



**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL COMAHUE**



**FACULTAD DE CIENCIAS DEL  
AMBIENTE Y LA SALUD**

**Tesis de grado para optar por el título de  
Licenciado en Saneamiento y Protección Ambiental**

**“Evaluación de la puesta en marcha del Laboratorio Mock-up  
sobre la calidad del agua del río Pichi Leufú, Pilcaniyeu, provincia  
de Río de Negro, Comisión Nacional de Energía Atómica”**

**Autor: Sebastián Bohigues**

**Legajo: 71605**

**DNI: 28.588.210**

**Directora: Dra. Andrea L. Lavalle**

**Co- Directora: Lic. Adela M. Bernardis**

**Junio de 2019**



## **Agradecimientos**

A mis padres Héctor y María Teresa que me dieron la oportunidad de estudiar.

Gracias a Adela y Andrea por su dedicación, colaboración académica y apoyo constante.

A la Gerencia General del Complejo Tecnológico Pilcaniyeu y a la Gerencia de Gestión Ambiental de la Comisión Nacional de Energía Atómica, por la confianza y por trabajar en conjunto en esta etapa de mi vida.

A Cecilia y Miguel que me levantaron, motivaron y acompañaron siempre.

A mis compañeros y amigos de la facultad.

Y finalmente quiero dedicar esta tesis a mis hijas Lucía, Isabella y Victoria.



---

---

## CONTENIDO

---

### Índice

1.	Resumen	6
2.	Abstract	7
3.	Introducción	8
4.	Objetivos	10
4.1.	Objetivo General	10
4.2.	Objetivos Específicos	10
5.	Marco teórico	11
5.1.	Laboratorio Mock up	12
5.2.	Descripción de la Planta de Tratamiento de Efluentes industriales	17
5.2.1.	Efluentes de Procesos	17
5.2.2.	Efluentes de Servicios Auxiliares.	18
5.2.3.	Efluentes de limpieza y descontaminación de componentes	18
5.3.	Descripción del tratamiento de efluentes de procesos	18
5.3.1.	Tratamiento de efluentes de la Planta de Flúor	18
5.3.2.	Línea de tratamiento de efluentes conteniendo sólo fluoruros (GESU)	19
5.3.3.	Tratamiento de efluentes de Mock-Up	23
5.3.4.	Línea de tratamiento de efluentes conteniendo uranio y fluoruros (GECU)	23
5.3.5.	Efluentes de Servicios Auxiliares	26
5.3.6.	Efluentes de limpieza y descontaminación de componentes	26
5.4.	Descripción de la Planta de Tratamiento de Efluentes Cloacales	27
5.4.1.	Tratamiento Primario	27
5.4.1.1.	Cámaras sedimentadoras- digestoras	27
5.4.2.	Tratamiento Secundario	27
5.4.2.1.	Cámaras de Aireación	27



5.4.2.2.	Sedimentadores secundarios	28
5.5.	Planta de Tratamiento por Filtros Fitoterrestres (PTFFT)	29
5.5.1.1.	Tanques ecualizadores	30
5.5.1.2.	Humificadoras (Filtros Verticales)	31
5.5.1.3.	Módulo de Tratamiento Filtro Fitoterrestres	33
5.5.1.4.	Cámara de salida	34
5.5.1.5.	Estación de bombeo	35
5.5.1.6.	Sistema de Riego	36
6.	Materiales y métodos	37
6.1.	Área de estudio	37
6.2.	Diseño de muestreo	40
6.2.1.	M1. Sitio cabecera del Río Pichi Leufú.	41
6.2.2.	M16. Sitio aguas abajo de la ex - descarga de efluentes	42
6.2.3.	M7. Sitio puente del ferrocarril patagónico -	42
6.2.4.	M12. Sitio puente carretero en el predio del CTP -	43
6.2.5.	M9. Sitio en el Arroyo Las Ardillas.	44
6.3.	Parámetros monitoreados	46
6.4.	Procesamiento y tratamiento de datos	47
7.	Resultados	49
8.	Conclusión	58
9.	Bibliografía	60

## Índice de Figuras

Figura N° 1: Diagrama de flujo del Laboratorio Mock-up (Ghermandi, 2012).....	14
Figura N° 2: Esquema del Sistema Integral de Tratamiento de Efluentes .....	16

