

## Calidad del agua para consumo humano y producción hidropónica en Bases Antárticas Conjuntas de Argentina

### Water quality for human consumption and hydroponic production in Antarctic Bases of Argentina

Boris Gastón Díaz <sup>1,2</sup>, Jorge Alberto Birgi <sup>1,2</sup>, Verónica Gargaglione <sup>1,2</sup>, Cesar Ismael Araujo Prado <sup>3</sup>, Pablo Luis Peri <sup>1,2</sup>, Yanina El Kassisse <sup>4</sup>  
diaz.boris@inta.gob.ar; birgi.jorge@inta.gob.com; gargaglione.veronica@inta.gob.ar; cesar.i.araujo.p@hotmail.com; peri.pablo@inta.gob.ar; yelkassisse@ina.gob.ar

<sup>1</sup> Universidad Nacional de la Patagonia Austral, Unidad Académica Río Gallegos

<sup>2</sup> Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, EEA Santa Cruz

<sup>3</sup> Comando Conjunto Antártico - Dirección Nacional del Antártico

<sup>4</sup> Instituto Nacional del Agua - Subgerencia Laboratorio de Calidad de Aguas

*Recibido: 23/10/2023. Aceptado: 11/03/2024*

#### RESUMEN

Entre los años 2022 y 2023 se inició la producción de vegetales en módulos de hidroponía instalados en las Bases Antárticas Conjuntas argentinas Marambio y Esperanza, cuyo objetivo principal es el abastecimiento continuo de alimento fresco para su personal. En este sentido, para el consumo humano y para la producción hidropónica se requiere de un conocimiento y control preciso de la calidad del agua. Durante el invierno de 2022 se realizaron análisis de parámetros de la calidad de agua en fuentes de abastecimiento y circuitos de distribución de ambas Bases. Se evaluaron analitos de interés para la caracterización de la aptitud para consumo humano y para el desarrollo de soluciones nutritivas.

Ambas Bases cuentan con un abastecimiento de agua de buena aptitud general, con escasos parámetros por fuera de los estándares de calidad vigentes en el país. Los circuitos de potabilización implementados aseguran la atenuación de riesgos para la elaboración de alimentos y la bebida. Mientras que en la Base Esperanza no se presentaron restricciones para la hidroponía, con un agua disponible de baja mineralización, baja dureza, baja alcalinidad, baja conductividad y pH apropiado, en la Base Marambio ha resultado necesario incorporar una planta de ósmosis inversa para atenuar concentraciones altas en algunas sales que, sin representar riesgo alguno para el consumo humano, imposibilitaban la formulación de soluciones apropiadas para la hidroponía.

**Palabras clave:** Hidrología; Agricultura; Clima; Cambio Climático.



## ABSTRACT

Between 2022 and 2023, the production of vegetables began in hydroponic modules installed at the Argentine Antarctic Bases Marambio and Esperanza. The main objective was the continuous supply of fresh food for its personnel. In this sense, for human consumption and hydroponics production, precise knowledge and control of water quality is required.

During winter of 2022, analyzes of water quality were carried out in supply sources and distribution circuits at both Bases for the characterization of suitability for human consumption and nutrient solutions development.

Both Bases showed good general suitability in their water supplies, with few parameters falling outside the national reference standards. The purification circuits implemented in both cases, ensured the risk mitigation for food production and human drink. While at Esperanza Base there were no restrictions for hydroponics with low mineralization, hardness, alkalinity, and conductivity, and an appropriate pH, at Marambio Base, it has been necessary to incorporate a reverse osmosis plant to decrease salt concentrations that, without representing any risk for human consumption, they made impossible to formulate appropriate solutions for hydroponics.

**Keywords:** Hydrology; Agriculture; Climate; Climate Change.

## INTRODUCCIÓN

La República Argentina mantiene una ocupación ininterrumpida en la Antártida desde el año 1904 hasta la actualidad, a partir de la adquisición del observatorio meteorológico y magnético escocés Omond House, instalado en 1903, y la apertura de una pequeña oficina postal en la isla Laurie, integrante del grupo de islas Orcadas del Sur (Fontana, 2018; Pereyra, 2021). Tras 120 años, la Argentina administra en la actualidad 13 Bases entre las cuales 7 se encuentran operativas todo el año y el resto, solo durante el verano (Ministerio de Defensa, 2023). Esta infraestructura, junto a otras menores como refugios y de resguardo, son el resultado de una creciente inversión en la presencia argentina en el continente, principalmente concretada entre los años 1951 y 1979.

Con un 61,7% del total de reservas de agua dulce de superficie del mundo y un 1,56% del volumen total de la hidrosfera (Babkin, 2003), el continente antártico representa una reserva estratégica en un contexto de cambio climático en el que este recurso comienza a ser escaso. Sin embargo, la captación y tratamiento de agua para consumo humano, y más recientemente para la producción hortícola en estas altas latitudes, representa importantes desafíos tecnológicos y logísticos además de una inversión considerable en energía, con matices diferentes según la Base (Interlandi, 2021).

Argentina es uno de los 12 países signatarios originales del Tratado Antártico (Conferencia de la Antártida, 1959), en el que se sentaron las bases del compromiso de uso y ocupación pacíficos del continente, y que en la actualidad se extiende a 54 países (Secretaría del Tratado Antártico, 2023). En el marco del Protocolo de Madrid al Tratado Antártico sobre Protección del Medio Ambiente, en 1991, se estableció que todas las actividades a realizar en el continente “*deberán ser planificadas y sobre la base de información suficiente, que permita evaluaciones previas y un juicio razonado sobre su posible impacto*”.

Las Bases Antárticas Conjuntas (BAC) *Marambio*, fundada en el año 1969, y *Esperanza*, en 1952 por la República Argentina, se tratan de dos de las más antiguas bases argentinas en el continente. La primera es la principal estación científica con apoyo militar permanente del país y una de las principales de toda la Antártida argentina por su rol logístico, mientras que la



segunda se trata de una importante estación científica siendo la única que cuenta, entre su dotación permanente, con familias, incluso con una estación de radio y una escuela desde el año 1977. *Esperanza*, es la instalación más antigua documentada en el continente, habiendo sido en 1903 el sitio de refugio de los naufragos del *Antarctic*, expedición sueca liderada por Otto Nordenskjöld, y primera población invernante conocida (1902-1904), (Antarctic Treaty Consultative Meeting, 2021).

La necesidad de disponer de plantas ha sido una preocupación permanente para expedicionarios y residentes en la Antártida, situación que permite explicar un total de 46 antecedentes conocidos de producción de vegetales en el continente, desde pequeñas y poco duraderas iniciativas, de reducida tecnología, hasta las actualmente 9 producciones existentes con un elevado nivel tecnológico, basadas en hidroponía y, con unas pocas excepciones, mayormente de tipo experimental (Patterson *et al.*, 2012; Bamsey *et al.*, 2015).

En el año 2022 se comenzó la producción de vegetales en un módulo de hidroponía instalado en la BAC *Marambio*, denominado MAPHI I (*Módulo Antártico de Producción Hidropónica*), cuya meta principal es el abastecimiento continuo de alimento fresco para el personal permanente de forma de complementar su dieta, en especial en meses del año en los cuales el clima acompleja la logística desde el continente y la alimentación reside casi con exclusividad en productos congelados y conservas (Birgi *et al.*, 2022). En mayo de 2023 se inició la producción continua en el módulo MAPHI II, instalado en la BAC *Esperanza*. Ambos módulos representan en la actualidad el resultado de un proyecto interinstitucional conjunto iniciado en el año 2015 y cuya meta para el año 2030 involucra la producción continua e independiente en 5 de las 7 bases permanentes argentinas en el continente. Entre las instituciones participantes, el Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA) y el Comando Conjunto Antártico (CoCoAntar) lideran la iniciativa, junto a la Universidad Nacional de la Patagonia Austral (UNPA) y la Dirección Nacional del Antártico (DNA). Esta última mencionada es la responsable de asegurar la apropiada implementación de las tecnologías y procesos en los diferentes módulos, de acuerdo con las pautas y condiciones establecidos por el Tratado Antártico.

Las características del agua de bebida, así como la dieta, impactan fuertemente en la calidad de vida del personal en la Antártida, en especial por lapsos prolongados de residencia, no tan solo desde un enfoque nutricional sino también psicológico (Ulrich y Parson, 1992; Parson *et al.*, 1994; Baena Ruiz y Torijalsasa, 2001; Bamsey *et al.*, 2015). El conjunto de características físicas, químicas y biológicas mínimas indispensables y máximas admitidas, de acuerdo con normas y estándares de referencia, permite establecer la calidad de un agua para ser utilizada en un fin determinado o consumida. Este conjunto de atributos es el resultado de las características propias de un agua según su origen y del tratamiento que se le asegure.

En el caso de aguas destinadas al consumo humano, los países disponen de estándares diversos para asegurar límites de tolerancia en los parámetros físico, químicos y biológicos a garantizar en un servicio de abastecimiento. En la Argentina, estos límites se establecen en el Capítulo XII '*Bebidas hídricas, agua y agua gasificada*' del Código Alimentario Nacional (Ley Nacional No.18284/71, actualizado en 2021) y su decreto Reglamentario No.2126/71 (ANMAT, 2023). En este marco, las diferentes BAC argentinas aseguran la gestión de las aguas de consumo local mediante diferentes tecnologías y procesos, de acuerdo con las características de las fuentes de captación disponibles.

