

EVALUACIÓN DE LA SUSTENTABILIDAD DEL RECURSO HÍDRICO EN EL CAMPUS DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE GENERAL SARMIENTO

MARÍA BELÉN CONOCHELI
Tesis de Licenciatura en Ecología
Directora: Ana Carolina Herrero



Julio 2015

Índice

AGRADECIMIENTOS	1
RESUMEN	3
i. INTRODUCCIÓN.....	4
ii. HIPÓTESIS Y OBJETIVOS.....	7
iii. HIDROGEOLOGÍA EN LA REGIÓN METROPOLITANA DE BUENOS AIRES.....	8
iii1. Niveles guía y estándares de calidad del recurso hídrico para consumo humano	12
iii2. Calidad del agua subterránea.....	16
iv. USOS DEL AGUA DEL <i>CAMPUS</i> DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE GENERAL SARMIENTO	23
iv1. Consumo humano	28
iv2. Riego de césped	30
iv3. Huerta y Biotopo	30
iv4. Laboratorios	31
v. METODOLOGÍA.....	31
v1. Consumo de agua.....	32
v2. Condiciones hidrogeológicas	34
v3. Indicadores	41
vi. RESULTADOS	43
vi1. Consumo de agua subterránea.....	43
vi2. Calidad del agua subterránea.....	44
vi3. Dinámica del agua subterránea	51
vi4. Indicadores ambientales.....	54
vi5. Indicadores económicos.....	57
vii. TRATAMIENTOS DE AGUA.....	57
viii. DISCUSIONES.....	59
ix. CONCLUSIÓN	75
x. BIBLIOGRAFÍA.....	76
SIGLAS.....	81

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar quisiera agradecer a la Doctora Ana Carolina Herrero, por aceptar dirigir esta tesis, trabajar conmigo y dedicarle tanto tiempo y esfuerzo en todo momento a este trabajo. Por pensar conmigo cada título, metodología y fuente, corregir cada oración y crear un ambiente de trabajo tan amigable, alentándome de muchas maneras en el último tramo de mi carrera.

Agradezco a toda el Área de Ecología del Instituto del Conurbano de la Universidad Nacional de General Sarmiento, especialmente a los investigadores docentes Gabriel Zunino, Sergio Vaca y Luisina Molina, quienes siempre me apoyaron no sólo ante consultas teóricas, sino también a resolver inconvenientes que se presentaron durante el trabajo de campo.

Igualmente al señor Claudio Rozas, al señor Diego Reyes, al Departamento de Compras, al Departamento de Estudiantes y Docentes, a la División Administración de Personal y al Programa de Infraestructura, principalmente a Eduardo De Castro y Carlos Openlander, les agradezco por la información que me brindaron, en muchos casos, indispensable para el desarrollo de esta tesis.

Agradezco también al Departamento de Mantenimiento y Servicios Generales, especialmente a Santiago Cavicchioli, Manuel y Mónica por su predisposición a ayudarme durante todo mi trabajo de campo y responder mis inquietudes hasta el último momento de este trabajo.

A mis compañeros de carrera, en especial a Norma Faitani por su apoyo constante, a Marina Toledo por ayudarme con muestreos y mediciones, a Valeria Sosa y Alejandra Clar por brindarme información y a Daniela Lopez de Munain por aportar a este trabajo algunas mediciones de su propia tesis.

Quiero agradecer enormemente a mis colegas y amigos Eduardo Lamarque, Soledad Cuadrado y Hernán Sanchez por ayudarme en muestreos, mediciones y apoyarme en todo el trabajo, así como también a mis grandes amigos Rocío de Arcos Nieva, Cristian Romero, Noelia Herrera, Emilia Álvarez y Claudio Ybañez por su apoyo y contención constantes. En especial, a Eliana Cossy quien no sólo leyó este trabajo completo sino que me brindó su opinión y me apoyó hasta el momento en que escribí el punto final.

A toda mi familia, sobre todo a mis padres Norma y Juan Carlos y a mi hermana mayor Gisela, agradezco el aliento y la enorme confianza y admiración que me brindaron no sólo en esta última etapa sino también durante toda mi carrera universitaria.

A Tony, quien ha pasado horas al lado mío mientras estuve redactando y también durmiendo sobre mis cuadernos, computadora y versiones preliminares de esta tesis.

Finalmente, a mi amigo, compañero, colega y prometido, Matías Ezequiel Monticelli, quien ha colaborado con una enorme parte de este trabajo, acompañándome y ayudándome en actividades desde entrevistas, muestreos, mediciones y hasta conclusiones. Quien ha leído esto antes que nadie, me ha contenido en momentos de duda y me ha alentado cada día en todos mis proyectos.

RESUMEN

El recurso agua es crucial para el desarrollo de la vida. La carencia o ineficiente gestión incide en la disponibilidad, tanto en calidad como en cantidad. Por tratarse de un recurso multifuncional, existe una competencia por su uso, siendo tan sólo el 7% del agua dulce mundial destinada a consumo humano. El agua está vinculada a las necesidades básicas del hombre: alimentación y salud; por lo que los aspectos de escasez y contaminación, se han constituido en centro de preocupaciones a nivel mundial (Herrero, 2004).

Si bien Argentina es un país que presenta condiciones de escasez en el 70% de su territorio, la Región Metropolitana de Bs. As. es un área con características de exceso hídrico. En particular, la hidrogeología, incluye los 3 siguientes acuíferos: libre, denominado Pampeano, con una productividad de baja a mediana, tiene una recarga local autóctona por la infiltración de la lluvia. Fundamentalmente presenta contaminación por nitratos, *Escherichia coli*, metales pesados, hidrocarburos, plaguicidas y herbicidas. Actúa como vía para la recarga mediante filtración y descarga del acuífero semiconfinado subyacente Puelche. Este tipo de unidad es la más frecuente en la naturaleza y en particular es una de las unidades más explotadas del país. La mayor descarga es la extracción, lo que genera grandes impactos en la dinámica del flujo subterráneo. La calidad del agua de este acuífero, se ha deteriorado debido a la escasa planificación en la urbanización. Por debajo de este se encuentra el Acuífero confinado Hipopuelche, cuya agua tiene elevados tenores salinos, por lo que su uso es prácticamente nulo.

Este trabajo de investigación se desarrolla en el *Campus* de la Universidad Nacional de General Sarmiento, un predio que no reviste antecedentes de impacto al suelo ni al recurso hídrico subterráneo. Sin embargo, la comunidad universitaria se abastece de agua envasada para consumo, mientras que para los otros usos lo hace mediante agua de pozo.

Respecto al agua envasada, sólo analizando el volumen utilizado en el proceso, la cantidad de este recurso que se necesita para obtener una botella de agua es casi el doble que para obtener la misma cantidad de agua extraída de la canilla (Botto, 2009). A su vez en términos económicos, la Universidad gasta para obtener esta agua de consumo, en promedio \$18.500 mensuales, adquiriendo aproximadamente 640 bidones de 20 L de agua por mes.

Así, este trabajo se orienta en primer lugar a analizar el sistema actual de dotación de agua para consumo humano en el *Campus* de la Universidad Nacional de General Sarmiento, mediante mediciones tanto de las condiciones hidrogeológicas del Acuífero Puelche del predio como de la calidad del agua de grifos y bidones. Se plantea como hipótesis que es factible proponer una alternativa más sustentable de abastecimiento de agua en términos ambientales y económicos. Y en segundo lugar, a partir de estos

resultados, se evalúa la posibilidad del cambio, avanzando en propuestas alternativas de tratamientos del agua.

i. INTRODUCCIÓN

En 1992 los líderes de 179 países, reunidos en la Cumbre de la Tierra de Río de Janeiro, aprobaron un plan de acción global para el desarrollo sustentable, la "Agenda 21", pidiendo a instituciones, administraciones y gobiernos que aplicaran estrategias de desarrollo sustentable, recomendando la realización de procesos participativos que alcancen la mejora ambiental del entorno próximo.

Por ello, es importante que instituciones como las Universidades inicien procesos de Gestión Ambiental en sus espacios de intervención, asumiendo un compromiso ambiental. Es imperante que exista una responsabilidad social por parte de las instituciones universitarias, consecuente con su papel de espacio de conocimiento, investigación y docencia.

En particular, dado que la Universidad Nacional de General de Sarmiento (UNGS) cuenta con la Licenciatura en Ecología, es pertinente que se involucre no sólo en la diagnosis de los problemas ambientales sino también en sus resoluciones.

Este Plan de Trabajo se inserta tanto en el Proyecto de investigación "Evaluación de sensibilidad del indicador Huella Hídrica asociado al territorio argentino" acreditado en la UNGS, como así también en la iniciativa incipiente *EcoCampus*-UNGS, que incluye prácticas orientadas a la gestión ambiental en las diferentes sedes de la Universidad.

Universidades de distintos lugares del mundo están implementando proyectos de *EcoCampus*, a continuación se mencionan algunos ejemplos.

En Estados Unidos, la Universidad de Clark, dentro del programa de *Campus Sustentable*, planteó una serie de iniciativas para reducir las emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEIs), entre ellas, la implementación de instalaciones de lavandería que ahorran energía y agua (Clark, 2009).

Algunas instituciones de educación superior en África Subsahariana, también promueven el desarrollo sustentable. Entre los proyectos emprendidos se proponen acciones concretas contra la contaminación para proteger los recursos hídricos y otras iniciativas que plantean la reducción y ahorro del consumo energético a través de una campaña de apagado de luces, la reducción de las emisiones de GEIs, la provisión de energía solar, el uso de energía mecánica en las zonas rurales para proporcionar agua potable y la erradicación de enfermedades causadas por la ingesta de agua de los ríos y de los arroyos, entre otras (GUNI, 2011).

Otro ejemplo es la Universidad de Australia del Oeste (UWA, por sus siglas en inglés), que ha adoptado una visión holística de la sustentabilidad, aplicando medidas como

sub-medición de todos los servicios, la instalación eficiente de aires acondicionados y de accesorios hidráulicos. Para reducir la cantidad del uso del agua de red en un 20% para el año 2020, se planea el cambio del sistema de riego con agua de red al riego con agua subterránea y la reutilización de agua residual desionizada para el riego en invernaderos (UWA, 2012).

En Eslovenia, la Universidad de Maribor realizó una evaluación del ciclo de vida de ciertas actividades, centrándose en los impactos ambientales asociados a la construcción y mantenimiento de aulas, calefacción, alumbrado (incluidos otros consumos de electricidad) y el consumo de agua (Lukman, 2009).

En España, por tratarse de una zona árida, los programas de *EcoCampus* se centran en el manejo racional del agua. La Universidad de Cantabria (UC), plantea optimizar sus usos minimizando el consumo en laboratorios y mecanismos de refrigeración y reutilizando las aguas de vertido para riego (UC, 2012); la Universidad Autónoma de Madrid (UAM), cuenta con una oficina de *EcoCampus* que trabaja en mecanismos de riego más eficaces, control de vertidos e instalación de temporizadores en los grifos y de sistemas de refrigeración cerrados (UAM); la Universidad de Alicante, ha realizado análisis de sus consumos de agua, existencia de mecanismos de ahorro, fuentes de agua potable, riego de zonas verdes, desalinización de agua salobre para el riego y vertido de aguas residuales (Olcina, 2010).

Y también a nivel nacional existen proyectos de *Campus* sustentables. Un ejemplo de ello es la Universidad Nacional del Nordeste (UNNE), Ciudad de Corrientes, que logró la conformación de la Comisión *EcoCampus*, integrada por representantes de las facultades, institutos de investigación y de extensión, no docentes y alumnos, desde la cual se realizan campañas de concientización y educación. Dicho proyecto, promovido por el Centro de Gestión Ambiental y Ecología y *Campus* Resistencia, pretende incluir en sucesivas etapas a los diferentes *campus* y equipamientos de la Universidad. Sus objetivos son impulsar el Desarrollo de un *Campus* Sustentable, diagnosticar los impactos ambientales de las actividades, promover mejoras y/o soluciones, proponer modelos de gestión, entre otros (UNNE).

La Universidad Nacional de La Plata (UNLP) tiene un proyecto que consiste en la instalación de 72 paneles solares en la Facultad de Informática para el abastecimiento de energía, siendo pionera en el uso de este tipo de recursos renovables. Esta iniciativa promete extenderse a otras dependencias de la Universidad permitiendo reducir los gastos de consumo eléctrico. La UNLP presenta otras propuestas sustentables, como la utilización de energía renovable mediante sistemas ópticos concentradores de energía solar, para la iluminación exterior. También, el desarrollo de prototipos de minicombis impulsados por baterías de litio que se cargan enchufándolas a un tomacorriente convencional para ser utilizados como transporte público interno en las facultades del bosque platense (Spinola, 2014).

En el marco del proyecto “Arquitectura Conciente”, en la Universidad Nacional de las Artes (UNA), ubicada en Buenos Aires, se inaugurará una obra tendiente a recuperar y utilizar el agua de lluvia como recurso para fines que no requieran agua potable, como riego, lavado de veredas y autos y extinción de incendios. El proyecto contempla también el aprovechamiento de los desagües de los lavatorios para cargar los depósitos de los sanitarios, lo que ahorra alrededor de 2.000 litros diarios de agua (Argentina Investiga, 2009).

Otro ejemplo en Argentina es el *Campus* universitario “Quinta Esencia”, ubicado en Coronel Vidal, Partido de Mar Chiquita, Buenos Aires, en un entorno rural. Existe un proyecto conjunto entre la Organización No Gubernamental (ONG) Amartya y la empresa eco-social Nuevo Paradigma S.A., cuyo fin es desarrollar un laboratorio modelo y promover una forma de vida sustentable, siendo un centro de educación e investigación para la sustentabilidad. La propuesta incluye la recolección de agua de lluvia, la reutilización del agua a través de tratamientos biológicos de aguas grises y negras y la generación de energía renovable utilizando paneles y colectores solares y generadores eólicos (ARQA, 2012).

En particular la UNGS, de manera incipiente, está desarrollando otras iniciativas de gestión ambiental (residuos y energía) en el marco del Proyecto *EcoCampus* (impulsado por el Área Ecología pero aún no institucionalizado por la Gestión Central). Así, este trabajo se integra, abordando el conocimiento del manejo del agua.

Sobre la base del diagnóstico inicial realizado, la UNGS cuenta con grifos temporizadores en los baños que ahorran el uso de agua, no tiene un gasto significativo en riego para el césped ni en los laboratorios. Sin embargo, la comunidad universitaria en el *Campus* se abastece de agua envasada, adquiriendo aproximadamente 640 bidones de 20 L de agua por mes.

Este Plan de Trabajo se orienta a analizar el sistema de dotación de agua para consumo mediante mediciones de calidad de agua y análisis de las condiciones hidrogeológicas, como así también a través del desarrollo de indicadores de gestión y resultados que permitan hacer un seguimiento de la situación actual y el planteo de escenarios en términos de mejoras a implementar.

Se previó el empleo de indicadores existentes, principalmente el de la Huella Hídrica (HH). En particular un antecedente relevante es el estudio de Botto (2009), que presenta un enfoque integrado de indicadores ambientales comparativos para el consumo de agua de canilla frente al de agua envasada en botellas de 1,5 L. En cuanto a la HH, dicho estudio calcula que ya sólo en la etapa de extracción, la producción de agua embotellada consume en promedio más del doble de agua que la extraída de canilla. Si bien, explica el autor, las HH totales en ambos casos son aproximadamente similares, se debe al mal estado de las cañerías en Siena, debido a las pérdidas de agua. El autor concluye que disponiendo de una red de cañerías en buenas condiciones, la cantidad de agua necesaria para obtener una botella de agua es casi el

doble que para obtener la misma cantidad extraída de la canilla. Este cálculo de HH toma en cuenta el volumen de agua empleado en todo el ciclo de vida del agua embotellada¹.

Otro indicador ambiental que acompaña este trabajo es el de la Huella de Carbono (HC); dado que el ciclo de vida de una botella de agua emite mayor cantidad de GEI que una misma cantidad de agua proveniente de tubería (el mayor componente de la emisión generada es la de la fabricación de los envases, luego la de la energía usada en los procesos y, con menor contribución, la emisión durante el transporte del producto) (Botto, 2009).

Finalmente, se estiman indicadores económicos que contemplan el gasto mensual por compra de bidones; el costo actual del consumo de agua embotellada frente al gasto eléctrico (y por consiguiente económico) que implicaría el consumo de agua en el caso de extraerse el mismo volumen de subterránea.

ii. HIPÓTESIS Y OBJETIVOS

Sobre la base de los antecedentes referidos a la calidad de agua del Acuífero Puelche del predio y alrededores, la hipótesis es que es factible proponer una alternativa más sustentable de abastecimiento de agua en términos ambientales y económicos. Así, se evalúa si es posible dicho cambio, avanzando luego en propuestas de alternativas de dotación y si fuera necesario, también de tratamientos del agua. El plan de trabajo comprende actividades de gabinete, de campo y de laboratorio, acompañadas todas las instancias con análisis de resultados y gestión mediante una serie de indicadores.

El objetivo general de este trabajo es plantear un manejo sustentable del recurso hídrico en el *Campus* de la UNGS.

Los objetivos específicos son:

- Identificar y analizar los diferentes usos que se hacen del recurso agua.
- Analizar las condiciones hidrogeológicas.
- Analizar la calidad de agua del sistema de dotación actual (dinámica y calidad) para consumo humano.
- Evaluar la factibilidad de abastecimiento de agua para consumo mediante extracción de agua subterránea, frente al actual (bidones).

¹Ciclo compuesto por cuatro pasos: Extracción del agua de la fuente y producción de materias primas, producción de las preformas de politereftalato de etileno (PET) y transporte a la planta embotelladora, procesos de embotellamiento y empaquetado, distribución a supermercados y/o usuarios finales.

- Caracterizar la gestión actual y escenarios futuros del manejo del recurso hídrico mediante indicadores ambientales: Huella Hídrica, Huella de Carbono y consumo energético; e indicadores económicos.
- Transferencia de los resultados obtenidos a la Secretaría General y otras áreas pertinentes de la Universidad.

iii. HIDROGEOLOGÍA EN LA REGIÓN METROPOLITANA DE BUENOS AIRES

Los acuíferos son formaciones geológicas que se encuentran saturadas de agua, son capaces de almacenar y permitir la circulación de cantidades significativas de agua.

Si bien los acuíferos pueden tener varias clasificaciones, aquí se considera la presión hidrostática del agua subterránea contenida en ellos, sobre la base de la cual se distinguen tres tipos de acuíferos: libre, no confinado o freático; confinado o cautivo o a presión; y semiconfinado, o semicuativo o filtrante.

Acuífero libre

Consiste en una estructura geológica permeable, saturada de agua (zona saturada) hasta cierto nivel (nivel freático), por encima del cual existe una franja de terreno permeable no saturada (zona no saturada), a través de la cual circula el agua de recarga. Al estar en contacto con el aire, el agua en la zona saturada se encuentra a presión atmosférica. El nivel freático es aquel hasta el cual ascenderá el agua si se instala un pozo de captación. Esta superficie limita la zona saturada con la zona no saturada.

En la Región Metropolitana de Buenos Aires (RMBA), este tipo de acuífero corresponde con el denominado **Pampeano o Epipelche**:

Debido a su granulometría, tiene poca permeabilidad por lo que funciona como un acuífero de baja a mediana productividad, con permeabilidades del orden de 1 a 10 m³/día que derivan en transmisividades de hasta 300 m³/día. Esta unidad actúa hidráulicamente como un acuífero multiunitario, con comportamiento libre en la sección superior, su grado de confinamiento aumenta con la profundidad, debido a la intercalación de capas arcillosas. El Acuífero libre es el único caso donde el nivel freático se corresponde con el nivel piezométrico y donde un descenso del nivel freático representa un vaciado de los huecos o espacios intergranulares de los materiales que lo forman (Herrero y Fernández, 2008).

La superficie freática en ciertas zonas aflora tras lluvias intensas, así como también por cese de explotación en acuíferos subyacentes. En algunas zonas se encuentra entre los 4 y 10 m de profundidad, mientras que en otras emerge en forma de lagunas.

Este Acuífero tiene una recarga local autóctona, por la infiltración directa de la lluvia. Constituye la fuente de recarga del Acuífero Puelche por estar sobre éste. La

trascendencia del Pampeano radica en que actúa como vía para la recarga mediante el proceso de filtración vertical descendente y la descarga del Acuífero semiconfinado Puelche subyacente, que es la unidad hidrogeológica más explotada de la Provincia de Buenos Aires (Auge, 1982).

Con respecto a la estratigrafía, los suelos Pampeanos se ubican entre el Postpampeano y la Formación Puelches. Se contacta con el Postpampeano a través de una discordancia erosiva local y con las arenas Puelches, generalmente a través de una discordancia erosiva, el contacto es un estrato limo-arcilloso de unos 5 m de espesor (Ensenadense basal - Acuitardo), aunque en otros casos el pasaje entre ambas unidades es gradual. El espesor de este Acuífero varía aproximadamente entre 30 y 50 m, dependiendo tanto de la profundidad del techo de las Arenas Puelches, como también de la cota topográfica.

Con respecto a la litología, el Pampeano se compone de una fracción limo dominante y también de arena y arcilla subordinadas, tiene intercalaciones arcillosas y tobáceas con abundante vidrio volcánico (loess) color castaño rojizo y con frecuencia tiene intercalaciones calcáreas en forma de nódulos o estratiformes (tosca). Su origen es eólico de baja energía y fluvial; no presenta estratificación y, de poseerla, es local y poco marcada (Fidalgo *et al.*, 1975).

Con respecto a la mineralogía, este Acuífero posee una composición homogénea siendo la mayoría de sus componentes de origen alóctono, provenientes de erupciones volcánicas.

El Pampeano es actualmente el acuífero más contaminado de la Región, debido a su proximidad a la superficie. Fundamentalmente presenta contaminación orgánica por nitratos y *Escherichia coli*, la cual puede provenir de descargas de pozos ciegos, averías en redes cloacales, ganadería intensiva (*feedlots*), etc. También existe contaminación con otros tipos de analitos, como metales pesados, hidrocarburos, plaguicidas, herbicidas, etc., los cuales derivan de otras fuentes, como basurales, estaciones de servicio, actividades agrícolas intensivas y extensivas, etc. Debido a su cercanía a la superficie, las captaciones de agua del Pampeano requieren perforaciones poco profundas y por lo tanto más económicas, por lo que la población más amenazada frente a la ingesta de esta agua, es aquella de menores recursos.

Acuífero confinado

Debido a las capas confinantes de baja permeabilidad que forman su “techo” y su “piso”, el agua contenida en este acuífero se encuentra sometida a una presión superior a la atmosférica. Si se realiza una captación de pozo y se perfora el techo de este Acuífero, el agua asciende y se estabiliza en lo que se denomina nivel piezométrico. Cuando éste sobrepasa la superficie de terreno, el agua rebosa por las bocas de captación, formando los denominados pozos artesianos o surgentes.

El espesor del acuífero es constante, ya que en todo momento permanece saturado de agua. A diferencia de los acuíferos libres, cuando en los confinados desciende la cantidad de agua, no se transfiere como un drenaje de los huecos, lo que ocurre en cambio es un descenso de presión. Esto se debe a que el aporte de agua proviene del volumen adicional por descompresión de la misma, más el aportado por la compresión de los huecos o espacios intergranulares (Herrero y Fernández, 2008).

En la RMBA, este tipo de acuífero se corresponde con el denominado **Hipopuelche**:

Esta unidad hidrogeológica brinda agua con elevados tenores salinos. Debido a que las perforaciones que alcanzan o atraviesan estas unidades que subyacen a las Arenas Puelches son muy escasas, lo que se conoce sobre ellas es muy poco.

Acuífero semiconfinado

Éste es el tipo de acuífero más frecuente en la naturaleza. Tiene características intermedias entre los libres y los confinados. El “techo”, el “piso” o bien ambos, consisten en capas de baja permeabilidad que se denominan acuitardos. Estas capas, si bien no impiden la circulación vertical del agua, la dificultan. Para que el agua ascienda o descienda, deben existir diferencias de carga o potencial hidráulico entre el acuífero en cuestión y otro superior o inferior además de la permeabilidad.

En la RMBA, este tipo de acuífero se corresponde con el denominado **Puelche**:

Esta unidad geográfica, se conforma de arenas cuarzosas y se apoya discordantemente sobre la Formación Paraná, inferior al Acuífero Pampeano. Su “techo” se hunde hacia el sudoeste (Cuenca del Salado) siguiendo al Basamento Cristalino, pero con una inclinación mucho menor y escasa deformación tectónica (Auge y Hernández, 1984).

Debido a la capacidad de brindar caudales elevados, a la calidad de sus aguas (aptas para consumo humano, riego y actividades industriales) y al hecho de emplazarse a profundidades someras en la región más densamente poblada del país, hace que sea una de las unidades hidrogeológicas más explotadas de la República Argentina (Hernández, 1975). Auge (2003) estimó que el Acuífero ocupa alrededor de 92.000 km² y se extiende desde en el noreste de la Provincia de Buenos Aires, hacia el norte de las provincias de Entre Ríos y el noroeste de Santa Fe y Córdoba, conteniendo un volumen total de 31.106 hm³. Los caudales de explotación de este Acuífero varían entre los 20 y los 150 m³/h, (UNGS, 2007).