---

Figura N° 3: Diagrama de flujo de la línea de tratamiento de efluentes de la Planta de Flúor .....	20
Figura N° 4: Diagrama de flujo de la línea de tratamiento de efluentes del Mock up24	
Figura N° 5: Vista en planta de la Planta de Tratamiento de Líquidos Cloacales.....	28
Figura N° 6: Vista en corte de la Planta de tratamiento de Líquidos Cloacales.....	29
Figura N° 7: Tanques ecualizadores. ....	31
Figura N° 8: Humificadoras .....	32
Figura N° 9: Conexión entre filtro vertical y filtro horizontal.....	33
Figura N° 10: Esquema de perfil de Módulo de Tratamiento Horizontal .....	34
Figura N° 11: Cámara de salida .....	35
Figura N° 12: Área de riego .....	35
Figura N° 13: Sector de riego .....	36
Figura N° 14: Ubicación general del Complejo Tecnológico Pilcaniyeu .....	37
Figura N° 15: Accesibilidad al CTP .....	38
Figura N° 16: Ubicación de la cuenca del RPL .....	40
Figura N° 17: M 1 – Cabecera del RPL.....	41
Figura N° 18: M16 Sitio aguas abajo de la ex - descarga de efluentes .....	42
Figura N° 19: M7 – Puente FFCC Patagónico .....	43
Figura N° 20: M 12 – Puente carretero RPL .....	44
Figura N° 21: M 9 – Cabecera Arroyo Las Ardillas.....	45
Figura N° 22: Red actual de monitoreo de aguas superficiales .....	46
Figura N° 23: Gráfico de las condiciones en el plano principal .....	51
Figura N° 24: Proyección de los individuos sobre los ejes factoriales .....	51
Figura N° 25: Gráfico de las variables en el círculo de correlación .....	52
Figura N° 26: Comportamiento de las variables Conductividad, Sólidos Disueltos y Potasio.....	52
Figura N° 27: Comportamiento de las variables Calcio, Magnesio y Sodio. ....	52



---

Figura N° 28: Comportamiento de Sólidos Disueltos en el sitio M1 .....	53
Figura N° 29: Variación de la Concentración de Potasio en el sitio M7 .....	53
Figura N° 30: Variación de la Conductividad.....	54
Figura N° 31: Variación de la concentración de Sodio .....	54
Figura N° 32: Variación de la concentración de Potasio .....	55
Figura N° 33: Comparación de la variación de la concentración de Potasio del sitio M1 con el resto de los sitios.....	55
Figura N° 34: Comparación de la variación de la concentración de Magnesio del sitio M1 con el resto de los sitios.....	56
Figura N° 35: Comparación de la variación de la concentración de Calcio del sitio M1 con el resto de los sitios.....	56
Figura N° 36: Comparación de la variación de la concentración de Sodio del sitio M1 con el resto de los sitios.....	57
Figura N° 37: Comparación de la variación de la concentración de Sulfatos del sitio M1 con el resto de los sitios.....	57

## Índice de tablas

Tabla N° 1: Índice RV.....	50
----------------------------	----



---

---

## 1. RESUMEN

---

En el presente trabajo se analizan datos de sitios de muestreo de la cuenca del río Pichi Leufú (RPL) recabados conjuntamente por la Comisión Nacional de Energía Atómica (CNEA) y el Centro Regional Universitario Bariloche (CRUB UNCo) en cercanías al Complejo Tecnológico Pilcaniyeu (CTP). Dicho muestreo de aguas superficiales forma parte del Programa de monitoreo Ambiental del Plan de Gestión Ambiental incluido en el Estudio de Impacto Ambiental de la puesta en Marcha del Laboratorio Mock-up del Complejo Tecnológico Pilcaniyeu, en el cual se realiza el enriquecimiento de uranio en base a la separación isotópica por difusión gaseosa. Se muestrearon 5 sitios ubicados estratégicamente a diferentes alturas del RPL, con una frecuencia trimestral, analizando variables fisicoquímicas. Dicho monitoreo comenzó en el año 2008 y se continuó ininterrumpidamente hasta la actualidad. Se consideraron los datos de informes obtenidos del Programa de Monitoreo de Aguas Superficiales de los años 2012, 2013, 2014 y 2015, correspondientes a dos años previos y dos años posteriores a la puesta en marcha del Laboratorio de Mock-up. Se utilizó el Análisis Factorial Múltiple (AFM), el cual permite trabajar simultáneamente con varias tablas de datos, referidas al mismo conjunto de individuos. Si se consideran todas las matrices obtenidas a lo largo del tiempo, se cuenta con datos de tres vías, formados por individuos (sitios), variables (parámetros fisicoquímicos) y condiciones (momentos de tiempo). Los resultados aquí presentados muestran que las variables fisicoquímicas utilizadas para el monitoreo en general se mantuvieron estables en los períodos analizados. Para el caso de las variables Conductividad, Sólidos Disueltos y Potasio se detectan leves variaciones durante el año de la puesta en marcha, estabilizándose en el año 2015 con la implementación de vuelco cero de efluentes al río.