La producción hidropónica, al igual que la bebida humana, requiere de una excelente calidad del agua. Si bien, a diferencia del anterior caso, se carece de normas específicas o recetas universales, sí se dispone de consideraciones sobre la composición iónica y presencia de toxinas o microorganismos perjudiciales que demandan una apropiada evaluación en relación con la composición nutricional requerida para asegurar el óptimo rendimiento de un cultivo de interés

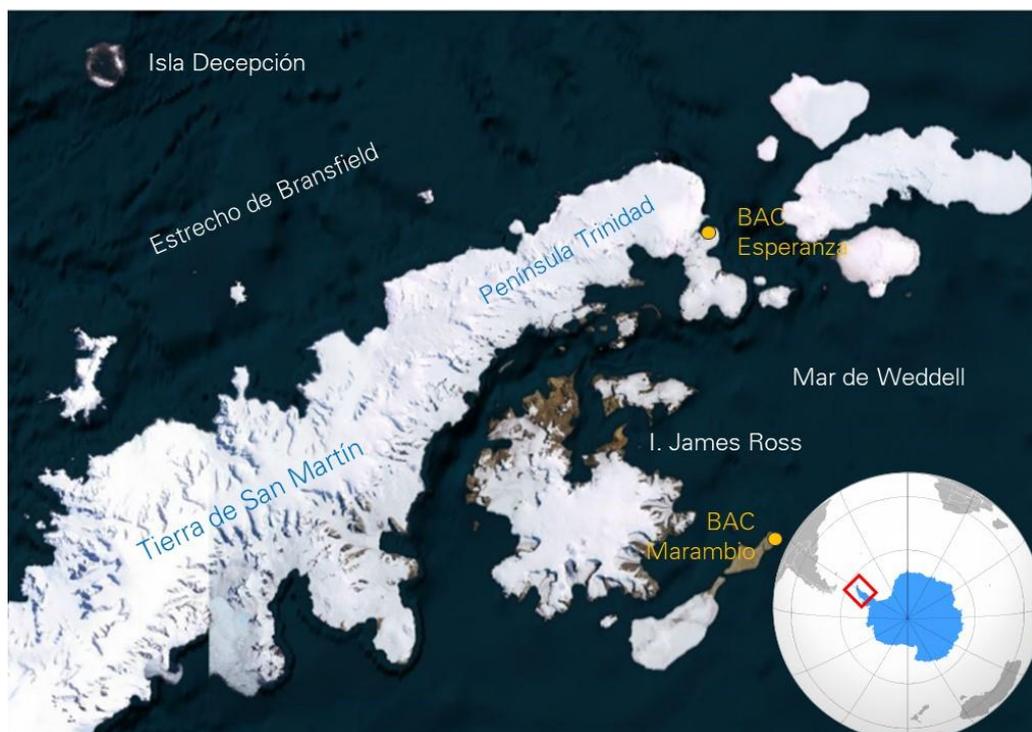
(Tognoni *et al.*, 1998; Schwartz *et al.*, 2005; Wang *et al.*, 2017). La opción más sencilla para lograrlo es disponer de un agua completamente desmineralizada, lo cual puede representar costos y complejidad de procesos, especialmente en locaciones extremas como la Antártida. Así, mientras que en la BAC *Marambio* se dispone de un circuito de potabilización completo con el cual se disminuye la carga de sólidos suspendidos mediante floculación, la de microorganismos mediante cloración y aún la carga iónica mediante ósmosis inversa, en la BAC *Esperanza* no se dispone de estos procesos y la circulación del módulo hidropónico es realizada directamente con agua cruda.

El objetivo del presente trabajo fue analizar la calidad del agua disponible en diversas fuentes de abastecimiento y en los circuitos post tratamiento, para el consumo humano y la producción hidropónica, en dos bases argentinas de la Península Antártica, integrantes en la actualidad del proyecto MAPHI.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Zona de estudio

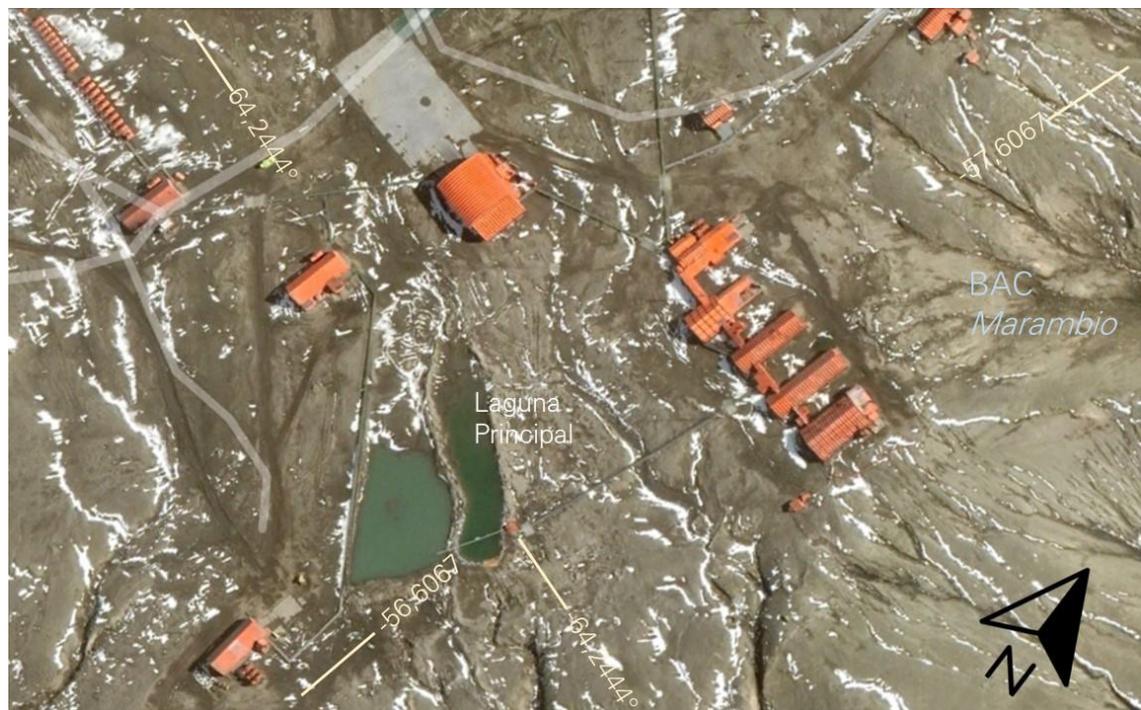
Se trabajó con muestras de agua procedentes de diferentes fuentes de captación y distribución para consumo del personal de dotación y producción hidropónica en las BAC *Esperanza* (Lat.  $-63,3983^{\circ}$ ; Long.  $-56,9961^{\circ}$ ; 5 msnm) y *Marambio* (Lat.  $-64,2444^{\circ}$ ; Long.  $-56,6067^{\circ}$ ; 201 msnm), durante el invierno de 2022 (Figura 1). La primera se encuentra en la bahía Esperanza (Hope bay), península Trinidad, en el extremo NE de la Tierra de San Martín y cuenta con una dotación permanente de aproximadamente 66-80 personas que asciende, en la época estival, a un promedio de 142 incluyendo niños. La segunda se encuentra en la meseta alta de la isla Marambio (ex Seymour), integrante del grupo de islas de James Ross sobre el mar de Weddell, también en la península Trinidad. Su población consiste en una dotación permanente de 75-80 personas que se amplía a unas 160-180 durante el verano.



**Figura 1.** Ubicación de bases antárticas argentinas en las cuales se realizó el estudio.



**Figura 2.** Ubicación de la fuente de agua actual (E-PGBA) en la BAC Esperanza.



**Figura 3.** Ubicación de la fuente de agua actual (M-LAGP) en la BAC Marambio.

En la BAC *Esperanza*, las muestras se obtuvieron de (i) la laguna 'Pie del Glaciar Buenos Aires' (E-PGBA) desde donde se abastece en la actualidad de agua cruda, en reemplazo de la laguna 'Bekela' o 'Boeckella', agotada en 2012 a partir de eventos de drenaje extremos

ocurridos entre los años 2001 y 2007 asociables a altas temperaturas en la región y a un significativo derretimiento del permafrost (Martín-Serrano *et al.*, 2005; Izaguirre *et al.*, 2012; Chiarandini *et al.*, 2013) (Figura 2); y (ii) a la salida de los tanques-cisternas de agua de consumo (E-TANQ) desde donde se abastece directamente a la población local y otras instalaciones comunes de la Base. En la BAC *Marambio* las muestras se obtuvieron de (i) la 'Laguna Principal' (M-LAGP), uno de dos reservorios artificiales locales (Silva Busso, 2009) desde los cuales se abastece durante los meses cálidos y con una menor presión de uso durante el invierno (Figura 3); y (ii) al final del circuito de potabilización, y previo a la planta de ósmosis inversa (OI), para su posterior disponibilización final para consumo (M-CONS). Finalmente, se realizó un seguimiento mediante sonda multiparámetro de las características del agua producida en (iii) el derretidor de nieve existente en la BAC *Marambio* (M-DERR), principal fuente de abastecimiento durante los meses de invierno.

### Fuentes de agua disponibles en la BAC *Marambio*

Es posible reconocer múltiples fuentes de alimentación de la laguna M-LAGP. La precipitación nival total en *Marambio* es relativamente baja en comparación al contexto peninsular, de hasta unos 200 mm anuales sobre la meseta, de los cuales una gran proporción no se acumula debido a la predominancia de fuertes vientos (Fournier *et al.*, 1990). La mayor acumulación de ésta ocurre en voladeros, en el entorno inmediato de la infraestructura de la BAC, y se la utiliza estacionalmente para la producción de agua de consumo en un derretidor de nieve (Interlandi, 2021), usualmente entre mayo/junio y septiembre/octubre, dependiendo de la oferta disponible de agua en la laguna M-LAGP cada año. Ésta, se alimenta parcialmente de la fusión estacional de nieve, así como también de los aportes de la capa activa del permafrost circundante, que durante los meses cálidos puede alcanzar unos 0,5-2,0 m de profundidad de derretimiento (Rinaldi *et al.*, 1978; Fournier *et al.*, 1990), a través del escurrimiento freático (Silva Busso, 2009). Finalmente, la lluvia presenta importantes oscilaciones interanuales en la meseta alta, en el rango de 200,0 a 350,0 mm con extremos absolutos documentados entre 193,4 y 558,8 mm/año. Si bien los registros disponibles no resultan del todo confiables (Ermolin *et al.*, 2004), las estimaciones promedio anuales pueden significar una interesante contribución al almacenamiento y escurrimiento de agua en superficie dada la escasa tasa evaporativa y evapotranspirativa esperada en la isla.

El sustrato de la laguna M-LAGP y su entorno inmediato consiste en sedimentos terciarios limo - arenosos de origen marino, con una capa superior consistente en un Till, un material sin clasificación ni estratificación, depositado directamente por el hielo glacial y compuesto mayormente de una matriz arcillosa con rodados, de espesor variable hasta unos 2-3 m (Rinaldi *et al.*, 1978; Fournier *et al.*, 1990; Marensi *et al.*, 2012). Debido a su origen, existe una importante salinidad en el sustrato que, con la dinámica estacional de derretimiento y congelamiento del permafrost favorece su movilidad (Fournier *et al.*, 1987) hacia zonas bajas de acumulación y concentración como la laguna M-LAPG. Silva Busso (2009) asocia el carácter salino de las lagunas en la meseta de la isla a la descarga estacional mediante escurrimiento subsuperficial que podría o no desarrollar un acuífero libre temporario supra permafrost, dada la heterogeneidad en la continuidad de las zonas saturada y no saturada.