Con respecto a la recarga, como se mencionara anteriormente, al Puelche ingresa el agua proveniente del Acuífero Pampeano por filtración vertical descendente, al atravesar el acuitardo, donde éste posee carga hidráulica positiva. Esto ocurre fundamentalmente en las divisorias de aguas subterráneas, donde el nivel piezométrico es menos que el freático (Auge, 1986). Con respecto a la descarga, la

mayor componente es la extracción, hecho que genera grandes impactos en la dinámica del flujo subterráneo. A nivel regional, la descarga del Puelche ocurre hacia los sistemas fluviales Paraná - de La Plata y Salado, directamente, o por medio del caudal básico de los principales ríos y arroyos, al cual aporta el Acuífero, a través del Pampeano que actúa como unidad de tránsito (Auge, 2003).

Con respecto a la estratigrafía, esta unidad se ubica entre el Pampeano y la Formación Paraná. Se compone de arenas cuarzosas maduras, friables, algo micáceas, de tamaño mediano a fino con intercalaciones de gravilla en los niveles inferiores. El origen de estos depósitos sería fluvial deltaico (Santa Cruz, 1972) dejados por una red de drenaje cuyo colector principal era el antiguo sistema Paraguay-Paraná (Groeber, 1945).

En cuanto a la calidad del agua de este Acuífero, se ha deteriorado debido a la escasa planificación de la urbanización, la insuficiente cobertura de los servicios de agua potable y saneamiento y el aumento de la explotación del recurso como consecuencia del crecimiento de la población e industria en las últimas décadas. La sobreexplotación del Acuífero producida por la extracción intensiva de agua subterránea fue muy marcada en los años '80, produciendo un fenómeno de depresión en las áreas más densamente pobladas. Esto provocó la inversión del flujo del agua subterránea (dejando de dirigirse hacia el Estuario del Río de la Plata), debido al bombeo de grandes volúmenes de agua desde los centros poblados de Buenos Aires, trayendo aparejado el ingreso de agua desde la planicie costera vecina al Río de la Plata, produciendo la salinización de varios pozos de extracción (ejemplo de ello es La Plata, Quilmes, Bernal, etc.). El agotamiento de las reservas del Acuífero es otra consecuencia, lo que produjo el descenso de la superficie piezométrica y, en consecuencia, de la superficie freática, por lo cual aquellas captaciones domiciliarias al Acuífero Pampeano tuvieron que instalarse a mayor profundidad. Además en algunos casos, la profundización del nivel piezométrico por debajo del acuitardo derivó en la transformación del Acuífero Puelche de semiconfinado a libre (Auge *et al.*, 2002). Si bien actualmente aún hay algunos conos de depresión en zonas donde la principal fuente de agua es subterránea, como en Barazategui y Florencio Varela, en la mayor parte del Conurbano, como en Quilmes, la capa freática ascendió progresivamente, lo cual generó un gran deterioro ambiental por afloramiento de agua subterránea contaminada. El ascenso de la superficie freática se debe a que en algunas zonas se reemplazaron las perforaciones por agua potabilizada del Río de la Plata. Si bien desde finales de los años '90 la crisis económica en nuestro país provocó el cierre de muchas industrias consumidoras de agua y aportó a este ascenso de napas, a partir del año 2002 esto ha comenzado a revertirse por la extracción de agua subterránea vinculada al incremento de producción industrial.

iii1. Niveles guía y estándares de calidad del recurso hídrico para consumo humano

En este punto se comparan los parámetros que se analizan en el presente estudio con guías y normativas a nivel nacional e internacional. La selección de los 10 analitos que se comentan a continuación se justifica, como se verá en el punto iii2, por los antecedentes de contaminación de la RMBA en general y del predio en particular.

Para determinar la calidad de las muestras de agua, se consideraron como referencia los límites establecidos por el Código Alimentario Argentino (CAA), así como también los estándares de potabilidad de agua registrados por la Organización Mundial de la Salud (OMS)² y por la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos de América (EPA, por sus siglas en inglés) (**Tabla 1**):

Tabla 1: Niveles guía de calidad de agua distinguidos según cada institución

Parámetros	CAA	EPA	OMS
Arsénico total (As)	0,01 mg/L	0,05 mg/L	0,01 mg/L
Nitratos (NO ₃ ⁻)	45 mg/L	10 mg/L	50 mg/L
Dureza total (CaCO ₃)	400 mg/L	n/c	n/c
Cloruros (Cl ⁻)	350 mg/L	n/c	n/c
Bacterias coliformes	≤ 3 en 100 mL	n/c	n/c
<i>Escherichia coli</i> (<i>E. coli</i>)	ausencia en 100 mL	5,0% de muestras	n/c
<i>Pseudomonas aeruginosa</i> (<i>P. aeruginosa</i>)	ausencia en 100 mL	n/c	n/c

Nota: "n/c": no considerado.

Fuente: Elaboración propia sobre la base de las tablas del Código Alimentario Argentino (CAA), la Agencia de Protección Ambiental (EPA) y la Organización Mundial de la Salud (OMS).

En la **Tabla 2** se caracterizan los parámetros de calidad de agua medidos y analizados en el presente estudio.

Tabla 2: Características de los parámetros medidos en agua

Parámetro	Origen natural	Contaminación antrópica	Efectos sobre la salud
Arsénico (As)	Extensamente distribuido por toda la corteza terrestre. Presencia en agua subterránea debido a la disolución de minerales y menas, proveniente de los sedimentos piroclásticos.	Utilizado en productos comerciales e industriales (láseres, semiconductores y agentes de aleación en la fabricación de transistores).	Hidroarsenicismo Crónico Regional Endémico (HACRE). También la aparición de ciertos neoplasmas en piel, vejiga, tracto digestivo y pulmones.

² Guías de la OMS para la calidad del agua potable: www.who.int

Nitratos (NO₃⁻)	ión que forma parte del ciclo del nitrógeno.	Fertilizantes inorgánicos, excretas humanas y animales. Industrias manufactureras de carne y lácteos.	Metahemoglobilemia: “la enfermedad del bebé azul”. Se desarrolla en lactantes pudiendo provocarles la muerte.
Dureza total (Ca²⁺, Mg²⁺)	Concentración total de iones calcio y de iones magnesio. Presente en aguas por la lixiviación de terrenos calizos, dilución de calizas, dolomías, yesos o por la acción de CO ₂ (Niera, 2006).	En raros casos, por algunos tratamientos de desacidificación para el agua subterránea en que se utiliza Ca(OH) ₂ .	El consumo de agua con más de 125mg/L de Mg puede tener efectos laxantes. El consumo prolongado de agua con más de 120mg/L de CaCO ₃ representa un factor de riesgo para la aparición de cálculos en riñón y uréter (Hanco, 2008).
Cloruros (Cl⁻)	Presente en zonas costeras por infiltraciones de agua del mar y en zonas áridas por lavado de los suelos por fuertes precipitaciones.	Presente habitualmente tanto en el ámbito industrial como en el doméstico, ya que se utiliza como desinfectante.	No representa un riesgo. La OMS no propuso ningún valor de referencia basado en efectos sobre la salud para el cloruro en el agua de consumo.
<i>Pseudomonas aeruginosa</i> (P. aeruginosa)	Presente en heces humanas y animales. En bajas cantidades en alimentos.	Proliferación en agua y en la superficie de materias orgánicas en contacto con agua por descargas residuales.	En contacto con heridas y mucosas coloniza y puede causar lesiones, septicemia y meningitis.
Bacterias coliformes totales	Presentes en las heces de personas y animales de sangre caliente y muchos pueden multiplicarse en ambientes acuáticos y en suelo.	Pueden proliferar en sistemas de distribución de agua, fundamentalmente formando biopelículas.	Si bien generalmente no representan un peligro para las personas o los animales, indican la presencia de otras bacterias causantes de enfermedades, tales como los que provocan la fiebre tifoidea, la disentería, la hepatitis A y el cólera (Ávila de Navia, 2005).

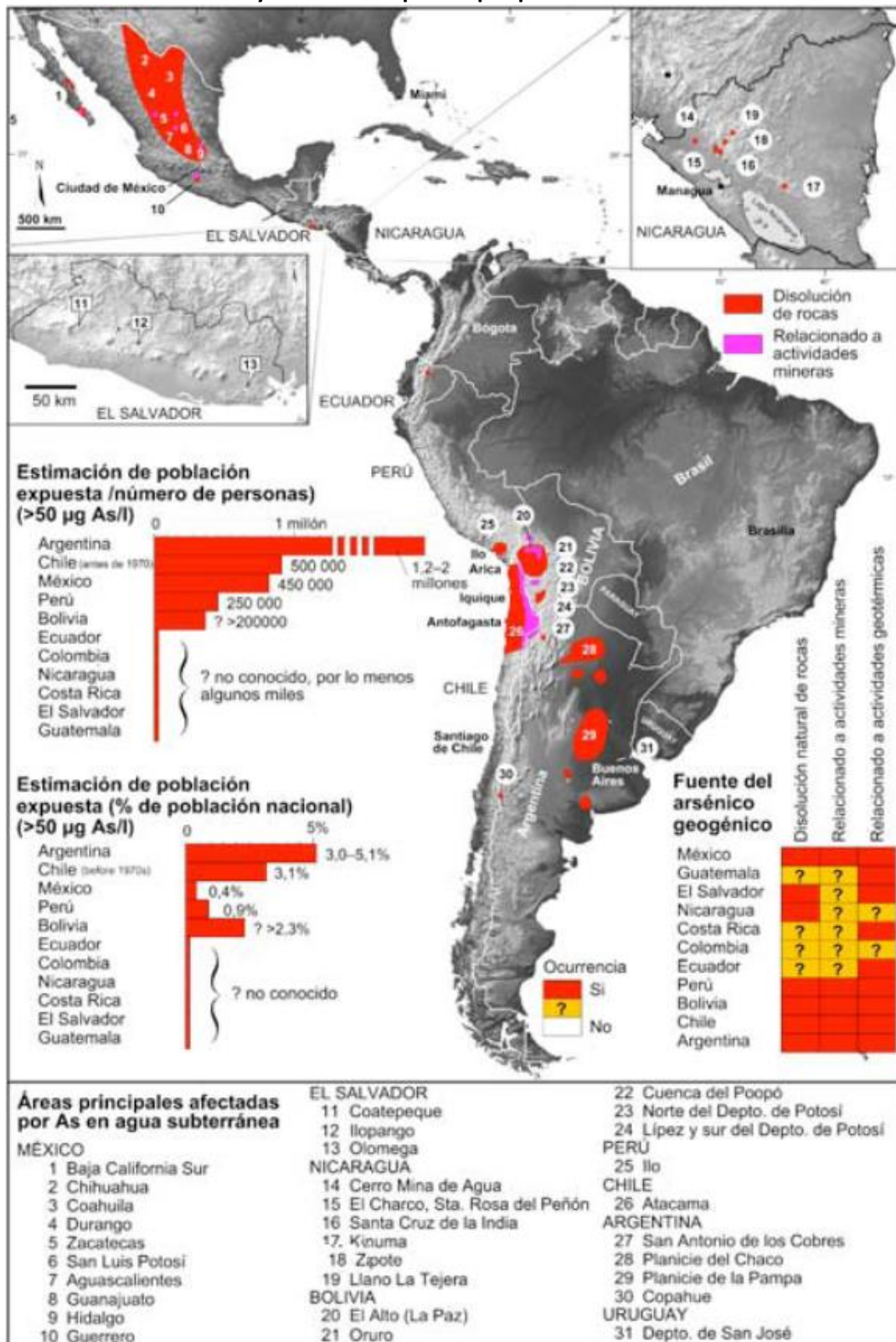
<p><i>Escherichia coli</i> (<i>E. coli</i>)</p>	<p>Presente en muy altas concentraciones en las heces, tanto de animales de sangre caliente como humanas.</p>	<p>Presente en aguas cuando se desechan efluentes cloacales sin tratar o inadecuadamente tratados.</p>	<p>Su ingesta (agua contaminada o vegetales regados con aguas servidas, no lavados y/o hervidos incorrectamente), causa principalmente diarrea, náuseas y cefaleas, pudiendo representar un riesgo a la salud muy importante para lactantes, niños pequeños y adultos con el sistema inmunológico comprometido.</p>
---	---	--	---

Fuente: Elaboración propia sobre la base de distintas fuentes.

Como puede observarse, los parámetros se vinculan con el uso humano del recurso hídrico. Si bien ese no es el caso del arsénico, dado que su presencia en aguas subterráneas se debe a causas naturales de la Región, es tenido en cuenta en el presente estudio debido a antecedentes de la presencia de este analito en la misma.

Un antecedente que se tomó es la investigación realizada por la Red Iberoarsen sobre la distribución del Arsénico en las regiones Ibérica e Iberoamericana (**Figura 1**). Bundschuh *et al.* (2008) afirman que la presencia del arsénico en las aguas de la Provincia de Buenos Aires está vinculada principalmente al Acuífero Pampeano. En general, la concentración de arsénico en el Acuífero libre se encuentra en el rango de 6,4 - 22 mg/kg, mientras que las arenas Puelche presentan una concentración significativamente menor, en el rango de 1,2 - 2,2 mg/kg.

Figura 1: Áreas críticas de aguas superficiales y subterráneas con niveles elevados de Arsénico y Población expuesta por país en América Latina



Nota: As proveniente de fuentes geológicas, por lixiviación de rocas o actividades mineras. Los datos de población expuesta en cada país están en función de un límite de 50 µg L-1 de As en agua potable.

Fuente: Bundschuh, 2008.

Sin embargo, análisis de calidad de agua subterránea realizados en la Pampa Ondulada (en localidades como Escobar y Junín), revelaron que el Puelche tiene altos valores de As, rondando entre 0,07 - 0,20 mg/L, mientras que en el Pampeano la concentración de este metal estuvo en el rango de 0,05 - 0,10 mg/L. Los análisis de aguas subterráneas realizados en la Cuenca del Río Salado revelaron una concentración de As mayor a 0,1 mg/L, valores que se correlacionan con la presencia de boro, flúor, vanadio y molibdeno. Al sudoeste de la Provincia de Buenos Aires, el agua subterránea presentó altas concentraciones de As, teniendo relación con una Conductancia Eléctrica Específica (CEE) mayor a 1.000 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Los resultados mostraron un predominio de sodio, el cual se encuentra en mayor cantidad que calcio y magnesio, entre los cationes y bicarbonato dominante entre los aniones. Los autores afirman que el contexto hidrogeoquímico de la toxicidad del arsénico está relacionada con: la anisotropía en la geoquímica de los suelos, sedimentos loésicos y/o sus retransportes en las zonas no saturada y saturada; las frecuencias variables de minerales portadores de As en la fracciones arena liviana, que incluye el vidrio volcánico y pesada (As 4,3-7,8 mg/kg) y la fracción $<2 \mu\text{m}$ (As 8,9-29,8 mg/kg); la hidroquímica local (pH, salinidad, alcalinidad, oxígeno disuelto, reacciones redox y adsorción-desorción); y el tiempo de residencia del agua e hidrólisis de silicatos, disolución, óxido-reducción en cada segmento del paisaje (Bundschuh *et al.* 2008).

iii.2. Calidad del agua subterránea

En la Región Metropolitana de Buenos Aires

Si bien no existe un trabajo reciente sobre la calidad de agua subterránea a nivel regional, hay estudios realizados por distintas instituciones y organizaciones en varios lugares.

Por una parte, Momo *et al.* (1999) investigaron en el Municipio de Luján la relación entre los contaminantes hallados en el Acuífero Puelche y los usos que se hacen del suelo. El estudio concluyó que la extracción de grandes cantidades de agua que realizan industrias fundamentalmente cerveceras, la contaminación con fosfatos por el uso de fertilizantes y la contaminación de origen urbano, constituyen los mayores factores de riesgo para el Acuífero.

Por otra, los diagnósticos ambientales llevados a cabo por investigadores del Instituto del Conurbano en los partidos de San Miguel (Herrero y Ramírez, 2001), de Pilar (Herrero *et al.*, 2002) y de Ituizangó (Fernández y Martucci, 2005), revelaron niveles de contaminación muy elevada por presencia de *E. coli* y la concentración de nitratos presentes en el agua de consumo, como también enfermedades vinculadas con la ingesta de agua contaminada (diarrea, hepatitis), además de, en algunos barrios

carenciados, fallecimiento de lactantes por metahemoglobinemia (Herrero y Fernández, 2008).

El estudio realizado en el municipio de Escobar por Silva Busso y Santa Cruz (2005) mostró una marcada correlación entre la concentración de nitratos en el agua subterránea y la presencia de coliformes totales, parámetros vinculados con la falta de servicios de saneamiento en sectores urbanos. El estudio también reveló una asociación natural de flúor y arsénico, contaminantes naturales en los suelos Pampeanos. Asimismo en dicho trabajo se registraron valores relevantes de hierro, manganeso, cobre y zinc, relacionados con el uso agrícola intensivo y también los de plomo, cobre, níquel y cromo, relacionados con el uso industrial del suelo.

Finalmente, Herrero (2006) estudió la cuenca hidrogeológica del Arroyo Las Catonas, un afluente del Reconquista. El trabajo demostró que, si bien se encuentra menos afectado que el Acuífero Pampeano, el Puelche presenta riesgo hídrico poblacional elevado. Esto se debe a la presencia de analitos orgánicos químicos y bacteriológicos: cloruros, nitratos, cadmio, cobre, plomo, zinc, amonio, nitritos, Demanda Química de Oxígeno (DQO) y *E. coli*.

En zonas lindantes al *Campus* de la Universidad Nacional de General Sarmiento

En el año 2004, en el marco de la asignatura “Laboratorio de Intermenciones– Diagnóstico Ambiental”, materia opcional para todas las carreras de la UNGS, se realizó el diagnóstico ambiental del Partido de Malvinas Argentinas. Se analizaron muestras de agua subterránea destinadas a consumo humano con el objetivo de conocer el grado de contaminación mediante análisis químicos y microbiológicos. Las muestras fueron tomadas de los barrios Bella Flor y Emaús, pertenecientes a las localidades de Tortuguitas y Grand Bourg, respectivamente, siendo los más recientes realizados en el Municipio de Malvinas Argentinas. Se midieron concentración de nitratos, pH, cantidad de bacterias coliformes totales y fecales y turbiedad. En los análisis realizados, los niveles de concentración de nitratos superaron en todos los casos -excepto una muestra- el límite para consumo humano, fijado en 45 mg/L según el CAA. En la determinación de bacterias coliformes totales y fecales, el 56% de las muestras en un barrio y el 20% en otro, el agua dio no apta para consumo humano. En cuanto a la medición del pH, las muestras dieron dentro del parámetro tolerable. La turbiedad se manifestó en el 22% de las muestras (Alsina, 2004).

Herrero y Fernandez (2008) proponen diferentes análisis con el fin de clasificar los radios censales de la RMBA según sea la combinación entre el sistema de captación de agua y la descarga de excretas. Siguiendo este análisis, el Barrio El Cortijo, donde se encuentra localizada la UNGS, estará contemplado en la combinación “sin cobertura de red de agua y sin cobertura de red cloacal” (Nº 6). En términos de contaminación,

éste es el peor de los casos ya que puede presentarse contaminación fecal en el mismo Acuífero de donde se toma agua. Al descargar las excretas a pozos ciegos, que en ocasiones no cuentan con cámaras sépticas, la principal preocupación en estas áreas es el impacto en la calidad de agua de los acuíferos Pampeano y Puelche. En primera instancia, los autores comentan que se producirá contaminación en el libre, pero, debido a que ambos están comunicados hidráulicamente; los nitratos (último grado de descomposición de la materia orgánica), se trasladarán al semiconfinado. Ya que los nitratos se mueven a la misma velocidad que el agua, serán retardados por el acuitardo que separa ambas unidades estratigráficas, pero, con el tiempo traspasarán esta capa. Otro contaminante fecal es la especie bacteriana *Escherichia coli*, la cual en este caso sólo afectaría al Acuífero Pampeano, debido a que, para llegar al Puelche, el flujo de agua debe atravesar toda la sección desde la superficie freática y este recorrido puede tomar varios meses, además de tener que atravesar el acuitardo, lo que presenta una resistencia mayor aún. Así, se considera que el Acuífero Pampeano actúa como un filtro natural efectivo frente a contaminantes como las bacterias, ya que éstas no sobreviven más de 100 días fuera de su hábitat propicio (pozos negros o absorbentes). En adición a ello, hay que considerar la distancia recorrida; en diferentes estudios se ha demostrado que las bacterias se transportan hasta 3 m en la dirección del flujo del agua subterránea, pero posteriormente disminuyen y es muy difícil encontrarlas (Lewis *et al.*, 1998). Así es como en la actualidad los acuíferos presentan contaminación por materia orgánica y, por ende, el agua de estas reservas, fundamentalmente la del Pampeano, ya no debería ser ingerida sin tratamiento debido a la posibilidad de generar algún tipo de enfermedad vinculada con la ingesta de agua contaminada (diarrea, metahemoglobinemia, hepatitis, etc.).

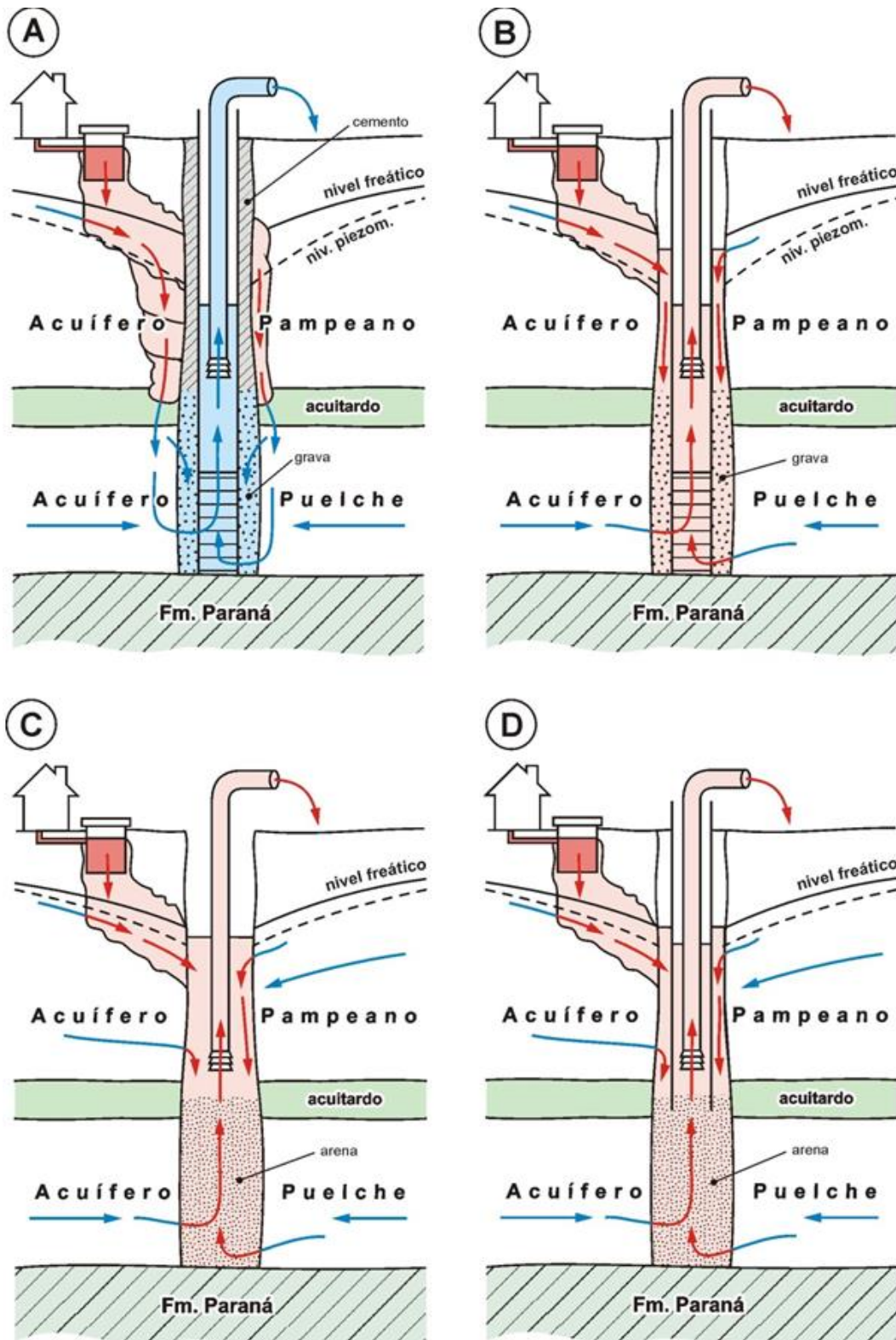
En el *Campus* de la Universidad Nacional de General Sarmiento

En el predio de la UNGS particularmente, no se descargan las excretas a pozos ciegos, ya que la Universidad posee una planta de tratamiento de líquidos cloacales. Por ello se considera que el *Campus* está contemplado en la combinación N° 5 planteada por Herrero y Fernandez (2008): «sin cobertura de red de agua y con cobertura de red cloacal». Si bien en este caso no debería presentarse contaminación fecal en el agua subterránea, se debe tener en cuenta que, como se mencionara, los predios aledaños al *Campus* no cuentan con cloacas, por lo que podían presentar contaminación orgánica en agua subterránea y asimismo habría que contemplar el estado de las cañerías que conducen los efluentes.

