto, se tomaran las mediciones de caudal. Estas mediciones se realizaron abriendo la válvula superior completamente y con una probeta de 1 L de capacidad colocada convenientemente en la manguera dispuesta a la salida del equipo. Se dejó circular agua y se cronometró el tiempo que tardaba en completar el litro de la probeta. La medición se realizó por triplicado.

Durante la ejecución del PI no se registraron caudales de tratamiento inferiores al límite, por lo que no se requirió limpiar el equipo. Pero por precaución, al finalizar todas las corridas, se realizó una descarga del agua acumulada en el equipo.

En caso de que el caudal llegara al valor límite, se recomienda la limpieza de los equipos mediante el siguiente procedimiento:

1. Una vez que se prefiltró el agua necesaria, cerrar la válvula superior.
2. Abrir válvula inferior y dejar que corra el agua de descarte.

6.6.2. Filtro Lento de Arena (FLA)

Carga o tasa de carga

La carga es una medida del caudal de agua que atraviesa el filtro por unidad de área perpendicular al flujo. Este ensayo se realizó con el fin de conocer la velocidad con la que el agua atraviesa el lecho filtrante. Es importante su determinación porque a partir de este valor y conociendo el caudal de agua necesario, se puede establecer el área que debe tener un filtro (ver Anexo I).

Esta determinación se realizó cada 3 o 4 días durante los 22 días que duró la prueba de eficiencia, con el objeto de:

- a) Determinar si había variación de la carga a lo largo del tiempo; y
- b) Realizar una comparación entre las dos alternativas (FLA1 y FLA2).

$$v = \frac{Q}{A} \quad (1)$$

Donde:

v , tasa de carga del filtro, se mide en $\text{cm}^3 / \text{cm}^2 \cdot \text{h}$

Q , caudal que atraviesa el lecho filtrante, se mide en cm^3 / h

A , área superficial del filtro (se mide en cm^2). Es la misma para ambas alternativas, siendo:

$$A = \pi \cdot (5,5 \text{ cm})^2 = 95,03 \text{ cm}^2$$

Los principales parámetros que influyen en la tasa de carga son:

- Altura del líquido en los contenedores de agua, al ingreso de los filtros. Cuanto mayor sea dicha altura, más alta será la tasa de carga.
- Resistencia del medio filtrante. Cuanto menor sea el tamaño de las partículas de arena en la capa inicial del filtro, menor será el tamaño de los poros formados, por lo que el lecho tendrá baja permeabilidad y alta resistencia al paso de agua.

- Turbiedad del agua. Una alta turbiedad en el agua produce un taponamiento de los filtros y una rápida colmatación, por lo que la tasa de carga disminuye.

La medición de v se realizó, por triplicado, y se dejó asentado el promedio de los tres valores obtenidos. Procedimiento:

1. Con la ayuda de una probeta se cargó 1 L de muestra de agua (15,5 cm de columna de agua, por encima de la arena).
2. Se recogió el agua a la salida de los equipos en recipientes plásticos.
3. Con un cronómetro, se tomó el tiempo que tardaba el agua de alimentación en retomar su nivel normal (a 5 cm de la arena).

En el presente PI no fue necesario realizar la limpieza de los filtros. La misma se realiza cuando los caudales de tratamiento no logran satisfacer las necesidades de agua del consumidor. Se puede realizar haciendo un cuarteo en la superficie, de un área determinada, y removiendo 2 cm de arena. Luego se puede mezclar esta arena madura (que tiene la biocapa totalmente desarrollada) con arena nueva y se vuelve a introducir en el equipo para facilitar la formación de la nueva biocapa.

6.6.3. Resultados y discusión

Caudal máximo en el prefiltro

Aquí se encontró que pese a haber poca diferencia en altura entre el tanque de alimentación y el prefiltro (1,65 m), y teniendo en cuenta que el lecho filtrante opone una cierta resistencia al paso del agua, se logró un caudal máximo de 0,05 L/s. Valor superior al obtenido en los FLA y detallados en la tasa de carga en filtros.

Tasa de carga en filtros

En base al procedimiento descrito anteriormente se evaluó la tasa de carga de los filtros (Tabla 9 y 10, Figura 26 y 27).

Tabla 9. Carga en función del tiempo para la Alternativa 1 (FLA1).

FLA1				
Días transcurridos	Volumen (mL)	Tiempo (s)	Area (cm ²)	Carga (mL/s)
0	1000	300	95,03	0,0351
2	1000	310	95,03	0,0339
5	1000	328	95,03	0,0321
9	1000	350	95,03	0,0301
12	1000	363	95,03	0,0290
16	1000	370	95,03	0,0284
20	1000	375	95,03	0,0281
22	1000	372	95,03	0,0283

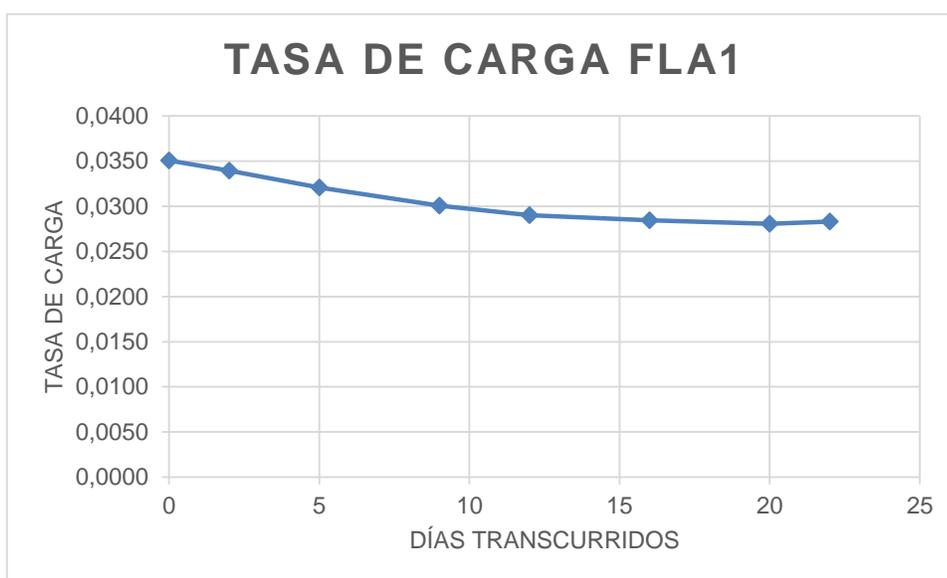


Figura 26. Variación de la carga obtenida en el tiempo para FLA1.
Fuente: propia.

Tabla 10. Carga en función del tiempo para Alternativa 2 (FLA2).

FLA2				
Días transcurridos	Volumen (mL)	Tiempo (s)	Area (cm ²)	Carga (mL/s)
0	1000	300	95,03	0,0351
2	1000	323	95,03	0,0326
5	1000	370	95,03	0,0284
9	1000	415	95,03	0,0254
12	1000	445	95,03	0,0236
16	1000	480	95,03	0,0219
20	1000	470	95,03	0,0224
22	1000	460	95,03	0,0229

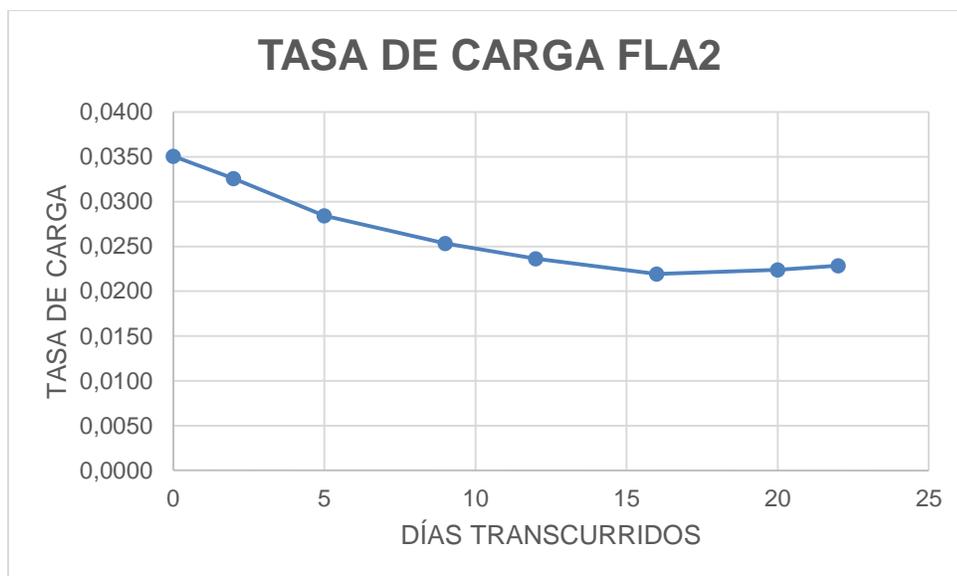


Figura 27. Variación de la carga obtenida en el tiempo en FLA2.
Fuente: propia.

Según las Figuras 26 y 27 se observa que al inicio del proyecto ambos filtros tenían la misma tasa de carga mientras que al final del mismo el filtro FLA1 tiene mayor tasa de carga que el filtro FLA2.

6.7. Caracterización del agua del embalse

Los muestreos se realizaron en recipientes de plástico de 10 L previamente lavados y enjuagados sucesivamente con el agua del embalse para evitar que se contamine con remanentes que hayan quedado presentes. Los muestreos se realizaron cada 3 o 4 días según la disponibilidad y fin de semanas.

La toma de muestra se realizó a la orilla del embalse a la altura de una de las tomas de agua (San Pedro) que abastece a la comuna de Potrero de Garay (Figura 28 y 29)



Figura 28. Costa donde se realizaron los muestreos.
Fuente: propia.