Silva Busso (2009) y Ormazabal (2022) mencionan una buena conductividad hidráulica del sustrato que conforma la meseta alta de la Formación Weddell, en la isla *Marambio*, del orden de 1,6 a 7,5 cm/h, con porosidades promedio que oscilan entre 37,7 y 63,7%. Estos parámetros son consistentes con la buena capacidad de recuperación de la laguna M-LAGP tras la depresión que provoca cada bombeo durante los reabastecimientos de cisternas de la BAC *Marambio*.

Durante el invierno, la priorización para el abastecimiento de agua de la BAC *Marambio* es a partir del bombeo desde la M-LAGP, mientras las condiciones del clima permiten las

operaciones del personal en el exterior y el nivel de congelamiento de sustrato y laguna ofrecen volúmenes suficientes de agua. Cuando esto no ocurre, la producción de agua se centra en el derretimiento de nieve en instalaciones específicas o bien en la mezcla de fuentes de abastecimiento a expensas de un alto costo energético y esfuerzo humano.

### **Fuente de agua en la BAC Esperanza**

E-PGBA consiste en una laguna proglacial, ubicada en una depresión sobre materiales glaciares y periglaciares depositados durante el Cuaternario Tardío, en la forma de morenas laterales del glaciar Buenos Aires (Martín-Serrano *et al.*, 2005). Por su ubicación respecto de éste, la contribución principal de su alimentación procede de la ablación nival y glacial, en especial durante los meses cálidos (Reinaud Schaefer *et al.*, 2014). La existencia de un permafrost con una capa activa cercana a la superficie, así como hielo enterrado bajo las morenas (Martín-Serrano *et al.*, 2005) también permite suponer aportes de escurrimiento subterráneo desde éstos durante los meses cálidos. El sustrato de la laguna E-PGBA y su entorno inmediato consiste en un Till, un suelo clasificado como Haploturbel lítico por Reinaud Schaefer *et al.* (2014), dominante en la bahía. Las contribuciones a la E-PGBA se complementan con una lámina anual precipitada promedio en la BAC Esperanza, de unos 620 mm (Allende, 2004).

Luego de la captación local en E-PGBA, el agua se conduce a cisternas ubicadas en la usina de la BAC, desde donde se distribuye con cierta periodicidad a viviendas y otras edificaciones, para consumo y calefacción (Interlandi, 2021). Cada vivienda cuenta con dispositivos comerciales de filtración de agua de red domiciliaria, basados en carbón activado, de venta libre, regulados por ANMAT (2022).

### **Colecta, acondicionamiento y transporte de muestras de agua**

Durante el invierno de 2022 se colectaron muestras simples de agua superficial siguiendo procedimientos estandarizados (Duncan *et al.*, 2007). Se utilizaron envases plásticos y de vidrio, transparente y caramelo dependiendo del conjunto de analitos a evaluar en cada muestra (Tabla 1). A fin de asegurar la caracterización más natural posible (no antropizada) en los cuerpos de agua, la colecta de muestras se realizó a no menos de 48 horas posteriores a la realización de algún bombeo que pudiera alterar el equilibrio en los sedimentos de fondo. Las muestras fueron rotuladas, estabilizadas con HNO<sub>3</sub> y conservadas en un rango de temperaturas de 1-4°C, evitando el congelamiento hasta su transporte al continente, a menos de 14 días de colectadas.

### **Determinaciones fisicoquímicas in situ y análisis en laboratorio**

En cada sitio de colecta de agua se realizaron determinaciones fisicoquímicas mediante una sonda multiparámetro SPER SCIENTIFIC Water Measurement Kit de acuerdo con procedimientos estandarizados (Duncan *et al.*, 2007). Se midió: (i) temperatura del agua con sensor 840038 (precisión  $\pm 0,1$  °C); (ii) pH con sensor 840016 (precisión  $\pm 0,01$  unidades pH); (iii) conductividad eléctrica estandarizada a 25°C (CEE) con sensor 850081 (precisión  $\pm 1,0$   $\mu$ S/cm); (iv) salinidad con sensor 850081 (precisión  $\pm 0,01$  %); (v) oxígeno disuelto con sensor 850081DO (precisión  $\pm 0,1$  mg/l); y (vi) sólidos disueltos totales (SDT) con sensor 850081 (precisión  $\pm 0,1$  mg/l). Dadas las condiciones ambientales de trabajo, la calibración de electrodos mediante soluciones estandarizadas se implementó previa a cada lectura.

Los análisis de laboratorio se condujeron sobre parámetros de interés para el consumo humano establecidos en el Capítulo XII (*'Bebidas hídricas, agua y agua gasificada'*) del Código Alimentario Argentino (CAA), (ANMAT, 2023) así como en el Decreto Reglamentario

No.450/21 de la Ley Marco de Gestión Integral de los Recursos Hídricos No.1126/16 de la provincia de Tierra del Fuego, Antártida e Islas del Atlántico Sur (Tabla 1). También se consideraron analitos de interés agropecuario para la elaboración de soluciones nutritivas de acuerdo con los objetivos productivos de cada módulo hidropónico, según Resh (1997).

**Tabla 1.** Parámetros y métodos analíticos utilizados en la determinación de la calidad de agua en laboratorio (AWPA, AWWA and WPCF, 1992).

Análisis	Método analítico	Límite de detección
Alcalinidad Total	SM 2320 B	1,0 mg/l
Aluminio residual (Al)	SM 3500- Al B	0,001 mg/l
Amoníaco (NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> )	HACH METHOD 8038	0,01 mg/l
Antimonio (Sb)	SM 3500- Sb B	0,001 mg/l
Arsénico (As)	KIT Quantofic Arsen 10	0,01 mg/l
Bario (Ba)	HACH METHOD 8014	0,001 mg/l
Bicarbonato (HCO <sub>3</sub> )	SM 2320 B	1,0 mg/l
Cadmio (Cd)	SM 3500-Cd B	0,001 mg/l
Calcio (Ca)	SM 3500- Ca D	1,0 mg/l
Carbonato (CO <sub>3</sub> )	SM 2320 B	0,001 mg/l
Cianuro (CN)	HACH METHOD 8027	0,001 mg/l
Cinc (Zn)	SM 3500-Zn B	0,001 mg/l
Cloro activo residual (Cl)	SM3500-Cl G	0,01 mg/l
Cloruro (Cl)	SM 4500-Cl C	1,0 mg/l
Cobre (Cu)	SM 3500-Cu B	0,001 mg/l
Cromo (Cr)	SM 3500-Cr B	0,001 mg/l
Detergentes	SM 5540 C	0,001 mg/l
Dureza Total	SM 2340 C	1,0 mg/l
Fluoruro (F <sup>-</sup> )	SM 4500-F <sup>-</sup> D	0,01 mg/l
Grasas y aceites	SM 5520 C	0,001 mg/l
Hierro (Fe)	SM 3500- Fe B	0,001 mg/l
Magnesio (Mg)	SM 3500- Mg E	1,0 mg/l
Manganeso (Mn)	SM 3500- Mn B	0,001 mg/l
Níquel (Ni)	SM 3500-Ni B	0,001 mg/l
Nitrato (NO <sub>3</sub> )	HACH METHOD 8171	0,1 mg/l
Nitrito (NO <sub>2</sub> )	HACH METHOD 8507	0,001 mg/l
Nitrógeno total (N)	(sumatoria)	0,1 mg/l
Plata (Ag)	SM 3500-Ag B	0,001 mg/l
Plomo (Pb)	SM 3500-Pb B	0,001 mg/l
Potasio (K)	SM 3500-K D	0,001 mg/l
Sodio (Na)	SM 3500-Na D	0,001 mg/l
Sólidos suspendidos totales (SST)	HACH METHOD 8006	1,0 mg/l
Sulfatos (SO <sub>4</sub> <sup>-</sup> )	HACH METHOD 8051	1,0 mg/l
Turbiedad	SM 5210 B	1,0 NTU

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Calidad de aguas disponibles en la BAC Marambio

Durante el invierno de 2022, el pH promedio del agua en reposo en M-LAGP resultó de 8,04 (Tabla 2). Durante los ciclos de bombeo de larga duración para el suministro de la BAC, la depresión ocasionada en el tirante de la laguna y la turbulencia ocasionada en el sedimento de fondo, generó oscilaciones de pH en un rango de 7,24 a 8,16. La producción de agua desde esta fuente es una estricta función de la demanda de la Base en diferentes momentos del año, pudiendo producirse un solo bombeo semanal en momentos de baja ocupación (principalmente otoño y primavera) mediante el cual se logran abastecer los 62,5 m<sup>3</sup> de capacidad de cisternas de la BAC, o hasta dos o más oportunidades semanales de bombeo durante el verano. Monitoreos históricos disponibles del pH en M-LAGP, realizados entre los años 1999 y 2021 por empresas y laboratorios prestadores de servicios al Comando Conjunto Antártico (inéditos), revelan también una importante variabilidad temporal en un rango de 5,78 a 7,75.

De igual forma que con el pH, la dinámica extractiva de la laguna repercute en los parámetros CEE, SDT y salinidad. La CEE osciló entre 1,60-2,67 mS/cm en reposo alcanzando 4,4 y >5,0 mS/cm luego de pocas horas de extracción continua, en épocas de lenta recarga natural, con un promedio en torno a 3,27 mS/cm (Tabla 2). Altamente correlacionados con la CEE, los valores de SDT oscilaron, antes y después de un bombeo, 1.820 y 2.970 mg/l de igual forma que la salinidad, entre 0,15% y 0,24%, respectivamente. Estas observaciones son consistentes con las documentadas por Silva Busso (2009) para aguas superficiales en lagunas de la isla Marambio, con valores en el orden de 3,5 a 6,0 mS/cm de CEE (con extremos absolutos entre 1,03-13,2 mS/cm de CEE); pH entre 7,32-8,25; y SDT entre 1.700-7.000 mg/l. Las propias características del agua freática estival, procedente de la capa activa del permafrost, confirman el origen marino del sustrato y las cualidades que imprimen en el agua disponible de M-LAGP, con valores de CEE oscilando entre 3,3 y 13,2 mS/cm y pH entre 6,91 y 8,15 (Silva Busso, 2009; Ormazabal, 2022).