La contaminación del agua extraída de pozo puede evitarse con captaciones domiciliarias correctamente construidas, con cañerías adecuadas y cementación para la aislación del agua freática. En la **Figura 2**, los autores muestran el recorrido descendente del agua freática en pozos con distintas estructuras. Por la información analizada del expediente “Tramitaciones para la obtención del certificado de

explotación del recurso hídrico subterráneo” (UNGS, 2007), el caso de las captaciones de agua subterránea de la UNGS corresponde al primer ejemplo (A), donde el flujo debe atravesar toda la sección que va desde la superficie freática hasta el acuífero semiconfinado, recorrido que puede insumir varios meses, con una resistencia mayor aún para atravesar el acuitardo. En este caso, como se mencionara anteriormente, el acuífero libre actúa como un filtro natural efectivo frente a contaminantes como las bacterias. Sin embargo, debe tenerse en cuenta las captaciones domiciliarias en los predios vecinos, las cuales pueden ser casos de pozos sin cementación (B) y aún sin cañería camisa (C) o con un encamisado incompleto (D), en cuyos casos el flujo descendente se encauza por el espacio anular y alcanza rápidamente al acuífero inferior (Puelche), pudiendo trasladar contaminantes desde el acuífero superior (Pampeano).

Figura 2: Pozo encamisado y cementado



Fuente: Extraído de Herrero y Fernandez, 2008.

A continuación se comentan los resultados de calidad de agua subterránea del *Campus*, medidas por diferentes instituciones:

Autoridad del Agua

En el proceso iniciado en el año 2007 por la Universidad para obtener el Certificado de Explotación Recurso Hídrico Subterráneo para la Sede *Campus*, la Autoridad Del Agua (ADA) realizó diferentes análisis. El Organismo recolectó muestras de los pozos de extracción de agua y midió diferentes parámetros, cuyos resultados se vuelcan en la **Tabla 3**. Los puntos de muestreo fueron: ambos pozos de extracción de agua subterránea del *Campus*; para el cercano al Módulo 1 (P1) tanto los análisis fisicoquímicos como los microbiológicos fueron realizados en el mes de octubre de 2012, mientras que para el pozo cercano al Módulo 7 (P4) los análisis fisicoquímicos más recientes fueron realizados en marzo del 2012 y los bacteriológicos en octubre de 2012.

Tabla 3: Resultados de los análisis realizados por la ADA en el *Campus* de la UNGS

Parámetro	P1	P4
Sólidos disueltos totales (mg/L)	366	508
Manganeso (mg/L)	< 0,01	< 0,01
Amonio (mg/L)	< 0,03	< 0,03
Dureza Total (mg/L)	80	115
Alcalinidad Total (mg/L)	125	163
Nitritos (mg/L)	< 0,005	< 0,005
Nitratos (mg/L)	16,6	29,9
Cloruros (mg/L)	28	41
Sulfatos (mg/L)	32	42
Fluoruros (mg/L)	0,21	0,27
Arsénico III (mg/L)	< 0,001	< 0,001
Hierro Total (mg/L)	< 0,02	< 0,02
Bacterias aerobias (UFC/mL)	> 500	12
Coliformes Totales (UFC/100 mL)	< 2,2	< 2,2
Coliformes Fecales (UFC/mL)	Ausencia	Ausencia
<i>Pseudomonas aeruginosa</i> (UFC/mL)	Ausencia	Ausencia
pH	7,9	7,3
Conductividad (mg/L)	492	890
Nivel estático (m)	s/m	17,29
Nivel dinámico (m)	s/m	12,21
Profundidad (m)	41,50	41,50

Notas: s/m: sin medición. P1 y P4 se corresponden a los códigos P1 y P7 del presente estudio (Ver punto v.2).

Fuente: Elaboración propia sobre la base de la información obtenida del Certificado de Explotación Recurso Hídrico Subterráneo (UNGS, 2007).

Comparando los resultados de los análisis con los límites establecidos por el CAA, se considera que el agua de ambos pozos de extracción es apta para consumo.

Municipalidad de Malvinas Argentinas

Por su parte, la Municipalidad de Malvinas Argentinas también tomó muestras del agua de una canilla de cocina y una de baño de la Universidad para conocer la calidad. Los análisis microbiológicos fueron realizados en abril de 2014 y los fisicoquímicos en octubre del mismo año (**Tabla 4**).

Tabla 4: Resultados de los análisis realizados por la Municipalidad de Malvinas Argentinas en el Campus de la UNGS

Parámetro	Cocina	Baño
Nitritos (mg/L)	0	0
Nitratos (mg/L)	45	45
Sulfatos (mg/L)	200	200
Bacterias aerobias (UFC/100 mL)	< 500	< 500
Coliformes Totales (UFC/100 mL)	< 3	< 3
<i>Escherichia coli</i>	Ausencia	Ausencia
<i>Pseudomonas aeruginosa</i> (UFC/mL)	Ausencia	Ausencia
pH	7,5	7,5

Fuente: Elaboración propia sobre la base de la información obtenida de la Municipalidad de Malvinas Argentinas.

Nuevamente, la conclusión tomada de estos análisis es que el agua subterránea del *Campus* es apta para el consumo humano.

Área de Química de la Universidad

Finalmente, otro de los antecedentes es el análisis bacteriológico de aguas de consumo de la UNGS, realizado en el mes de diciembre del año 2013 por el Área de Química del Instituto de Ciencias (ICI) de la misma Universidad. En este estudio se tomaron muestras de 5 diferentes canillas de los módulos de la sede *Campus*: de la cocina de la Biblioteca (Muestra No.1), de la cocina del Bar (Muestra No.2), de la cocina del ICI (Muestra No.3), de la cocina del Módulo 1 (Muestra No.4) y del baño del Módulo 7 (Muestra No.5) (**Tabla 5**).

Tabla 5: Resultados de los análisis realizados por el Área de Química en el *Campus* de la UNGS

Parámetros	Muestra No. 1	Muestra No. 2	Muestra No. 3	Muestra No. 4	Muestra No. 5
Aerobias mesófilas totales (UFC/mL)	< 500	< 500	< 500	< 500	< 500
Coliformes totales (UFC/100 mL)	3,6	14	7,3	< 3	9,1
<i>Pseudomonas aeruginosa</i> (UFC/ 100 mL)	Positivo	Positivo	Positivo	Positivo	Positivo
<i>Escherichia coli</i> (UFC/ 100 mL)	Positivo	Positivo	Positivo	Negativo	Positivo

Nota: en negrita aquellos valores que superan el límite establecido por el CAA.

Fuente: Elaboración propia sobre la base de la información obtenida del Área de Química del ICI.

Así, los resultados de los ensayos mostraron que las muestras de agua analizadas no son potables, ya que la mayoría de los resultados obtenidos no cumplen con los límites establecidos por el CAA.

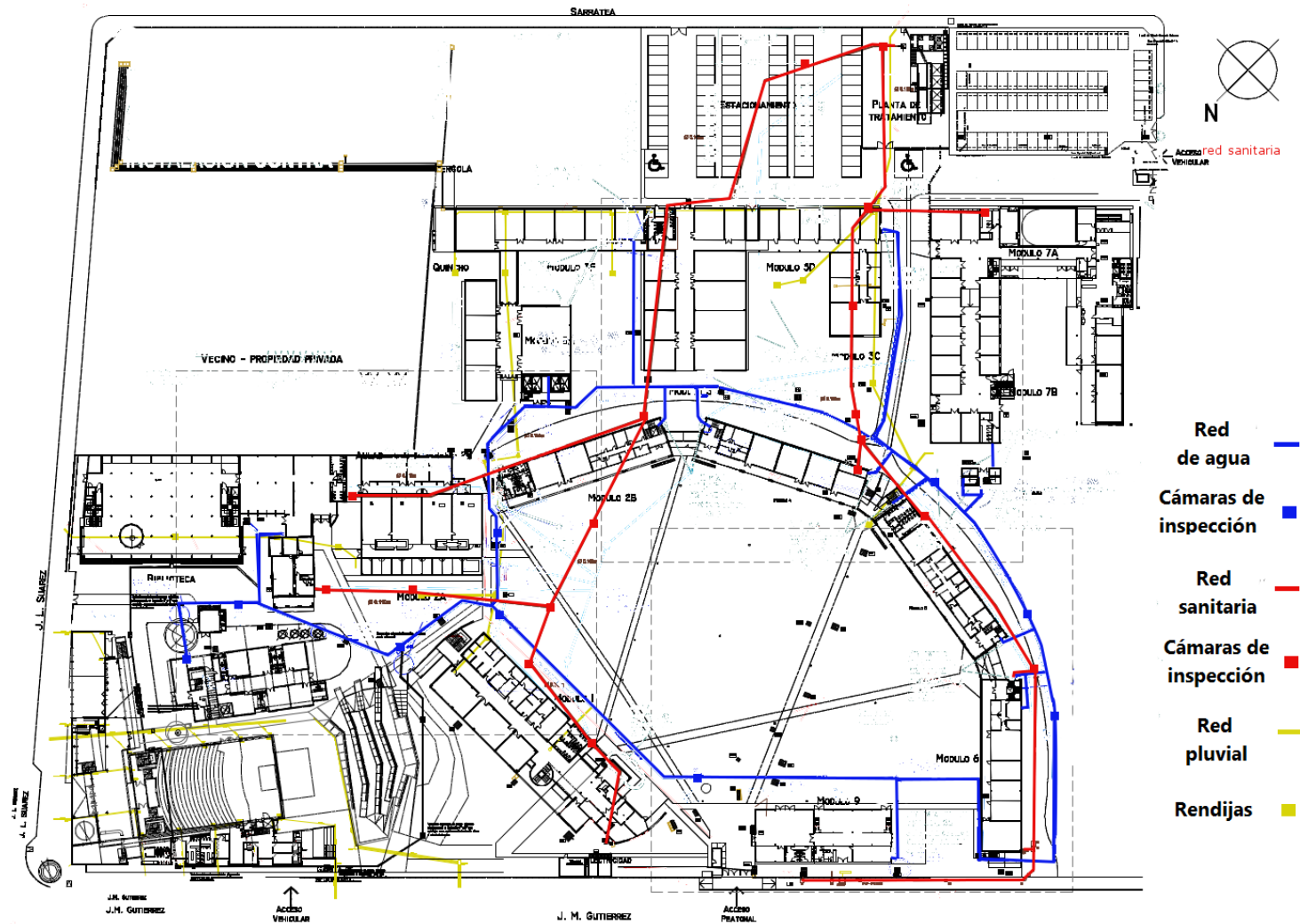
Cabe aclarar que si bien ambos estudios llegan a diferentes conclusiones respecto a la potabilidad del agua, las muestras analizadas fueron tomadas de diferentes canillas.

iv. USOS DEL AGUA DEL *CAMPUS* DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE GENERAL SARMIENTO

Para todos los usos, excepto la ingesta, la comunidad universitaria se abastece de agua extraída de pozo. En el *Campus* hay dos redes de dotación de agua, comenzando en dos pozos de extracción.

En la **Figura 3** se observa la red más extensa de dotación de agua, junto con la red sanitaria y la pluvial.

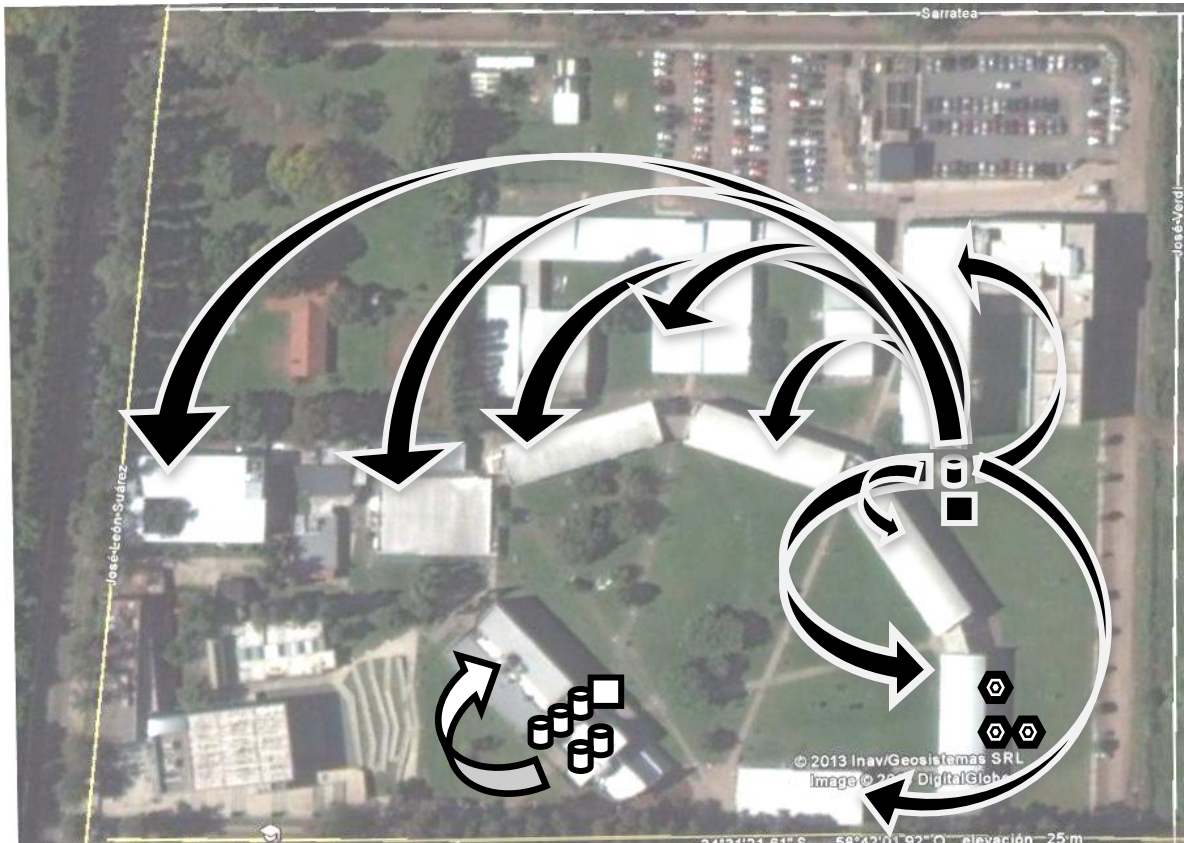
Figura 3: Plano de las instalaciones de agua, sanitarias y pluviales de la UNGS



Fuente: Elaboración propia sobre la base de planos del Programa de Infraestructura de la UNGS.

En la **Figura 4** se observa una representación de la dirección del agua de ambas redes de distribución y la ubicación de los pozos de monitoreo de ambos acuíferos.

Figura 4: Representación de las redes de distribución del agua subterránea en el *Campus* de la UNGS



Referencias:

- Pozo de extracción del Sistema 1 de dotación de agua (Módulo 1).
- ☑ Tanques de almacenamiento y distribución del Sistema 1 de dotación de agua (Módulo 1).
- ↪ Recorrido en la red de distribución del Sistema 1 hacia las canillas.
- Pozo de extracción del Sistema 2 de dotación de agua (Módulo 7).
- ☑ Tanque de almacenamiento y distribución del Sistema 2 de dotación de agua (Módulo 7).
- ↪ Recorrido en la red de distribución del Sistema 2 hacia las canillas.
- ⬡ Pozos de monitoreo de agua subterránea.

Fuente: Elaboración propia sobre la base de la imagen satelital del *software Google Earth* y de información brindada por el Departamento de Mantenimiento y Servicios Generales de la UNGS.

La red a la que llamaremos “Sistema 2 de dotación de agua” se inicia en una perforación de 60 m ubicada a un costado del Módulo 7 (**Foto 1**).

Foto 1: Pozo de extracción del Sistema 2 de dotación de agua (Módulo 7). Julio 2014



Fuente: Fotos propias.

El agua se extrae mediante un equipo de bombeo de tipo sumergible³, ubicado a 25 m de profundidad y es almacenada en un tanque de almacenamiento y distribución compuesto por dos compartimentos unidos por un sistema de vasos comunicantes. El material de este tanque es hormigón armado, con revestimiento aislante y se encuentra localizado en un cuarto al lado de la perforación, prácticamente a nivel del suelo (**Foto 2**).

Foto 2: Tanques de almacenamiento y distribución del Sistema 2 de dotación de agua (Módulo 7). Marzo 2015



Fuente: Fotos propias.

De allí se distribuye el agua al resto de los edificios: a los módulos de aulas 2a (donde se localizan los laboratorios de química y microbiología), a los 3a, 3b, 3c, 7a (donde se encuentran, entre otros, el laboratorio de Ecología) y al 7b; a los módulos de oficinas, al Instituto de la Industria (Módulo 4), al Instituto de Desarrollo Humano (Módulo 5), al Instituto del Conurbano (Módulo 6); al bar de la Universidad (Módulo 9), a la Unidad

³ Esta bomba tiene motor Franklin, rotor Pump, modelo SD 12, con 3 HP de potencia, voltaje de 380 V, sin arrancador, con un cable de 35 m.

de Biblioteca y Documentación y a la Escuela Infantil, la cual también funciona como guardería. Los módulos de aulas tienen de 4 a 6 baños; mientras que los otros edificios tienen 2 baños y 1 cocina cada uno, a excepción del Módulo 1, que tiene, como se mencionara, 2 cocinas.

Por otro lado, la otra red, a la que llamaremos “Sistema 1 de dotación de agua” comienza en otra perforación, también de 60 m, ubicada en la entrada del Módulo 1, que posee una bomba sumergida a 25 m, de las mismas características que en la otra perforación. **(Foto 3)**.

Foto 3: Pozo de extracción del Sistema 1 de dotación de agua (Módulo 1). Febrero 2014



Fuente: Foto propia.

El agua extraída se dirige a 5 tanques de acero inoxidable que están ubicados en el techo del edificio **(Foto 4)**. Los tanques de almacenamiento y distribución abastecen sólo este Módulo, en el cual se llevan a cabo actividades de gestión central y administración. Este edificio consta de 2 cocinas y 2 baños.

Foto 4: Tanques de almacenamiento y distribución del Sistema 1 de dotación de agua (Módulo 1). Julio 2014



Fuente: Foto propia.

iv1. Consumo humano

En la UNGS, el agua destinada al uso sanitario y lavado de vajillas proviene de fuente subterránea.

Para la bebida, toda la comunidad universitaria se abastece de agua embotellada, ya sea para ingerirla directamente o preparar infusiones (**Foto 5**).

Foto 5: Bidones de agua embotellada adquiridos por la UNGS para su consumo. Octubre 2014



Fuente: Fotos propias.

Ubicados en los módulos y pasillos del *Campus*, hay un total de 35 *dispensers* eléctricos que ofrecen agua caliente y fría (**Foto 6**). Llegan semanalmente al *Campus* camiones con botellones de 20 L de agua potable, de la empresa *Sparkling*, que pertenece a *Culligan S.A.* Mensualmente, se adquieren un promedio de 640 botellones de agua, variando con la estación del año y la cantidad de alumnos presentes en la Universidad.

Foto 6: Dispensers distribuidores de agua. Junio 2015



Fuente: Fotos propias.

iv2. Riego de césped

El césped de todo el *Campus* de la UNGS no es regado artificialmente, manteniéndose sólo con las precipitaciones.

iv3. Huerta y Biotopo

El Proyecto de la Huerta Agroecológica del *Campus* de la UNGS se inició en el mes de mayo del año 2013, en el marco del Curso Huerta Agroecológica Demostrativa organizado por el Área de Ecología y el Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA) por medio del Programa Pro-Huerta. La huerta está ubicada detrás del estacionamiento del *Campus*, tiene un tamaño de aproximadamente 10 m² y está formada por varios canteros, una sección de chacra y un biotopo con una laguna artificial de aproximadamente 2 m de diámetro y 0,5 m de profundidad (**Foto 7**).

Foto 7: Huerta agroecológica del *Campus* de la UNGS. Junio 2013



Fuente: Foto propia.

Hasta mediados del año 2014, la huerta fue regada de lunes a sábado, 1 vez por día en invierno y 2 en verano. La actividad cesó durante varios meses y fue retomada durante el primer semestre de 2015. Se planea en el futuro trasladar la huerta a un terreno aledaño a la Universidad, con otra superficie. Al momento de hacer las mediciones

para este trabajo, los riegos se realizaban con una manguera conectada a la canilla más cercana, que constaba de una toma externa a los edificios, conectada al Sistema 2 de dotación de agua.

iv4. Laboratorios

La UNGS cuenta con seis laboratorios dedicados al dictado de clases y trabajos de investigación: Ecología, Química y Biología, Física, Ingeniería, Computación y Sistemas de Información Geográfica. Sin embargo, el responsable de la Comisión Higiene y Seguridad de la Universidad confirma que el uso de agua por parte de los laboratorios es despreciable frente a otros usos.

v. METODOLOGÍA

El abordaje de este trabajo incluye actividades enmarcadas en gabinete, campo y laboratorio, que se comentan a continuación:

Etapa de gabinete: son aquellas actividades que expresan la labor de oficina y que luego se complementan con la información obtenida en campo y laboratorio. Al inicio del plan de trabajo se realizó la búsqueda bibliográfica de la gestión del recurso agua, los niveles guía nacionales e internacionales establecidos para el agua de consumo, las condiciones hidrogeológicas de la región, la caracterización climática y antecedentes de la calidad de agua del *Campus*. También se contempló en esta etapa la planificación de las escalas espacial (pozos de monitoreo) y temporal de las actividades de campo.

Asimismo, la recopilación de información secundaria se realizó mediante la búsqueda en fuentes en línea, *papers*, libros académicos y contactos con agentes clave vía correo electrónico, comunicación telefónica, así como también en forma personal.

Etapa de campo: incluyó el levantamiento de datos para la estimación de usos de agua para consumo humano: bebida, huerta y biotopo, baños; la medición de los potenciales hidráulicos en las perforaciones a los dos acuíferos (Pampeano y Puelche); los muestreos que contemplaron: mediciones de parámetros fisicoquímicos *in situ* (pH, temperatura, conductividad eléctrica) y la captura de agua para los posteriores análisis en laboratorio:

- arsénico,
- nitratos,
- dureza,
- cloruros,
- Coliformes totales,
- *Escherichia coli*.
- *Pseudomonas aeruginosa*.

Etapa de laboratorio: con excepción del parámetro arsénico, que se midió en un laboratorio externo⁴, el resto de los analitos fueron analizados por la autora en el Laboratorio de Ecología de la UNGS. Posteriormente a las actividades de campo y laboratorio nuevamente en gabinete, se analizaron los resultados, los que fueron empleados en el estudio actual y de escenarios futuros mediante el desarrollo de los indicadores ambientales y económicos, con el fin de dar cuenta de la hipótesis de trabajo.

v1. Consumo de agua

Se estimó sólo la cantidad de agua consumida por la Universidad para los usos: bebida, baños, huerta y biotopo, dado que, como se mencionó anteriormente, el gasto del recurso hídrico para otros usos se considera despreciable.

Bebida

A partir de la información brindada por el Departamento de Compras de la UNGS sobre la cantidad de bidones comprados mensualmente desde septiembre del año 2013 hasta abril del 2014, se calculó el promedio de botellones adquiridos. Sabiendo el volumen de agua que cada bidón contiene, se estimó la cantidad de agua consumida mensualmente por la comunidad universitaria para bebida.

Huerta y Biotopo

Para la estimación del volumen de agua consumido en el mantenimiento de la huerta, se midió, en dos ocasiones, el tiempo que tomaba en llenarse un recipiente graduado de 40 L, registrando el tiempo en segundos transcurridos cada 5 L, utilizando la manguera con la que se riega diariamente. Luego, se calculó el tiempo acumulado en ambas ocasiones y se realizó un promedio entre los tiempos medidos. Se graficó volumen consumido vs. tiempo transcurrido y se obtuvo una ecuación representando el caudal observado en campo. Se midió durante 6 días⁵ el tiempo que demanda regar la huerta. Con esos datos, se estimó el tiempo que demanda, semanalmente, el riego. Así, se extrapoló la recta del gráfico que representa el caudal, se utilizó su ecuación para estimar el volumen de agua consumida en el tiempo calculado y se multiplicó el resultado por 4, obteniendo la cantidad de agua destinada mensualmente al riego de la huerta. Este resultado corresponde a las épocas de invierno y otoño, sin embargo, debido a que en verano y primavera se riega dos veces por día, se multiplicó el resultado por 2 para conocer el consumo alcanzado la mitad del año. Por ello, se realizó un promedio entre ambos volúmenes para estimar el consumo mensual medio en un año. Se estimó, con el mismo método, el caudal de agua consumido en la recarga del

⁴ Centro de Estudios Transdisciplinarios del Agua, Facultad de Ciencias Veterinarias, UBA.