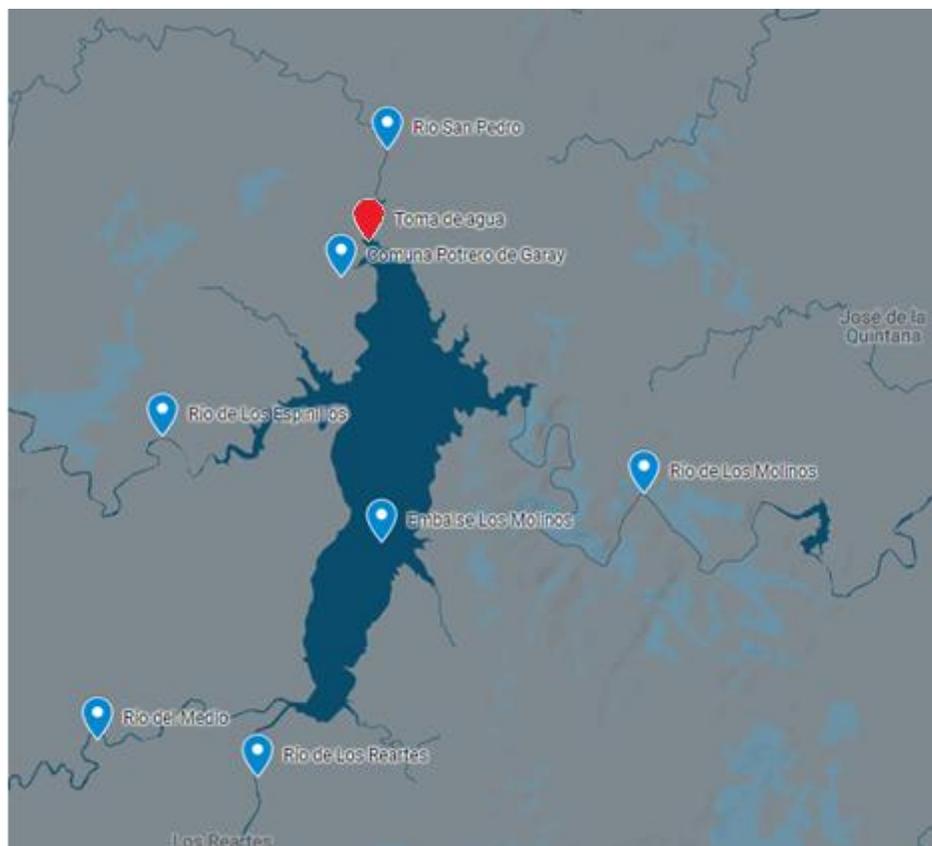


Figura 29. Ubicación de la toma de agua de San Pedro, mediante una de las cuales la Comuna de Potrero de Garay succiona agua para abastecerse.
Fuente: <https://www.google.com/maps/d/u/0/edit?mid=19GWYChv0UxOBqNAqng6KvjfmrBrmARv2&ll=-31.830410024269113%2C-64.54018974999997&z=12>

Se tomaron dos muestras de agua para los siguientes fines:

1. Recuento de fitoplancton, en envase plástico de 1 L de capacidad.
2. Prefiltración y filtración, en recipientes de plástico de 10 L de capacidad.

Durante el muestreo en el ELM no se observó a simple vista la presencia de natas en suspensión (características de floraciones de cianobacterias), sino que se encontraban dispersas. El monitoreo visual es una forma rápida y aproximada de determinar la presencia de cianobacterias.

Mediante el análisis al microscopio se encontró una variedad de algas Clorófitas y escasa presencia de cianobacterias en el ELM. Es por esto que se decidió utilizar como agua cruda aquella proveniente del lago San Roque (LSR), en la cual se observó mayor cantidad de algas y cianobacterias.

La ubicación del punto de muestreo en el LSR se presenta en la (Figura 30).

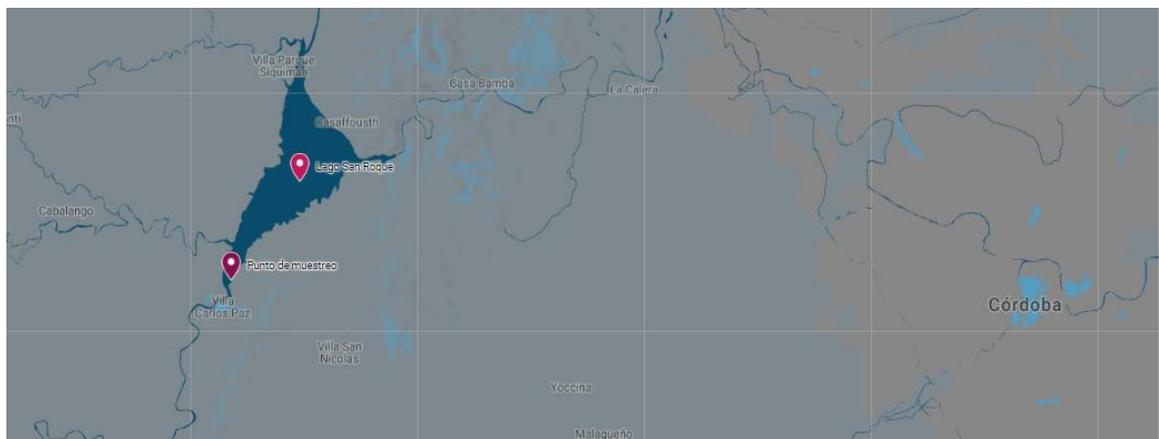


Figura 30. Lago San Roque y el punto de muestreo sobre la playa.

Fuente: <https://www.google.com/maps/d/u/0/edit?mid=1dV0xXXkcSOdr5QxkDVbGysUZojGHapvv&ll=-31.396694406174475%2C-64.4833031&z=14>

6.7.1. Identificación de Fitoplancton

De acuerdo a las observaciones de campo, el método elegido para la concentración de fitoplancton, su identificación y recuento, es mediante filtro membrana (Adaptado de SM, 2012). El ensamble del equipo de filtración se muestra en la Figura 31.



Figura 31. Dispositivo para crear vacío, kitasato con tapón y vaso contenedor de muestra, sostenido por una pinza metálica.
Fuente: propia.

Procedimiento:

1. Se introdujo un papel filtro cuadrulado de 22 μm en la superficie del kitasato.
2. Se introdujeron 200 mL de agua a analizar.
3. La filtración se realizó abriendo el agua de la canilla para generar el vacío de manera de que la muestra en el vaso atravesara el filtro hasta el kitasato a una presión suficiente para filtrar pero sin que se produzca lisis celular.
4. Se introdujo aceite de inmersión en una placa de Petri de plástico, y se dispersó de manera que pueda abarcar toda la superficie del papel filtro.
5. Una vez colocado el filtro en la caja de Petri con el aceite, se llevó a estufa a 65 °C hasta que el filtro se volviera transparente (aproximadamente 30 minutos).
6. Introduciéndolo en microscopio LEICA DM500, con un aumento de 100x, se identificaron los géneros presentes de algas y cianobacterias.

6.7.2. Resultados

Se logró identificar una variedad de algas y cianobacterias que se muestran en las Figuras 32 a 36.

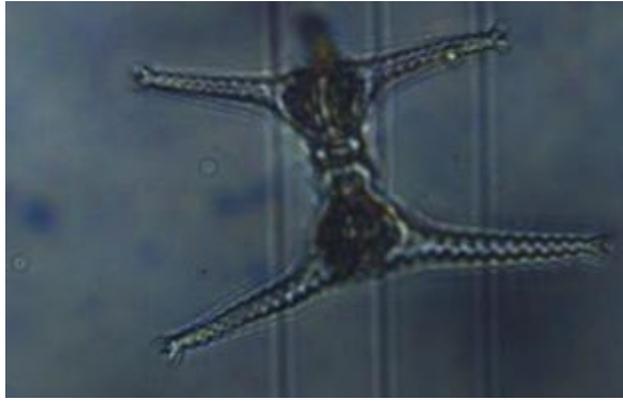


Figura 32. *Staurastrum sp.* obtenida en muestra del ELM.
Fuente: propia.

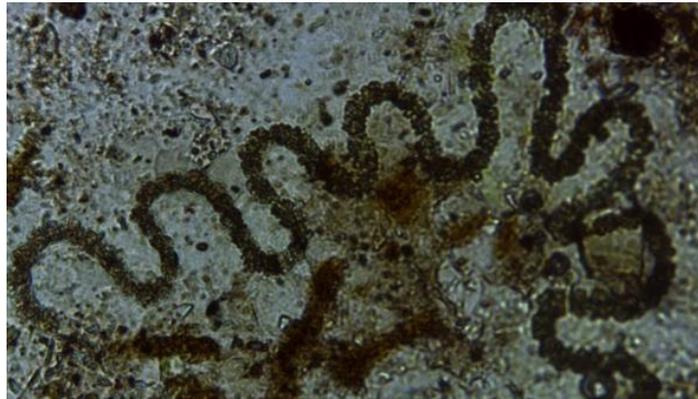


Figura 33. *Dolichospermum sp.* obtenida en muestra del LSR.
Fuente: propia.

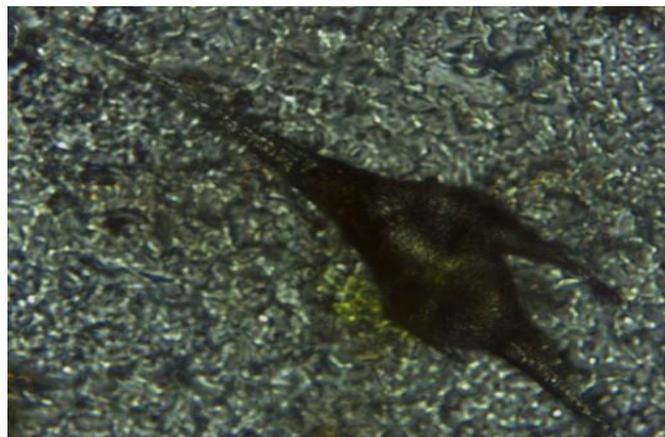


Figura 34. *Ceratium sp.* obtenida en muestra del LSR.
Fuente: propia.



Figura 35. *Aulacoseira* sp. obtenida del filtro FLA2 con agua del ELM.
Fuente: propia.



Figura 36. *Navícula* sp. obtenida en muestra del ELM.
Fuente: propia.