Las aguas resultantes del derretimiento (M-DERR), en el invierno de 2022, presentaron valores de pH=7,21, una salinidad despreciable (0,0%) y consecuentes bajos valores de SDT (41,0 mg/l) y CEE (61,4 μS/cm), (Tabla 2).

**Tabla 2.** Parámetros analizados in situ al momento de colecta de muestras, en aguas de la laguna de abastecimiento y en el derretidor de nieve de la BAC Marambio, durante el invierno de 2022.

Parámetro	Fuente	
	M-LAPG	M-DERR
pH	8,04	7,21
Conductividad Eléctrica CEE (mS/cm)	3,27	0,06
Sólidos Disueltos Totales (mg/l)	2.225	41
Salinidad (%)	0,19	0,0
Temperatura del agua (°C)	1,6	13,5
Oxígeno disuelto (mg/l)	15,1	nd

En términos generales, las nieves antárticas se comportan como soluciones ligeramente ácidas ( $5 < \text{pH} < 7$ ), (Delmas *et al.*, 1982; Ali *et al.*, 2010; Babanrao Budhavant *et al.*, 2014), con una baja concentración de iones lo que redundará en bajos valores esperados de CEE, SDT y salinidad

(Silva Busso, 2009), (Tabla 3). El conjunto de parámetros fisicoquímicos del agua puede presentar ligeras variaciones entre diferentes producciones de agua derretida dependiendo del origen de la nieve utilizada, dado que, al tratarse de una isla, en ocasiones la circulación de vientos desde el mar o desde la península, en diferentes momentos de la estación fría, pueden condicionar la presencia de partículas o sales depositadas que condicionan la calidad del agua (Legrand, 1987).

Cuando la producción de agua consiste en mezclas, es posible observar todo un gradiente de características fisicoquímicas. En estos casos, las características medias suelen oscilar entre pH próximo a 8,03, una salinidad de 0,1%, SDT en el orden de 1.175 mg/l) y una CEE de 1,75 mS/cm.

En la meseta alta de isla Marambio las aguas son de tipo preponderantemente sulfato-cloruradas cálcico-magnésicas a sódico-cálcicas, con un fuerte predominio de  $\text{Ca}^{+2}$  y  $\text{Mg}^{+2}$  entre los cationes, con concentraciones variables entre 228 - 667 mg/l en el primer caso y 84-713 mg/l en el segundo (Silva Busso, 2009). Cloruros ( $\text{Cl}^-$ ) y Sulfatos ( $\text{SO}_4^-$ ) tienden a predominar entre los aniones, si bien con una gran variabilidad entre los antecedentes disponibles, con rangos entre 97-1.306 mg/l para el  $\text{Cl}^-$  y 1.152-5.376 mg/l para el  $\text{SO}_4^-$ . Comparativamente, en el invierno de 2022, el agua de M-LAGP presentó características intermedias entre estos antecedentes, con una mineralización de grados intermedio a elevada, según la escala propuesta por la directiva europea para aguas minerales en términos de CEE (770-1.300 mS/cm) y de la concentración de SDT (500-1.500 mg/l), (Van der Aa, 2003), (Tabla 3). El  $\text{Na}^+$  (41 mg/l) y el  $\text{Mg}^{+2}$  (24 mg/l) presentaron las mayores concentraciones entre los cationes, mientras que entre los aniones fueron  $\text{SO}_4^-$  (114 mg/l) y  $\text{Cl}^-$  (427 mg/l). Con estas concentraciones, la clasificación de esta agua según Piper (1944) resultó del tipo clorurada cálcico-magnésica. Sin embargo, los antecedentes resaltan una importante variabilidad en las concentraciones de cada ion, en especial del  $\text{SO}_4^-$ , con lo cual resulta posible coincidir, en determinadas ocasiones, con la clasificación propuesta de Silva Busso (2009) para el promedio de las lagunas de la meseta alta Marambio. El  $\text{Ca}^{+2}$  y el  $\text{K}^+$  presentaron bajos valores en relación con otros antecedentes regionales para lagunas de origen similar (Silva Busso, 2009; El Kassisse, 2023), (Tabla 3).

La alcalinidad se encontró en el rango de una buena capacidad amortiguadora del pH del agua de M-LAGP (30-150 mg/l), (Weiner, 2008), mientras que la dureza permite clasificarla como aguas entre blandas y moderadamente duras (75-150 mg/l) (EPA, 1994), o hasta duras de acuerdo con USEPA (1976) y WHO (2011).

## Calidad de aguas en la BAC Esperanza

El pH del agua en E-PGBA resultó cercano a la neutralidad (7,66-7,70), consistente con antecedentes disponibles de aguas de procedencias glaciarias similares (Tabla 3). El Kassisse *et al.* (2023) documentan un rango de pH similar, ligeramente más ácido (entre 6,23 y 7,52) en fuentes de abastecimiento actual y potencial de la BAC argentina *Petrel*, ubicada en la isla Dundee, próxima a las BAC *Esperanza* y *Marambio*. Los valores observados difieren de registros previos procedentes de la laguna 'Bekela', citados por Izaguirre *et al.* (2003) y Pizarro *et al.* (2012) con valores de pH en un rango de 6,5 a 6,8 para muestras superficiales tomadas durante el verano en condiciones relativamente similares de estudio (temperatura media del agua entre 2,8-4,0 °C; OD entre 12,8-15,3 mg/l; CEE entre 48-124,4  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ), (Anexo II). La oscilación estacional entre invierno y verano, en diversos parámetros físicos del agua puede ser notable en cuerpos de agua poco profundos de la Antártida y la escasez de datos en especial en los inviernos dificulta la comparación directa de características y la propia comprensión de las dinámicas naturales en el continente aún para un mismo cuerpo (Hawes *et al.*, 2011a). Estas

diferencias estacionales podrían ocasionar grandes variaciones en algunos parámetros como el pH, en situaciones tan extremas como 7,0 y 11,0 (Hawes *et al.*, 2011b).

La muestra procedente de E-TANQ no evidenció cambios notables en los parámetros evaluados en E-PGBA con la excepción esperada de la concentración del oxígeno disuelto, notablemente más baja, como consecuencia de la temperatura a la cual se mantiene el reservorio en la usina de la Base (Tabla 2). En estas condiciones podría incluso esperarse una caída en el pH como consecuencia del gradiente de temperatura desde su fuente (Barron *et al.*, 2006).

**Tabla 3.** Parámetros analizados in situ al momento de colecta de muestras en laguna ‘Pie de Glaciar Buenos Aires’ (E-PGBA) y cisternas de almacenamiento de la Base (E-TANQ).

Parámetro	Fuente	
	E-PGBA	E-TANQ
pH	7,70	7,66
Conductividad Eléctrica Estandarizada CEE ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ )	86,7	70,5
Sólidos Disueltos Totales (mg/l)	54,4	45,7
Salinidad (%)	0,0	0,0
Temperatura del agua ( $^{\circ}\text{C}$ )	4,3	26,8
Oxígeno disuelto (mg/l)	12,5	7,1

La alcalinidad se encuentra en un rango bajo ( $<40$  mg/l), con una pobre capacidad amortiguadora de cambios de pH ( $<25$  mg/l), (EPA, 1986; Weiner, 2008), mientras que la dureza permite clasificarla como un agua blanda ( $<75$  mg/l), (USEPA, 1976; EPA, 1994), (Anexo II). Los Sólidos Suspendidos Totales (SST) y la Turbiedad se presentaron en general muy bajos, si bien en momentos de fuerte deshielo estival o durante tormentas de viento, y por las características del material circundante, sería posible esperar una alta producción de sedimentos como documenta Chiarandini *et al.* (2013) con valores de  $>50$  NTU. En el invierno de 2022 el agua de E-PGBA demostró un grado de mineralización muy bajo según la escala propuesta por la directiva europea para aguas minerales en términos de CEE ( $<77$   $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) y de la concentración de SDT ( $<50$  mg/l), (Van der Aa, 2003), (Anexo II).

El agua analizada en E-LPGB resultó de tipo preponderantemente clorurada cálcica según la clasificación de Piper (1944), si bien con escasas diferencias en las concentraciones de los cationes mayoritarios  $\text{Ca}^{+2}$  y  $\text{Mg}^{+2}$  que en E-TANQ permiten considerarla también como clorurada cálcico-magnésica, con concentraciones en el rango de 2 a 4 mg/l para ambos iones (Anexo II). La presencia del ion  $\text{Cl}^{-}$  supera notoriamente al resto de los aniones presentes, en especial al  $\text{SO}_4^{-}$ .

### Implicancias para el consumo humano

La mayor proporción de analitos estudiados en M-LAGP y E-PGBA no presentaron concentraciones que superen los límites de detección utilizados en el presente estudio, como así tampoco los límites establecidos por ANMAT (2023). Una pequeña proporción de éstos sí, como los Cloruros y el Nitrógeno total, superaron los valores límite estipulados por la legislación específica de la provincia de Tierra del Fuego, Antártida e Islas del Atlántico Sur (Anexos I y II), siendo ésta más exigente para diversos analitos respecto a la norma nacional. Un importante subconjunto de analitos, no obstante, no se encuentra legislado en ninguna de

las normativas vigentes, como la alcalinidad, los iones  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ , la conductividad eléctrica y los SST.

Entre las sales presentes en M-LAGP el Sulfato no superó, en el análisis del invierno de 2022, una concentración de 114,0 mg/l. Sin embargo, entre los antecedentes conocidos este ion suele superar ocasionalmente el umbral máximo de 400 mg/l establecido en las normas de referencia (Anexo I). Su presencia en el agua de consumo humano puede generar un sabor perceptible e incluso desagradable y, en altas concentraciones puede provocar un efecto laxante en consumidores no habituados, aunque no problemas de salud específicos (WHO, 2017). El deterioro del sabor y, en consecuencia, los umbrales de aceptación para el consumo varían en función de la naturaleza del catión asociado, por ejemplo, hasta un máximo de 250 mg/l para el sulfato de sodio a 1.000 mg/l para el sulfato de calcio, siendo el primero mencionado uno de los límites más habituales en diferentes normativas internacionales (EPA, 2016; WHO, 2017; European Parliament, 2023).