Palabras claves: Monitoreo, Evaluación, Calidad, Agua



---

## 2. ABSTRACT

---

In the present work we analyze data from sampling sites of the Pichi Leufú River Basin (RPL) collected jointly by the National Atomic Energy Commission (CNEA) and the Bariloche University Regional Center (CRUB UNCo) in the vicinity of the Pilcaniyeu Technological Complex (CTP). The surface water sampling is part of the Environmental Monitoring Program of the Environmental Management Plan included in the Environmental Impact Study of the start-up of the Mock-up Laboratory of the Pilcaniyeu Technological Complex, in which the enrichment of uranium is carried out based on Isotope separation by gaseous diffusion. Five sites strategically located at different altitudes of the RPL were sampled, with a quarterly frequency, analyzing physicochemical variables. This monitoring began in 2008 and continued uninterrupted until today. We considered the data obtained from the Surface Water Monitoring Program for the years 2012, 2013, 2014 and 2015, corresponding to two years prior to and two years after the start-up of the Mock-up Laboratory. The Multiple Factorial Analysis (MFA) was used, which allows to work simultaneously with several data tables, referring to the same set of individuals. If we consider all the matrices obtained over time, we have three-way data, consisting of individuals (sites), variables (physicochemical parameters) and conditions (moments of time). The results presented here show that the physicochemical variables used for monitoring in general remained stable in the periods analyzed. In the case of the Conductivity, Dissolved Solids and Potassium variables, slight variations were detected during the start-up year, stabilizing in 2015 with the implementation of zero effluent discharge to the river.

Keywords: Monitoring, Evaluation, Quality, Water.





---

### 3. INTRODUCCIÓN

---

El presente proyecto de investigación se desarrolló en proximidad a la localidad de Pilcaniyeu, la cual se encuentra ubicada al sur-oeste de la provincia de Río Negro, sobre el sector Pichi Leufú arriba, en el departamento Pilcaniyeu.

El Complejo Tecnológico Pilcaniyeu (CTP) es una instalación de la Comisión Nacional de Energía Atómica (CNEA). Se ubica sobre la margen derecha del río Pichi Leufú (RPL) y consta de aproximadamente 8063 ha. Este complejo cuenta con una superficie cubierta de aproximadamente 31 ha, de las cuales 19 ha corresponden a plantas de procesos y otras 12 ha a instalaciones de servicios.

El área Pilca II, donde está ubicado el Laboratorio de Enriquecimiento de Uranio (Mock-Up), cuenta con una superficie cubierta de 24 ha (Ghermandi, 2012). El proyecto consiste en enriquecer el uranio a través del método de difusión gaseosa, aumentando la concentración de Uranio 235 respecto de su porcentual en la naturaleza (Schreiber, 2012). En el año 2014 el CTP obtuvo la Licencia Ambiental para la puesta en marcha del laboratorio Mock-up y en el año 2015 implementó el sistema de vuelco cero de efluentes a través del Sistema Integral de Efluentes del CTP.

El agua es el agente de máxima actividad en la formación del escenario natural que nos rodea. El deterioro de la calidad del agua se ha convertido en motivo de preocupación a nivel mundial con el crecimiento de la población humana, la expansión de la actividad industrial y agrícola, y la amenaza del cambio climático como causa de alteraciones en el ciclo hidrológico. Una mala calidad de agua puede deberse tanto a causas naturales, como a las debidas a la geología del terreno, o artificiales, como la contaminación en zonas con gran presión antrópica. La fuente más importante de su contaminación es la falta de gestión y tratamientos adecuados de los residuos humanos, industriales y agrícolas. Lo importante es establecer los tratamientos y límites necesarios para los diferentes usos y actividades, y de este modo garantizar una buena calidad de vida para todos los ciudadanos.