⁵ Debido a que los domingos no se riega por el cierre de la Universidad.

estanque del biotopo, sólo que en este caso, el tiempo usado en los cálculos fue de 24 hs diarias, ya que para mantener el estanque lleno, la manguera, aunque sólo un poco, se deja abierta permanentemente. Así, sumando ambos valores, se estimó el consumo total en el mantenimiento de la huerta.

Baños

Para estimar el volumen de agua consumida por la comunidad universitaria en el uso de los baños, se estimó primero el volumen de agua extraída de los pozos diariamente. Desde algunos meses antes de finalizar este trabajo, ambos pozos de extracción de agua cuentan con caudalímetros idénticos instalados (**Foto 8**). Para estimar la cantidad de agua subterránea consumida en la extracción de agua, primero se registró en cada caso la variación del volumen de agua en un tiempo conocido, mientras las bombas estaban funcionando. Así, pudo estimarse el caudal de cada equipo de bombeo. En segundo lugar, se tomaron tanto los valores registrados por el Departamento de Mantenimiento y Servicios Generales de cada caudalímetro durante 1 mes, como los que fueron medidos en el marco del presente estudio y se realizó un promedio del volumen extraído por día por cada bomba. Finalmente se le restó a este valor el volumen de agua consumido en el mantenimiento de la huerta. Así se estimó aproximadamente el gasto de agua que se hace en el uso de los baños.

Foto 8: Caudalímetro instalado en el equipo de bombeo del pozo del Sistema 1 de dotación de agua. Febrero de 2014



Fuente: Foto propia.

v2. Condiciones hidrogeológicas

En este apartado se incluye, tanto a la calidad como a la dinámica hidrológica subterránea.

Dinámica

Para la obtención de los valores piezométricos y freaticos en campo se utilizó una cinta métrica de 30 m y una sonda eléctrica que consiste en un cable de 50 metros de longitud acoplado a un *tester* (**Foto 9**). Contando con este dispositivo se introduce en las perforaciones el cable que está descubierto en la punta, por lo que al hacer contacto con el agua lo traduce en una señal visual, moviendo la aguja del *tester* en el otro extremo (habiendo indicado previamente que mida resistencia). Midiendo luego con la cinta métrica, se registra la profundidad a la que se halla el nivel del agua dentro del pozo. Esta medición (nivel piezométrico) se realizó tanto en perforaciones al Puelche activas (de las que se extrae agua) e inactivas, en condiciones dinámicas y estáticas⁶, como también al Pampeano (nivel freático) en condiciones estáticas.

Foto 9: Instrumentos para la medición de potenciales hidráulicos. Agosto 2014



Fuente: Foto propia.

Las mediciones se realizaron mensualmente desde el mes de marzo del año 2014 hasta marzo de 2015 inclusive. Los puntos de medición fueron: el pozo de extracción de agua próximo a la entrada del Módulo 1, el pozo ubicado fuera del Módulo 2a y los tres

⁶ Debido a que las bombas permanecen apagadas la mayor cantidad de tiempo, para la medición del nivel dinámico éstas debieron ser encendidas a fin de captar los valores alcanzados luego de capturar los resultados durante mediciones a intervalos de tiempo de 5 minutos y hasta que se alcanzó la estabilidad del valor.

pozos de monitoreo que se encuentran detrás del Módulo 6, los cuales se tratan de dos perforaciones al Puelche y una al Pampeano construidos en el año 2005 por el Instituto Nacional del Agua (INA). Cabe aclarar que no se pudieron realizar las mediciones en el pozo de extracción ubicado al lado del Módulo 7 debido a que la boca de pozo no tiene una abertura para poder ingresar la sonda.

Luego, para analizar el comportamiento de ambos acuíferos, se convirtieron las profundidades de la superficie freática y piezométrica en potenciales hidráulicos mediante su reducción al 0 del Instituto Geográfico Nacional (IGN) por diferencia con las cotas de la boca de los pozos obtenida de cartas topográficas⁷. El pozo que no está siendo explotado, que se encuentra en la entrada del Módulo 2a, está a 21,68 msnm; el pozo de extracción en la entrada del Módulo 1 (P1), está a 22,04 msnm; y los pozos de monitoreo detrás del Módulo 6 (ver **Figura 4**) están a 21,25 msnm.

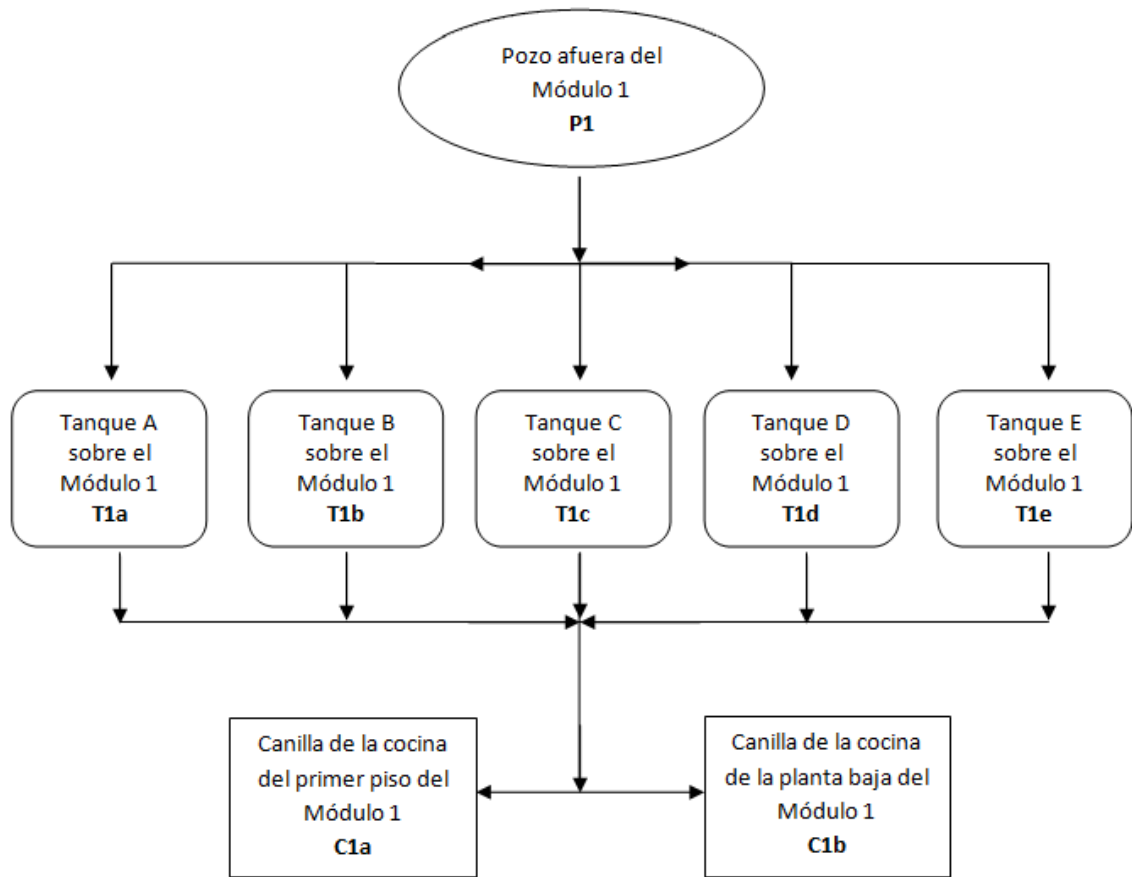
Calidad

Para el análisis de calidad de agua, se seleccionaron 18 puntos de muestreo, representativos de los sistemas de dotación de agua en el *Campus* (**Figuras 5 y 6**) y 1 representativo del agua de consumo del *Campus*, a saber:

- 2 pozos de extracción de agua,
- 6 tanques de almacenamiento y distribución,
- 10 canillas de todas las cocinas y
- 1 bidón de agua para consumo.

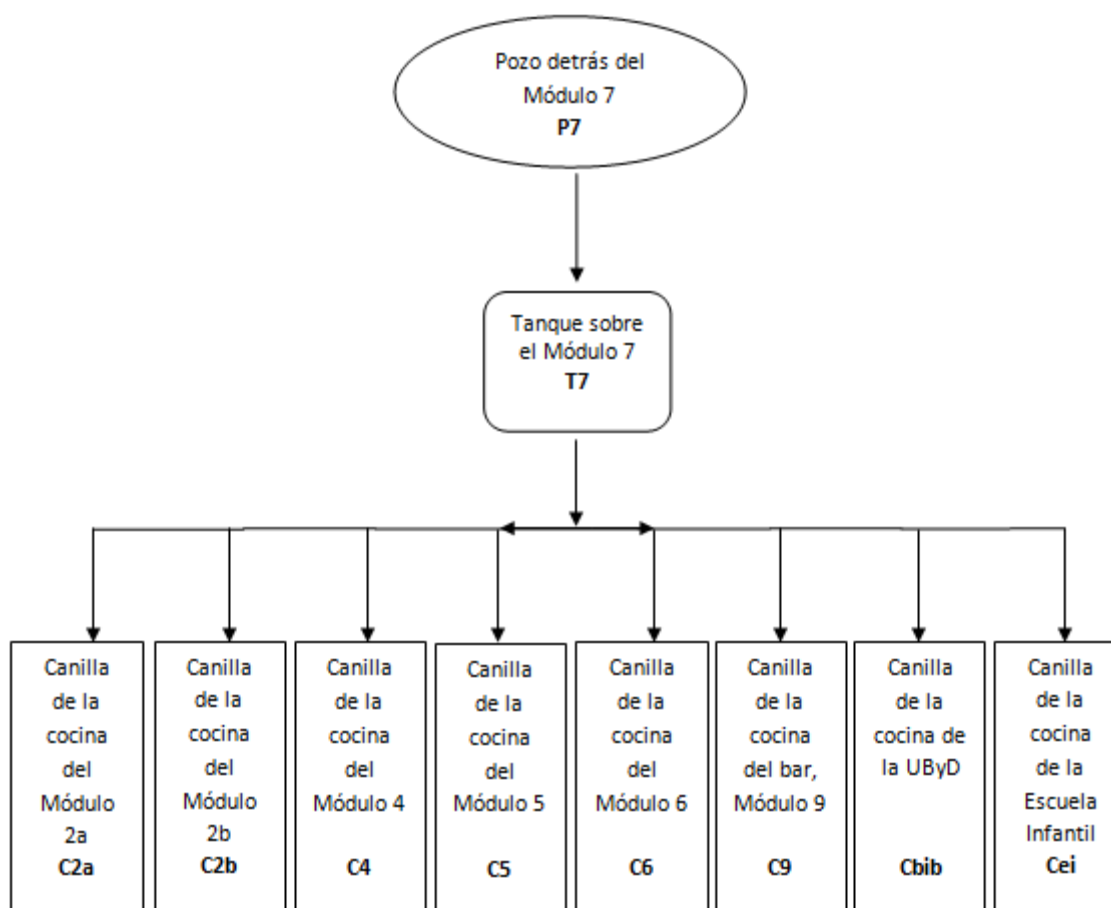
⁷ Se utilizaron las curvas de nivel, trazadas sobre la base de la carta topográfica del IGN a escala 1:50.000, denominada Campo de Mayo, 3560-12-4. Si bien ésta es correspondiente a relevamientos efectuados en el período comprendido entre los años 1907-1962, se consideran dichos valores como válidos debido a que el predio no sufrió modificaciones que alteren la topografía.

**Figura 5: Ubicación de puntos de muestreo. Sistema 1 (Módulo 1) de dotación de agua.
Campus UNGS**



Fuente: Elaboración propia.

**Figura 6: Ubicación de puntos de muestreo. Sistema 2 (Módulo 7) de dotación de agua.
Campus UNGS**



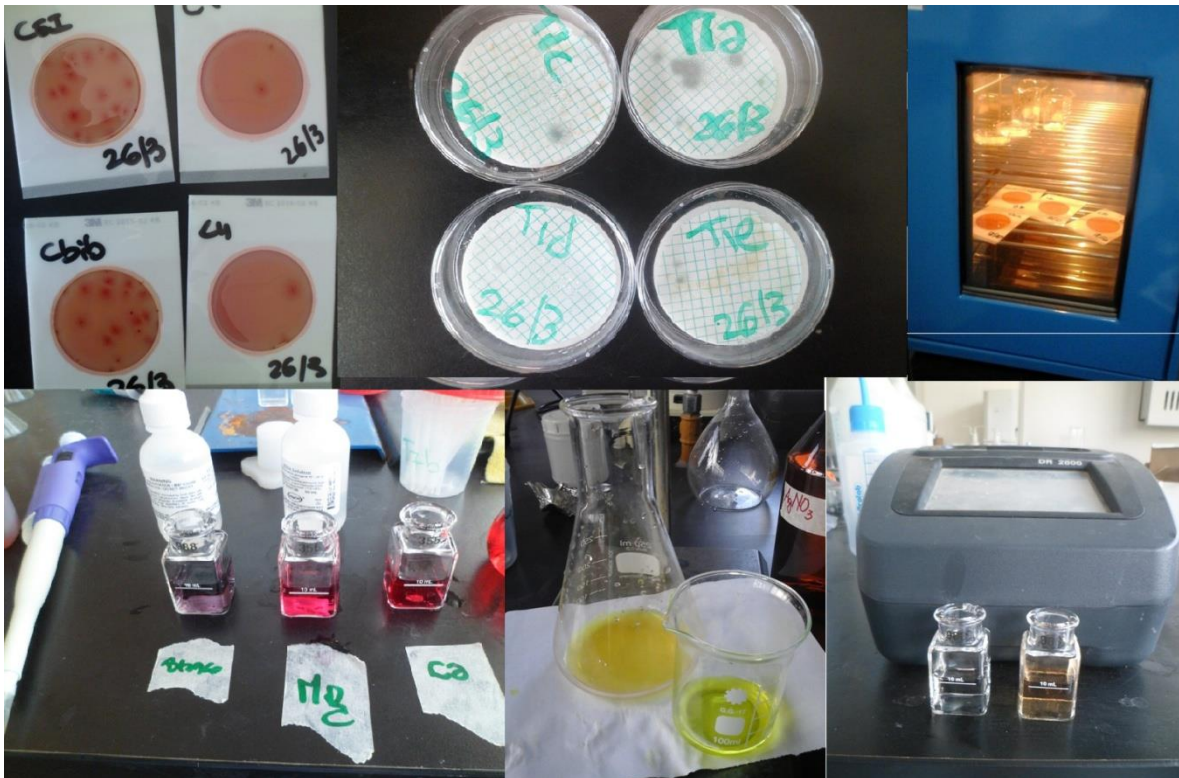
Fuente: Elaboración propia.

La importancia de la captura de muestras de las canillas conectadas directamente a los pozos de extracción radica en que de esta forma puede conocerse directamente la calidad del agua en el acuífero, dado que no sufre interferencia por no pasar ni por tanques de almacenamiento ni por el sistema de distribución.

Se realizaron 3 tandas de muestreos y posterior análisis de parámetros bioquímicos en laboratorio: nitratos, dureza total, cloruros, bacterias coliformes totales, *Escherichia coli*, *Pseudomonas aeruginosa* (**Foto 10**); respecto al arsénico sólo se analizó en el primer muestreo⁸, con el fin de corroborarlo y/o descartar su presencia sobre base de los antecedentes relevados acerca de la problemática regional vinculada con este analito.

⁸ En los pozos y bidón de agua.

Foto 10: Análisis microbiológicos y químicos de calidad de agua. Agosto 2014. Marzo 2015



Fuente: Fotos propias.

Las tomas de muestras de los grifos de las cocinas se realizaron siguiendo el protocolo de muestreo para análisis microbiológico, que consiste en los siguientes pasos: empleo de envase estéril, flameado del grifo (con trozo de algodón empapado en alcohol) durante 15 segundos aproximadamente, luego se deja abierta la canilla hasta asegurarse que el agua de la fuente tenga la menor cantidad de impurezas posible y finalmente se toma la muestra rebalsando el recipiente antes de taparlo. En cuanto a la muestra del bidón de agua potable y las de las tuberías que salen directo de los pozos de extracción, se tomaron con este mismo procedimiento, excepto que en estos casos no se realizó el flameo (debido a los materiales y a la poca manipulación que suelen tener), por lo que se dejó correr el agua aproximadamente por 1 minuto y luego se recolectaron las muestras. En los tanques de distribución y almacenamiento, en cambio, la muestra se tomó directamente cargando el recipiente con el agua. Todas las muestras de agua se recolectaron en recipientes plásticos estériles de 120 mL, a excepción de aquellas destinadas al análisis de arsénico, cuyo volumen fue de 250 mL acidificado previamente con ácido nítrico al 0,2%.

Para los análisis de calidad de agua, la autora empleó diferentes metodologías, según los parámetros a medir. Todas las muestras fueron refrigeradas inmediatamente y los análisis se realizaron en el laboratorio de Ecología de la UNGS, con excepción, como se mencionó anteriormente, de la determinación de arsénico que se analizó en el laboratorio del CETA. A continuación se detallan cada una de las metodologías:

Microbiológico

Coliformes Totales y *Escherichia coli*

Los recuentos de Coliformes Totales y *Escherichia coli* se llevaron a cabo aplicando 1 mL de muestra en *Petrifilms*⁹, los que se colocaron en una estufa de cultivo¹⁰ a 34-37°C durante 48 ± 3 hs. El resultado de estos análisis revela la cantidad de unidades formadoras de colonias presentes en 1 mL de muestra, debiendo multiplicarse por 100 para representar el dato en Unidades Formadoras de Colonias (UFC) en 100 mL.

Pseudomonas aeruginosa

La determinación de *Pseudomonas aeruginosa* se realizó utilizando el set de almohadillas de nutrientes (NPS, por sus siglas en inglés)¹¹. En primer lugar se utiliza un autoclave¹² para esterilizar el agua a 120 °C durante 30 minutos, así como también se esterilizan durante 15 minutos las probetas y los portafiltros de policarbonato¹³. El ensayo consiste en filtrar 100 mL de muestra utilizando una bomba de vacío¹⁴, para luego colocar el filtro de 47 mm provisto por el mismo *kit*, en las cajas de petri que contienen las NPS, previamente hidratadas con 3,5 mL de agua estéril. Finalmente, se colocan las cajas en una estufa durante 40-48 hs, manteniéndola a 34-37°C de temperatura. Las pinzas para tomar los filtros se esterilizan flameándolas mediante un mechero.

Químico

Nitratos

La determinación de nitratos se realizó mediante el método de reducción de cadmio. El mismo consiste en colocar 10 mL de muestra en un recipiente de vidrio, agregar el reactivo Nitruver 5¹⁵, tapar el recipiente, agitar durante 1 minuto y esperar otros 5 para que reaccione. Luego de calibrar el equipo con 10 mL de muestra como blanco, se coloca el recipiente de vidrio con la solución preparada en el espectrofotómetro¹⁶, el que luego de unos segundos revela el resultado expresado en mg/L.

⁹ Marca 3M (producto 6404).

¹⁰ Marca Fábrica de Aparatos Científicos (FAC). Capacidad de 30 litros, de 3 estantes.

¹¹ *Nutried Pad Sets NPS* de la marca Sartorius *Stedim Biotech* (producto 14075).

¹² Marca Villar y Zaurdo SRL. Modelo VZ – 100 Eléctrico.

¹³ Marca Sartorius (producto 16510, 16511).

¹⁴ (Marca Arcano, modelo 2XZ).

¹⁵ Marca HACH (catálogo 21061-69).

¹⁶ Marca HACH. Modelo DR 2800.

Dureza de Calcio y Magnesio

La determinación se realizó mediante el método colorimétrico de calmagita (método 8030), que consiste en capturar 100 mL de muestra, mediante una pipeta automática a la que se agrega 1 mL de solución indicador de magnesio y calcio, tapar el recipiente e invertir varias veces. A continuación, se agrega 1 mL de solución alcalina para calcio y magnesio y se agita nuevamente varias veces. De la solución preparada se toman tres porciones de 10 mL, a la primera se le agrega 1 gota de solución EDTA 1M y se agita la solución, al segundo recipiente se le agrega 1 gota de EGTA 1M y también se lo agita. Luego, se elige el programa de medición de magnesio en el espectrofotómetro, se coloca la primera solución como blanco para calibrarlo a cero, se cambia entonces el recipiente por el de la segunda solución para que el equipo realice la medición, el espectrofotómetro arroja el resultado de mg/L de Mg expresado en mg/L de CaCO₃. Se cambia luego el programa a medición de calcio, se vuelve a calibrar a cero y se cambia al tercer recipiente, para medir así los mg/L de Ca expresado también en CaCO₃. Por último, los valores obtenidos de Mg y Ca se suman para conocer la dureza total de cada muestra.

Cloruros

Los análisis de Cloruros se llevaron a cabo con el método de titulación con nitrato de plata. Se llena una bureta de 25 mL con AgNO₃, se colocan 10 mL de muestra en un erlenmeyer de 250 mL y se le agregan 15 gotas de indicador K₂CrO₄. Se titula así agitando el erlenmeyer hasta el viraje del color amarillo al rojo. Se registran los volúmenes consumidos de AgNO₃ en cada titulación y luego, para estimar la cantidad de cloruros presentes en la muestra, se utilizan los siguientes cálculos:

$$\frac{\text{Volumen AgNO}_3 \times [\text{AgNO}_3]}{\text{Volumen muestra}} \times \text{Masa atómica Cl} =$$
$$= \frac{\text{Volumen AgNO}_3 \times 0,00282 \text{ mol/L}}{10 \text{ mL}} \times 35,5 \text{ g/mol} \times \frac{1000 \text{ mg}}{1 \text{ g}}$$

Así se obtienen los resultados en mg/L de cloruros, o bien en partes por millón (ppm).

Arsénico

Para la determinación de arsénico, las muestras de 250 mL fueron acidificadas con 3,30 mL de ácido nítrico y almacenadas a 4 °C. Se transportaron refrigeradas en una hielera para su determinación, la cual se llevó a cabo mediante el método de absorción

atómica, en los laboratorios del CETA, de la Facultad de Ciencias Veterinarias de la UBA.

v3. Indicadores

Como se mencionó, con el fin de comparar la situación actual de consumo de agua mediante bidones “Agua envasada”, con un posible escenario de consumo de agua subterránea “Agua de pozo”, se calcularon una serie de indicadores de índole ambiental y económico para ambos escenarios de abastecimiento de agua, cuando corresponda.

Huella Hídrica

Agua envasada

La empresa proveedora de agua para ingesta de la UNGS, *Culligan Sparkling*, brindó el valor del gasto de agua implicado en la producción del contenido de los bidones, en unidad de L/botellón. Sin embargo, esto no incluye el consumo de agua en la producción de los envases, puesto que son fabricados por otra compañía. Se dividió el valor por el volumen de agua contenido en cada botellón, para así obtener la el volumen de agua gastada por litro producido.

Para estimar la HH de los bidones, se pesó un bidón vacío y, conociendo que el material de los bidones es policarbonato virgen, se consideró el consumo de agua en la producción de 1 kg de policarbonato y se lo multiplicó por la masa del bidón. Luego, se lo dividió por la cantidad de veces que se lo rellena de agua durante la vida útil del botellón. Finalmente, se sumaron todos los valores.

Huella de Carbono

Agua envasada

Para este indicador se estiman los GEIs emitidos durante el transporte de los bidones de agua. Se considera el volumen de combustible consumido, en litros, por los camiones de utilizados por la Empresa al recorrer 100 kilómetros, se lo multiplica por la constante de volumen de dióxido de carbono por litro de combustible quemado y por la distancia, en kilómetros, que el camión de la *Culligan Sparkling* viaja desde la planta a la UNGS y se multiplica por 2, dado que se considera también el regreso a la planta.

$$\frac{\text{Vol combustible}}{100\text{Km}} \times \text{KgCO}_2/\text{L} \times \text{Distancia camión} \times 2 \quad (\text{Fórmula 1})$$

Indicadores energéticos

Agua envasada

Para estimar el gasto energético mensual de este escenario de abastecimiento, se multiplicó por 4 la electricidad semanal consumida en el *Campus* por mantener los *dispensers* enchufados.