EFICIENCIA DE LOS EQUIPOS

7. EFICIENCIA DE LOS EQUIPOS

7.1. Introducción

Dado que la función principal del PFVA es eliminar sólidos en suspensión que pudieran obstruir los poros del filtro, en este PI se evalúa la eficiencia del PFVA mediante un ensayo de sólidos en suspensión. Se verificó la cantidad de sólidos suspendidos por diferencia de peso, antes y después de prefiltrar el agua cruda.

Aplicada a la remoción de cianobacterias y algas, la eficiencia se traduce como la cantidad de algas y cianobacterias que atraviesan los poros del lecho filtrante de arena fina o carbón activado, respecto de la cantidad presente en la muestra a filtrar.

La determinación se realizó a los 7, 14 y 22 días de haber puesto en marcha los filtros (periodo necesario para el desarrollo de la biocapa). Particularmente, se realizó a los 7, 14 y 22 días para evaluar si existía diferencia entre los valores obtenidos en ambas alternativas de filtros. Además, a los 22 días para evaluar la eficiencia que tendría todo el sistema (prefiltro y filtro) si fuera puesto en conjunto.

7.2. Sólidos en suspensión

Para realizar éste ensayo:

1. Con una balanza analítica SCALTEC, se pesaron filtros de papel de 22 μm y se rotuló.
2. Se armó el equipo de filtración como el de la Figura 31 de la sección de Identificación de Fitoplancton.
3. Con una probeta, se introdujeron 400 mL de muestra en el vaso (se tomaron muestras antes de prefiltrar y después).
4. Se procedió a filtrar (de la forma descrita en la sección de Recuento).
5. Se llevaron a estufa a 105 °C durante 24 h.
6. Se dejaron enfriar y se pesaron.
7. Por diferencia de pesos, se obtuvieron los sólidos suspendidos.

7.3. Recuento

Se realizaron los conteos de cianobacterias y algas en agua cruda, y en agua filtrada por ambas alternativas.

Las muestras tomadas después de pasar por los filtros se tomaron de la siguiente forma:

1. Con la ayuda de una probeta, se cargó cada filtro con 3 L de muestra de agua (de a 1 L por vez), y se dejó escurrir, hasta nivel normal, para que arrastre la mayor cantidad de agua de filtraciones anteriores.
2. Con la misma probeta utilizada en (1) se cargó 1 L de muestra de agua.
3. Se recogió el agua a la salida de los equipos en recipientes de 1 L de plástico.
4. Se le realizaron análisis al microscopio a las muestras tomadas como se detalla más adelante.

Finalmente, se determinó la calidad del agua a la salida de todos los equipos. Esto se realizó luego de haber transcurridos los 22 días de maduración de la biocapa de los filtros, y se procedió de la siguiente manera:

- a) Se tomó una muestra de agua cruda del LSR en un envase de 1 L, y en 4 recipientes de plástico de 6 L cada uno.
- b) Se hicieron pasar los 25 L de agua cruda por el prefiltro, a un caudal de 0,003 L/s aproximadamente. De allí se tomó una muestra de 2 L (para análisis al microscopio).
- c) El resto del agua se hizo circular por ambos filtros (de igual forma que las muestras de agua cruda). De allí se recogieron muestras de 1 L de agua.

El procedimiento es idéntico que el utilizado en la identificación de fitoplancton. A los fines del presente PI, a continuación se detalla la metodología utilizada para el recuento a partir del punto 6) del procedimiento para la identificación de géneros.

- 1) Se dibujaron 4 transectas de la distancia de la cuadrícula en la parte posterior de la placa de Petri (Figura 37).

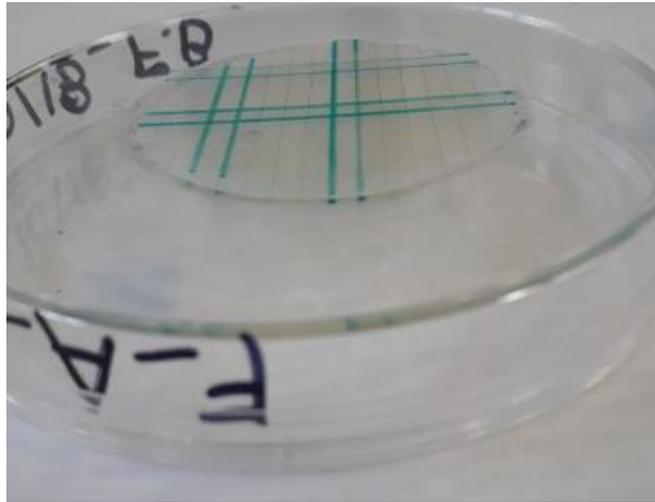


Figura 37. Caja de Petri invertida con el dibujo de 4 transectas.
Fuente: propia.

- 2) Utilizando un microscopio LEICA DM500, y con la ayuda de un aumento de 40x se procedió al conteo de algas y cianobacterias presentes.
- 3) Para determinar el error humano que se comete en la lectura, se realizaron 5 conteos en sendos filtros de papel de la misma muestra de agua y de la forma ya descrita.

Durante la realización de la caracterización se pueden cometer errores humanos que son provocados por el operador que realiza el recuento, directa o indirectamente:

- Mala visualización de la muestra. Si la persona que realiza el conteo no visualiza correctamente la muestra, puede dejar de contar células de interés y contar otro tipo de células.

Reducción del error: Utilización de un buen microscopio, en un buen estado de conservación. Realizar la manipulación del microscopio correctamente y con la óptica adecuada al tamaño celular.

- Dejar de contar células que están en otro plano. Si la persona que tiene que realizar el conteo no visualiza correctamente la muestra, puede dejar de contar células de interés y contar otro tipo de células.

Reducción del error: Utilización de un buen microscopio, en un buen estado de conservación. Realizar la manipulación del microscopio correctamente y con la óptica adecuada al tamaño celular

- Perder la cuenta / confusión al contar. Si la persona que realiza el recuento pierde la cuenta, deberá recomenzar.

Reducción del error: Realizar los conteos siempre la misma persona.

- Error en la aplicación de la fórmula. Si la fórmula de recuento se aplica mal o se aplica la fórmula incorrecta, se obtendrán resultados erróneos. Esta es una de las principales fuentes de error y de confusión al realizar recuentos celulares.

Reducción del error: Utilizar siempre la misma metodología de recuento celular y la misma fórmula. Revisar las dimensiones de la cámara y comprobar que la fórmula aplicada tiene sentido.

- Error de recuento en los bordes. Si la persona que realiza el recuento celular no toma las buenas decisiones a la hora de considerar una célula dentro o fuera del conteo. Se estima que este error es muy bajo, menor del 1%.

Reducción del error: Utilizar un criterio claro de selección en los bordes (ej. células que tocan la línea arriba y derecha se cuentan, abajo e izquierda se descartan).

- Error de diferentes criterios de conteo en los bordes Si la persona que realiza el recuento celular no toma las buenas decisiones a la hora de considerar una célula dentro o fuera del conteo. Se estima que este error es muy bajo, menor del 1%.

Reducción del error: Utilizar un criterio claro de selección en los bordes (ej. células que tocan la línea arriba y derecha se cuentan, abajo e izquierda se descartan). Delegar el conteo a la misma persona siempre.

Para verificar el error que se cometió en ésta determinación, es que se realizó por quintuplicado la filtración de 200 ml de una misma muestra de agua (de la forma previamente dicha) y se calculó el desvío estándar. (Celeromics. Última consulta: 06/11/2018. <http://www.celeromics.com/es/resources/docs/Articles/Errores-Conteo-Celular.pdf>).

Cálculos

Dado que se utiliza un método con transectas, para conocer el número de microorganismos por mililitro de agua se utiliza la siguiente fórmula:

$$\frac{N^{\circ} \text{ de organismos}}{mL} = \frac{C \cdot A_t}{L \cdot W \cdot S \cdot V} \quad (2)$$

Donde,

C: número de organismos contados,

A_t: área total de la superficie de filtración en mm²,

L: longitud de la transecta, en mm,

W: ancho de la transecta,

S: número de transectas contadas, y

V: volumen de muestra filtrado.

Para el cálculo del error humano, luego de tomar los 5 valores de conteo, se procedió al cálculo de la desviación estándar (es una medida de dispersión usada en estadística que nos dice cuánto tienden a alejarse los valores concretos del promedio en una distribución de datos), con la siguiente fórmula:

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (N_i - \bar{N})^2}{n}} \quad (3)$$

Donde,

s: desviación estándar,

n: cantidad de mediciones realizadas,

N_i: número de organismos contados en cada filtro de papel,

\bar{N} : promedio del número de microorganismos contados en cada filtro

Aplicando (3) en la Tabla 11 se presenta el cálculo del error para 5 réplicas.

Tabla 11. Cálculo de desvío estándar.

N° de réplica	Recuento
1	103
2	96
3	85
4	85
5	121
Desvío estándar	14,97

Por lo tanto, el resultado obtenido es:

$$\text{Recuento} = (98 \pm 15) \text{ unidades de fitoplancton}$$

Es decir que el error en el que se incurrió (relacionado principalmente con el analista), al realizar los recuentos de las muestras problema, fue de 15 %.

7.4. Resultados y discusión

7.4.1. Prefiltro vertical ascendente

La Tabla 12 muestra los resultados obtenidos en la determinación de sólidos suspendidos. Para la muestra de agua cruda del LSR se obtuvo una masa de sólidos de 7,75 g/L y para el agua prefiltrada 3,75 g/L. De los resultados obtenidos se observó que se alcanzó una remoción superior al 50%.

Tabla 12. Remoción de sólidos suspendidos en agua problema, proveniente del LSR.

	Masa de sólidos suspendidos (g/L)
Muestra del LSR	7,75
Agua prefiltrada	3,75
% de remoción	51,61

7.4.2. Filtro lento de arena

Utilizando la Ecuación 2 y los datos obtenidos en el recuento de fitoplancton, se muestra en la Tabla 13 los resultados alcanzados en cél/L y el porcentaje de remoción de cada uno de los equipos construidos y para los días transcurridos en la consecución de este PI.