Es en este contexto que uno de los impactos a minimizar es el provocado por la generación de efluentes cloacales e industriales generados por el funcionamiento del Laboratorio Mock-up, con el fin de no alterar la calidad del agua del RPL.

Desde el año 2008 se realiza el monitoreo ambiental de las aguas superficiales del RPL, con una frecuencia trimestral. En principio contaba de 12 sitios de monitoreo y desde el año 2013 en adelante la red de monitoreo se estableció en 5 sitios dentro del campo que posee la CNEA en Pilcaniyeu. Se analiza la calidad del agua del RPL en función a parámetros físico químicos con el fin de conocer sus características, previo a la reactivación y posterior etapa de operación del Laboratorio Mock-up.

Los informes de monitoreo hidrológico superficial del CTP correspondientes a la línea de base ambiental presentan la calidad de los cuerpos de agua superficiales que atraviesan el CTP y áreas aledañas; analizando su congruencia con la normativa ambiental vigente. Las 16 campañas realizadas entre 2008 y 2012, en 12 estaciones de muestreo del RPL, permiten evaluar las tendencias temporales y espaciales.

En el presente trabajo se toma como base de datos los monitoreos realizados en el verano del año 2012 hasta la primavera del año 2015, con el fin de estudiar las variables dos años antes y dos años después de la puesta en marcha del laboratorio Mock-up.

Es por todo lo anteriormente mencionado que entendemos necesario evaluar el comportamiento de las aguas superficiales del RPL en cercanías al laboratorio Mock-up en etapa pre operativa y operativa del mismo, con el fin de analizar en qué medida influyen en la calidad del agua superficial las actividades desarrolladas en el CTP-CNEA.



---

## 4. OBJETIVOS

---

### 4.1. OBJETIVO GENERAL

---

Evaluar el efecto de la puesta en funcionamiento del laboratorio de Mock-up instalado por la CNEA sobre la calidad del agua del Río Pichi Leufú.

### 4.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

---

- Caracterizar los puntos de muestreo a partir de variables físico-químicas referidas a calidad de agua.
- Analizar el comportamiento de los indicadores de calidad a lo largo del tiempo.
- Proponer una técnica estadística de monitoreo que permita evaluar la calidad de agua a lo largo del tiempo.

---

## 5. MARCO TEÓRICO

---

La calidad del agua se refiere a las características químicas, físicas, biológicas y radiológicas del agua (Diersing, 2009). Es una medida de la condición del agua en relación con los requisitos de una o más especies o a cualquier necesidad humana o propósito (Johnson et al., 1997). En este caso se utiliza en referencia a un conjunto de normas contra las cuales puede evaluarse el cumplimiento. Los estándares utilizados para evaluar la calidad del agua se relacionan con la salud de los ecosistemas, seguridad de contacto humano y agua potable.

La calidad del agua superficial en ríos y arroyos, lagos, estanques y humedales está determinada por las interacciones entre el suelo, los sólidos transportados (orgánicos, sedimentos), las rocas, el agua subterránea y la atmósfera. También puede ser afectada significativamente por las actividades agrícolas, industriales, de extracción minera y energética, urbanas y otras actividades antrópicas, así como por aportes atmosféricos. Sin embargo, la mayor parte de los solutos en las aguas superficiales provienen de los suelos y del flujo subterráneo base, donde es importante la influencia de las interacciones agua-roca (Hirsch, 1988).

Las actividades antropogénicas, sumadas a los asentamientos humanos instalados cerca de las cuencas, contribuyen a la contaminación de las aguas superficiales; influyendo en su calidad y limitando el uso para riego. De esta manera, se modifican las propiedades de los suelos y la calidad sanitaria de los alimentos, así como también se limita el uso de agua para actividades de recreación. Esto conlleva a que se eleven los costos de tratamientos de potabilización, necesarios para lograr la aptitud del consumo humano, poniendo en riesgo la preservación de la vida acuática y la diversidad biológica.

Para entender lo que significa el problema de la contaminación es necesario explicar en primer lugar su concepto, el cual se define como la situación creada por la presencia en el ambiente de sustancias o formas de energía, en tal cantidad y con una duración tal de su acción que son susceptibles de provocar efectos perjudiciales o de causar molestias. Por otra parte la *Royal Commission of Environmental Pollution* del Reino Unido la define como "la introducción por el hombre en el entorno de sustancias o energías propensas a causar riesgos a la salud humana, daño a los recursos vivos y a los sistemas ecológicos, perjuicio a

los bienes e infraestructuras y paisajes o a interferir con los legítimos usos del entorno".