Agua de pozo

Para estimar la energía que se consumiría en la extracción de agua de pozo para ingesta, se dividió el volumen de agua que actualmente se ingiere por el caudal de la bomba del pozo del Sistema 2, debido a que se estima que, de extraerse agua para ingesta, sería desde ese pozo. Finalmente se lo multiplicó por el valor de la potencia de las bombas (informado en el expediente de la ADA), y así pudo calcularse la electricidad que se consumiría por día.

$$\frac{\text{Vol ingerido/mes}}{\text{Vol bomba/hora}} \times \text{kW bomba} \quad (\text{Fórmula 2})$$

Indicadores económicos

Agua envasada

Sobre la base de la información brindada por el Departamento de Compras de la UNGS acerca del costo económico de los bidones por unidad y habiendo calculado el promedio de botellones adquiridos mensualmente, se multiplicaron ambos valores y luego se sumó el gasto en el alquiler de los *dispensers*, brindado por el Departamento de Mantenimiento y Servicios Generales de la UNGS. Se consultó el gasto económico de las facturas que abona la Universidad por kiloWatt hora consumido y el cargo adicional por horario¹⁷ (Edenor, 2008), para así adicionar el dinero que se gasta en electricidad para mantener los *dispensers* funcionando (kilowatts hora consumidos por precio del kilowatt hora).

$$\left(\frac{\$}{\text{bidón}} \times \frac{\text{promedio bidones}}{\text{mes}} \right) + \frac{\$ \text{ alquiler } \textit{dispensers}}{\text{mes}} + \left(\frac{\text{kWh } \textit{dispensers}}{\text{mes}} \times \frac{\$}{\text{kWh}} \right) \quad (\text{Fórmula 3})$$

Así, se obtiene el gasto económico mensual invertido en el consumo de agua envasada.

¹⁷ Se consideró el precio de la banda horaria de 18 a 23 hs., debido a que es el momento de mayor asistencia de personas en el *Campus*.

vi. RESULTADOS

vi.1. Consumo de agua subterránea

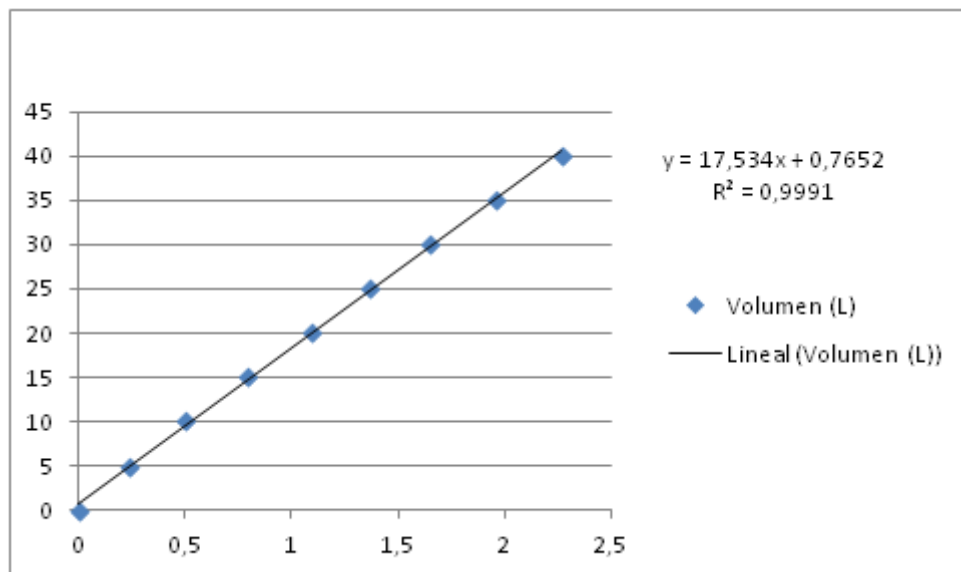
Bebida humana

Habiendo estimado que el promedio de botellones adquiridos mensualmente es de 638,25, se multiplica por los 20 L que contienen cada bidón. Así, resulta que el volumen de agua que la comunidad universitaria ingiere por mes es de aproximadamente 12.765 L.

Huerta y Biotopo

A partir del **Gráfico 1** se calculó la cantidad de agua destinada semanalmente al riego de la huerta. Este dato representa los meses en que se riega una vez (otoño-invierno), mientras que para los meses en que se riega dos veces (primavera-verano), se duplica.

Gráfico 1: Volumen de agua (L) consumido en el riego de la huerta en función del tiempo de riego (min)

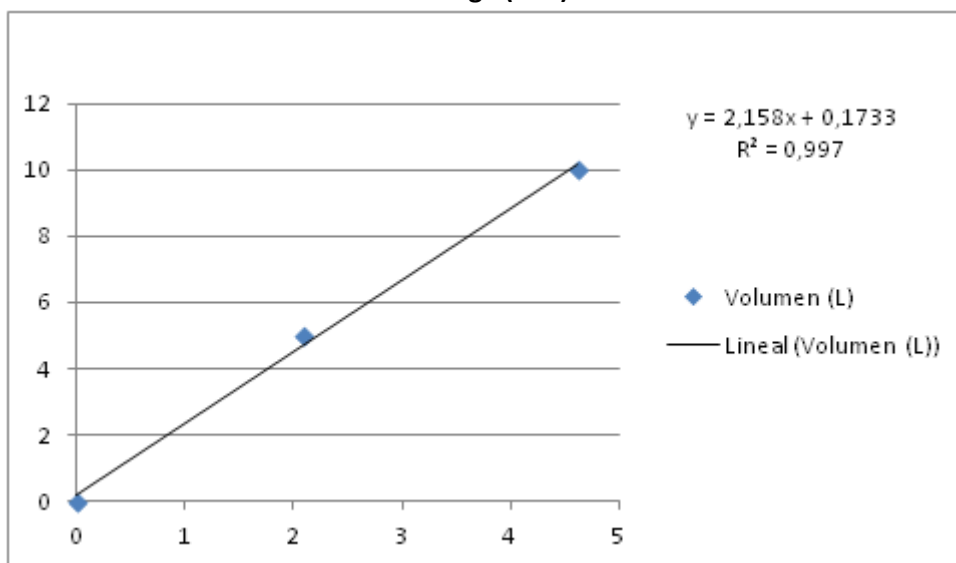


Fuente: Elaboración propia.

Así, se estimó que el consumo de agua para el riego de la huerta es de aproximadamente 24.016 L/mes en otoño e invierno, mientras que en verano y primavera el riego consume aproximadamente 48.032 L/mes. En un año, el promedio del consumo mensual en el riego de la huerta, es de 36.024,4 L.

A partir del **Gráfico 2** se calculó el caudal de agua consumido en la recarga del estanque del biotopo.

Gráfico 2: Volumen de agua (L) consumido en el biotopo de la huerta en función del tiempo de recarga (min)



Fuente: Elaboración propia.

Se estimó que el consumo de agua para el mantenimiento del biotopo es de aproximadamente 21.753 Litros por mes.

Debido a que al momento de finalización del presente trabajo se desafectó el biotopo, solamente se considera el gasto de agua por el uso de la huerta, de 36.024 L por mes.

Baños

Conociendo que, en promedio, se extraen 97.067 L/mes del pozo del Sistema 1, 990.600 L/mes del Sistema 2 y que el consumo de agua en el riego de la huerta es de aproximadamente 36.024,4 L/mes, se estimó que el gasto de agua en el uso de los baños es de 1.051.642,3 L/mes.

vi2. Calidad del agua subterránea

Las muestras de agua subterránea se tomaron en tres oportunidades: a principios del mes de agosto, a mediados de octubre del año 2014 y a mediados de marzo de 2015, a excepción de la muestra correspondiente al bidón de agua (Bidón) que solamente se analizó en la primera oportunidad, sólo con el fin de verificar las condiciones informadas por la Empresa. Asimismo, el último muestreo se realizó 9 días después de la limpieza de los tanques, con el propósito de verificar si incidía y en tal caso cómo, en la calidad del agua.

A continuación se presenta un resumen de los valores obtenidos, discriminado por sistemas de dotación de agua, comparándolos a su vez con los límites establecidos por el CAA (Tablas 6, 7 y 8).

Tabla 6: Resultados de calidad de agua subterránea del Campus de la UNGS. Sistema 1 de dotación de agua (Módulo 1).

Límite establecido por el CAA		≤ 3 en 100mL	Ausencia en 100mL	Ausencia en 100mL	45 mg/L	400 mg/L	0,01 mg/L	350 mg/L
Parámetros		Bacterias coliformes (UFC/100mL)	<i>Escherichia coli</i> (UFC/100mL)	<i>Pseudomonas aeruginosa</i> (UFC/100mL)	Nitratos (mg/L)	Dureza Total (mg/L de CaCO ₃)	Arsénico (mg/L)	Cloruros (mg/L)
Muestreos								
P1	Agosto	< 3	Ausencia	Ausencia	38,5	12,96*	<0,01	22
	Octubre	< 3	Ausencia	Ausencia	15,0	3,92	-----	20
	Marzo	< 3	Ausencia	Ausencia	46,5	7,24	-----	25
T1a	Agosto	< 3	Ausencia	Ausencia	30,8	1,08*	-----	20
	Octubre	< 3	Ausencia	Ausencia	26,1	4,44*	-----	22
	Marzo	< 3	Ausencia	Ausencia	48,1	3,68*	-----	23
T1b	Agosto	< 3	Ausencia	Ausencia	50,1	1,53	-----	19
	Octubre	< 3	Ausencia	Ausencia	17,7	3,58	-----	76
	Marzo	< 3	Ausencia	Ausencia	45,4	3,76	-----	30
T1c	Agosto	< 3	Ausencia	2	33,3	9,84*	-----	22
	Octubre	< 3	Ausencia	Ausencia	26,7	4,42	-----	25
	Marzo	< 3	Ausencia	6	35,8	3,72	-----	45
T1d	Agosto	< 3	Ausencia	2	37,7	4,80	-----	22
	Octubre	< 3	Ausencia	1	42,8	4,32	-----	24
	Marzo	< 3	Ausencia	Ausencia	39,0	3,42	-----	21
T1e	Agosto	< 3	Ausencia	Ausencia	39,9	8,68*	-----	22
	Octubre	< 3	Ausencia	Ausencia	35,5	3,94	-----	26
	Marzo	< 3	Ausencia	1	36,0	3,70	-----	22
C1a	Agosto	< 3	Ausencia	1	40,6	4,52	-----	25
	Octubre	< 3	Ausencia	Ausencia	23,6	4,06	-----	19
	Marzo	< 3	Ausencia	Ausencia	23,7	3,16	-----	20
C1b	Agosto	< 3	Ausencia	Ausencia	57,4	8,60*	-----	22
	Octubre	< 3	Ausencia	Ausencia	30,1	4,76	-----	39
	Marzo	< 3	Ausencia	Ausencia	29,7	4,14*	-----	21

Notas: Códigos: P1: Pozo de extracción afuera del Módulo 1, T1a, T1b, T1c, T1d, T1e: Tanques encima del Módulo 1, C1a: Canilla de la cocina del primer piso del Módulo 1, C1b: Canilla de la cocina de la planta baja del Módulo 1.

Las casillas sombreadas se corresponden a valores que superan el valor establecido por el CAA. (*): Medición de Ca por debajo del límite de detección.

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 7: Resultados de calidad de agua subterránea del *Campus* de la UNGS. Sistema 2 de dotación de agua (Módulo 7).

Límite establecido por el CAA		≤ 3 en 100mL	Ausencia en 100mL	Ausencia en 100mL	45 mg/L	400 mg/L	0,01 mg/L	350 mg/L
Muestras		Bacterias coliformes (UFC/100mL)	<i>Escherichia coli</i> (UFC/100mL)	<i>Pseudomonas aeruginosa</i> (UFC/100mL)	Nitratos (mg/L)	Dureza Total (mg/L de CaCO ₃)	Arsénico (mg/L)	Cloruros (mg/L)
P7	Agosto	< 3	Ausencia	Ausencia	47,0	3,70	<0,01	33
	Octubre	< 3	Ausencia	Ausencia	43,9	5,82	-----	34
	Marzo	< 3	Ausencia	Ausencia	76,8	3,38	-----	32
T7	Agosto	< 3	Ausencia	Ausencia	64,5	3,96	-----	33
	Octubre	< 3	Ausencia	Ausencia	38,7	4,56	-----	36
	Marzo	< 3	Ausencia	Ausencia	68,5	3,70	-----	34
C2a	Agosto	< 3	Ausencia	Ausencia	73,0	3,62	-----	36
	Octubre	< 3	Ausencia	Ausencia	37,6	3,90	-----	31
	Marzo	400	Ausencia	Ausencia	55,1	3,40	-----	34
C2b	Agosto	< 3	Ausencia	Ausencia	48,4	8,72*	-----	25
	Octubre	< 3	Ausencia	Ausencia	55,1	4,70	-----	29
	Marzo	1500	Ausencia	Ausencia	49,4	3,52	-----	34
C4	Agosto	< 3	Ausencia	Ausencia	58,3	8,68*	-----	33
	Octubre	< 3	Ausencia	Ausencia	59,0	3,66	-----	36
	Marzo	100	Ausencia	Ausencia	79,9	3,84	-----	33
C5	Agosto	< 3	Ausencia	Ausencia	66,3	7,36*	-----	32
	Octubre	< 3	Ausencia	Ausencia	62,5	4,72	-----	31
	Marzo	300	Ausencia	Ausencia	60,4	4,42	-----	31
C6	Agosto	< 3	Ausencia	Ausencia	65,3	4,34	-----	36
	Octubre	< 3	Ausencia	Ausencia	47,6	4,48	-----	32
	Marzo	300	Ausencia	Ausencia	47,2	3,58	-----	33
C9	Agosto	< 3	Ausencia	Ausencia	62,9	4,26	-----	33
	Octubre	< 3	Ausencia	Ausencia	54,8	4,12	-----	31
	Marzo	200	Ausencia	Ausencia	55,6	3,72	-----	33
Cbib	Agosto	< 3	Ausencia	Ausencia	65,6	4,42*	-----	37
	Octubre	< 3	Ausencia	Ausencia	68,6	4,16	-----	34
	Marzo	1300	Ausencia	Ausencia	61,8	4,42	-----	34
Cei	Agosto	< 3	Ausencia	Ausencia	65,5	37,75*	-----	33,3
	Octubre	< 3	Ausencia	Ausencia	47,7	4,14*	-----	31
	Marzo	1900	Ausencia	Ausencia	42,2	4,22	-----	34

Notas: Las casillas sombreadas se corresponden a valores que superan el valor establecido por el CAA. (*): Medición de Ca por debajo del límite de detección.

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 8: Resultados de calidad de agua. Bidón de agua de Culligan Sparkling.

Límite establecido por el CAA	≤ 3 en 100mL	Ausencia en 100mL	Ausencia en 100mL	45 mg/L	400 mg/L	0,01 mg/L	350 mg/L
Parámetros Muestras	Bacterias coliformes (UFC en 100mL)	<i>Escherichia coli</i> (UFC en 100 mL)	<i>Pseudomonas aeruginosa</i> (UFC en 100 mL)	Nitratos (mg/L)	Dureza Total (mg/L de CaCO ₃)	Arsénico (mg/L)	Cloruros (mg/L)
Bidón	< 3	Ausencia	Ausencia	5,8	14,36*	<0,01	44,99

Notas: Códigos: Bidón: Bidón de agua.

(*): Medición de Ca por debajo del límite de detección.

Fuente: Elaboración propia.

Como se observa, los resultados de los análisis de *E. coli*, dureza total, arsénico y cloruros dieron en todas las muestras (**Tablas 6, 7 y 8**) por debajo de los límites establecidos para el CAA, como así también el de la EPA y la OMS.

Respecto al resto de los parámetros (nitratos, *Pseudomonas aeruginosa* y bacterias coliformes totales), superan en algún punto o momento al límite establecido; a continuación se detallan de los resultados.

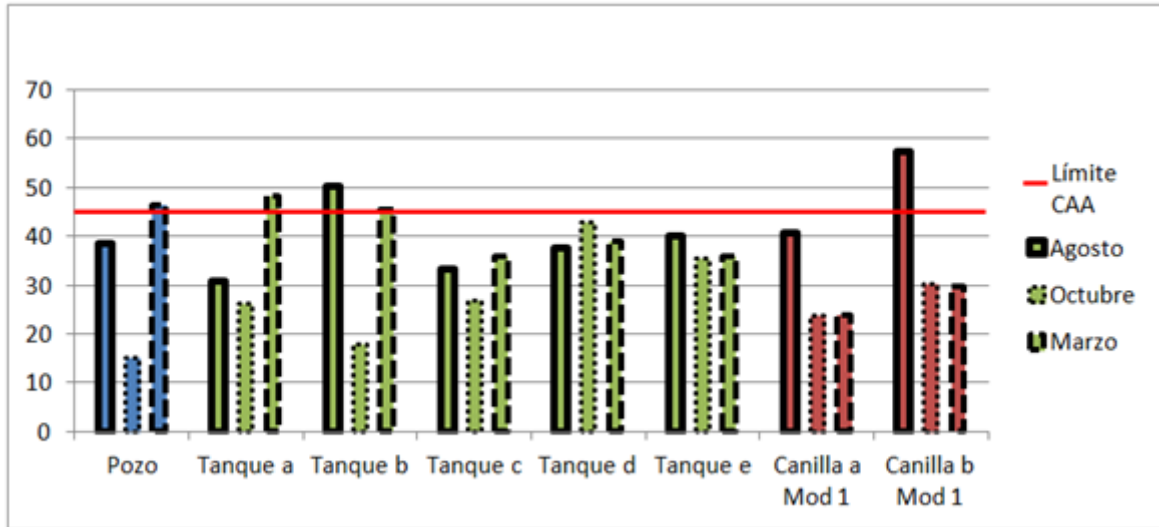
Asimismo, todos los análisis de la muestra del bidón de agua potable (**Tablas 8**) dieron por debajo de los niveles guía del CAA.

Previo a la limpieza de los tanques de almacenamiento y distribución

Los niveles de nitratos oscilaron entre 15 y 79,9 mg/L, superando el límite establecido por el CAA (45 mg/L) en 31 de 54 muestras (sin contar la muestra del bidón de agua).

En el Sistema 1 de dotación de agua, la concentración de nitratos sobrepasó el límite establecido por el CAA en uno de los cinco tanques de almacenamiento y en una de las dos canillas en las mediciones del mes de agosto (**Gráfico 3**).

Gráfico 3: Concentración de nitratos (mg/L) - comparación con límite establecido por el CAA. Sistema 1 de dotación de agua (Módulo 1)

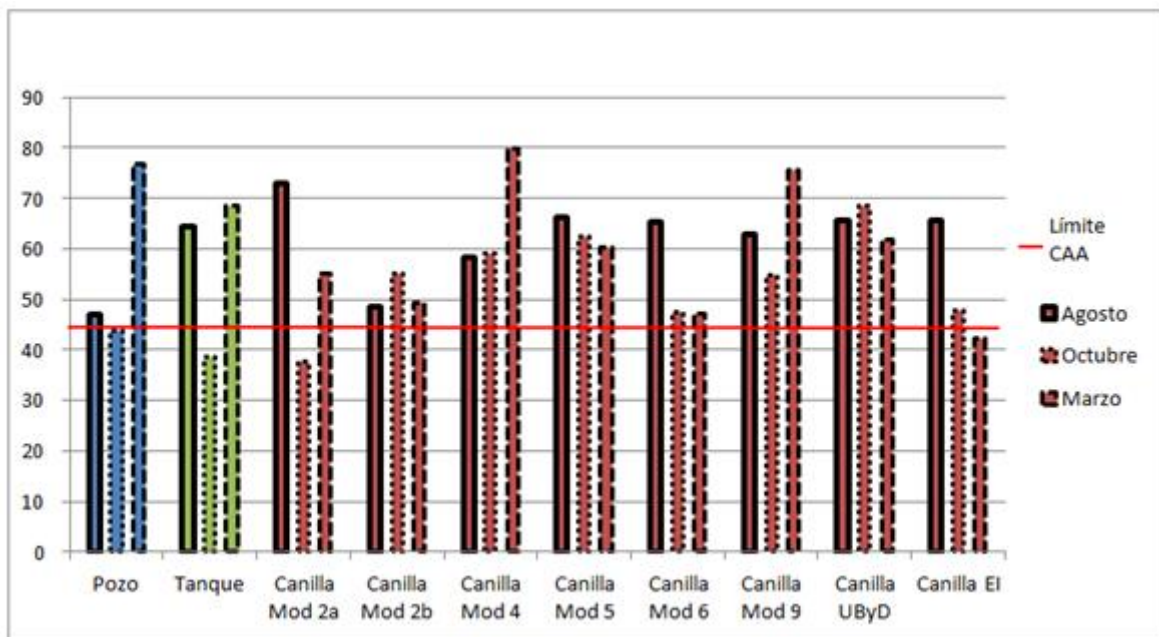


Nota: Se usaron colores para distinguir los puntos de medición, siendo azul= pozo, verde= tanques, rojo= canillas.

Fuente: Elaboración propia.

También en el Sistema 2, en el pozo de extracción detrás del Módulo 7, en el tanque y en todas las canillas de esta red de dotación, se detectó contaminación con nitratos en los análisis de agosto. En el mes de octubre, se observó contaminación en siete de las ocho canillas muestreadas (**Gráfico 4**).

Gráfico 4: Concentración de nitratos (mg/L) - comparación con límite establecido por el CAA. Sistema 2 de dotación de agua (Módulo 7)



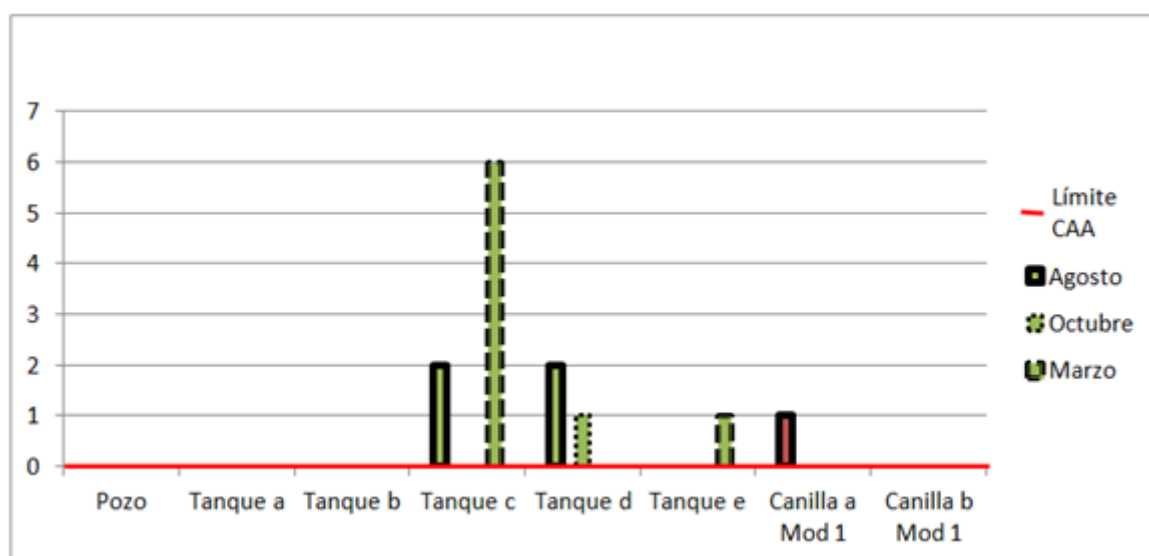
Nota: Se usaron colores para distinguir los puntos de medición, siendo azul= pozo, verde= tanques, rojo= canillas.

Fuente: Elaboración propia.

Cabe mencionar que 9 de 55 resultados, si bien sobrepasan el límite establecido por el CAA de nitratos en agua (45 mg/L), no lo hacen con el límite de la OMS (50 mg/L).

Respecto a *P. aeruginosa*, solamente algunas muestras del Sistema 1 de dotación de agua sobrepasaron el límite establecido por el CAA. Las muestras tomadas en el mes de agosto en dos de sus tanques y una de sus cocinas, mostraron presencia de esta bacteria. En los análisis de octubre uno de los tanques presentó contaminación. Cabe mencionar que esta bacteria no se encuentra presente en el agua del pozo de extracción detrás del Módulo 7, el cual alimenta a esta red de distribución (**Gráfico 5**).

Gráfico 5: *P. aeruginosa* (UFC en 100 mL de muestra) - comparación con el límite establecido por CAA. Sistema 1 de dotación de agua (Módulo 1)



Nota: Se usaron colores para distinguir los puntos de medición, siendo azul= pozo, verde= tanques, rojo= canillas.

Fuente: Elaboración propia.

Posterior a la limpieza de los tanques de almacenamiento y distribución

En el Sistema 1, con respecto a la concentración de nitratos, en las mediciones del mes de marzo resultaron contaminadas las muestras de dos tanques, pero también la del pozo (**Gráfico 3**).