Tabla 13. Recuento de fitoplancton y cianobacterias

	Día 7 (ELM)			Día 14 (LSR)			Día 22 (LSR)			
	Agua cruda	FLA1	FLA2	Agua cruda	FLA1	FLA2	Agua cruda	Prefiltrada	FLA1	FLA2
Recuento de Cianobacterias	184	26	58	502	15	34	6902	844	21	36
Recuento de Fitoplancton TOTAL	376	60	76	834	23	79	7298	1057	72	113
Volumen muestreado (mL)	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200
Area total de superficie de filtración (mm2)	1194,59	1194,59	1194,59	1194,59	1194,59	1194,59	1256,63	1256,63	1256,63	1256,63
Area de las transectas (mm2)	435	435	435	435	435	435	114	451	451	451
N° Cianobacterias/mL	3	1	1	7	1	1	381	12	1	1
N° Fitoplancton/mL	6	1	1	12	1	2	403	15	1	2
% de remoción Cianobacterias	-	66,67	66,67	-	85,71	85,71	-	96,85	91,67	91,67
% de remoción Fitoplancton	-	83,33	82,61	-	91,67	83,33	-	96,28	93,31	86,67

Se observa en la Tabla 13 que el porcentaje de remoción aumenta a medida que transcurren los días. Este resultado podría haberse debido a la formación de la biocapa activa en la superficie de ambos filtros. Además, la remoción fue mayor en el filtro lento de arena sin carbón activado granular.

La mayor remoción en el FLA1 respecto del FLA2, podría haberse debido a que los poros del CAG son demasiados pequeños como para adsorber cianobacterias. Además, esa capa de CAG puede haber restado capacidad de remoción comparado con el filtro que sólo contenía arena.

El prefiltro logró remover gran cantidad de algas y cianobacterias, posiblemente por el tamaño de poro pequeño y un bajo caudal de alimentación.

Si se analiza la remoción de algas y cianobacterias en todo el sistema, es decir, desde que el agua cruda ingresa al prefiltro y hasta que sale de los filtros se observó una remoción mayor al 99 %.

En la Tabla 14 se resumen los datos de la eficiencia de remoción del sistema en su totalidad.

Tabla 14. Eficiencia de remoción de todo el sistema

	Dia 22 (LSR)			
	Agua cruda	Prefiltra	FLA1	FLA2
Recuento de Cianobacterias	6902	844	21	36
Recuento de Fitoplancton TOTAL	7298	1057	72	113
Volumen muestreado (mL)	200	200	200	200
Area total de superficie de filtración (mm2)	1256,63	1256,63	1256,63	1256,63
Area de las transectas (mm2)	114	451	451	451
N° Cianobacterias/mL	381	12	1	1
N° Fitoplancton/mL	403	15	1	2
% de remoción Cianobacterias	-	96,85	99,74	99,74
% de remoción Fitoplancton	-	96,28	99,75	99,50

En la Figura 38 se resumen los resultados de la Tabla 14 en un diagrama de bloques.

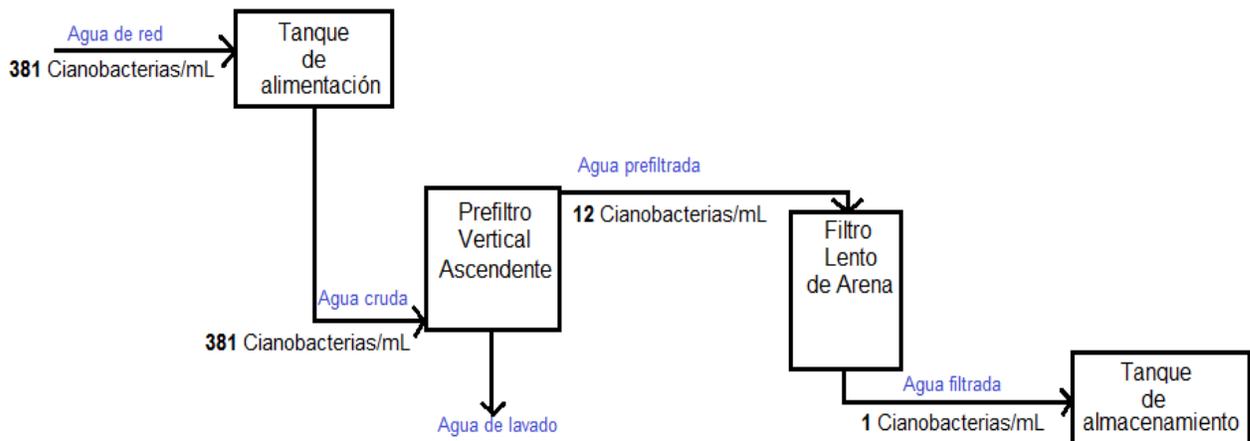


Figura 38. Resultados del tratamiento del agua luego de transcurridos 22 días.
Fuente: propia.

En la Figura 39 se muestra el agua obtenida luego de realizada la prefiltración y filtración en el filtro FLA1 con la biocapa madura.



Figura 39. Resultados del tratamiento del agua con el prefiltro y el filtro FLA1 luego de transcurridos 22 días.
Fuente: propia.

TALLERES
BRINDADOS Y
COMPROMISO
SOCIAL
ESTUDIANTIL

8. TALLERES BRINDADOS Y COMPROMISO SOCIAL

El presente PI se enmarca dentro del proyecto de compromiso social estudiantil denominado “Porqué nuestros embalses están verdes” de la Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales de la Universidad Nacional de Córdoba. Entre los objetivos planteados se propuso brindar talleres a la comunidad en general para concientizar sobre la problemática de las cianobacterias. A continuación se describen los talleres realizados.

8.1. Importancia Sanitaria de las Cianobacterias

En la fecha 29/10/18 se brindó un taller en el que participó personal del GERS (Grupo Especial de Rescate y Salvamento) perteneciente a los bomberos de la provincia de Córdoba (Figura 40). Su base regional se encuentra ubicada en el Club APYCAC en la costa del ELM. Debido a que ellos trabajan y entrenan físicamente dentro del agua, se encuentran profesionalmente expuestos a floraciones de cianobacterias.

Este taller fue solicitado por integrantes del GERS, dado que manifestaron su necesidad de informarse respecto de la problemática de la eutrofización, cianobacterias y cianotoxinas. Los asistentes plantearon que tenían síntomas de irritación en la piel y/o gastroenteritis luego de estar en contacto directo con el agua. El taller estuvo orientado en informarles las causas de aparición de floraciones de cianobacterias, que son las cianotoxinas, cuáles son las vías de exposición y cómo inciden en la salud humana. Luego de responder sus inquietudes se brindaron recomendaciones para promover el cuidado y protección de la salud evitando la exposición a las floraciones cuando fuera posible.

Al finalizar el taller se trabajó en una propuesta conjunta para la elaboración de un taller orientado a la capacitación del monitoreo visual como medida de control y gestión de las floraciones de cianobacterias.

El taller tuvo una duración de 2 horas y media y asistieron 15 integrantes del GERS de Calamuchita.



Figura 40. A la izquierda se encuentra personal del GERS, a la derecha el autor del proyecto.
Fuente: propia.

8.2. Aplicaciones del equipo diseñado.

El día 05/12/18 se brindó un taller introductorio a padres, niños y docentes de la escuela primaria Alfonsina Storni, ubicada en Potrero de Garay, sobre el uso de los equipos diseñados como una medida paliativa para disminuir el impacto de las cianobacterias en el uso domiciliario del agua de red (Figura 41). Dicho taller tuvo una duración total de 2 horas, distribuidas en dos turnos (1 hora al turno mañana y 1 hora al turno tarde), y asistieron aproximadamente 15 padres, 15 docentes y 50 niños.



Figura 41. Taller brindado en la escuela primaria Alfonsina Storni.
Fuente: propia.

Además se discutieron temas relacionados con la problemática ambiental que atraviesa el Embalse Los Molinos, sus causas y consecuencias.

Finalmente, para el dictado de este taller se diseñaron dos encuestas para hacer por los vecinos. La primera (Anexo II) tiene como objetivo recabar información de aquello que los vecinos perciben de la calidad de agua que llega a sus hogares, que saben de la contaminación y eutroficación y qué agua consumen, incluso qué hábitos de hidratación tienen. Se realizó dicha encuesta en formato electrónico y se la envió a la escuela para completar por las familias que allí concurren. A la fecha (07/02/2019) no se obtuvieron la cantidad de respuestas suficientes como para elaborar un informe que sea representativo de toda la comuna de Potrero de Garay. Sin embargo, en algunas de las respuestas los vecinos manifestaron tener irritación en la piel y malestar gastrointestinal luego de realizar actividades acuáticas en el embalse Los Molinos. Además se muestran muy conscientes de la problemática ambiental que atraviesa el ELM, sus causas y consecuencias.

La segunda encuesta (Anexo III) fue diseñada para completar una vez que el vecino de la comuna haya construido y utilizado los sistemas de prefiltración y filtración propuestos en este PI.

CONCLUSIONES

9. CONCLUSIONES

9.1. Respetto del objetivo general

La capacidad de retención de ambas alternativas construidas (FLA1) y (FLA2) fue cada vez mayor con el paso del tiempo. Se infiere que se debe a la maduración de la capa biológica, denominada “schmutzdecke”.

Se obtuvo una remoción mayor al 99 % con una biocapa madura luego de 22 días desde la primera alimentación del filtro con agua cruda proveniente del embalse, por lo que se considera que el objetivo general se encuentra ampliamente cumplido.

El prototipo construido es apto para la instalación de los equipos a nivel domiciliario teniendo en cuenta los lineamientos establecidos en el manual de usuario detallado en el Anexo I.

Además, la instalación de estos equipos en los hogares de Potrero de Garay, es muy factible de realizar debido a la relación costo-beneficio. Los equipos de prefiltración y filtración son económicamente accesibles y proporcionan la ventaja de utilizar agua corriente de red sin cianobacterias o una escasa presencia. Los materiales que se utilizan para su realización son de relativamente bajo costo.

Su implementación y uso puede brindar importantes beneficios para la salud, dado que se reduciría la exposición del cuerpo humano a las cianotoxinas evitando intoxicaciones agudas y/o crónicas.

9.2. Respetto de los objetivos particulares

Se realizó la construcción de dos filtros lentos de arena, uno con carbón activado granular como parte del lecho filtrante y otro sólo de arena. Como el agua del embalse suele contener espumas o natas características de floraciones de cianobacterias, se construyó un prefiltro vertical ascendente que utiliza arena de granulometría fina como lecho filtrante.