Una situación similar se presenta con los SDT y la CEE. En el primer caso, el CAA establece un umbral máximo admisible de 1.500 mg/l mientras el segundo carece de referencia. Hasta concentraciones de  $\text{SDT} < 600$  mg/l el sabor suele considerarse aceptable, disminuyendo significativa y progresivamente con valores  $> 1.000$  mg/l aunque sin representar riesgos conocidos en la salud humana (WHO, 2017). Los antecedentes disponibles hasta el año 2021 en aguas de M-LAGP no registran concentraciones de SDT superiores a 1.200 mg/l, pero desde 2022 han comenzado a ser recurrentes valores crecientes de entre 2.500 y 2.970 mg/l, los cuales se encuentran por sobre los límites admitidos en Argentina para el consumo humano (Anexo I), si bien por debajo de otras referencias internacionales disponibles como los admitidos en la UE, de hasta 2.500 mg/l (European Parliament, 2023).

La incorporación, en noviembre de 2022, de una pequeña planta comercial de ósmosis inversa (OI) en la BAC *Marambio*, con capacidad de producción de hasta 1,6 m<sup>3</sup>/día, ha permitido superar las restricciones que significa la presencia de sales en las concentraciones detectadas, para el consumo humano (CEE final  $< 50$   $\mu\text{S}/\text{cm}$ ), lo que no resulta necesario en momentos en se prioriza el abastecimiento desde el derretimiento de nieve. El agua de rechazo de la OI contiene un 25% de excedencia en la concentración salina respecto al agua ingresante al circuito, y se recircula para otros usos en la Base, como la lavandería.

Mientras que la dureza total puede considerarse despreciable en las aguas de la BAC *Esperanza*, en la BAC *Marambio* resultó ligeramente alta. Si bien esto puede tener implicancias negativas a considerar durante el mantenimiento de la infraestructura hidráulica de la Base, no se presentan problemas potenciales con el consumo humano, siendo el umbral aceptado en el CAA de 400 mg/l. La turbiedad y los SST se presentaron por debajo de los umbrales de detección,  $< 1$  NTU en el primer caso y  $< 1$  mg/l en el segundo. Ambos son fuertemente condicionados por la exposición estacional a factores meteorológicos que determinan la deposición de sedimentos transportados por el viento o bien a la intensidad y duración de bombeos que pueden provocar movimiento de sedimentos del lecho en M-LAGP. Cuando ello sucede, el circuito de potabilización cuenta con una dosificación automatizada de un floculante comercial, habitualmente sulfato de aluminio ( $\text{AlSO}_4$ ).

Existe evidencia de la tendencia de calentamiento progresivo del clima en la península antártica, lo que ha provocado cambios en la acumulación estacional de nieve y su cobertura espacial en particular a través del corrimiento de la isoterma de 0°C, entre otros fenómenos (Hagen *et al.*, 2018). En casos como la dependencia de la BAC *Marambio* para su abastecimiento de agua de consumo de la M-LAGP, esta tendencia podría condicionar, en el futuro, la disponibilidad hídrica estacional a partir del impacto negativo del incremento medio interanual de temperaturas en el espesor de la capa activa del permafrost y en la consecuente producción de agua equivalente.

Estos procesos resultan de relevancia para el suministro de agua de la BAC, en especial cuando, en momentos de escasa oferta natural, la sobre explotación continua de M-LAGP puede contribuir a una mayor concentración de iones y SDT en el agua cruda producida. Esta situación puede observarse en la actualidad durante bombeos de larga duración. Las dinámicas del cambio de clima de la región también podrían determinar un deterioro en la calidad del agua por la influencia del clima en el quimismo, la producción de sedimentos desde el permafrost, la concentración de iones asociada a una mayor tasa evaporativa o aún la eventual proliferación de microorganismos patógenos (Delpla *et al.*, 2009; Huang, 2013; Mujere and Moyce, 2017).

La totalidad de analitos evaluados en el agua de la BAC Esperanza se encontraron dentro de los límites para aguas de consumo humano en Argentina (Anexo II). Sin embargo, al igual que con el agua de M-LAGP, en la laguna E-PGBA no se analizó su microbiología. Si bien no existen antecedentes de detección de bacterias coliformes totales o termotolerantes o *E. coli*, en diferentes análisis efectuados en M-LAGP entre 2015-2021 se detectaron concentraciones diversas de bacterias heterótrofas (entre 3-500 UFC/ 100 ml) y al menos en una oportunidad la presencia de *Pseudomonas aeruginosa*. Como procedimiento precautorio, en el circuito de potabilización de la BAC Marambio se realiza una dosificación preventiva biocida con hipoclorito de sodio (NaClO).

### Implicancias para la producción hidropónica

Mediante el cultivo hidropónico resulta posible lograr altos rendimientos y alta calidad en las producciones cuando el agua y los nutrientes se aportan en las cantidades requeridas. Éstos deben calcularse en función de los requerimientos de las especies a producir (Carusso *et al.*, 2011; Wang *et al.*, 2017) y dentro de los límites de las propias características del agua disponible como su composición química y pH, entre otros (Resh, 1997). En términos generales, los solutos más comunes de las aguas naturales dulces deben encontrarse en pequeña concentración para asegurar una buena hidroponía:  $\text{Na}^+ < 50$  mg/l;  $\text{Cl}^- < 50$  mg/l;  $\text{Ca}^{2+} < 150$  mg/l;  $\text{MgCO}_3 < 50$  mg/l;  $\text{HCO}_3^- < 120$  mg/l; y  $\text{SO}_4^{2-} < 100$  mg/l (Resh, 1997; Van Os *et al.*, 2016), valores que fácilmente resultan superados en la fuente mayormente disponible de abastecimiento de la BAC Marambio (Anexo I), con niveles frecuentes de CEE entre  $>1,4$  y  $1,8$  mS/cm. En estas circunstancias, la calidad de partida del agua puede condicionar la calidad final de una solución nutritiva teniendo en cuenta no superar una CEE  $< 3,0$  mS/cm, límite máximo admitido en cultivos tolerantes a la salinidad (Resh, 1997) como los implementados actualmente en las diferentes BAC (Birgi *et al.*, 2022).

Durante los primeros meses de funcionamiento del módulo MAPHI I en la BAC Marambio, para evitar el problema del exceso de sales, en especial del ion  $\text{SO}_4^{2-}$ , se priorizó el uso de formulaciones basadas en  $\text{NO}_3^-$  (Benton Jones, 2014; Bumgarner and Hochmuth, 2019), aprovechando su reducida presencia natural ( $< 2,5$  mg/l) (Anexo I). Sin embargo, la alta variabilidad en las concentraciones de sales, de acuerdo con cómo se gestiona el abastecimiento regular de agua en la Base desde la laguna M-LAGP, puede ocasionar oscilaciones extremas que superan los 400-600 mg/l de  $\text{SO}_4^{2-}$  y valores de CEE  $> 5$  mS/cm. Esto obliga a un monitoreo constante de la evolución de la solución nutritiva circulante a lo largo de diversos ciclos productivos para evitar riesgos de toxicidad. Esta situación se torna menos relevante en momentos en los cuales el abastecimiento de agua procede de nieve derretida (Anexo I). Sin embargo, esta fuente se utiliza pocos meses al año e incluso así, suele mezclarse con la fuente M-LAGP o bien almacenarse en cisternas sin limpieza de sales previo a la circulación interna de la base. La incorporación de una planta de OI en noviembre de 2022 permitió una mayor previsibilidad en la formulación de soluciones nutritivas para la hidroponía, en especial al

asegurar la eliminación de excedencias de ion  $\text{SO}_4^-$  como de  $\text{HCO}_3^-$  sales condicionantes del precipitado de algunos elementos como el  $\text{Ca}^{2+}$  (Urrestarazu Gavilán, 2015).

En las soluciones nutritivas el pH representa uno de los factores condicionantes de la disponibilidad de nutrientes y su asimilación por parte de las plantas en sistemas hidropónicos (Spinu *et al.*, 1997), en especial para valores de  $\text{pH} > 7,3$  (Wang *et al.*, 2017). En la BAC *Marambio*, situaciones con hasta pH de hasta 8,3 pueden generarse durante bombeos de muy larga duración para el abastecimiento de la BAC en momentos del año con reducida tasa de recuperación de M-LAGP (invierno) (Anexo I). Estos niveles pueden asociarse a la presencia de  $\text{HCO}_3^-$  (Van Os *et al.*, 2016) que, en concentraciones próximas o por sobre a 120 mg/l determina una fuerte capacidad amortiguadora del pH, limitando la disponibilidad de algunos nutrientes como el Hierro (Resh, 1997). En estas ocasiones se debió recurrir a soluciones acidificadoras del medio para mantener las soluciones idealmente en un rango de pH de 5,5 a 6,5 (Wang *et al.*, 2017) o hasta un máximo aceptado de  $\text{pH} = 7,5$ . En el caso de la BAC *Esperanza*, los valores se encuentran dentro del umbral de referencia, con antecedentes documentados de pH dentro del rango esperado (Anexo II).

En la BAC *Esperanza*, la baja mineralización del agua disponible permite una buena administración de las formulaciones nutritivas a utilizar en el módulo hidropónico, para cualquier cultivo posible y durante todo el año, tomando en consideración su baja variabilidad inter e intra anual esperada según los antecedentes disponibles.

Finalmente, la oxigenación de raíces resulta central durante la circulación de soluciones nutritivas en el sistema de cultivo NFT. Sus concentraciones resultan elevadas en las fuentes de abastecimiento de ambas BAC analizadas por sobre 12,0 mg/l de OD (Tablas 2 y 4) y, si bien suele decaer en las cisternas de almacenamiento o en los circuitos de potabilización ( $\text{OD} < 6,0$  mg/l), las condiciones ambientales en la que se encuentran los depósitos de solución nutriente de cada módulo MAPHI, ligeramente sobre  $0^\circ\text{C}$ , permiten una rápida recuperación a niveles de OD en circulación y en los cajones de producción tal que difícilmente bajan del rango 7-8 mg/l (Birgi *et al.*, 2022).

## CONCLUSIONES

Las aguas de las que en la actualidad se abastecen las BAC *Marambio* y *Esperanza*, en la Antártida Argentina, presentan buenas calidades para el consumo humano de acuerdo con los valores y concentraciones evaluados en el presente trabajo y en relación con los estándares nacionales en vigencia. En isla *Marambio*, sin embargo, el origen geológico de la laguna de abastecimiento de la BAC determina la presencia de elevados contenidos de sales tales que, sin representar riesgos particulares para la salud en dotaciones que solo permanece un año, se encuentran por sobre los valores límite. En este caso, el circuito de potabilización asegura la disminución de estos niveles y, operando la planta de ósmosis inversa o bien en momentos del año en los cuales buena parte de la producción de agua de consumo procede del derretimiento de nieve, también así se logran aguas de buena aptitud para el funcionamiento del módulo de producción hidropónica MAPHI.