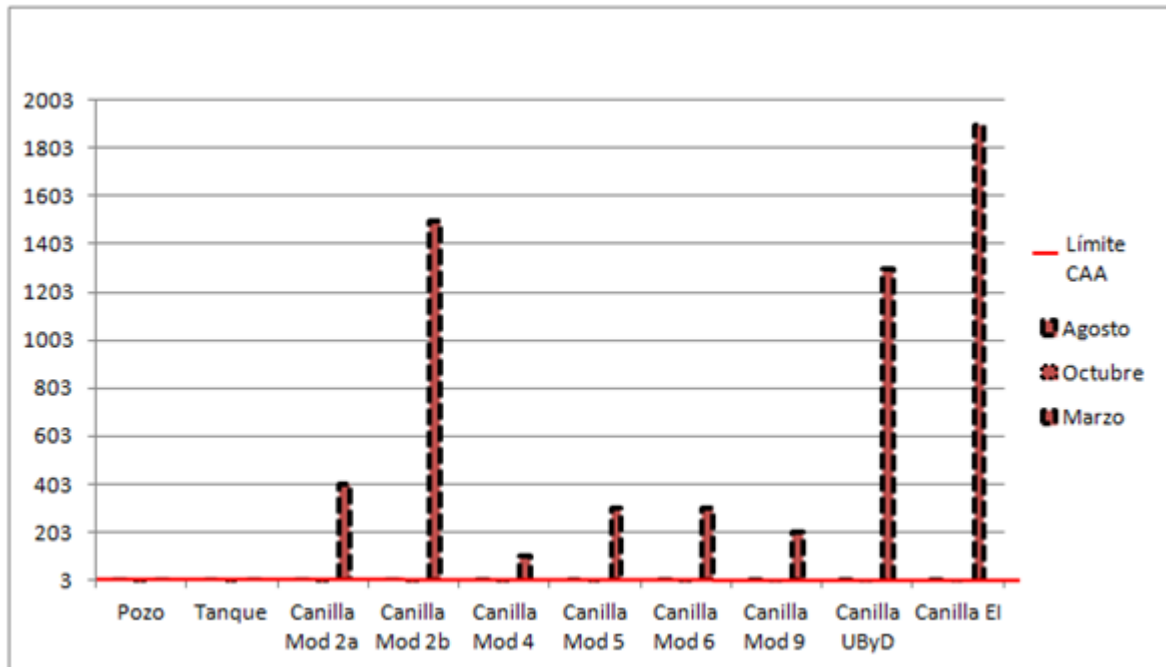
En la última tanda de análisis de las muestras del Sistema 2, nuevamente en el pozo y en el tanque se observó contaminación con nitratos, como también en 7 de las 8 canillas muestreadas (**Gráfico 4**).

En las muestras de dos de los tanques del Sistema 1 los resultados revelaron presencia de *P. aeruginosa* en el mes de marzo (**Gráfico 5**).

Finalmente, la presencia de bacterias coliformes totales también muestra contaminación, pero sólo en los análisis posteriores a la limpieza de los tanques de almacenamiento y distribución. Esto se vio en todas las canillas del Sistema 2 de

dotación (Módulo 7), sin embargo, estas bacterias no están presentes en el pozo ni en el tanque de distribución y almacenamiento (**Gráfico 6**).

Gráfico 6: Coliformes Totales (UFC en 100 mL de muestra) - comparación con límite establecido por el CAA. Sistema 2 de dotación de agua (Módulo 7)



Notas: Se partió del valor 3 para facilitar la interpretación, debido a la diferencia de escala entre el límite establecido por el CAA y los resultados obtenidos. Se usaron colores para distinguir los puntos de medición, siendo azul= pozo, verde= tanques, rojo= canillas.
Fuente: Elaboración propia.

Análisis de parámetros *in situ*

A continuación se detallan las mediciones de temperatura, pH y conductividad eléctrica realizadas en cada muestra (**Tabla 9**).

Tabla 9: Resultados de los parámetros *in situ* medidos en agua subterránea

Muestra	Temperatura (°C)			pH			Conductividad eléctrica (µS/cm)		
	Agosto	Octubre	Marzo	Agosto	Octubre	Marzo	Agosto	Octubre	Marzo
P1	28,9	19,7	20,0	7,62	8,77	8,59	774	714	696
T1a	17,5	24,4	20,6	8,54	9,20	8,45	729	783	778
T1b	18,5	21,6	23,0	8,44	9,17	9,06	739	779	730
T1c	18,1	26,4	20,6	8,48	8,99	9,19	750	751	557
T1d	18,4	27,5	20,8	8,52	9,10	8,94	729	765	766
T1e	18,2	24,5	21,7	9,09	9,23	8,87	741	814	742
C1a	18,6	24,1	28,1	9,14	8,47	9,02	756	721	740
C1b	20,2	23,2	22,0	8,66	8,33	9,18	735	750	759
P7	19,1	20,3	19,7	8,37	9,12	9,18	910	794	896
T7	19,6	21,7	20,9	8,43	8,93	9,16	906	800	757
C2a	18,7	24,1	23,1	8,67	8,00	9,12	904	913	718
C2b	19,4	20,7	20,9	9,19	8,10	8,98	912	920	729
C4	14,9	20,0	20,2	8,18	8,79	9,10	930	773	796
C5	19,7	20,0	20,2	8,36	8,30	9,09	947	843	931
C6	17,5	19,4	19,9	9,07	7,95	9,21	929	939	885
C9	17,0	22,0	21,2	8,52	9,05	9,12	905	787	878
Cbib	14,7	20,1	21,4	8,39	8,03	9,16	922	932	907
Cei	16,4	24,2	22,8	8,97	9,09	9,04	913	802	911
Bidón	20,3	s/m	s/m	7,92	s/m	s/m	348	s/m	s/m

Notas: s/m: sin medición.

Los códigos son los mismos utilizados en la Tabla 7.

Fuente: Elaboración propia.

vi3. Dinámica del agua subterránea

Los resultados obtenidos de las mediciones de los niveles freáticos y piezométricos se vuelcan en la **Tabla 10**.

Tabla 10: Mediciones freaticas y piezométricas de los pozos de extracción de agua y las perforaciones para monitoreo

Mes de medición	Punto de medición					
	Pozo de extracción 1 (Puelche)		Ex pozo de extracción (Puelche)	Pozo de monitoreo A (Puelche)	Pozo de monitoreo B (Puelche)	Pozo de monitoreo C (Pampeano)
	Nivel estático (m)	Nivel dinámico (m)	Nivel estático (m)	Nivel estático (m)	Nivel estático (m)	Nivel estático (m)
Marzo	2,68	1,59	3,14	3,12	3,03	4,87
Abril	3,73	2,41	3,88	3,53	2,37	5,14
Mayo	3,82	2,73	4,01	3,61	3,70	5,40
Junio	3,95	2,82	4,01	4,11	3,94	5,73
Julio	4,71	3,13	4,47	4,28	4,14	5,97
Agosto	5,33	3,24	4,47	4,31	4,16	6,27
Septiembre	5,58	3,47	4,03	4,37	4,34	6,53
Octubre	5,25	4,19	5,48	5,32	5,03	7,50
Noviembre	5,77	4,54	5,84	5,80	5,72	7,81
Diciembre	5,40	4,29	5,41	5,50	5,30	7,97
Enero	5,51	4,42	5,67	5,66	5,47	8,06
Febrero	2,68	1,59	3,14	3,12	3,03	4,87
Marzo	5,24	4,17	5,38	5,33	5,17	7,84

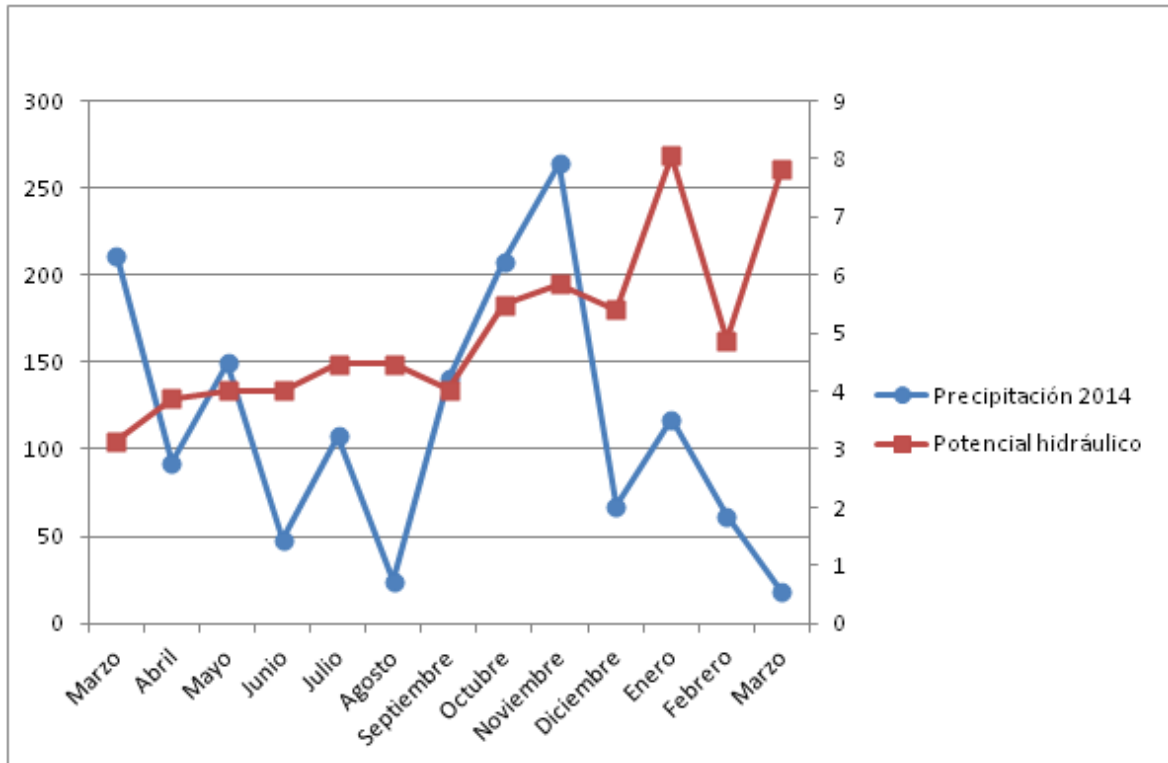
Fuente: Elaboración propia.

Como se mencionó anteriormente, los potenciales estáticos son aquellos valores medidos en cada pozo luego de llevarlos al cero del IGN. El potencial dinámico, sin embargo, es aquel medido en un pozo explotado cuando la bomba se encuentra encendida.

Sobre la base de la información brindada por el Instituto de Clima y Agua del Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA) acerca de las medias mensuales de precipitación en la zona a partir de los registros de la estación meteorológica de Castelar desde el año 1980 al 2014, se realizó un gráfico comparativo entre las precipitaciones medidas desde marzo de 2014 a marzo de 2015 y los potenciales hidráulicos medidos en ese período (**Gráfico 7**), para observar la capacidad de recarga del acuífero a través de la infiltración. Como puede observarse, en los meses de junio, julio, agosto, diciembre, enero, febrero y marzo, las lluvias fueron menores a la infiltración, sumándose que en los meses de verano se consume más agua, lo que se representa en un aumento de los potenciales hidráulicos. Cabe mencionar que, de los diferentes sitios medidos, se eligió usar para este gráfico los potenciales del pozo cercano al Módulo 2a. Esto se debe a que este pozo ya no está siendo explotado y sólo presenta potenciales estáticos y por lo tanto dará valores más representativos del

estado del acuífero en comparación con el pozo del Sistema 1, cuyo potencial estático se ve interrumpido cuando se enciende la bomba.

Gráfico 7: Precipitación mensual (mm) desde marzo de 2014 a marzo de 2015 y potenciales hidráulicos medidos (m)

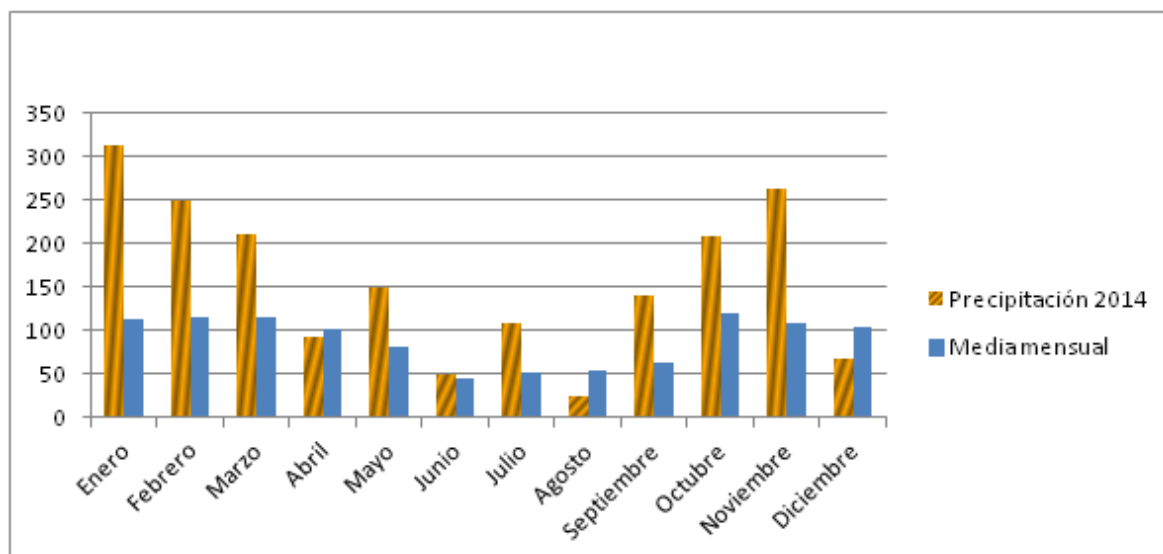


Nota: La unidad de los valores representados en el eje izquierdo es mm mientras que la unidad de los valores del eje derecho es m.

Fuente: Elaboración propia sobre la base de los registros de precipitación del INTA.

También se realizó un gráfico de barras que muestran las medias mensuales de precipitación estimadas en la serie 1980-2014 y la precipitación durante los meses del año 2014 (**Gráfico 8**), para comparar las lluvias de ese año con las históricas en la zona.

Gráfico 8: Medias mensuales de precipitación desde 1980 a 2014 y precipitación mensual durante 2014 (mm)



Fuente: Elaboración propia sobre la base de los registros de precipitación del INTA.

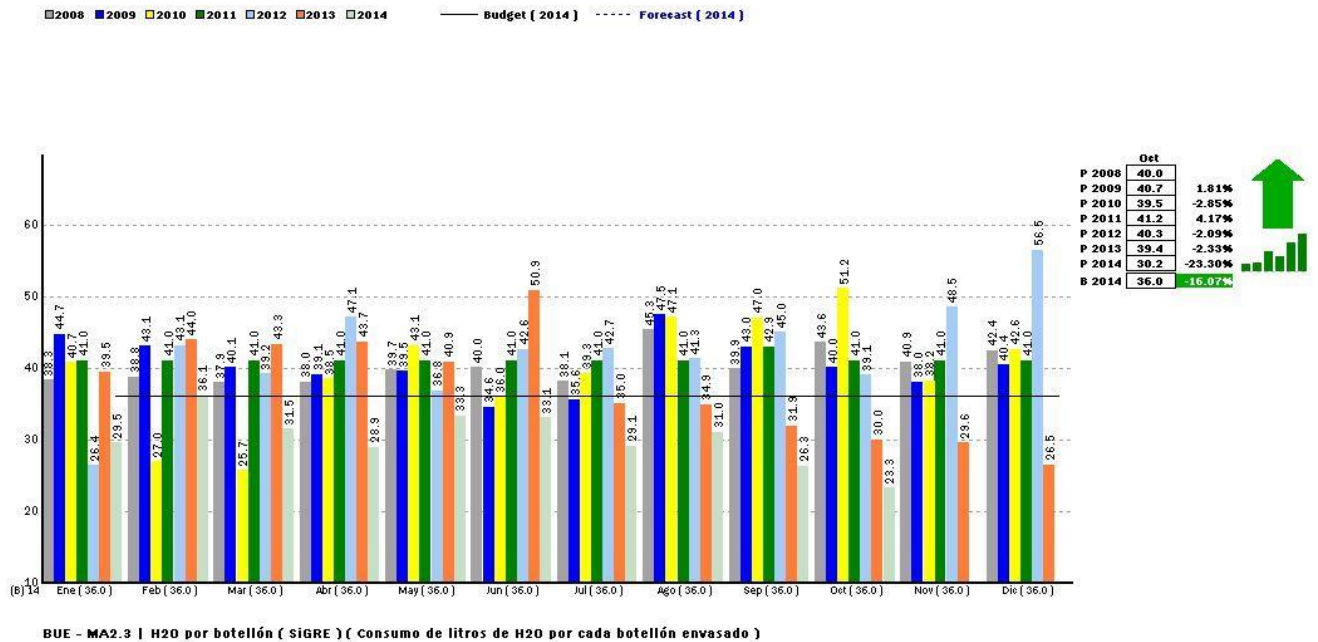
vi4. Indicadores ambientales

Huella Hídrica

Agua envasada

Se recolectó información brindada por la empresa *Culligan Sparkling*, proveedora del agua para consumo en la UNGS. La Empresa mide la cantidad de agua consumida en la producción de los 20 L de cada botellón (**Gráfico 9**), informando que en el año 2014, el agua consumida fue de 36 L/botellón. Esto da, 1,8 L de agua gastada por cada 1 L de agua consumida. Cabe mencionar que se llegó a este consumo luego de un programa de mejoras para reducir la cantidad de agua utilizada en el retrolavado de filtros, habiendo disminuido en un 16,07% el uso de agua comparado con el año 2008.

Gráfico 9: Volumen de agua consumida (L) por botellón envasado



BUE - MA2.3 | H2O por botellón (SIGRE) (Consumo de litros de H2O por cada botellón envasado)

Fuente: Culligan Sparkling.

En cuanto a la HH del bidón de agua utilizado, luego de medir que cada bidón adquirido por la Universidad tiene una masa de 0,855 kg y sabiendo que el volumen de agua consumida por kilogramo de policarbonato producido es de aproximadamente 142 litros¹⁸ (Bousted, 2005), se estimó que la HH de los bidones vacíos es de 121,41 litros. Luego, si se lo divide por la cantidad de agua del relleno, sobre la base que en 5 años (vida útil del botellón) se llena 1.000 veces, esto arroja un valor de 0,121 litros por litro de producción.

En la suma total, la HH da entonces casi 2 litros por litro de agua producido. Así, prácticamente el 100% del agua que se consume por bidón es invisible.

Agua de pozo

Respecto a los tratamientos bacteriológicos, si se opta por el más empleado, cloración, si bien no existe un gasto de agua extra por litro tratado, se desprecia la cantidad de agua en la elaboración del cloro. Luego, para el tratamiento de nitratos, independientemente del sistema que se escoja para la UNGS, tampoco es relevante el agua usada por litro tratado.

¹⁸ Cálculo realizado sobre la producción de industrias europeas para 1 kg de policarbonato producido.

Huella de Carbono

Agua envasada

Se consideró 40 L de volumen de combustible consumido por cada 100 Km recorridos por el camión que distribuye los bidones de agua y 2,69 Kg de CO₂ emitidos por litro de combustible quemado (Galbusera, 2015). Según información brindada por personal de logística de la Empresa *Culligan Sparkling*, el camión que transporta los bidones de agua desde la planta embotelladora, ubicada en Montenegro 1380, Ciudad Autónoma de Buenos Aires (CABA), recorre 150 km por cada trayecto hacia la Universidad.

$$\frac{40L}{100Km} \times 2,69 \text{ KgCO}_2/L \times 150Km \times 2 = 322,8 \text{ KgCO}_2 \quad (\text{Según F\acute{o}rmula 1, p\acute{a}g. 41})$$

Así, se estimó que la HC implicada en el consumo de agua embotellada por la comunidad universitaria es de aproximadamente 322,8 Kg de CO₂.

Agua de pozo

Al igual que para la HH, el agua de pozo, independientemente del tratamiento que se escoja, presenta valores despreciables de emisiones de GEIs.

Indicadores energéticos

Agua envasada

Conociendo que el consumo de los *dispensers* es de 2.640,96 kWh por semana (López de Munain, en desarrollo), se estimó que el consumo mensual eléctrico es de aproximadamente 10.564 kWh.

Agua de pozo

Se consideró que la potencia de las bombas del *Campus* es de 2,3 kW, información estimada sobre la base de característica de los equipos de bombeo (UNGS, 2007).

$$\frac{12.765 \text{ L/mes}}{13.140 \text{ L/hora}} \times 2,3 \text{ kW} = 2,23 \text{ kWh/mes} \quad (\text{Según F\acute{o}rmula 2, p\acute{a}g. 42})$$

vi5. Indicadores económicos

Agua envasada

$$\left(\frac{\$29}{\text{bidón}} \times \frac{638,25 \text{ bidones}}{\text{mes}} \right) + \frac{\$100}{\text{mes}} + \left(\frac{10.563,84 \text{ kWh}}{\text{mes}} \times \frac{(\$0,00386 + \$0,132)}{\text{kWh}} \right) = \frac{\$20.044,50}{\text{mes}}$$

(Según **Fórmula 3**, pág. 42)

Se estimó que en promedio, se gastan \$20.000 por mes aproximadamente en el consumo de agua envasada.

Agua de pozo

Conociendo que el costo económico de kilowatt hora consumido es de \$0,00386 y el cargo adicional por horario es de \$0,132 (Edenor, 2008) se estimó que el gasto económico que se generaría al consumir electricidad prendiendo las bombas con el fin de extraer el agua subterránea para ingesta es despreciable, debido al bajo consumo energético que representa. Por ello, el costo económico sólo sería el invertido en el tratamiento correspondiente.

vii. TRATAMIENTOS DE AGUA

Sobre la base de los resultados obtenidos sobre la calidad de agua subterránea del *Campus*, se consideran los siguientes tratamientos de agua para cada contaminante:

Nitratos

Una de las primeras opciones a evaluar es la factibilidad de la reducción de la concentración de NO_3^- por dilución con agua de fuente diferente sin contaminar (o con menor concentración del analito deseado).

Otro método es el intercambio iónico, en el cual se utilizan resinas para purificar el agua. Los inconvenientes que presenta es que las resinas ya gastadas podrían ser cancerígenas y también se producen desechos con salmuera.

Hay otros tratamientos que se basan en separación de membrana, como la ósmosis inversa y la electrodiálisis; son métodos muy costosos, debido a que se necesita mucha energía para llevarlos a cabo. Otra dificultad es que también produce desechos con salmuera.

La desnitrificación biológica es un tratamiento de agua para el cual es necesario reducir el oxígeno disuelto en el agua a tratar antes de implementarlo. El inconveniente que

presenta es que luego de ser tratada, el agua contendrá bacterias y que la puesta en marcha de este método toma una gran cantidad de tiempo luego de detenerse.

Otro método es la desnitrificación química o catalítica. Para llevarlo a cabo se necesita que el agua tenga inicialmente una baja concentración de oxígeno disuelto y alto pH, también son necesarios un reductor con vapor de hidrógeno y la aplicación de calor. En el proceso se oxida hierro para reducir los nitratos y por el traspaso de electrones puede formarse amoníaco, lo cual requiere otro tratamiento. Éste es un método poco utilizado (Lennetch).

Pseudomonas aeruginosa

Un método para tratar aguas con éste microorganismo es limitar la formación de biopelículas, para lo cual se restringe el tiempo de residencia del agua en los sistemas de distribución (OMS, 2006).

Un posible tratamiento es mantener concentraciones residuales de desinfectantes en el agua a tratar. Los tratamientos de desinfección no sólo son muy eficientes en la destrucción de bacterias, sino también para inactivar virus y muchos protozoos (Clarck, 2009). A continuación se mencionan algunos de ellos:

La ozonización es el método más efectivo de desinfección ya que requiere poco tiempo de contacto con el agua, pero tiene como desventaja el alto costo económico.

La aplicación de dióxido de cloro es otra forma de desinfectar.

En el tratamiento de cloraminación se debe controlar la concentración de nitritos en el agua, ya que el cloro puede reducir los nitratos a esta especie, la cuál es más peligrosa para la salud humana que los nitratos.

La cloración es el método más utilizado para desinfectar aguas. En dosis suficientes, el cloro mata los microorganismos en 30 minutos (OMS, 2006). Esta forma de desinfección puede llevarse a cabo a partir de varias sustancias, siendo el principal efecto que el cloro reacciona oxidando. Un agente es el gas cloro licuado, el cual se comprime en recipientes a presión. Un clorador libera varias dosis de gas en el agua al mismo tiempo que controla el caudal del gas. Otro método de cloración es a través de sustancias que se diluyen formando el ión hipoclorito (ClO^-) y ácido hipocloroso (HClO). Estas soluciones pueden realizarse con cloro gaseoso, hipoclorito de sodio, e hipoclorito de calcio. Una bomba eléctrica de desplazamiento puede dosificar la solución o ésta puede suministrarse por gravedad. Hay varias técnicas de cloración: cloración a la dosis crítica (*breakpoint*), cloración marginal y supercloración-descloración (OMS, 2006). La cloración a la dosis crítica consiste en utilizar una dosis de cloro para descontaminar el agua, quedando un resto de cloro libre residual, el cual previene una nueva contaminación antes de que el agua llegue a ser consumida. Con el

método de cloración marginal se aplica una dosis de cloro tal que deje una concentración específica de cloro libre residual. Este tratamiento suele utilizarse en aguas que requieren poca cantidad de desinfectante. Por último, la supercloración-descloración consiste en aplicar una dosis alta de cloro, para así lograr una reacción rápida. En este caso, debe reducirse el exceso de cloro libre residual. Este es un tratamiento recomendado cuando la cantidad de bacterias en el agua varía y también cuando el tiempo en que el agua se encuentra en el depósito es insuficiente (Lennetch).