Respetto a la eficiencia en la remoción de materia en suspensión del prefiltro se concluye que un 50 % se considera suficiente para que el filtro no sufra una obstrucción

de los poros. Se llegó a dicha conclusión debido a que la tasa de carga realizada en los filtros se mantuvo relativamente constante.

El prefiltro demostró ser muy efectivo en la remoción de algas y cianobacterias para aguas crudas con elevada abundancia de fitoplancton.

De las dos alternativas construidas de FLA, se destaca que la alternativa 1 es la de mayor rendimiento. Además, FLA2 lo supera en costo, dado que el CAG tiene un valor económico en el mercado, mientras que la arena del río se puede adquirir sin necesidad de incurrir en un gasto. Finalmente del análisis de tasa de carga se desprende que la alternativa seleccionada permite un mayor pasaje de caudal respecto del área de superficie del filtro. Por la capacidad de adsorción del CAG, la alternativa FLA2 tendría mayor capacidad de remoción de metabolitos olorosos (geosmina, metilisoborneol) presentes en el agua.

De acuerdo a la remoción de fitoplancton y teniendo en cuenta los niveles de alerta de la OMS, se podría inferir que se cumple con la normativa vigente para agua potable en relación a algunos parámetros microbiológicos complementarios.

Por último, los resultados obtenidos en este PI fueron publicados y presentados en el VII Taller de Cianobacterias Toxígenas en Argentina que se realizó entre el 21 y el 23 de noviembre de 2018 en la ciudad de Córdoba.

9.3. Recomendaciones a Futuro

Para perspectivas a futuro y continuidad de la corriente de investigación, es recomendable:

- Verificar si la biocapa que se forma en los filtros es efectiva en la remoción de metabolitos tóxicos disueltos en el agua, como asegura la bibliografía consultada, mediante la determinación de cianotoxinas.
- Construir los equipos en escala real, con todos sus componentes, como se realizaría en una vivienda, y verificar su eficiencia de remoción de cianobacterias y sus metabolitos.

- Verificar en época de elevadas temperaturas y disponibilidad de radiación solar (primavera y verano, incluso en otoños cálidos) la eficiencia de los equipos y su posible optimización.
- Realizar una búsqueda bibliográfica respecto de si se puede utilizar otro material que no sea arena, dado que posee un elevado peso y su tamizado puede llevar mucho tiempo.
- Verificar si la remoción de fitoplancton es afectada por la variación en la altura del lecho filtrante.
- Realizar un análisis completo al agua de salida para determinar su calidad y si puede ser utilizada para consumo humano. Si no fuera posible, optimizar el equipo de manera que el agua obtenida sea potable.

ANEXOS

Anexo I. Manual de usuario para la construcción, uso y mantenimiento de filtro lento de arena

Introducción

El término eutroficación (o eutrofización) es empleado para describir la secuencia de cambios en los ecosistemas acuáticos causados por un incremento en la tasa de suministro de nutrientes al agua. La Organización para la Cooperación Económica y Desarrollo (OECD) define la eutroficación como “el enriquecimiento en nutrientes de las aguas, que provoca la estimulación de una serie de cambios sintomáticos entre los que el incremento en la producción de algas y macrófitas, el deterioro de la calidad del agua y otros cambios sintomáticos resultan indeseables e interfieren con la utilización y calidad estética del agua”. Además parte de esta flora algal, denominadas cianobacterias, pueden producir toxinas que provocan distintas patologías en el cuerpo humano

Estas cianotoxinas suelen encontrarse en el interior de las células de cianobacterias, de manera que, evitando su presencia en el agua de uso domiciliario, se evitaría tener una alta exposición a las toxinas.

El presente manual está basado en la tesis de grado de Brissio, Flavio, denominada, “**Diseño de equipos de filtración para el tratamiento de agua, con elevado contenido de cianobacterias, en la comuna de Potrero de Garay. Un caso de responsabilidad social**” (Córdoba, 2018). Se describen los lineamientos generales que deben reunir los equipos utilizados en la remoción de cianobacterias.

Filtro lento de arena

En contraste con la filtración rápida, estos filtros operan a velocidades menores con la subsecuente formación de una capa biológica en la superficie denominada schmutzdecke. Formada después de aproximadamente 22 días de operación del filtro, esta biocapa contribuye significativamente a la degradación de sustancias disueltas,

además de lograr la retención de células de algas. Siguiendo los lineamientos que aquí se presentan, se pueden remover, aproximadamente, 97 por ciento de dichas células.

La composición biológica de la *schmutzdecke* en los filtros lentos de arena (FLA) suele incluir distintos microorganismos tales como algas, plancton, diatomeas, protozoarios, rotíferas y bacterias. Con un espesor de aproximadamente 2 o 3 centímetros, se dan distintos procesos biológicos en los que estos microorganismos atrapan, digieren y degradan la materia orgánica presente y participan en la depredación de otras células. El resultado entonces es la disminución de la materia orgánica disuelta y microorganismos presentes, entre ellos las cianobacterias.

1. Lineamientos para su construcción

Los filtros se pueden construir de la siguiente forma:

Como lecho filtrante se puede utilizar arena de río, lago, embalse o arena de construcción. Dado que se utiliza gran cantidad de arena fina, se recomienda utilizar arena de construcción. En este equipo utilizaremos:

- *Arena fina*, granulometría comprendida entre 0,833 y 1,18 mm.
- *Grava fina*, granulometría comprendida entre 1,18 y 6,3 mm.
- *Grava gruesa*, granulometría comprendida entre 6,3 y 13,2 mm.

Para conseguir la granulometría deseada se pueden utilizar tamices comerciales.

Según la OMS, se recomienda un consumo de agua de 100 litros por día y por persona, por lo que una familia tipo, compuesta por 4 integrantes, requiere de 400 litros de agua diarios.

Resulta ideal que el equipo funcione durante 12 horas (o 720 minutos) al día, dado que es necesario darle tiempo, a la biocapa formada en la superficie, que degrade la materia orgánica que allí se deposita. Es por esto que las 12 horas restantes del día debe permanecer con el agua estanca.

Entonces el caudal de agua que debería tratar el equipo es de:

$$Q = \frac{\text{Volúmen}}{\text{Tiempo}} = \frac{400 \text{ litros}}{720 \text{ minutos}} = 0,556 \frac{\text{litros}}{\text{minuto}}$$

Luego necesitaremos conocer el valor del área superficial necesaria del filtro para tratar éste caudal, para ello utilizaremos una variable constructiva del mismo denominada tasa de carga.

Se conoce a la tasa de carga de un filtro lento de arena como una medida del caudal de agua que atraviesa el filtro por unidad de área perpendicular al flujo. Es decir:

$$v = \frac{Q}{A}$$

Donde:

v , tasa de carga del filtro, se puede medir en litros / $\text{dm}^2 \cdot \text{min}$

Q , caudal que atraviesa el lecho filtrante

A , área superficial del filtro.

El valor obtenido para la tasa de carga de un filtro de estas características y cuando la biocapa superficial se encuentra totalmente madura es de aproximadamente 0,00169 litros/ $\text{dm}^2 \cdot \text{min}$. Luego si despejamos de la fórmula anterior resulta:

$$A = \frac{Q}{v} = \frac{0,556 \frac{\text{litros}}{\text{minuto}}}{0,00169 \frac{\text{litros}}{\text{dm}^2 \cdot \text{minuto}}} = 329 \text{ dm}^2 \approx 0,33 \text{ m}^2$$

El área aquí obtenida es la que debería tener el lecho filtrante, a los efectos prácticos, su geometría queda a criterio del lector, pero se podría recomendar una geometría cuadrada o circular.

En la Figura 1 se muestra un esquema general de un filtro lento de arena, estos equipos son en general muy versátiles, por lo que la selección de materiales del soporte del lecho filtrante también queda a criterio del lector, se recomiendan materiales que no sean degradados por el agua, como por ejemplo PVC.

Resulta importante remarcar que el filtro no lleva tapa, esto es debido a que no se deben crear presiones de agua elevadas en la superficie de la arena, lo que disminuiría su rendimiento de remoción. Se recomienda utilizar una tapa con una abertura lo suficientemente pequeña como para que ingrese aire a presión atmosférica, pero que no ingresen contaminantes sólidos (arena, etc.) ni agua de lluvia.