Los análisis disponibles han permitido el diseño de equipos e infraestructura hidropónica en ambas Bases antárticas y su puesta en funcionamiento para la producción continua e ininterrumpida de verdura fresca desde mayo de 2022 (BAC *Marambio*) y abril de 2023 (BAC *Esperanza*), la detección de restricciones en la calidad natural de las aguas disponibles, así como el planteo de alternativas correctivas. Sin embargo, aún se requiere de monitoreos continuos de largo plazo que permitan conocer los rangos de variabilidad natural en las calidades del agua y

con ello, anticipar situaciones correctivas necesarias en las soluciones nutritivas como parte de la gestión cotidiana de los módulos MAPHI, o bien el diseño e implementación de tecnología automatizada para tal fin.

## AGRADECIMIENTOS

Expresamos nuestro agradecimiento a las siguientes personas sin cuyo incondicional y desinteresado apoyo, hubiera resultado difícil, sino imposible, lograr este trabajo: al personal la Dotación LIII (2021-2022) de la BAC Marambio y de la BAC Esperanza, invernada en el año 2021-2022, y en especial al Comandante Conjunto Antártico General de Brigada Edgar Fernando Calandin y personal de este comando por brindar los medios logísticos necesario para los trabajos de campo.

## BIBLIOGRAFÍA

- ALI, K., SONBAWANE, S., CHATE, D.M., SIINGH, D.A., RAO, P.S.P., SAFAI, P.D. and BUDHAVANT K.V. (2010). Chemistry of snow and lake water in Antarctic region. *J. Earth Syst. Sci.* 119(6): 753-762. DOI: <https://doi.org/10.1007/s12040-010-0063-0>
- ALLENDE, L. (2004). *Estructura de las fracciones del fitoplancton de lagos antárticos de Bahía Esperanza con estado trófico contrastante: Variaciones estivales e interanuales, e interacciones con otros componentes planctónicos*. Tesis doctoral, Fac. Cs. Exactas y Naturales, UBA, Buenos Aires. 280p.
- ANMAT. (2022). *Listado de dispositivos de acondicionamiento de agua, de venta libre y profesional*. Último acceso el 1 de octubre de 2023. Ministerio de Salud de la Nación. En: [https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/2022/05/5-1-\\_dispositivos\\_de\\_acondicionamiento\\_de\\_agua\\_de\\_red.pdf](https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/2022/05/5-1-_dispositivos_de_acondicionamiento_de_agua_de_red.pdf)
- ANMAT. (2023). *Código Alimentario Nacional, Capítulo XII Bebidas hídricas, agua y agua gasificada*. Último acceso el 1 de octubre de 2023. Ministerio de Salud de la Nación. En: <https://www.argentina.gob.ar/anmat/codigoalimentario>
- ANTARCTIC TREATY CONSULTATIVE MEETING. (2021). *Final Report of the Forty-third Antarctic Treaty Consultative Meeting*. Paris, France, 14 – 24 June. Secrétariat du Traité sur l'Antarctique. 497p.
- AWPA, AWWA and WPCF. (1992). *Standard methods for the examination of water and wastewater*. 17th Ed. Washington DC: APHA Press.
- BABANRAO BUDHAVANT, K., SURYA, PRAKASA P. and SAFAI, P.D. (2014). Chemical composition of snow-water and scavenging ratios over coastal Antarctica. *Aerosol and Air Quality Research*, 14: 666–676. DOI: <https://doi.org/10.4209/aaqr.2013.03.0104>
- BABKIN, I.V. (2003). *The Earth and its physical features*, 1-17. In: World water resources at the beginning of the twenty-first century. Shiklomanov I.A and Rodda J.C (Ed.), International Hydrology Series, Cambridge University Press, UK. 420p.
- BAENA RUIZ, R. y TORIJASISA, E. (2001). *Riesgos y beneficios de los aditivos alimentarios*. Elsevier Offarm 20(1), 104-115. ISSN: 0212-047X
- BAMSEY, M.T., ZABEL, P., ZEIDLER, C., GYIMESI, D., SCHUBERT, D., KOHLBERG, E., MENGEDOHT, D., RAE, J. and GRAHAM, T. (2015). *Review of antarctic greenhouses*

- nd plant production facilities: A historical account of food plant on the ice*. Proceedings 45th International Conference on Environmental Systems, 12-16 July 2015, Bellevue, Washington. ICES-2015-060, 36p.
- BARRON, J.J., ASHTON, C. and GEARY, L. (2006). *The effects of temperature on pH measurements*. 57th Annual Meeting of the International Society of Electrochemistry, Edimbourg, UK, August 27–September 1. Proceedings.
- BENTON JONES Jr., J. (2014). *Complete guide for growing plants hydroponically*. CRC Press, Taylor & Francis Group, USA. 206p. DOI: <https://doi.org/10.1201/b16482>
- BIRGI, J.A., GARGAGLIONE, V., PERI, P.L. ARAUJO PRADO, C.I., DIAZ, B.G., GONZÁLEZ, L., GESTO, E., HALLAR, K., LAGUÍA, D., SOFÍA, O. y DÍAZ, M. (2022). Módulo Antártico de Producción Hidropónica: primeros resultados del cultivo en la Antártida Argentina. *Revista ICT-UNPA-354-2023*. 17p. DOI: 10.22305/ict-unpa.v15.n3.993
- BUMGARNER, N. and HOCHMUTH, R. (2019). *An introduction to small scale soilless and hydroponic vegetable production*. IFAS Extension, University of Florida, Inst. Agriculture, University of Tennessee, USA. 6p. Accesado el 21 de octubre de 2023. En: <https://extension.tennessee.edu/publications/Documents/W844-A.pdf>
- SILVA BUSSO, A. (2009). Aguas superficiales y subterráneas en el área norte de la península antártica. En: *El agua en el norte de la península antártica*. Cap.III: 47-82. Mazzini V. (Ed.), Fundación de Historia Natural, Buenos Aires, 168p.
- SILVA BUSSO, A., FRESINA, M., VELASCO, I. y REY, C. (2009). La península antártica: Un nuevo horizonte para las ciencias hídricas. En: *El agua en el norte de la península antártica*. Cap.I: 17-30. Mazzini V. (Ed.), Fundación de Historia Natural, Buenos Aires, 168p.
- CARUSO, G., VILLARI, G., MELCHIONNA, G. and CONTI, S. (2011). Effects of cultural cycles and nutrient solutions on plant growth, yield and fruit quality of al pine strawberry (*Fragaria vesca* L.) grown in hydroponics. *Sci.Hortic.*, 129: 479–485. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2011.04.020>
- CHIARANDINI, J.P., MARCOMINI, S. and SANTILLANA, S. (2013). Caracterización ambiental para el uso sostenido del agua potable en Base Esperanza (norte de la Península Antártica Argentina). En: *Avances en Ciencia Antártica Latinoamericana*: p5-8. Libro de Resúmenes VII Congreso Latinoamericano de Ciencia Antártica, La Serena, Chile, 4 al 6 de septiembre. Leppe E. y otros (Ed.).
- CONFERENCIA DE LA ANTÁRTIDA. (1959). *Tratado Antártico*. 53p. En: [https://documents.ats.aq/keydocs/vol\\_1/vol1\\_2\\_AT\\_Antarctic\\_Treaty\\_s.pdf](https://documents.ats.aq/keydocs/vol_1/vol1_2_AT_Antarctic_Treaty_s.pdf). Accesado el 1 de octubre de 2023.
- DELMAS, R., BRIAT, M. and LEGRAND, M. (1982). Chemistry of South Polar snow. *J. of Geophysical Research* 87(C6): 4314-4318. DOI: <https://doi.org/10.1029/JC087iC06p04314>
- DELPLA, I., JUNG, V., BAURES, E., CLEMENT, M. and THOMAS, O. (2009). Impacts of climate change on surface water quality in relation to drinking water production. *Environmental International* 35: 1225-1233. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.envint.2009.07.001>
- DUNCAN, D., HARVEY, F., WALKER, M. and AUSTRALIAN WATER QUALITY CENTRE. (2007). *Regulatory monitoring and testing: Water and wastewater sampling*. EPA Guidelines, Environment Protection Authority, Australia. 58p.

- EPA. (1986). *Quality criteria for water*. Environmental Protection Agency, Office of Water, USA. EPA 440/5-86-001. 900p.
- EPA. (2023). *National primary drinking water regulations*. U.S. Environmental Protection Agency. Último acceso el 21 de octubre de 2023. En: <https://www.epa.gov/ground-water-and-drinking-water/national-primary-drinking-water-regulations>
- ERMOLIN, E. (2009). Permafrost y hielos subterráneos en el sector norte de la península antártica. En: *El agua en el norte de la península antártica*. Cap.IV: 83-104. Mazzini V. (Ed.), Fundación de Historia Natural, Buenos Aires, 168p.
- ERMOLIN, E., DE ANGELIS, H., SKVARCA, P. and RAU, F. (2004). Ground ice in permafrost on Seymour (Marambio) and Vega Islands, Antarctic Peninsula. *Annals of Glaciology* 39: 373-378. DOI: <https://doi.org/10.3189/172756404781814122>
- EUROPEAN PARLIAMENT. (2023). *European Union drinking water regulations*. Statutory Instruments SI No.99/2023. 79p. Accesado el 21 de octubre de 2023. En: <https://www.irishstatutebook.ie/eli/2023/si/99/made/en/pdf>
- FONTANA, P.G. (2018). *La pugna antártica*. Ed. Guazuvira, Buenos Aires. 324p.
- FOURNIER, H.G., BUK, E.M. and CORTE, A.E. (1990). Three permafrost conditions indicated by geophysical soundings in Tertiary sediments at Seymour Island, Antarctic Peninsula. *Cold Regions Science and Technology* 17(3): 301-307. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0165-232X\(05\)80008-4](https://doi.org/10.1016/S0165-232X(05)80008-4)
- FOURNIER, H.G., CORTE, A.E., GASCO, J.C. and MOYANO, C.E. (1987). A very conductive layer below the permafrost of Seymour and Robertson Islands in the Eastern Antarctic Peninsula. *Cold Reg. Sci. Technol.*, 14 (2): 155-161. DOI: [https://doi.org/10.1016/0165-232X\(87\)90031-0](https://doi.org/10.1016/0165-232X(87)90031-0)
- FUKUDA, M., STRELIN, J., SHIMOKAWA, K., SONE, T. and TROMBOTTO, D. (1992). Permafrost occurrence of Seymour island and James Ross island, Antarctic península región. En: *Recent Progress in Antarctic Earth Science: 745-750*. Yoshida *et al.* (Ed.), TERRAPUB, Tokyo.
- HAGEN, J.O., JEFFERIE, S R., MARCHANT, H., NELSON, F., PROWSE, T. and VAUGHAN, D.G. (2018). *Polar regions (Arctic and Antarctic)*. IPCC Reports AR4 Climate Change, 42p. Accesado el 1 de octubre de 2023. En: <https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/03/wg2TARchap16.pdf>
- HAWES, I., SAFI, K., SORRELL, B., WEBSTER-BROWN, J. and ARSCOTT, D. (2011a). Summer–winter transitions in Antarctic ponds I: The physical environment. *Antarctic Science*, DOI: <https://doi.org/10.1017/S0954102011000046>
- HAWES, I., SAFI, K., WEBSTER-BROWN, J., SORRELL, B., and ARSCOTT, D. (2011b). Summer–winter transitions in Antarctic ponds II: Biological responses. *Antarctic Science*, DOI: <https://doi.org/10.1017/S0954102011000058>
- HUANG, B.B., YAN, D.H., WANG, H., CHENG, B.F. and CUL, X.H. (2013). Impacts of drought on the quality of surface water of the basin. *Hydrol. Earth Syst. Sci. Discuss.* 10: 14463–14493. DOI: <https://doi.org/10.5194/hessd-10-14463-2013>
- INTERLANDI, O. (2021). La obtención de agua en la Antártida. En: *Antártida: La mirada histórica latinoamericana y su proyección pedagógica integral: 177-200*. Facchin E.L. (Ed.), 1er. Ed., Universidad de la Defensa Nacional, Buenos Aires. 429p.
- IZAGUIRRE, I., PIZARRO, H., ALLENDE, L., UNREIN, F., RODRIGUEZ, P., MARINONE, M.C. and TELL, G. (2012). Responses of a maritime antarctic lake to a catastrophic draining event under a climate change scenario. *Polar Biology* 35(2): 231-239. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00300-011-1066-2>