Bacterias coliformes

El método convencional para tratar agua contaminada con estas bacterias es la desinfección, la cual puede llevarse a cabo mediante: cloro, hipoclorito, ozono, ultravioleta y dióxido de cloro.

Otro tratamiento que puede utilizarse es una tecnología avanzada llamada ultrafiltración, la cual se utiliza para matar toda clase de microorganismos como bacterias, virus, protozoos, gérmenes y larvas (Lennetch).

viii. DISCUSIONES

Contaminación del agua subterránea en el *Campus*

Como pudo observarse en el apartado de resultados, los análisis de calidad de agua mostraron niveles de *Pseudomonas aeruginosa*, coliformes totales y nitratos mayores a los permitidos por el CAA.

Pseudomonas aeruginosa es un bacilo gram negativo aerobio con un flagelo polar, perteneciente a la familia *Pseudomonadaceae*. Puede proliferar en agua y en la superficie de materias orgánicas en contacto con el agua. El efecto sobre la salud humana es generar varios tipos de infecciones. En contacto con partes dañadas de un organismo, como heridas, quemaduras o lesiones en los ojos, esta bacteria coloniza y puede causar lesiones destructivas, septicemia y meningitis. Las personas más propensas a su colonización son aquellas con inmunodepresión o que sufren de fibrosis quística; en estos casos las infecciones son más relevantes, ya que pueden derivar en infecciones pulmonares progresivas graves. Si una persona está expuesta superficialmente al agua, como en una pileta, también puede causar foliculitis y otitis.

Las principales vías de infección son el contacto de tejidos vulnerables con agua contaminada con *P. aeruginosa*, como es el caso de heridas y mucosas. Otra exposición es la contaminación de instrumentos quirúrgicos y a través de limpieza de lentes de contacto con agua contaminada. Sin embargo, es sumamente relevante destacar que

la ingestión de agua de consumo contaminada con *Pseudomonas aeruginosa* no es una fuente de infección importante (OMS, 2006).

Los Nitratos son iones que forman parte del ciclo del nitrógeno. Pueden hallarse en aguas subterráneas por filtración o escorrentía en tierras de uso agrícola, ya que está presente en fertilizantes inorgánicos, por contacto con residuos humanos o animales y también por contaminación cloacal (OMS, 2006). El principal efecto sobre la salud humana, es la metahemoglobinemia, también conocida como “la enfermedad del bebé azul”. Provocada por la ingesta de agua contaminada con nitratos, esta enfermedad se desarrolla en lactantes, pudiendo provocarles la muerte.

En cuanto a las bacterias coliformes totales, este grupo de microorganismos se conforma por: *Escherichia*, *Enterobacter*, *Klebsiella*, *Serratia*, *Edwardsiella* y *Citrobacter*. Estas bacterias viven como saprófitos independientes o como bacterias intestinales. Todos pertenecen a la familia *Enterobacteriaceae*, son bacilos Gram negativos, anaerobios facultativos, no esporulantes, fermentadores de lactosa con producción de gas. La temperatura del agua, los efectos de la luz solar, las poblaciones de otras bacterias presentes y la composición química del agua influyen en la velocidad de mortalidad. Son contaminantes comunes que en grandes cantidades colonizan el tracto gastrointestinal de personas y animales de sangre caliente y son eliminadas a través de la materia fecal. Cuando las bacterias coliformes se encuentran en agua, su capacidad de reproducirse y de sobrevivir son limitadas debido a las diferentes condiciones ambientales. Ya que la detección de este grupo de bacterias permanece por más tiempo en el agua y se comportan de la misma forma que otras bacterias patógenas pero su determinación es más rápida y sencilla, frecuentemente se suelen usar las bacterias coliformes como indicadores de contaminación bacteriana. Por ello es que si bien no tienen efectos sobre la salud humana, es importante su detección debido a que revela la exposición del agua a un contaminante fecal.

Siendo el valor de pH permitido para el agua potable por el CAA entre 6,5 y 8,5, pudo observarse que todas las muestras lo superaron en algún caso, siendo 9,21 el valor más alto observado. Sin embargo, la OMS plantea que su valor óptimo es generalmente de 6,5 a 9,5 y no propone ningún valor de referencia basado en efectos sobre la salud para el pH, puesto que no suele afectar directamente a los consumidores.

Diferencias de calidad de agua entre ambos sistemas de dotación de agua

Como pudo observarse, mientras que las muestras de agua del Sistema 1 de dotación presentaron contaminación por *P. aeruginosa*, las del Sistema 2 mostraron presencia de coliformes totales. La contaminación con nitratos se vio en ambos sistemas.

Para evaluar las razones de la diferencia en la calidad de agua entre ambos sistemas, se debe considerar que si bien ambos pozos de extracción de agua subterránea son

semejantes en cuanto a las perforaciones (bombas, filtros, engranados, etc.), hay ciertas diferencias entre los sistemas de dotación en general. Como se mencionó anteriormente, los tanques de almacenamiento y distribución del Sistema 1 son de acero inoxidable y se encuentran a aproximadamente 8 metros del suelo, alimentando a las canillas por diferencia de gravedad. En el caso del Sistema 2, el material que compone los tanques es hormigón armado y estos se encuentran a nivel del suelo, por lo que el agua se distribuye hacia las canillas por un sistema hidroneumático compuesto por 3 equipos de bombeo. También es importante recalcar que, mientras que el Sistema 1 de dotación de agua únicamente alimenta al Módulo 1 y en éste sólo se desarrollan actividades de administración, en el resto de módulos, los cuales pertenecen al Sistema 2 se realizan diversas actividades, como dictado de clases teóricas y prácticas (laboratorios), desarrollo de eventos (auditorio, aula magna), cocina (bar, escuela infantil). También debe tenerse en cuenta que el Módulo 1 es concurrido mayormente por personal no docente, sin embargo, en los demás módulos asisten alumnos, docentes y eventualmente personas externas a la Universidad. Debido a la diferencia de actividades y de cantidad de usuarios en ambas redes de distribución, el consumo de agua es consecuentemente diferente. Por ello se puede afirmar que el pozo de extracción del Sistema 1 está menos explotado que el pozo del Sistema 2. Como se mencionó anteriormente, en promedio para el primer semestre del año 2015, el volumen de agua mensual extraído fue de 97.067 L en el Sistema 1 y 990.600 L en el Sistema 2. También se debe considerar que durante el mes de marzo, la explotación de agua subterránea es aún mayor en este último Sistema, puesto que en el inicio del ciclo lectivo ingresan una gran cantidad de alumnos nuevos, gran parte de los cuales deja sus estudios en los meses siguientes, por lo que el consumo de agua vuelve a disminuir. Esta fluctuación se observa todos los años.

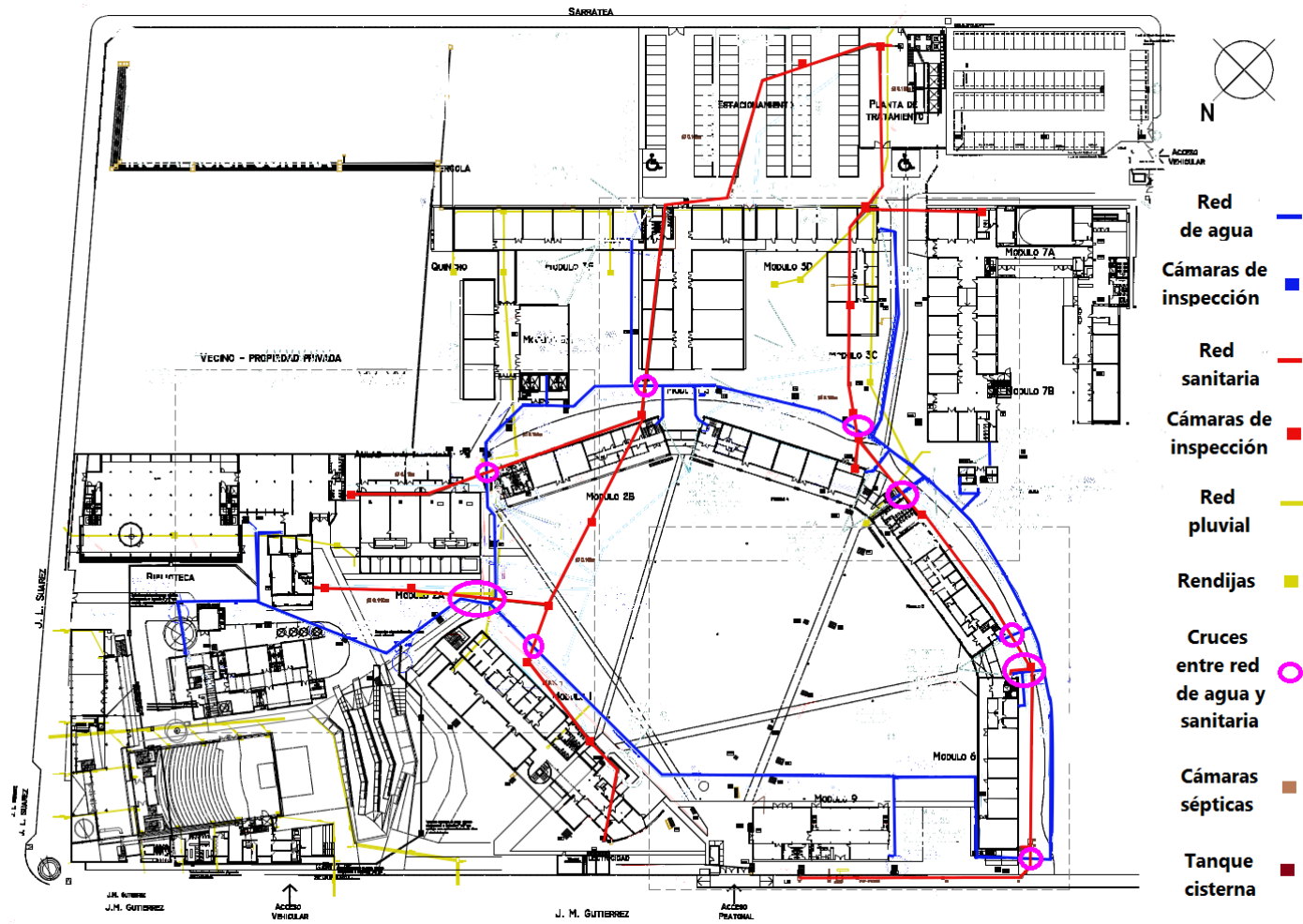
Se considera que la contaminación de los acuíferos por nitratos puede provenir de los pozos ciegos de las viviendas contiguas al *Campus* de la UNGS (dado que no poseen red cloacal). Por lo antes mencionado, es consistente considerar que los niveles de nitratos en el agua del pozo del Sistema 2 son mayores que en el caso del Sistema 1 debido a la mayor explotación del recurso hídrico. Hipótesis que se condice con el marcado aumento de la contaminación por este parámetro en el pozo del Sistema 2 durante el mes de marzo, cuando se acrecienta el consumo y por lo tanto la extracción de agua. Se plantea así la discusión sobre ello, suponiendo que la concentración de nitratos aumenta con la cantidad de agua que se extrae de los pozos, ya que el agua subterránea fluye desde lugares más lejanos que en el caso del Sistema 1, por lo que del pozo del Sistema 2 se extrae agua subterránea con mayores niveles de nitratos, la cual puede provenir de sitios en los cuales el acuífero se contamina debido a la incorrecta estructura de los pozos ciegos. La verificación de este planteo escapa a la investigación del presente estudio.

Como se observó en los resultados, la contaminación con *Pseudomonas aeruginosa* sólo afectó al Sistema 1. Se observó presencia de esta bacteria tanto en algunos

tanques de almacenamiento y distribución, como en una de las canillas. La razón por la cual esta bacteria no se encuentra presente en el Sistema 2 puede deberse a que en éste último el agua tiene un mayor movimiento, tanto por las veces que se carga y descargan los tanques como por la forma en que se impulsa hacia las canillas mediante bombas. Estas condiciones podrían limitar la formación de biopelículas, mientras que en el caso del Sistema 1, el agua permanece más tiempo en los tanques y al descargarse por gravedad, el flujo tiene menos movimiento.

Finalmente, la contaminación con bacterias coliformes totales sólo se observó en el Sistema 2, en todas sus canillas. Como se mencionó anteriormente, este resultado se obtuvo luego de la limpieza de los tanques de almacenamiento y distribución, no habiéndose observado antes. Una posibilidad que surge es la contaminación cruzada durante el procedimiento, sin embargo, la empresa que lo ejecutó, realizó análisis *in situ* en los cuales declaró que no observó la presencia de estas bacterias. Otra hipótesis es que un foco de contaminación es la red sanitaria del *Campus*. En la **Figura 7** se puede apreciar que las tuberías de la red de distribución de agua subterránea del Sistema 2 presentan algunos “cruces” con la red de aguas servidas, puntos en los cuales ambas cañerías se encuentran a una distancia muy cercana. Cabe aclarar que la profundidad de la red de agua es de aproximadamente 1,5 m en toda su extensión, mientras que la de la red cloacal varía entre 0,4 m y 1 m aproximadamente (en pendiente hacia la planta de tratamiento), por lo que, en profundidad, las tuberías también se encuentran próximas en dichos puntos.

Figura 7: Cruces entre las instalaciones de agua y sanitaria de la UNGS



Fuente: Elaboración propia sobre la base de planos del Programa de Infraestructura, UNGS.

Particularmente, se consideran a las Cámaras de Inspección (CI) de la red cloacal un potencial foco de contaminación, debido a la mayor exposición de las aguas servidas en estos puntos. Como se observa en la **Foto 11**, las tuberías de la red cloacal presentan cortes en todas las CI relevadas (excluyendo 2 casos en que están clausuradas y no pudieron observarse). Se tratan de cortes longitudinales en algunos casos y de cortes completos de las tuberías en otros, provocando que la materia fecal esté en contacto directo con el suelo. Considerando que la tubería de agua está siempre por debajo de la cloacal, las aguas servidas en estos puntos pueden infiltrarse y tener contacto con el agua en alguna fisura de los caños o bien en las uniones, teniendo en cuenta que los o’rings que los unen se encuentran deteriorados¹⁹. Este planteo explicaría el motivo por el que las bacterias coliformes no se encuentran presentes en el Sistema 1, ya que el agua extraída en el pozo 1 no tiene prácticamente recorrido fuera del Módulo 1 y por lo tanto no se encuentra próxima a la red cloacal.

Foto 11: Cámaras de Inspección de la red sanitaria del *Campus* de la UNGS



Fuente: Foto propia.

Explotación del agua subterránea

Cabe mencionar que si bien actualmente hay dos pozos de extracción de agua subterránea en el *Campus*, originalmente, se instalaron cuatro. Uno de ellos se ubicaba cerca del Módulo 1 (en el otro extremo del edificio con respecto al Pozo 1), el cual dejó

¹⁹ Comunicación personal con empleado de obra terciarizado de la UNGS.

de explotarse, se estima que durante el año 2013, por lo que actualmente se encuentra cegado (**Foto 12**).

Foto 12: Pozo de extracción cegado. Febrero 2014



Fuente: Foto propia.

Como se mencionó anteriormente, una de las bombas de extracción del *Campus*, la cual está ubicada cerca de la entrada del Módulo 2a (**Foto 13**), dejó de funcionar en el año 2012, por la rotura del equipamiento de bombeo. Cabe mencionar que el equipo de bombeo y la tubería externa aún están instalados en el lugar. Por ello se sugiere que se cegue esta perforación, ya que la instalación puede permitir el paso de distintas impurezas hacia el acuífero, sobre todo cuando hay precipitaciones.

Foto 13: Pozo de extracción fuera de funcionamiento. Febrero 2014



Fuente: Foto propia.

Huerta

Si bien la estimación del consumo de agua en el biotopo resultó considerablemente mayor que el volumen utilizado para el riego de los cultivos, el biotopo dejó de mantenerse en el transcurso del año 2014. En la actualidad se reanudaron las actividades en la huerta, incluyendo el riego, pero no así el biotopo.

Baño

Si bien inicialmente se pretendió calcular directamente el consumo de agua por persona, conociendo el volumen promedio de agua gastada por descarga, la cantidad de horas que una persona permanece en el *Campus* y habiendo obtenido por parte de la División de Administración de Personal y del Departamento de Estudiantes y Docentes, las cifras de la cantidad de personas que constituyen la comunidad universitaria (personal no docente, docentes, investigadores docentes con dedicación semi exclusiva y exclusiva y alumnos de grado y posgrado), no pudo realizarse la estimación de esa forma, debido a que la cantidad de alumnos inscriptos al inicio del

ciclo lectivo no representa la cantidad de estudiantes que efectivamente permanece asistiendo durante todo el año, siendo ésta última considerablemente menor.

Limpieza de los tanques de almacenamiento y distribución

Una vez al año se lleva a cabo la limpieza de todos los tanques de almacenamiento del *Campus*. Si bien en los últimos años esta tarea estaba siendo desarrollada por personal del Departamento de Mantenimiento y Servicios Generales de la UNGS, en el 2015, el trabajo fue realizado por la Empresa URBECO.

La metodología llevada a cabo en la limpieza fue la siguiente:

Inspección inicial y desagote por compartimentos: se prepara un sistema de *by pass* para trabajar por compartimentos y así no dejar sin suministro de agua al establecimiento durante el desagote. Se utilizan bombas de achique de potencia regulada y mangas plásticas para el traslado del agua.

Apertura de tapas, control y limpieza de las mismas: una vez vacío un compartimento, se abre una de las tapas de acceso lateral, se cepilla e inspecciona.

Limpieza y desinfección de paredes, pisos y techos: una vez abierto el tanque de almacenamiento, se ingresa a éste para disminuir los barros de fondo, cepillar paredes, pisos y techos interiores. La tarea de desinfección se realiza con Hipoclorito de Sodio.

Enjuague: en la etapa final, una vez limpio el tanque, se enjuagan sucesivamente hasta obtener un agua totalmente cristalina y sin residuos del cloro utilizado en la limpieza.

Cabe mencionar que estas tareas de limpieza en la totalidad de los tanques de almacenamiento y distribución del *Campus*, se realizaron en un lapso de aproximadamente 3 hs.

Analizando los resultados obtenidos en el presente estudio, puede mencionarse que no se observaron mejoras en la calidad del agua luego del procedimiento. Para el Sistema 1 la presencia de *Pseudomonas aeruginosa* persistió a la desinfección realizada y para el Sistema 2 peor aún, se observó la presencia de bacterias coliformes totales sólo después de que se llevó a cabo la limpieza.

Como se mencionó, luego del procedimiento de limpieza de los tanques de almacenamiento y distribución, el mismo personal realizó análisis *in situ* de la calidad del agua contenida en estos. La Empresa concluyó que el agua es apta para consumo humano según los estándares guía del CAA. En la CABA, según la Ordenanza Nº 45593 GCBA, los análisis bacteriológicos deben ser repetidos luego de 6 meses, sin embargo, no lo hace en otras localidades. Se recomienda proceder de igual manera en los servicios prestados en otros lugares también.

Dispensers potabilizadores de agua

Durante el año 2014, la UNGS evaluó la factibilidad de reemplazar otro sistema de dotación provisto por la Empresa *Slake*. Se tratan de *dispensers* que toman agua directamente de la red, sin necesidad de bidones, pasándola a través de un sistema de filtrado para mejorar su calidad. El mismo consta de diferentes filtros de sedimentos que retienen partículas, de intercambio iónico que retiene calcio y magnesio, de carbón activado que elimina olores y color y uno ultravioleta (UV) que elimina bacterias. El Área de Química de la UNGS llevó a cabo en junio de ese año una prueba piloto para analizar la potabilidad del agua filtrada por uno de estos *dispensers*, concluyendo que no es apta para consumo humano, ya que la muestra presentó más de 500 UFC de bacterias aerobias mesófilas viables totales en 100 mL y presencia de *P. aeruginosa* en 100 mL de muestra. Además, se considera que la capacidad de volumen que soportan los filtros antes de tener que ser reemplazados y la factibilidad económica del reemplazo eventual de los filtros, no lo hacen una alternativa conveniente. Por ello se descartó este método como futuro sistema de dotación de agua.

Bidones de agua

Teniendo en cuenta los resultados del análisis de la calidad de la muestra del bidón de agua de consumo, se puede afirmar que este recurso es potable. Por ello, en caso de no llevarse a cabo ningún tratamiento potabilizador del agua subterránea, se puede continuar consumiendo el agua comercial de manera segura.

Si bien en este trabajo se abordó la caracterización del escenario del consumo de agua embotellada desde un punto de vista ambiental y económico, es importante recalcar también el enorme trabajo que representa la logística de los bidones de agua para el Departamento de Mantenimiento y Servicios Generales de la UNGS. Esto se debe a que desde que los bidones son entregados en el *Campus* y es tarea del personal de este Departamento repartir los más de 600 bidones mensuales para dejarlos próximos a los 35 *dispensers* del *Campus*, muchos de los cuales se encuentran en los 1eros y 2dos pisos de los módulos, con lo que también se debe tener en cuenta las ocasiones en las que los ascensores no se encuentran en funcionamiento. Este esfuerzo, que conlleva media jornada semanal de trabajo para el personal mencionado, debe considerarse a la hora de evaluar en totalidad los pro y los contras del sistema actual de dotación de agua para ingesta de la Universidad.

Agua embotellada

Es importante mencionar algunos puntos sobre la producción del agua embotellada en general. En cuanto a los envases, para la producción de las botellas utilizadas se requiere un enorme costo energético. En Argentina se consumen aproximadamente

500 mil botellas por hora, es decir, son 12 millones los envases que se tiran diariamente, 95% de los cuales son de material plástico Politereftalato de Etileno (PET) (Infobae, 2013). Si bien en las etiquetas se aclara que las botellas son 100% reciclables, la mayor parte de éstas se desechan sin ser recicladas, terminando tanto en rellenos sanitarios, como en ríos, lagos, o en el medio del océano. El PET es un material estable y efectivamente indestructible, pero estas mismas características que lo hacen tan conveniente para hacer envases, son las que provocan que aquellas botellas desechadas permanezcan en el ambiente por una importante cantidad de años. Por otra parte, el origen del agua utilizada varía dependiendo de la marca comercial. En general se promociona que la fuente de agua son manantiales, ríos o glaciares, sin embargo, muchas veces el recurso es agua subterránea. Si bien este uso particular es una fracción pequeña comparado con otros consumos de agua subterránea, si se analiza localmente en comunidades donde están las grandes plantas embotelladoras, la cantidad de agua bombeada para embotellar es una fracción local sustancial de la productividad del acuífero explotado. Hay casos donde los pozos de agua subterránea y los arroyos han sido secados por sobreexplotación de bombeo de agua subterránea local. En cuanto al dinero invertido, en los casos en que las empresas embotelladoras extraen agua municipal, las compañías pagan la misma cantidad de dinero o menos que los residentes y las empresas cuya agua proviene de manantiales, pagan centavos por permisos para tomar el recurso (Gleick, 2010). En algunas ocasiones no es necesario ningún tratamiento del agua porque originalmente la fuente es de una alta calidad. Por ello, las compañías embotelladoras de agua ganan miles de veces más de dinero que lo que invierten. Así, en su libro *"Bottled and Sold"* Gleick plantea que hay desafíos ambientales asociados al uso de las botellas de agua: el costo energético y las consecuencias de desechar el plástico, sumado a los problemas que puede traer la extracción de agua. Por otra parte, es importante mencionar que en muchos lugares, como sucede en el *Campus* de la UNGS, el agua subterránea es de buena calidad o bien requieren de tratamientos no tan costosos para su potabilización. Si bien a veces hay razones de salud por las que la gente debe beber agua embotellada, en muchos casos el consumo de este producto se debe a que la gente no le gusta el sabor del agua de red. Esto muchas veces sucede cuando es tratada con cloro, lo cual puede mitigarse sin mayores inconvenientes, dejando que el cloro se evapore antes de ingerir el agua. Otras razones por la preferencia hacia el agua embotellada, es la desconfianza que la gente tiene hacia el agua de red en general y a la subterránea en particular, la conveniencia y facilidad con la que las botellas de agua pueden adquirirse y la publicidad de las compañías embotelladoras, las cuales afirman que el consumo de agua "mineral" produce mejor salud y estado físico, además de afirmar muchas veces que el agua de red y/o subterránea no es apta para consumo en ningún sitio, generándose un miedo infundado hacia el uso para ingesta del agua y una consecuente falsa necesidad de agua envasada para consumo.

Estudios realizados de calidad de agua subterránea

A continuación se comparan los resultados más recientes relevados por diferentes instituciones:

- Presente estudio (agosto y octubre 2014, marzo 2015).
- Área de Química, UNGS (diciembre 2013).
- Municipalidad de Malvinas Argentinas (abril y octubre de 2014).
- ADA (marzo y octubre de 2012) (**Tablas 11 y 12**).