Los ríos figuran entre los sistemas más degradados debido a que son impactados por varias fuentes de contaminación, tanto puntuales como difusas. Reciben los desagües pluviales, cloacales e industriales y, por lo tanto, una alta carga de nutrientes y materia orgánica cuyo procesamiento es crítico para la calidad del agua de estos ríos.

El grado de deterioro de tales sistemas se produce cuando la cantidad y calidad de los desechos introducidos en él, en forma de efluentes, superan su capacidad de recuperación (Tortorelli y Hernández, 1995). Los efectos negativos sobre la biota son detectados al exceder las concentraciones umbrales (Cairns, 1986). Entendemos como efluentes o aguas residuales a la combinación de los residuos líquidos, o aguas portadoras de residuos, procedentes tanto de baños, vestuarios, cocina, como de industrias, a los que pueden agregarse, eventualmente, aguas subterráneas, superficiales y pluviales. El agua residual está compuesta de materia orgánica que puede producir gases malolientes, también puede estar compuesta de microorganismos patógenos, nutrientes, compuestos tóxicos.

Una de las principales causas de la contaminación de los diferentes cuerpos de agua es la cantidad de nutrientes y materia orgánica que son vertidos en ellos como resultado de las diferentes actividades antropogénicas. El exceso de nutrientes en el agua, principalmente nitrógeno y fósforo, genera un deterioro del recurso hídrico y en general de los ecosistemas acuáticos debido a la afectación de la calidad fisicoquímica del agua (Sandoval y Peña, 2007).

#### 5.1. LABORATORIO MOCK UP

---

El Uranio es un elemento radioactivo que se encuentra en la naturaleza. A partir de rocas pre existentes se extrae el Uranio por medio de métodos físicos y químicos. El Uranio se encuentra constituido esencialmente por dos isótopos: el Uranio 238 (U-238) y el Uranio 235 (U-235) que es un isótopo fisionable y es, por consiguiente, empleado en los reactores nucleares para generar energía. En la naturaleza el contenido de U-235 es de sólo 0,711% en peso, mientras que el resto se encuentra constituido por el U-238. Para hacer un mejor uso del material,

esa composición isotópica debe ser modificada, proceso al cual se lo conoce como “enriquecimiento de uranio”, permitiendo llevar el material a una concentración isotópica que puede variar entre 0,85% y 5% en U-235 para su uso en la generación de energía nucleoelectrónica. Debido a que no existen diferencias en las propiedades químicas de los dos isótopos del Uranio, el proceso de enriquecimiento debe realizarse usando las diferencias de masas entre ambos, la que es, en principio, la única propiedad física manejable. A partir de la diferencia de masas entre los isótopos, su separación puede realizarse por diferentes métodos como “difusión gaseosa”, “ultra centrifugación”, “toberas” y “láser” (Ghermandi, 2012).

La CNEA dispone, en el Laboratorio Mock-Up, de la capacidad para el enriquecimiento de uranio en base a la separación isotópica por difusión gaseosa. Este método se basa en hacer circular un compuesto de uranio gaseoso a través de membranas porosas que facilitan el pasaje del gas más liviano y dificultan el del gas más pesado (proceso denominado “difusión molecular”). El compuesto de uranio utilizado es el hexafluoruro de uranio ( $UF_6$ ). Es importante destacar que en cada pasaje a través de las membranas el  $UF_6$  se enriquece en el isótopo U-235 en un 0,004% como máximo, por lo que, para alcanzar grados de enriquecimiento significativos, es necesario hacerlo pasar sucesivas veces por las membranas, lo que se logra conectando en serie muchas etapas de enriquecimiento, en una configuración denominada “cascada”. Una cascada de enriquecimiento consta de cientos de unidades de difusión llamadas “difusores”, los cuales se ubican uno a continuación de otro y poseen tamaños acordes con la capacidad volumétrica de producción requerida. Las dos corrientes en que se divide el gas de proceso se denomina “producto” (fracción enriquecida) y “cola” (fracción empobrecida), las cuales circulan en contracorriente.