- LEGRAND, M. (1987). Chemistry of antarctic snow and ice. *Journal de Physique* 48 (C1): C1-77-C1-86. DOI: <https://doi.org/10.1051/jphyscol:1987111>
- LEGRAND, M.R. and DELMAS, R.J. (1984). The ionic balance of Antarctic snow: a 10-year detailed record. *Atmospheric Environment* 18(9): 1867-1874. DOI: [https://doi.org/10.1016/0004-6981\(84\)90363-9](https://doi.org/10.1016/0004-6981(84)90363-9)
- MARENSSI, S., SANTILLANA, S. y BAUER, M. (2012). Estratigrafía, petrografía sedimentaria y procedencia de las formaciones Sobral y Cross Valley (Paleoceno), isla Marambio (Seymour), Antártica. *Andean Geology* 39 (1): 67-91. <https://doi.org/10.5027/andgeoV39N1-a04>
- MARTÍN-SERRANO, A., MONTES, M., NOZAL, F. and DEL VALLE, R.A. (2005). Geomorfología de la costa austral de Bahía Esperanza (Península Antártica). *Geogaceta* 38: 95–98.
- MINISTERIO DE DEFENSA. (2023). En: [www.argentina.gob.ar/armada/antartida/bases-antarticas](http://www.argentina.gob.ar/armada/antartida/bases-antarticas). Accesado el 1 de octubre de 2023.
- MUJERE, N. and MOYCE, W. (2017). Climate change impacts on surface water quality. En: *Environmental sustainability and climate change adaptation strategies*. Chap.12: 323-341. Ganpat W. and Isaac W.A. (Ed.), AEEGT Book Series, Information Science Reference ISBN 9781522516088. 405p.
- NELSON, F.E., LACHENBRUCH, A.H., WOO, M.K., KOSTER, E.A., OSTERKAMP, T.E., GAVRILOVA, M.K. and CHENG, G.D. (1993). Permafrost and changing climate. En: *Proceedings of the Sixth International Conference on Permafrost*: p987–1005. Beijing, PRC, July 1993. South China University of Technology Press, Wushan, Guangzhou, China.
- ORMAZABAL, A. (2022). Caracterización hidrogeológica, geocriológica y aspectos geotectónicos de la meseta de Isla Marambio. Tesis Licenciatura UBA, Fac. Cs. Exactas y Naturales. 150p.
- PARSONS, R., ULRICH, R. S., and TASSINARY, L. G. (1994). Experimental approaches to the study of people-plant relationships. *Journal of Home y Consumer Horticulture*, 1(4), 347-372. DOI: [https://doi.org/10.1300/J280v01n04\\_06](https://doi.org/10.1300/J280v01n04_06)
- PATTERSON, R.L., GIACOMELLI, G.A., KACIRA, M., SADLER, P.D. and WHEELER, R.M. 2012. Description, operation and production of the South Pole Food Growth Chamber. *ISHS Acta Hort.* 952. DOI: <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2012.952.75>
- PEREYRA, P. (2021). Argentina en la Antártida, esbozo de hechos y personajes. En: *Antártida: La mirada histórica latinoamericana y su proyección pedagógica integral*: 107-116. Facchin E.L. (Ed.), 1er. Ed., Universidad de la Defensa Nacional, Buenos Aires. 429p.
- PIPER, A.M. (1944). A Graphic procedure in the geochemical interpretation of water – analysis. *American Geophysical Union*, 25: 914-928. DOI: <https://doi.org/10.1029/TR025i006p00914>
- RESH, H.M. (1997). *Cultivos hidropónicos. Nuevas técnicas de producción*. Ed. Mundi-Prensa, España, 5ta edición: 509p.
- REYNAUD SCHAEFER, C.E., COSTA PEREIRA, T.T., KER, J.C., ALMEIDA, J.C.C., BELLO SIMAS, F.N., DE OLIVEIRA, F.S., CORREA, G.R. and VIEIRA, G. (2015). Soils and landforms at Hope Bay, Antarctic Peninsula: Formation, classification, distribution and relationships. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 79:175–184. DOI: <https://doi.org/10.2136/sssaj2014.06.0266>
- RINALDI, C.A., MASSABIE, A., MORELLI, J., ROSENMAN, H.L. and DEL VALLE, R.A. (1978). Geología de la Isla Seymour. Inst. Antártico Argentino, Contrib. 217, 44p.

- SCHWARTZ, D., GROSCH, R., GROSS, W. and HOFFMANN-HERGARTEN, S. (2005). Water quality assessment of different reservoir types in relation to nutrient solution use in hydroponics. *Agricultural Water Management* 71: 145-166. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2004.07.005>
- SECRETARIA DEL TRATADO ANTÁRTICO. (2023). *Partes integrantes*. Accesado el 1 de octubre de 2023. En: <https://www.ats.aq/devAS/Parties?lang=s>
- SPINU, V.C., LANGHANS, R.W. and ALBRIGHT, L.D. (1998). Electrochemical pH control in hydroponic systems. *Acta Hort.*, 456: 275-282. DOI: <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.1998.456.32>
- TOGNONI, F., PARDOSSI, A. and SERRA, G. (1998). Water pollution and the greenhouse environmental costs. *Acta Hort.*, 458: 385-394. DOI: <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.1998.458.50>
- ULRICH, R.S. and PARSONS, R. (1992). Influences of passive experiences with plants on individual well-being and health. En: Relf D. (Ed.) *The role of horticulture in human well-being and social development*. Chap.15: 93-105. Portland, OR, USA, Timber Press.
- URRESTARAZU GAVILAN M. (2015). *Manual práctico del cultivo sin suelo e hidroponía*. Ed. Mundi-Prensa, España. 67p.
- USEPA. (1976). *Quality criteria for water*. Environmental Protection Agency, Office of Water, USA. EPA-440/9-76-023. 501p.
- VAN der AA, N.G.F.M. (2003). Classification of mineral water types and comparison with drinking water standards. *Environmental Geology* 44(5): 554-563. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00254-003-0791-4>
- VAN OS, E., BLOK, C., VOOGT W., WAKED L. (2016). *Water quality and salinity aspects in hydroponic cultivation*. Wageningen University and Research eDepot. Accesado el 21 de octubre de 2023. En: <https://edepot.wur.nl/403810>
- WANG, L., CHEN, X., GUO, W., LI, Y., YAN, H. and XUE, X. (2017). Yield and nutritional quality of water spinach (*Ipomoea aquatica*) as influenced by hydroponic nutrient solutions with different pH adjustments. *Int. Journal of Agriculture & Biology* 19(4): 635-642. DOI: <https://doi.org/10.17957/IJAB/15.0311>
- WEINER, E.R. (2008). *Applications of Environmental Aquatic Chemistry: A practical guide*. CRC Press, Second Ed. USA. ISBN 978-0-8493-9066-1. 436p.
- WHO. (2011). *Hardness in drinking-water*. World Health Organization. Geneva. WHO/HSE/WSH/10.01/10/Rev/1. 19 p.
- WHO. (2017). *Guidelines for drinking water quality*. World Health Organization, 4<sup>th</sup> Ed. Geneva, Licence: CC BY-NC-SA 3.0 IGO. 617p.

Anexo I. Concentración de analitos más importantes en el agua de abastecimiento de la BAC *Marambio*, durante el invierno de 2022 y antecedentes documentados disponibles.