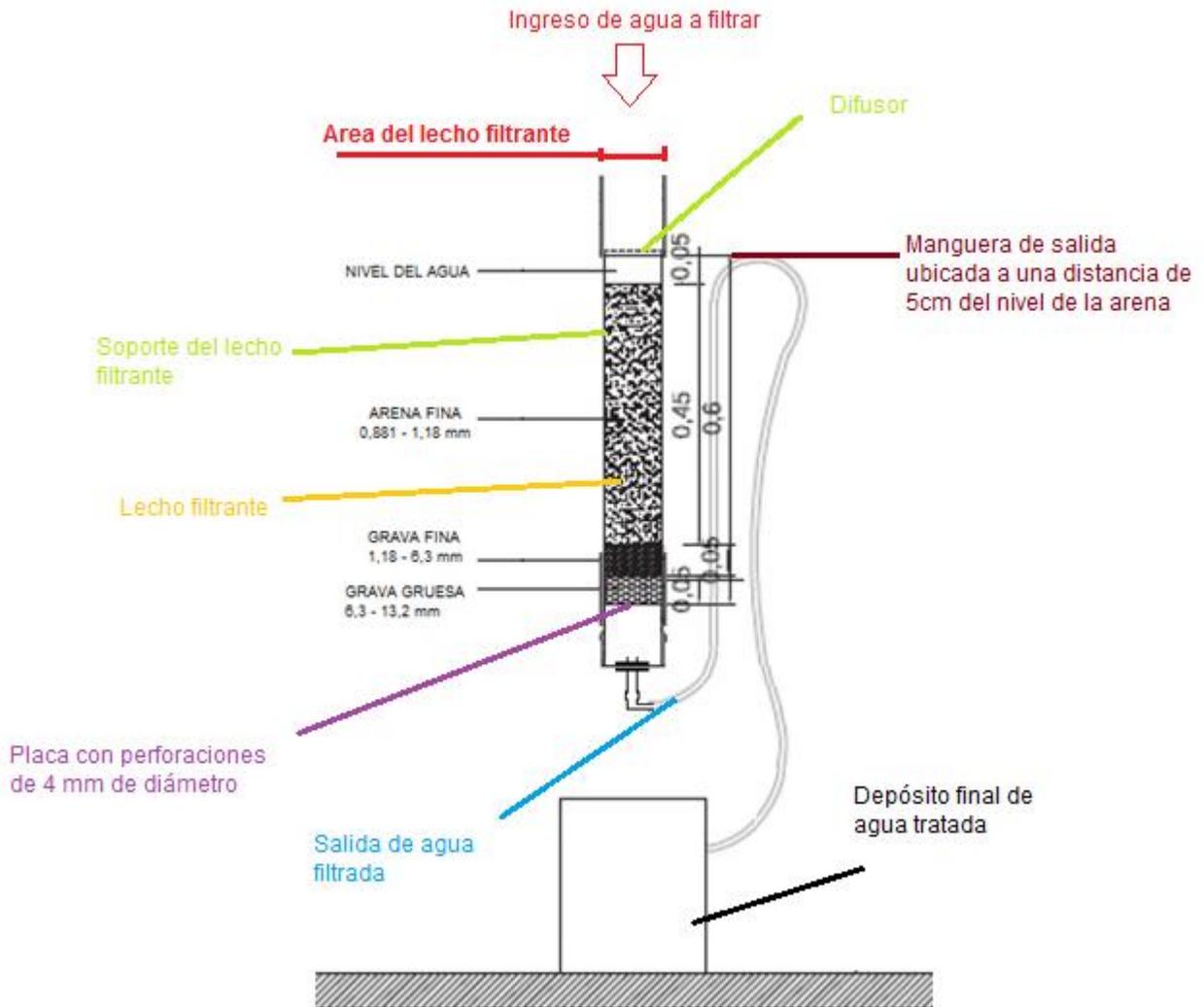


Figura 1: Esquema general de un filtro lento de arena.

Como se especifica en el esquema, el espesor de arena fina debe ser de 0,45 m, la de grava fina de 0,05 m y de grava gruesa de 0,05 m.

Luego sabiendo que el área del lecho filtrante es de $0,33 \text{ m}^2$, podemos calcular aproximadamente el volumen de material que necesitamos:

$$V_{\text{Arena Fina}} = A \times e = 0,33 \text{ m}^2 \times 0,45 \text{ m} = 0,15 \text{ m}^3$$

$$V_{\text{Grava Fina}} = A \times e = 0,33 \text{ m}^2 \times 0,05 \text{ m} = 0,017 \text{ m}^3$$

$$V_{\text{Grava Gruesa}} = A \times e = 0,33 \text{ m}^2 \times 0,05 \text{ m} = 0,017 \text{ m}^3$$

Luego para conseguir la cantidad deseada de arena fina (siendo de este tipo la que más se requiere) se deberían tamizar aproximadamente $0,93 \text{ m}^3$ de arena de construcción o $3,4 \text{ m}^3$ de arena de río (depende mucho de la granulometría variada que posee la arena en las veras de los cuerpos de agua). Para conseguir el resto de las granulometrías buscadas, se recomienda utilizar arena de río, lago o embalse.

2. Lineamientos para su uso

El ingreso de agua se realiza por la parte superior del equipo. La misma debe atravesar el difusor (está colocado especialmente para que no se forme un solo chorro de agua que provoque una alteración de la biocapa formada).

La manguera lateral está especialmente ubicada para que la biocapa no se quede sin agua y a la vez permita el ingreso de oxígeno al sistema. Se recomienda colocar la manguera de salida de manera que quede, en el filtro, una altura de 5 cm de agua por encima de la arena (ésta se denomina la “altura normal del agua”).

Se recomienda esperar 22 días de su puesta en marcha, hasta su utilización formal en el domicilio, y se debe renovar el agua, durante dicho período, cada 2 o 3 días.

Cargar con agua no más de 10 cm por encima de la altura normal del filtro. Se puede lograr con ayuda de un flotante. Mayores alturas de agua podrían provocar una disminución en el rendimiento de remoción del equipo.

3. Lineamientos para su mantenimiento

El mantenimiento sólo se realiza cuando los requerimientos de caudal de agua sobrepasan la capacidad del equipo. En tal caso, se puede realizar haciendo un cuarteo en la superficie, de un área conveniente, y removiendo 2 cm de la capa de arena. Luego se puede mezclar esta arena madura (que tiene la biocapa totalmente desarrollada) con arena nueva y se puede volver a introducir en el equipo, para facilitar la formación de la nueva biocapa. Se recomienda no utilizar el equipo a nivel domiciliario hasta que la biocapa esté nuevamente desarrollada, aproximadamente 10 días.

Anexo II. ENCUESTA Calidad de agua y contaminación

Nombre y Apellido _____

Grupo Familiar _____

Ocupación o Profesión _____

Domicilio _____

Barrio _____

Con qué se hidratan a diario? Agua Jugo Soda Te, mate o café Gaseosa
 Agua Saborizada ¿Cocinan?

¿Consumen el mínimo de 2 L de agua diarios por persona que recomienda el médico?
Sí No

¿Qué opinión tiene acerca del agua de red? ¿Le siente sabor?
¿Olor? ¿Observa color?

¿Qué agua utilizan **para beber**? Agua de red Envasada

¿Y **para cocinar**? Agua de red Envasada

¿Realiza actividades de recreación en el Embalse Los Molinos? Sí No

¿Sintió alguna vez, usted o algún miembro de su familia, estos síntomas luego de realizar dichas actividades? Irritación en la piel Alergias Problemas gastrointestinales Dolor estomacal Mareos Náuseas Dolor de cabeza Dolor de garganta

Otros.....
.....
.....

¿Posee animales domésticos o de granja? Sí No

¿Los llevó de visita o tienen acceso al agua del Embalse Los Molinos? Sí No

¿Percibió malestar en ellos luego de dicha visita? Sí No

Por favor responda SI o NO con letra clara

1. ___ Sabía que no consumir un mínimo de 2 litros de agua diarios puede provocar problemas digestivos, estreñimiento o dificultades para lograr un peso ideal?
2. ___ Y que una adecuada hidratación puede evitar Dolores de cabeza, fatiga, mareos y problemas de presión arterial?
3. ___ Tiene conocimientos de que los envases plásticos pueden traer consecuencias a la salud y su desecho está contaminando nuestro planeta?
4. ___ Sabía que además que las mucosas de su boca poseen altísimos niveles de absorción, que aceleran el transporte de contaminantes a nuestro organismo? (ej.: pastilla sublingual)
5. ___ Es consciente de la problemática ambiental que atraviesa el embalse?
6. ___ Conoce sus causas?

Mencione.....
.....
.....
.....

7. ___ Percibe sólidos en suspensión del tipo algal en el agua del Embalse Los Molinos?
8. ___ Conoce sus causas?
9. ___ Conocía el término “eutrofización”?
10. ___ Sabía sus causas?
11. ___ Y sus consecuencias?
12. ___ Conocía la problemática de las cianobacterias y sus metabolitos?
13. ___ Sabía que las cianotoxinas no son eliminadas al hervir el agua?
14. ___ Tenía conocimiento de que las cianotoxinas pueden afectar principalmente a la piel, el hígado y el sistema nervioso?
15. ___ Sabía que agregarle lavandina al agua causa ruptura en la membrana celular de las cianobacterias y una subsecuente liberación de sus toxinas?

Anexo III. ENCUESTA DE OPINIÓN. Construcción del Filtro Lento de Arena

Nombre y Apellido _____

Grupo Familiar _____

Ocupación o Profesión _____

Domicilio _____

Barrio _____

Con qué se hidratan a diario? Agua Jugo Soda Te, mate o café Gaseosa
 Agua Saborizada ¿Cocinan?

¿Consumen el mínimo de 2 L de agua diarios por persona que recomienda el médico?
Sí No

¿Qué opinión tiene acerca del agua de red? ¿Le siente sabor?
¿Olor? ¿Observa color?

¿Realizó la construcción del equipo? SI NO

¿Le resultó económica su construcción? SI NO

¿Utilizó el agua tratada **para beber**? SI NO

¿Sabía que no se puede afirmar que los filtros producen agua potable? SI NO

¿Utilizó el agua tratada **para cocinar**? SI NO

¿Utilizó el agua tratada **para bañarse**? SI NO

¿Sintió alguna vez, usted o algún miembro de su familia, estos síntomas luego de beber, cocinar o bañarse con el agua? Irritación en la piel Alergias Problemas gastrointestinales Dolor estomacal Mareos Náuseas Dolor de cabeza
Dolor de garganta
Otros.....
.....
.....

¿Cuánto tiempo utilizó el equipo hasta que fue necesaria su limpieza?.....

¿En qué época del año requirió mayor mantenimiento? Invierno Primavera
Verano Otoño

Por favor responda **SI** o **NO** con letra clara

16. ___ Le fue útil el manual suministrado para su construcción, uso y mantenimiento?

17. ___ Tuvo que requerir búsqueda bibliográfica?

18. ___ Se remitió a la fuente para evacuar dudas (Tesis de grado de Brissio, Flavio)?

19. ___ Fue útil la asesoría suministrada?

20. ___ Utilizó arena de río, lago o embalse?

21. ___ Utilizó arena de construcción?

22. ___ Utilizó material de PVC para el soporte del lecho filtrante?

23. ___ Utilizó material de construcción?

Otros.....
.....
.....

24. ___ Pudo conseguir las granulometrías requeridas para la arena?

25. ___ Utilizó otra granulometría?

Arena fina, entre y mm

Grava fina, entre y mm

Grava gruesa, entre y mm

26. ___ Esperó los 22 días recomendados para su utilización a nivel domiciliario?

27. ___ Percibió cambios en el agua de salida del equipo, respecto del ingreso?

28. ___ Percibió cambios en la coloración?

29. ___ En el olor?

30. ___ Sabor?

31. ___ Sólidos en suspensión?

32. ___ Recomienda su utilización?