Tabla 11: Comparación de distintos análisis de calidad de agua subterránea del Campus de la UNGS. Sistema 1 de dotación de agua (Módulo 1)

Límite establecido por el CAA			≤ 3 UFC en 100mL	Ausencia en 100mL	Ausencia en 100mL	45 mg/L	400 mg/L	0,01 mg/L	350 mg/L
Muestreos	Resultados	Parámetro	Bacterias coliformes (UFC/100 mL)	<i>E. coli</i> (UFC en 100 mL)	<i>P. aeruginosa</i> (UFC/100 mL)	Nitratos (mg/L)	Dureza total (mL de CaCO ₃)	Arsénico (mg/L)	Cloruros (mg/L)
		Mes							
P1	Propios	Agosto	< 3	Ausencia	Ausencia	38,5	6,48	<0,01	22
		Octubre	< 3	Ausencia	Ausencia	15,0	3,92		20
		Marzo	< 3	Ausencia	Ausencia	46,5	7,24		25
	Área de Química								
	Municipalidad ADA		< 2,2	Ausencia	Ausencia	16,6	80	< 0,001	28
T1a	Propios	Agosto	< 3	Ausencia	Ausencia	30,8	1,08		20
		Octubre	< 3	Ausencia	Ausencia	26,1	4,44*		22
		Marzo	< 3	Ausencia	Ausencia	48,1	3,68*		23
	Área de Química								
	Municipalidad ADA								
T1b	Propios	Agosto	< 3	Ausencia	Ausencia	50,1	1,53		19
		Octubre	< 3	Ausencia	Ausencia	17,7	3,58		76
		Marzo	< 3	Ausencia	Ausencia	45,4	3,76		30
	Área de Química								
	Municipalidad ADA								
T1c	Propios	Agosto	< 3	Ausencia	2	33,3	4,92		22
		Octubre	< 3	Ausencia	Ausencia	26,7	4,42		25
		Marzo	< 3	Ausencia	6	35,8	3,72		45
	Área de Química								
	Municipalidad ADA								
T1d	Propios	Agosto	< 3	Ausencia	2	37,7	4,80		22
		Octubre	< 3	Ausencia	1	42,8	4,32		24
		Marzo	< 3	Ausencia	Ausencia	39,0	3,42		21
	Área de Química								
	Municipalidad ADA								

T1e	Propios	Agosto	< 3	Ausencia	Ausencia	39,9	4,34		22
		Octubre	< 3	Ausencia	Ausencia	35,5	3,94		26
		Marzo	< 3	Ausencia	1	36,0	3,70		22
	Área de Química								
	Municipalidad								
	ADA								
C1a	Propios	Agosto	< 3	Ausencia	1	40,6	4,52		25
		Octubre	< 3	Ausencia	Ausencia	23,6	4,06		19
		Marzo	< 3	Ausencia	Ausencia	23,7	3,16		20
	Área de Química								
	Municipalidad								
	ADA								
C1b	Propios	Agosto	< 3	Ausencia	Ausencia	57,4	4,30		25
		Octubre	< 3	Ausencia	Ausencia	30,1	4,76		39
		Marzo	< 3	Ausencia	Ausencia	29,7	4,14*		21
	Área de Química	< 3	Ausencia	Presencia					
	Municipalidad	< 3	Ausencia	Ausencia	45				
	ADA								

Nota: Las casillas sombreadas se corresponden a valores que superan el valor establecido por el CAA.

Las casillas con trama oscura corresponden a la carencia de análisis.

(*): Medición de Ca por debajo del límite de detección.

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 12: Comparación de distintos análisis de calidad de agua subterránea del *Campus* de la UNGS. Sistema 2 de dotación de agua (Módulo 7)

Límite establecido por el CAA			≤ 3 en 100mL	Ausencia en 100mL	Ausencia en 100mL	45 mg/L	400 mg/L	0,01 mg/L	350 mg/L
Muestras	Resultados	Parámetro	Bacterias coliformes (UFC/100 mL)	<i>E. coli</i> ((UFC/100 mL)	<i>P. aeruginosa</i> (UFC/100 mL)	Nitratos (mg/L)	Dureza total (mL de CaCO ₃)	Arsénico (mg/L)	Cloruros (mg/L)
		Mes							
P7	Propios	Agosto	< 3	Ausencia	Ausencia	47,0	3,70	<0,01	33
		Octubre	< 3	Ausencia	Ausencia	43,9	5,82		34
		Marzo	< 3	Ausencia	Ausencia	76,8	3,38		32
	Área de Química								
	Municipalidad								
	ADA		< 2,2 / 100mL	Ausencia	Ausencia	29,9	115	0,001	41
T7	Propios	Agosto	< 3	Ausencia	Ausencia	64,5	3,96		33
		Octubre	< 3	Ausencia	Ausencia	38,7	4,56		36
		Marzo	< 3	Ausencia	Ausencia	68,5	3,70		34
	Área de Química								
	Municipalidad								
	ADA								
C2a	Propios	Agosto	< 3	Ausencia	Ausencia	73,0	3,62		36
		Octubre	< 3	Ausencia	Ausencia	37,6	3,90		31
		Marzo	400	Ausencia	Ausencia	55,1	3,40		34
	Área de Química								
	Municipalidad								
	ADA								
C2b	Propios	Agosto	< 3	Ausencia	Ausencia	48,4	8,72*		25
		Octubre	< 3	Ausencia	Ausencia	55,1	4,70		29
		Marzo	1500	Ausencia	Ausencia	49,4	3,52		34
	Área de Química		7,3	Positivo	Positivo				
	Municipalidad								
	ADA								
C4	Propios	Agosto	< 3	Ausencia	Ausencia	58,3	8,68*		33
		Octubre	< 3	Ausencia	Ausencia	59,0	3,66		36
		Marzo	100	Ausencia	Ausencia	79,9	3,84		33
	Área de Química								
	Municipalidad								
	ADA								
C5	Propios	Agosto	< 3	Ausencia	Ausencia	66,3	7,36*		32
		Octubre	< 3	Ausencia	Ausencia	62,5	4,72		31
		Marzo	300	Ausencia	Ausencia	60,4	4,42		31
	Área de Química								
	Municipalidad								
	ADA								

C6	Propios	Agosto	< 3	Ausencia	Ausencia	65,3	4,34		36
		Octubre	< 3	Ausencia	Ausencia	47,6	4,48		32
		Marzo	300	Ausencia	Ausencia	47,2	3,58		33
	Área de Química								
	Municipalidad								
	ADA								
C9	Propios	Agosto	< 3	Ausencia	Ausencia	62,9	4,26		33
		Octubre	< 3	Ausencia	Ausencia	54,8	4,12		31
		Marzo	200	Ausencia	Ausencia	55,6	3,72		33
	Área de Química	14	Positivo	Positivo					
	Municipalidad								
	ADA								
Cbib	Propios	Agosto	< 3	Ausencia	Ausencia	65,6	4,42*		37
		Octubre	< 3	Ausencia	Ausencia	68,6	4,16		34
		Marzo	1300	Ausencia	Ausencia	61,8	4,42		34
	Área de Química	3,6	Positivo	Positivo					
	Municipalidad								
	ADA								
Cei	Propios	Agosto	< 3	Ausencia	Ausencia	65,5	37,75		33,3
		Octubre	< 3	Ausencia	Ausencia	47,7	4,14*		31
		Marzo	1900	Ausencia	Ausencia	42,2	4,22		34
	Área de Química								
	Municipalidad								
	ADA								

Nota: Las casillas sombreadas se corresponden a valores que superan el valor establecido por el CAA.

Las casillas con trama oscura corresponden a la carencia de análisis.

(*): Medición de Ca por debajo del límite de detección.

Fuente: Elaboración propia.

Es importante mencionar que no se encontraron antecedentes de análisis de calidad de agua de los bidones de *Culligan Sparkling*.

Como se observa, mientras que la ADA declaró que las muestras de agua de los pozos de extracción son aptas para consumo y la Municipalidad de Malvinas Argentinas que la muestra de una canilla de cocina y una de baño también es apta para el consumo humano, el Área de Química de la Universidad afirmó que las muestras de 5 diferentes canillas resultaron no potables. Se recalca así la importancia de un estudio integral, como es el caso del presente estudio, que contemple el análisis de todos los posibles puntos de las redes de distribución de agua, replicando los sitios y con las mismas metodologías.

Debido a que las muestras de agua de ambos pozos de extracción no presentaron niveles mayores a los permitidos en el resto de los parámetros medidos, se puede afirmar que en el área de influencia del *Campus* de la UNGS, el Acuífero Puelche sólo presenta contaminación con nitratos. Es por ello que para que el consumo de agua

subterránea no represente un riesgo para la salud humana, puede prevenirse la contaminación si previamente se detectan los focos, o se debe realizar un tratamiento de aguas para la eliminación de los nitratos en particular o bien, en caso de no hacerlo, asegurarse de que las personas de grupo de riesgo no la consuman, es decir, niños en edad de lactancia, embarazadas y/o personas inmunodeprimidas.

Indicadores

En cuanto a la Huella Hídrica del escenario “Agua envasada”, un punto de gran importancia a tratar es el elevado consumo de agua que la empresa *Culligan* tiene por botellón de agua, aproximándose al doble del agua que ofertan. Si bien la empresa toma agua de Agua y Saneamientos Argentinos S. A. (AySA) y por lo tanto, del Río de la Plata, por lo que puede considerarse un recurso virtualmente infinito desde el punto de vista de su volumen debido al gran caudal del río, el elevado consumo de agua muestra una insustentabilidad productiva. Como se mencionó anteriormente, al ser la HH aproximadamente 2 litros por litro de agua producido, prácticamente el 100% del agua que se consume por bidón es invisible.

Con respecto a la HH del escenario “Agua de pozo”, se debe tener en cuenta que, en caso de que se opte por utilizar el agua extraída de pozo para consumo, deben considerarse las pérdidas posibles en el trayecto por la red de distribución a la hora de calcular este indicador.

En cuanto a la estimación de la Huella de Carbono del escenario “Agua envasada”, si bien un cálculo más preciso debería considerar el tipo de motor que tienen los camiones de la Empresa, el cálculo realizado es estándar para un camión de 25 toneladas viajando en ruta; sin embargo, los resultados no varían significativamente para un camión de menor tamaño que se traslada por una ciudad. También debe considerarse que la cifra resultante sería aún mayor si se considera que el tramo hacia la Universidad lo hace cargado y en horario de mayor tránsito, por lo que se estaría emitiendo más cantidad de GEIs. Finalmente, como en el caso de la HH, para calcular la HC se debe sumar las emisiones generadas en la producción de los bidones de agua utilizados, sin embargo, no se pudo adquirir este dato.

En el cálculo del consumo energético del escenario “Agua envasada”, no fue posible obtener información sobre el gasto eléctrico que se realiza en la planta embotelladora. Sin embargo, cabe mencionar que este es un punto que no debe dejar de considerarse a la hora de aplicar integralmente el indicador en todas las etapas de producción.

En el mismo indicador del escenario “Agua de pozo”, se estimó el cálculo considerando la cantidad de veces que los equipos de bombeo de agua se encienden cuando el agua de los tanques de almacenamiento y distribución está a punto de agotarse. Para un cálculo más preciso habrá que conocer cuánto tiempo las bombas están encendidas por día.

ix. CONCLUSIÓN

Al analizar las estimaciones realizadas sobre la base de los indicadores propuestos, comparando los resultados del posible escenario de abastecimiento “Agua de pozo” con el escenario actual “Agua envasada”, se observa que en el primer caso, la Huella Hídrica es despreciable mientras en el segundo es prácticamente el doble de lo que se produce. En cuanto a la Huella de Carbono, este indicador también es considerado despreciable en comparación, siendo de aproximadamente 322,8 Kg de CO₂ en el caso del agua embotellada. Los cálculos energéticos mostraron que, mientras que con el escenario “Agua de pozo” se consumirían alrededor de 2,23 kWh al mes, con el de agua envasada se consumen mensualmente más de 10.500 kWh. En cuanto al costo económico, mientras que la extracción de agua subterránea representaría el gasto del tratamiento elegido si lo hubiese, la adquisición de botellones de agua comercializada cuesta en promedio más de \$20.000 por mes.

Pudo observarse que en caso de implementarse el segundo escenario, es decir, la extracción de agua subterránea, esto no representaría una sobreexplotación del Acuífero Puelche, puesto que la cantidad de agua consumida para ingesta no representa un aumento significativo del volumen actualmente extraído, siendo aproximadamente el 1,17% del volumen de agua subterránea destinada a los otros usos en el *Campus*.

En síntesis, por todo lo expuesto, en primer lugar se recomienda hacer una revisión exhaustiva del sistema de ductos, para descartar o afirmar la supuesta contaminación cruzada entre red de agua y red sanitaria y, en caso de ser necesario, realizar las reparaciones pertinentes.

Luego, en caso de no poder prevenirse la contaminación del agua con nitratos, como se mencionó, puede aplicarse un tratamiento para eliminarla o bien, en caso de no hacerlo, se deberá advertir que los lactantes no consuman este agua. Una forma de prevenirlo podría ser dejar algunos *dispenser* con agua envasada en la Escuela Infantil.

En cuanto a los parámetros *P. aeruginosa* y coliformes totales, se recomienda que se programen y controlen de forma más rigurosa la limpieza de los tanques de almacenamiento y distribución, bajo supervisión de personal idóneo de la Universidad. También que se monitoree periódicamente la calidad del agua. Para mayor practicidad pueden realizarse análisis de agua proveniente de las canillas y, en caso de observarse resultados inesperados, tomar muestras de los pozos y comprobar en qué punto se ve afectada la calidad del agua para poder encontrar una solución. También se recomienda, para un uso sustentable del agua, que se tengan en cuenta la recarga de los acuíferos por infiltración, a fin de no sobreexplotar el recurso hídrico.

Si bien el hecho de quitar los *dispensers* implicaría no tener disponibilidad de agua potable caliente para la comunidad universitaria, esto puede solucionarse con el uso de calentadores eléctricos, por parte de la propia comunidad o bien poniéndolos a

disposición en las cocinas y en el bar o incluso instalando algún tipo de *dispenser* para este fin.

Observando la diferencia de resultados y puntos de muestreo entre los distintos antecedentes de calidad del agua subterránea del *Campus*, se concluye que es importante la realización de un análisis integral de las redes de distribución, como el aquí presentado, a la hora plantear una correcta gestión del recurso.

Finalmente, en cuanto al uso del recurso hídrico subterráneo en general, se debe remarcar la importancia de invertir en un conocimiento técnico previo de la calidad del agua de los acuíferos explotados, para conocer así la factibilidad de tratamientos potenciales de potabilización, como también se debe invertir en la exploración de nuevas alternativas de fuentes de agua potable, siendo de vital importancia la concientización de la comunidad a la hora de gestionar el recurso hídrico.

Por todo lo expuesto se afirma que, tal como se planteó en la hipótesis, tanto ambiental como económicamente, es conveniente tratar el agua subterránea del *Campus* para que ésta sea potable y reemplazar así el consumo de agua embotellada.

x. BIBLIOGRAFÍA

Alsina G., Borello, J. (coord.) Miño M. (ed) (2004). *Diagnóstico Ambiental del partido de Malvinas Argentinas 2004*. Ed. UNGS. Los Polvorines, Buenos Aires.

Auge M. P. (1982). *Recarga y descarga del Acuífero Puelche en la Cuenca del Río Matanza. Provincia de Buenos Aires, República Argentina*. En: Actas 4º Congreso Mundial de Recursos Hídricos. Buenos Aires.

Auge M. P. (1986). *Hydrodynamic Behaviour of the Puelche Aquifer in Matanza River Basin. Groundwater*. Vol. 25: 636-643. Dublin: Ohio.

Auge M. P. (2003). *Vulnerabilidad de los acuíferos. Conceptos y métodos. Hidrores. Rediris*. Recuperado de: <http://tierra.rediris.es/hidrored/ebvulnerabilidad.html>. Última visita: 10/06/15.

Auge M. P. y Hernández M. A. (1984). Características geohidrológicas de un acuífero semiconfinado (Puelche) en la llanura bonaerense. Su implicancia en el ciclo hidrológico de llanuras dilatadas. En Actas del Coloquio Internacional sobre Hidrología de Grandes Llanuras UNESCO, Volumen 2: 1021–1042. Olavarría.

Auge M. P., Hernández M. y Hernández L. (2002). Actualización del conocimiento del Acuífero semiconfinado Puelche en la Provincia de Buenos Aires, Argentina. Actas del XXXII IAH & VI ALHSUD Congress 629-633. Mar del Plata. Argentina

Ávila de Navia S. et al. (2005). *Indicadores microbiológicos de contaminación en las fuentes de agua*. Universidad Mayor de Cundinamarca. Vol.3 No. 4. ISSN:1794-2470.

Botto S. (2009). *Tap water vs. bottled water in a Footprint Integrated approach*. Nature Precedings.

Bousted I. (2005). *Ecoprofile of the European Plastic Industry: Polycarbonate Plastic Europe*.

Bróccoli, B. (2009). "Arquitectura Conciente": aprovechamiento de agua pluvial. Argentina Investiga. Divulgación y Noticias Universitarias. Recuperado de http://argentinainvestiga.edu.ar/noticia.php?titulo=%93arquitectura_conciente%94:_aprovechamiento_de_agua_pluvial&id=518#.VT6_ytJ_Oko. Última visita: 28/04/15.

Bundschuh J., Perez Carrera A., Litter M. I. (ed) (2008). *Distribución del arsénico en las regiones Ibérica e Iberoamericana*. CYTED.

Clark D., Dunlap P., Madigan M., Martinko J., (2009) *Brock. Biología de los microorganismos*. 12ª edición. Ed: Pearson. ISBN: 13 9788478290970.

Edenor (2008). Cuadro Tarifario – Tarifa 3. Recuperado de http://www.edenor.com.ar/cms/SP/EMP/ACE/EST_CUA_t3.html. Última visita: 06/07/15.

Fernández L., Martucci L. (2005). *Calidad de agua de consumo*. En: Diagnóstico ambiental del Municipio de José C. Paz. UNGS.

Fidalgo F., De Francesco O. y Pascual R. (1975). Geología superficial de la Llanura Bonaerense. En Actas del VI Congr. Geol. Arg. Relatorio: 103-138. Buenos Aires

Galbusera S. (2015). *Huella de Carbono*. Comunicación personal.

Gleick P. (2010). *Book Discussion on Bottled and Sold*. Recuperado de <http://www.c-span.org/video/?294515-1/book-discussion-bottled-sold>. Última visita: 25/05/15.

Global University Network for Innovation (GUNI), International Association of Universities (IAU), Association of African Universities (AAU) (2011). *The promotion of sustainable development by higher education institutions in Sub-Saharan Africa*.

Groeber P. (1945). *Las aguas surgentes y semisurgentes del Norte de la Provincia de Buenos Aires*. Revista La Ingeniería, año 49, 6: 371-378. Buenos Aires.

Hanco W. (2008). *Impacto en la salud por consumo de agua dura en pobladores de la parte baja del río Chili*. Arequipa, Perú.

Hauser G., Ziblat D. (2012). *Eco-Campus Quinta Esencia*. ARQA. Recuperado de http://arqa.com/_home/campus-quinta-esencia.html. Última visita: 17/03/15.

Hernández M. A. (1975). *Efectos de la sobreexplotación del agua subterránea en el Gran Buenos Aires y alrededores, República Argentina*. 2º Congreso Latinoamericano de Geología Económica, Actas T1: 435-450, Buenos Aires.

Herrero A. C. (2004). *Capítulo La problemática ambiental urbana*. En: *Ecología de la ciudad*. Ed. Prometeo-UNGS.

Herrero A. C. (2006). *Desarrollo metodológico para el análisis del riesgo hídrico poblacional humano en cuencas periurbanas. Caso de estudio: Arroyo Las Caronas, Región Metropolitana de Buenos Aires*. Tesis Doctoral Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad de Buenos Aires, 1T: 1–170 pgs., 2T: 105 pgs. (Inédito). Buenos Aires.

Herrero A. C., Fernandez L. (2008). *De los ríos no me río. Diagnóstico y reflexiones sobre las Cuencas Metropolitanas de Buenos Aires*. Ed. TEMAS. Buenos Aires.

Herrero A. C., Fernández L., Ramírez S. (2002). *Calidad de agua de consumo*. En: *Diagnóstico ambiental del Municipio de Pilar*. UNGS.

Herrero A. C., Ramírez S. (2001). *Calidad de agua de consumo*. En: *Diagnóstico ambiental del Municipio de San Miguel*. UNGS.

La Argentina recicla menos del 15% de las botellas que se consumen (2013). Infobae. Recuperado de: <http://www.infobae.com/2013/07/03/718374-la-argentina-recicla-menos-del-15-las-botellas-que-se-consumen>. Última visita: 26/05/15.

Lenntech. Water Treatment Solution. Recuperado de <http://www.lenntech.es>. Última visita: 28/04/2015.

Lewis W. J., Foster S.S.D., Drasar B.S. (1988). *Análisis de contaminación de las aguas subterráneas por sistemas de saneamiento básico*. CEPIS/OPS/OMS.

Lopez de Munain D. (en desarrollo). *Sustentabilidad ambiental de instituciones de enseñanza universitaria en el conurbano bonaerense. Gestión de la energía en el Campus de la UNGS*. Trabajo en marco de la Beca de Estímulo a las vocaciones científicas - Consejo Interuniversitario Nacional.

Lukman R. et al. (2009). *Towards greening a University Campus: The case of the University of Maribor, Slovenia*. En: *Resources, Conservation and Recycling*.

Momo *et al.* (1999) *Mapping the water quality of the Puelchense subaquifer in Lujan (Argentina)*. En: Water pollution V. Modelling, measuring and prediction. WIT Press. Pp. 493-501.

Niera Gutiérrez M. (2006). *Dureza en aguas de consumo humano y uso industrial, impactos y medidas de mitigación. Estudio de caso: Chile*. Universidad de Chile. Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas. Departamento de Ingeniería Civil.

Olcina J., Moltó Mantero E. (2010). *Recursos de agua no convencionales en España: Estado de la cuestión*. Instituto Interuniversitario de Geografía. Universidad de Alicante. ISSN: 0213-4691.

Organización Mundial de la Salud (2006). *Guías para la calidad del agua potable. PRIMER APÉNDICE A LA TERCERA EDICIÓN. Volumen 1. Recomendaciones*.

Organización Mundial de la Salud (2008). *Proteger la salud frente al cambio climático. Día mundial de la salud 2008*.

Santa Cruz J. M. (1972). *Estudio sedimentológico de la Formación Puelches en la Provincia de Buenos Aires*. Revista de la Asoc. Geol. Arg. T27, 1: 5-62. Buenos Aires.

Silva Busso A., Santa Cruz J. (2005). *Distribución de elementos traza en las aguas subterráneas del Partido de Escobar, Buenos Aires, Argentina*. En: Ecología Austral 15:31-47.

Spinola, E. (2014). *La primera Universidad en utilizar energía sustentable*. Recuperado de http://argentinainvestiga.edu.ar/noticia.php?titulo=la_primera_universidad_en_utilizar_energia_sustentable&id=2087#.VT67GdJ_Okp Última visita 28/04/15. Última visita: 28/04/15.

The Clark University climate action plan (2009).

The University of Western Australia (2012). *ISCN-GULF Sustainable Campus Charter Report*.

Universidad Autónoma de Madrid. *Oficina EcoCampus*. Recuperado de http://www.uam.es/servicios/EcoCampus/especifica/eco_oficina.htm Última visita: 28/04/15.

Universidad de Cantabria (2012). *Agua*. Recuperado de <http://www.unican.es/EcoCampus/gestion-ambiental/agua.html> Última visita: 28/04/15.

Universidad Nacional de General Sarmiento (2007). *Tramitaciones para la obtención del certificado de exportación del recurso hídrico subterráneo – Sede Campus.*

Universidad Nacional del Nordeste. *Propuesta: Proyecto EcoCampus UNNE.* Recuperado de <http://cegae.unne.edu.ar/EcoCampus.html>. Última visita: 09/13.

SIGLAS

ADA: Autoridad del Agua

AySA: Agua y Saneamientos Argentinos S. A.

CAA: Código Alimentario Argentino

CABA: Ciudad Autónoma de Buenos Aires

CEE: Conductancia eléctrica específica

CI: Cámaras de Inspección

E. coli: Escherichia coli

EPA: Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos de América

GEI: Gas de Efecto Invernadero

HACRE: Hidroarsenicismo Crónico Regional Endémico

HC: Huella de Carbono

HH: Huella Hídrica

ICI: Instituto de Ciencias

IGN: Instituto Geográfico Nacional

INA: Instituto Nacional del Agua

INTA: Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria

NPS: Set de almohadillas de nutrientes

OMS: Organización Mundial de la Salud

ONG: Organización No Gubernamental

P. aeruginosa: Pseudomonas aeruginosa

PET: Politereftalato de etileno

ppm: Partes por millón

RMBA: Región Metropolitana de Buenos Aires

UFC: Unidades Formadoras de Colonias

UAM: Universidad Autónoma de Madrid

UC: Universidad de Cantabria

UNA: Universidad Nacional de las Artes

UNGS: Universidad Nacional de General Sarmiento

UNLP: Universidad Nacional de La Plata

UNNE: Universidad Nacional del Nordeste

UV: Ultravioleta

UWA: Universidad de Australia del Oeste