ANALITO	M-LAGP <sup>7</sup>	M-CONS <sup>7</sup>	CAP.12 <sup>9</sup>	L.1126 <sup>10</sup>	LAGUNAS <sup>4</sup>	NIEVE <sup>4</sup>	INEDITOS <sup>8</sup>	M-DERR
Alcalinidad Total (mg/l)	47	127	sr	sr				
Aluminio (Al) (mg/l)	<0,001	<0,001	0,20 ▲	0,20 ▲				
Amoníaco (NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> ) (mg/l)	0,43	0,25	< 0,20 ▼	< 0,05 ▼				
Antimonio (Sb) (mg/l)		<0,001	< 0,02 ▲	< 0,0012 ▲				
Arsénico (As) (mg/l)	<0,01	<0,01	< 0,01 ▲	< 0,01 ▲				
Bario (Ba) (mg/l)	0,003	0,004	< 1,0 ▲	< 0,0042 ▲				
Bicarbonatos (mg/l)	47	127	sr	sr	5 - 893	13		
Cadmio (Cd) (mg/l)	<0,001	<0,001	< 0,01 ▲	< 0,003 ▲				
Calcio (Ca) (mg/l)	6	15	sr	sr	228 - 667	9	26 - 71	0,04 - 0,75 <sup>156</sup>
Cianuro (CN) (mg/l)		<0,001	< 0,1 ▲	< 0,072 ▲				
Cinc (Zn) (mg/l)	0,07	<0,001	< 5,0 ▲					
Cloro activo residual (Cl) (mg/l)	<0,05	<0,05	< 0,5 ▲	sr				
Cloruro (Cl <sup>-</sup> ) (mg/l)	427	175	< 900,0 ▲	< 350,0 ▼	97 - 1306	8	22 - 94	0,22 - 2,36 <sup>126</sup> (30,0) <sup>5</sup>
Cobre (Cu) (mg/l)	0,05	0,01	< 2,0 ▲	< 1,0 ▲				
Conductividad Eléctrica(μS/cm)	1596	2154	sr	sr	1030 - 13161	88	358 - 1015	61,4
Cromo (Cr) (mg/l)	0,001	0,016	< 0,05 ▲	< 0,02 ▲				
Detergentes (mg/l)	<0,001	<0,001	< 0,5 ▲	sr				
Dureza Total (mg/l)	30	160	< 400,0 ▲					
Fluoruro (F <sup>-</sup> ) (mg/l)	<0,01	<0,01	0,9 – 2,0 ▲	< 0,6 ▲				
Grasas y Aceites(mg/l)	<0,001	<0,001	ausencia ▲	sr				
Hierro (Fe) (mg/l)		<0,001	< 2,0 ▲	< 0,3 ▲				
Magnesio (Mg) (mg/l)	4	24	sr	sr	84 - 713	2	13 - 65	0,01 - 0,23 <sup>126</sup> (2,0) <sup>5</sup>
Manganeso (Mn)		<0,001	< 0,1 ▲	< 0,1 ▲				
Níquel (Ni) (mg/l)	<0,001	<0,001	< 0,02 ▲	< 0,015 ▲				
Nitrato (NO <sub>3</sub> ) (mg/l)	1,3	2,5	< 45,0 ▲	< 1,0 ▼				
Nitrito (NO <sub>2</sub> ) (mg/l)	0,01	0,058	< 0,1 ▲	combinados				
Nitrógeno Total (mg/l)	1,74	2,808	sr	< 2,0 ▼				
pH	7,18	7,34	6,5 – 8,5 ▲	6,5 – 8,5 ▲		7,0	7,0 - 7,2	5,61 - 6,26 <sup>6</sup> 7,21 <sup>7</sup> (8,73) <sup>8</sup>
Plata (Ag) (mg/l)	<0,001	<0,001	< 0,05 ▲	< 0,05 ▲				
Plomo (Pb) (mg/l)	<0,001	<0,001	< 0,05 ▲	< 0,0117 ▲				



ANALITO	M-LAGP <sup>7</sup>	M-CONS <sup>7</sup>	CAP.12 <sup>9</sup>	L.1126 <sup>10</sup>	LAGUNAS <sup>4</sup>	NIEVE <sup>4</sup>	INEDITOS <sup>8</sup>	M-DERR
Potasio (mg/l)	<1	<1	sr		7 - 80	1,0	<1	0,06 - 0,60 <sup>56</sup>
Sodio (mg/l)		41,0	sr		89 - 90	4,0	27,0	0,01 - 1,29 <sup>126</sup> (15,0) <sup>5</sup>
Sólidos Disueltos Totales (mg/l)	2.225	1.042	< 1.500 ▼	sr	1.700 – 7.000	56	321 – 2.970	41
Sólidos Suspendidos Totales (mg/l)	<1	<1	sr					
Sulfatos (SO <sub>4</sub> <sup>=</sup> ) (mg/l)	112	114	< 400,0 ▲	< 400,0 ▲	1.152 – 5.376	19	113 - 688	0,07 - 1,10 <sup>136</sup> (30,0) <sup>5</sup>
Turbiedad (NTU)	<1	<1	< 3,0 ▲	sr				

Valores promedio de concentraciones iónicas en aguas derretidas de nieves costeras y mediterráneas de diferentes procedencias antárticas, adaptado de <sup>1</sup> Legrand (1987); <sup>2</sup> Delmas *et al.* (1982); <sup>3</sup> Legrand and Delmas (1984); <sup>4</sup> Silva Busso (2009); <sup>5</sup> Bertler *et al.* (2005) solo en muestras costeras a nivel del mar en la península antártica; <sup>6</sup> Budhavant *et al.* (2014); <sup>7</sup> Campaña 2022 proyecto MAPHI; <sup>8</sup> Antecedentes disponibles en análisis regulares de laboratorios bioquímicos prestadores de servicios en la BAC Marambio (2015 – 2021); <sup>9</sup> Código Alimentario Argentino, Capítulo XII Bebidas hídricas, agua y agua gasificada (ANMAT, 2023); <sup>10</sup> Decreto Reglamentario No.450/21, Ley Provincial Tierra del Fuego No.1126/16. Entre paréntesis, valores extremos citados en fuentes consultadas; sr= no se encuentra legislado y se carece de referencia en el país o región. Las referencias ▲ ▼ evidencian si los valores se encuentran dentro o fuera de límites admisibles en la norma vigente, respectivamente.



Anexo II. Concentración de analitos más importantes en el agua de abastecimiento de la BAC Esperanza, durante el invierno de 2022 y antecedentes documentados disponibles.

CARACTERISTICAS FISICO QUIMICAS	E-PBGA <sup>3</sup>	E-TANQ <sup>3</sup>	CAP.12 <sup>4</sup>	L.1126 <sup>5</sup>	BEKELA <sup>1</sup>	LAGUNA <sup>2</sup>
Alcalinidad Total (mg/l)	7	13	sr	sr		
Aluminio (Al) (mg/l)	<0,001	<0,001	0,20 ▲	0,20 ▲		
Amoníaco (NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> ) (mg/l)	0,07	0,17	< 0,20 ▲	< 0,05 ▼	25,7 - 164,2	
Antimonio (Sb) (mg/l)		<0,001	< 0,02 ▲	< 0,0012 ▲		
Arsénico (As) (mg/l)	<0,01	<0,01	< 0,01 ▲	< 0,01 ▲		
Bario (Ba) (mg/l)	0,001	0,002	< 1,0 ▲	< 0,0042 ▲		
Bicarbonatos (mg/l)	7	13	sr	sr		
Cadmio (Cd) (mg/l)	<0,001	<0,001	< 0,01 ▲	< 0,003 ▲		
Calcio (Ca) (mg/l)	2	2	sr	sr		
Cianuro (CN) (mg/l)		<0,001	< 0,1 ▲	< 0,072 ▲		
Cinc (Zn) (mg/l)	0,04	<0,001	< 5,0 ▲			
Cloro activo residual (Cl) (mg/l)	<0,05	<0,05	< 0,5 ▲			
Cloruro (Cl <sup>-</sup> ) (mg/l)	12	13	< 900,0 ▲	< 350,0 ▲		
Cobre (Cu) (mg/l)	0,03	0,03	< 2,0 ▲	< 1,0 ▲		
Conductividad Eléctrica(μS/cm)	70 (86,7)	58	sr	sr	25 - 67	20 - 38
Cromo (Cr) (mg/l)	0,012	0,019	< 0,05 ▲	< 0,02 ▲		
Detergentes (mg/l)	<0,001	<0,001	< 0,5 ▲			
Dureza Total (mg/l)	15	19	< 400,0 ▲		0 - 1,71	
Fluoruro (F <sup>-</sup> ) (mg/l)		<0,01	0,9 – 2,0 ▲	< 0,6 ▲		
Grasas y Aceites(mg/l)	<0,001	<0,001	ausencia ▲	sr		
Hierro (Fe) (mg/l)		<0,001	< 2,0 ▲	< 0,3 ▲		
Magnesio (Mg) (mg/l)	2	4	sr	sr		
Manganeso (Mn)		<0,001	< 0,1 ▲	< 0,1 ▲		
Níquel (Ni) (mg/l)	<0,001	<0,001	< 0,02 ▲	< 0,015 ▲		
Nitrato (NO <sub>3</sub> ) (mg/l)	1,1	0,6	< 45,0 ▲	< 1,0 ▼	25,7 - 222,0	
Nitrito (NO <sub>2</sub> ) (mg/l)	0,009	0,004	< 0,1 ▲	combinados		
Nitrógeno Total (mg/l)	1,179	0,774	sr	< 2,0 ▲		
pH	7,70	7,66	6,5 – 8,5 ▲	6,5 – 8,5 ▲	6,5 - 6,8	6,20 - 6,44
Plata (Ag) (mg/l)	<0,001	<0,001	< 0,05 ▲	< 0,05 ▲		
Plomo (Pb) (mg/l)	<0,001	<0,001	< 0,05 ▲	< 0,0117 ▲		



CARACTERISTICAS FISICO QUIMICAS	E-PBGA <sup>3</sup>	E-TANQ <sup>3</sup>	CAP.12 <sup>4</sup>	L.1126 <sup>5</sup>	BEKELA <sup>1</sup>	LAGUNA <sup>2</sup>
Sólidos Disueltos Totales (mg/l)	39 (54,4)	28 (45,7)	< 1.500 ▲			
Sólidos Suspendidos Totales (mg/l)	<1	<1	sr		sr	
Sulfatos (SO <sub>4</sub> <sup>=</sup> ) (mg/l)	1	2	< 400,0 ▲	< 400,0 ▲		
Turbiedad (NTU)	6	<1	< 3,0 ▲	sr		50 - 55

Valores promedio de concentraciones iónicas en aguas derretidas de nieves costeras y mediterráneas de diferentes procedencias antárticas, adaptado de <sup>1</sup> Izagirre *et al.* (2003); <sup>2</sup> Chiarandini *et al.* (2013); <sup>3</sup> Campaña 2022 proyecto MAPHI; <sup>4</sup> Código Alimentario Argentino, Capítulo XII Bebidas hídricas, agua y agua gasificada (ANMAT, 2023); <sup>5</sup> Decreto Reglamentario No.450/21, Ley Provincial Tierra del Fuego No.1126/16. Entre paréntesis, valores extremos citados en fuentes consultadas; sr= no se encuentra legislado y se carece de referencia en el país o región. Las referencias ▲ ▼ evidencian si los valores se encuentran dentro o fuera de límites admisibles en la norma vigente, respectivamente.