BIBLIOGRAFÍA

- ANAGNOSTIDIS, K. & J. KOMÁREK. 1985. Modern approach to the classification system of cyanophytes. 1- Introduction. *Arch. Hydrobiol. Suppl.* 71, 1/2 Algological Studies 38/39: 291-302.
- Anagnostidis, K. and Komárek, J. (1985) Modern Approach to the Classification System of Cyanophytes 1—Introduction. *Archiv für Hydrobiologie, Supplement*, 71, 291-302.
- Andrinolo, D. & Sedan, D. Cianotoxinas. Farmacología y efectos de las principales toxinas presentes en Argentina. Microcystinas, Saxitoxinas, Anatoxinas, Cylindrospermopsinas, Lipopolisacáridos. En: *Cianobacterias como determinantes ambientales de la salud*. La Plata; 2017. Pág. 49.
- APHA, AWWA, WEF. 2012. *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*, 22th edition, Washington, D.C.
- Azevedo SMVO (1996): Toxic cyanobacteria and the Caruaru tragedy. IV Simpósio da Sociedade Brasileira de Toxicologia.
- BALLOT, A.; L. KRIENITZ; K. KOTUT; C. WIEGAND & S. PFLUGMACHER. 2005. Cyanobacteria and cyanobacterial toxins in the alkaline crater lakes Sonachi and Simbi, Kenya. *Harmful Algae* 4 (2005) 139–150
- Bartram J, Carmichael WW, Chorus I, Jones G, Skulberg OM. Introduction. En: Chorus I, Bartram J, (eds.) *Toxic cyanobacteria in water: a guide to their public health consequences, monitoring and management*. London: St Edmundsbury Press; 1999: 12-24.
- Bauzá y Giannuzzi, 2017. *Métodos de control del desarrollo de floraciones cianobacterianas en ambientes acuáticos*. Revisión actualizada. La Plata. Pág. 125.
- Bazán, R.; Oroná, C.; Cossavella, A.; Corral, M.; Rodríguez, M.; Del Olmo, S.; Borgnino, L.; Larrosa, N.; Rodríguez, A.; Busso, F.; Bonfanti, E. 2017.

Análisis y modelado de las características limnológicas del embalse Los Molinos. Seminario-Taller Calidad de aguas en embalses de la provincia de Córdoba. Córdoba, Argentina.

- Bazán, R.; Amé, V.; Wunderlin, D.; Rodríguez, A.; Busso, F. y Bonfanti, E. Aparición de *Microcystis* y sus toxinas en el embalse Los Molinos, Córdoba. Resúmenes del IV Taller Internacional sobre enfoques regionales para el desarrollo y gestión de embalses de la cuenca del Plata, Salto Grande, 2006.
- Bazán, R.; Corral, M.; Pagot, M.; Cossavella, A.; Del Olmo, S.; Oroná, C.; Larrosa, N.; Rodríguez, A.; Rodríguez, M.; Busso, F. y Bonfanti, E. Teledetección y modelado numérico para el análisis de la calidad del agua del embalse Los Molinos, Córdoba, Argentina. *Revista Hidráulica de México*, vol. XX, N° 2, abril-junio 2018.
- Bernhardt, H and Clasen, J. 1991 Flocculation of micro-organisms, *J. Water SRT Aqua*. 40(22), 76-87.
- Bodin H., 2003. Removal of cyanobacterial toxins (LPS endotoxin and microcystin) in drinking-water using the BioSand household water filter.
- Bojcevska & Jergil 2003 Removal of cyanobacterial toxins (LPS endotoxin and microcystin) in drinking-water using the BioSand household water filter.
- Carmichael W. 1995. Toxic *Microcystis* and environment. En Watanabe, K Harada. W. Charmichael. H Fujiki (eds.) *Toxic Microcystis*. 1-12, CRC Press, Boca Ratón, Nueva York, Londres, Tokio. 262 p
- Carmichael WW. A world overview –one-hundredtwenty-seven years of research on toxic cyanobacteria - where do we go from here? En: Kenneth H, Hudnell H, (eds.) *Cyanobacterial harmful algal blooms: state of the science and research needs*. New York: Springer Science + Business Media; 2008: 105-126.
- Carmichael, W. 1992. A status report on planktonic cyanobacteria (blue-green algae) and their toxins, EPA/600/R-92-079, Environmental Monitoring

Systems Laboratory, Office of Research and Development, U.S. Environmental Protection Agency, Cincinnati, OH. 141 pp.

- Carmichael, W.W., Mahmood, N.A. and Hyde, E.G. 1990 Natural toxins from cyanobacteria (blue-green algae). In: S. Hall and G. Strichartz [Eds] *Marine Toxins, Origin, Structure and Molecular Pharmacology*, Vol. 418, American Chemical Society, Washington D.C., 87-106.
- Celeromics. Ultimo consulta: 06/11/2018. Technical Note - Error in cell counting <http://www.celeromics.com/es/resources/docs/Articles/Errores-Conteo-Celular.pdf>
- Chorus I. & J. Bartram. 1999. Toxic Cyanobacteria in Water. A guide to their public health consequences, monitoring and management. WHO. E&FN Spon. London and New York. 416 pp.
- Codd, G.; Bell, S.; Brooks, W. Cyanobacterial toxins in water. *Wat. Sci. Technol.* (1989) 21:1-13.
- Colautti, F. (2017, Abril 9). El futuro de los embalses y del agua para Córdoba. *La Voz del Interior*. Recuperado de <http://www.lavoz.com.ar/ciudadanos/el-futuro-de-los-embalses-y-del-agua-para-cordoba>
- Colautti, F. (2017, Diciembre 26). Un crecimiento descontrolado. *La Voz del Interior*. Recuperado de <http://www.lavoz.com.ar/ciudadanos/un-crecimiento-descontrolado>
- Colautti, F. (2017, Noviembre 13). El lago Los Molinos, cada vez más cerca del San Roque. *La Voz del Interior*. Recuperado de <http://www.lavoz.com.ar/ciudadanos/el-lago-los-molinos-cada-vez-mas-cerca-del-san-roque>
- Colautti, F. (2017, Noviembre 15). Piden que se suspendan nuevos loteos en las costas de Los Molinos. *La Voz del Interior*. Recuperado de <http://www.lavoz.com.ar/ambiente/piden-que-se-suspendan-nuevos-loteos-en-las-costas-de-los-molinos>

- Colautti, F. (2017, Septiembre 15). A tiempo de que no sea otro San Roque. *La Voz del Interior*. Recuperado de <http://www.lavoz.com.ar/ciudadanos/tiempo-que-no-sea-otro-san-roque>
- Corresponsalía (2017, Octubre 28). Ahora es Los Molinos: verde de algas. *La Voz del Interior*. Recuperado de <http://www.lavoz.com.ar/ciudadanos/ahora-es-los-molinos-verde-de-algas>
- Devlin, J.P., Edwards, O.E., Gorham, P.R., Hunter, M.R., Pike, R.K. y Stavric, B. 1977 Anatoxin-a, a toxic alkaloid from *Anabaena flos-aquae* NCR-44h. *Can. J. of Chem.*, 55, 1367-1371.
- DOW, C.S & U.K. SWOBODA. 2000. Cyanotoxins. In WHITTON, B.A. & M. POTTS. *The Ecology of Cyanobacteria* (eds.) Kluwer Academic Publishers: 613-632.
- Drikas, M. 1994 Session IV: Control and or Removal of Toxic Cyanobacteria. In: D.A., Steffensen and B.C. Nicholson [Eds] *Toxic Cyanobacteria, Current Status of Research and Management*. Proceedings of International Workshop, Adelaide, Australia. American Water Works Association Research Foundation, Australian Centre for Water Quality Research, Centre for Water Research, Belgium.
- Echenique R, Giannuzzi L, Ferrari L. Drinking water: problems related to water supply in Bahía Blanca, Argentina. *Acta toxicol. Argent.* 2006: 14 (2): 2-9.
- Echenique R. & Aguilera A. 2009. Floraciones de Cyanobacteria tóxicas en la República Argentina: antecedentes.
- Falconer I, Beresford A., Runnegar M. 1983. Evidence of liver damage by toxin from a bloom of the blue-green alga *Microcystis aeruginosa*. *Med. J. Aust.* 1:511-514.
- Falconer I. 1994. Health problems from exposure to cyanobacteria and proposed safety guidelines for drinking and recreational water, 3-10. En GA

Codd, TM Jefferies, CW Keevil, E Potter (eds.) Deteccion Methods for cyanobacterial toxins. The Royal Society of Chemistry. ISBN 0-85186-961-0-191 pp.

- FALCONER, I.R. 1998. Algal toxins and human health. In: J.HRUBEC (ed.). The handbook of Environmental Chemistry. Vol.5. Part C. Quality and Treatment of Drinking Water II. Springer-Verlag Berlin Heidelberg. 53-82.
- FRANCIS, G. 1878. Poisonous Australian Lake. Nature 444, 11-12.
- Graham, L.E. and Wilcox, L.W. (2000) Algae. Prentice Hall, Upper Saddle River.
- Hamann, C.L., McEwen, J.B. y Myers A.G. 1990 Guide to selection of water treatment processes. In: F. W. Pontius [Ed.] *Water Quality and Treatment - A Handbook of Community Water Supplies*. 4th edition. American Water Works Association, McGraw Hill Inc., New York, 157-187.
- Hindman, S.; Favero M.; Carson L.; Petersen, N.: Schonberger, L. y Solano, J. Pyrogenic reactions during haemodialysis caused by extramural endotoxin. Lancet (1975) 2:732-734.
- IETC (International Environmental Technology Centre). 2001. Planificación y Manejo de Lagos y embalses: Una visión general de la eutroficación. Serie de Publicaciones técnicas [11s], PNUMA, Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente, ISBN 92-807-1819-3, Osaka/Shiga.
- Klapper, H. 1991. Control of Eutrophication in Inland Waters. Ellis Horwood , New York, 336 pp.
- Klapper, H. 1991. Control of Eutrophication in Inland Waters. Ellis Horwood, New York, 336 pp.
- Komárek J. & Anagnostidis K. (1998): Cyanoprokaryota 1. Chroococcales. – In: Ettl H., Gärtner G., Heynig H. & Mollenhauer D. (eds), Süßwasserflora von Mitteleuropa 19/1, p. 548, Gustav Fischer, Jena-StuttgartLübeck-Ulm. Komárek J. & Anag

- Komárek J. (2006): Cyanobacterial taxonomy: current problems and prospects for the integration of traditional and molecular approaches. – *Algae* 21: 349–375.
- LAGOS, N.; H. ONODERA; P.A. ZAGATTO; D. ANDRINOLO; S.M.F.O. AZEVEDO & Y. OSHIMA. 1999. The first evidence of paralytic shellfish toxins in the freshwater cyanobacterium *Cylindrospermopsis raciborskii* isolated from Brazil. *Toxicon* 37: 1359-1373.
- Lam, A., Prepas, E., Spink, D. y Hrudey, S.E. 1995 Control of hepatotoxic phytoplankton blooms; implications for human health. *Water Res.* 29, 1845-1854.
- LANARAS, T., S. TSITSAMIS, C. CHLICHLIA, & C.M. COOK. 1989. Toxin cyanobacteria in Greek freshwaters. *J. Appl. Phycol.*: 142, 163–169.
- Mackintosh, C.; Beattie, K.; Klump, S.; Cohen, P. y Codd G. 1990. Cyanobacterial microcystin-LR is a potent and specific inhibitor of protein phosphatases 1 and 2A from both mammals and higher plants. *FEBS*
- Malbrouck, C; Trausch, G.; Devos, P. y Kestemont, P. Effect of microcystin-LR on protein phosphatase activity and glycogen content in isolated hepatocytes of fed and fasted juvenile goldfish *Carassius auratus* L. *Toxicon* 44 (2004) 927–932.
- Matsunaga, S., Moore, R.E., Niemczura, W.P. and Carmichael, W.W. 1989 Anatoxina(s), a potent anticholinesterase from *Anabaena flos-aquae*. *J. Amer. Chem. Soc.*, 111, 8021-8023.
- Meichtry de Zaburlín M, Martens IS, Llano V. Cyanobacteria planctónicas: su impacto en ambientes acuáticos continentales. Descripción de los géneros más frecuentes. En: Giannuzzi L, (ed.) *Cianobacterias y cianotoxinas: identificación, toxicología, monitoreo y evaluación de riesgo*. Corrientes: Moglia Impresiones; 2009: 17-36. 23.

- Molinero Rodríguez, A. (2008). "Impacto del turismo en la cuenca del embalse Los Molinos, Córdoba, Argentina". Trabajo final de carrera, Universidad de Valencia, Campus de Gandía.
- Mongi, C. (2017, Diciembre 16). Los Molinos: promesa para bajar las algas. *La Voz del Interior*. Recuperado de <http://www.lavoz.com.ar/ciudadanos/los-molinos-promesa-para-bajar-las-algas>
- Mongi, C. (2017, Septiembre 15). Algas, aviso de deterioro en Los Molinos. *La Voz del Interior*. Recuperado de <http://www.lavoz.com.ar/-molinos/algas-aviso-deterioro-molinos>
- Mouchet P. and Bonnélye V. 1998 Solving algae problems: French expertise and worldwide applications. *J. Water SRT, Aqua.*, 47, 125-141.
- Mouchet P. y Bonnélye V. 1998 Solving algae problems: French expertise and worldwide applications. *J. Water SRT, Aqua.*, 47, 125-141.
- Norma IRAM N° 1505, AGREGADOS, Análisis granulométrico, Córdoba, Setiembre 1987.
- Oliver RL & Gant GG. 2000. Feshwater blooms. Cap 6: 149-194 En: Whitton BA & Potts M (Eds), *The ecology of cyanobacteria*. Kluwer Acad. Publishers, The Netherlands
- OMS, Organización Mundial para la Salud.1998. Guías para ambientes seguros en aguas recreativas: Vol. 1: Aguas costeras y aguas dulces. Capítulo 7: Algas y cianobacterias en agua dulce.
- Ongley E. 1997. Lucha contra la contaminación agrícola de los Recursos Hídricos (Estudio FAO Riego y Drenaje – 55).
- Perovich G, Dortch Q, Goodrich J, Berger PS, Brooks J, Evens TJ, et al. Causes, prevention, and mitigation. En: Kenneth H, Hudnell H, (eds.) *Cyanobacterial harmful algal blooms: state of the science and research needs*. New York: Springer Science - Business Media; 2008: 185-216.

- Pietsch, C.; Wiegand, C.; Amé, V.; Nicklish, A.; Wunderlin, D.; Pflugmacher, S. The effect of a cyanobacterial crude extract on different aquatic organisms: Evidence for cyanobacterial toxin modulating factors. *Environ. Toxicol.* 16 (2001) 535-542.
- Potrero de Garay. (2018, 30 de junio). Wikipedia, La enciclopedia libre. Fecha de consulta: 23:35, noviembre 4, 2018 desde https://es.wikipedia.org/w/index.php?title=Potrero_de_Garay&oldid=109027691
- Rahman AKM, Al Bakri MD, Ford P, Church T. Limnological characteristics, eutrophication and cyanobacterial blooms in an inland reservoir, Australia. *Lakes Reserv.: Res. Manage.* 2005; 10: 211–220.
- Redacción LAVOZ (2017, Noviembre 13). ¿Algas o cianobacterias? *La Voz del Interior*. Recuperado de http://www.lavoz.com.ar/ciudadanos/algas-o-cianobacterias#_=_
- Resolución N° 174, Normas provinciales de calidad y control de aguas para bebidas, BOLETIN OFICIAL DE LA PROVINCIA DE CORDOBA, Córdoba, 3 de Agosto de 2016.
- Rositano, J. y Nicholson, B.C. 1994 *Water Treatment Techniques for Removal of Cyanobacterial Toxins from Water*. Australian Centre for Water Quality Research. Salisbury, South Australia, 55 pp.
- Ryding, S. y Rast, W. 1992. El control de la eutrofización en lagos y pantanos. Ediciones Pirámide. Madrid, España. 375 pp.
- SIVONEN, K. & G. JONES. 1999. Cyanobacterial Toxins. In CHORUS, I. & J. BARTRAM, (eds.) *Toxic Cyanobacteria in Water. A Guide to their Public Health Consequences, Monitoring and Management*. E&FN Spon, London: 41-112.

- SKULBERG O.M., W.W. CARMICHAEL, G. A. CODD & R.R. SKULBERG. 1993. Taxonomy of toxic Cyanophyceae (Cyanobacteria). In FALCONER I.R. (ed.) Algal toxins in seafood and drinking water: 145-164. Academic Press.
- Skulberg, O.M., Carmichael, W.W., Anderson, R.A., Matsunaga, S., Moore, R.E. and Skulberg, R. 1992 Investigations of a neurotoxic Oscillatorialean strain (cyanophyceae) and its toxin. Isolation and characterization of homoanatoxin-a. *Env. Toxicol. Chem.*, 11, 321-329.
- Tisdale, E. 1931. Epidemic of intestinal disorders in Charleston, W. Va., occurring simultaneously with unprecedented water supply conditions. *Am. J. Public Health* 21, drinking water supplies, in Carmichael W (ed.) 1981: The Water Environment-Algal Toxins and Health. Plenum Press, Nueva York y Londres, 491 pp.
- Tolchinsky, F. (2017, Noviembre 02). Verde y peligroso: el drama de los Molinos. *EIDoce.tv*. Recuperado de https://eldoce.tv/sociedad/verde-y-peligroso-el-drama-en-el-dique-los-molinos-mirada-telenoche-informe-contaminacion-agua-lago_53557
- Tolchinsky, F. (2017, Noviembre 16). Los Molinos: el agua verde preocupa y espanta. *EIDoce.tv*. Recuperado de https://eldoce.tv/sociedad/los-molinos-el-agua-verde-preocupa-y-espanta-mirada-telenoche-inspeccion-control-calidad-algas-expertos-informe-especial-contaminacion-lago_54500
- Tse-Luen Lee 2001 BIOSAND HOUSEHOLD WATER FILTER PROJECT IN NEPAL.
- UNESCO, International Hydrologic Program (IHP). 2005. Technical Documents in Hydrology, N° 76, París.
- Vallentyne, J. 1978. Introducción a la Limnología. Ediciones Omega S.A. Barcelona, 169 pp.
- Vallentyne, J. 1978. Introducción a la Limnología. Ediciones Omega S.A. Barcelona, 169 pp.

- Velzeboer, R., Drikas, M., Donati, C., Burch, M. y Steffensen, D. 1995 The removal of cyanobacterial cells by alum flocculation. In: *Proceedings of the Australian Water and Wastewater Association 16th Federal Convention*, Sydney.
- Viano, L. (2017, Abril 10). No sólo el San Roque está en riesgo: cómo es el estado de salud de otros cinco lagos cordobeses. *La Voz del Interior*. Recuperado de <http://www.lavoz.com.ar/listas/no-solo-el-san-roque-esta-en-riesgo-como-es-el-estado-de-salud-de-otros-cinco-lagos-cordobese?item=1>
- Viano, L. (2017, Abril 9). Lagos cordobeses: el riesgo de terminar como el San Roque. *La Voz del Interior*. Recuperado de <http://www.lavoz.com.ar/ciudadanos/lagos-cordobeses-el-riesgo-de-terminar-como-el-san-roque>
- Watanabe, M.; Harada, K.; Matsuura, K.; Oishi, S.; Watanabe, Y. and Suzuki, M. Heptapeptide toxins contained in natural samples of *Microcystis* species. *Tox. Assess.* (1989), 4: 487-497.
- Watanabe, M.; Oishi, S.; Harada, K.; Matsuura, K.; Kawai, H. and Suzuki, M. Toxins contained in *Microcystis* species of cyanobacteria (blue-green algae). *Toxicon* (1988) 26:1017-1025.
- Weckesser, J. and Drews, G. 1979 Lipopolysaccharides of photosynthetic prokaryotes. *Ann. Rev. Microbiol.*, 33, 215-239.
- Yu, S. Primary prevention of hepatocellular carcinoma. *J. Gastroenterol. Hepatol.* (1995) 10:674-682.