El Laboratorio Mock-Up cuenta con un total de 20 unidades difusoras y dispone, en forma autónoma, de todos los servicios y capacidades para hacer esta operación. En la Figura N° 1 se muestra un diagrama de flujo del Laboratorio Mock-up. En este diagrama se observa como corriente de entrada principal, al Laboratorio Mock Up,  $UF_6$  natural ingresado a partir de una cisterna. Para el proceso se requiere Flúor y Nitrógeno, con el fin de realizar el inertizado de las líneas. Como corrientes de salida de este proceso se obtienen  $UF_6$  enriquecido y

UF<sub>6</sub> depletado que se almacenan en cisternas por separado. Asimismo, se obtiene una corriente de salida extra compuesta por N<sub>2</sub>, HF, trazas de UF<sub>6</sub> que son tratadas en la Planta de Tratamiento de Efluentes.

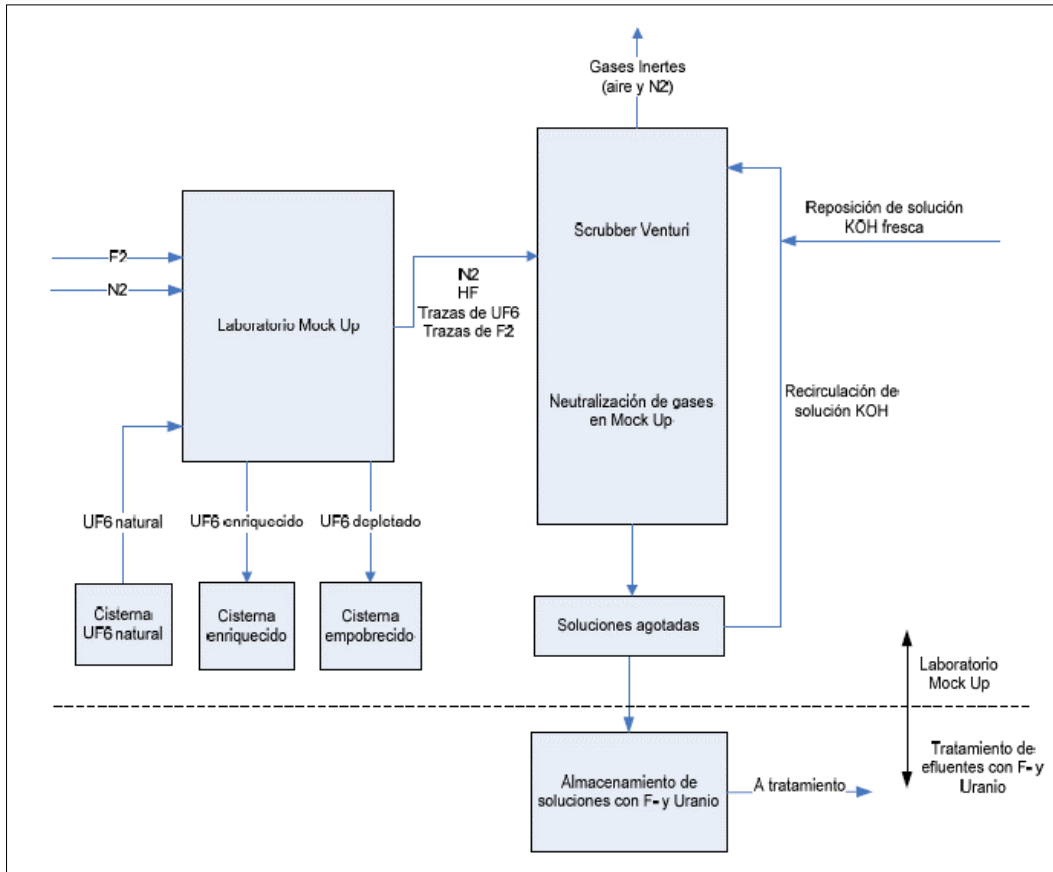


Figura N° 1: Diagrama de flujo del Laboratorio Mock-up (Ghermandi, 2012).

El proyecto “Puesta en marcha del Laboratorio Mock-Up” integra el Plan Estratégico Nuclear y ha sido aprobado por el Estado Nacional a través del Ministerio de Planificación Federal y Servicios Públicos.

Los objetivos generales del proyecto son:

- Mantener a la Argentina como miembro de los países proveedores del ciclo de combustible nuclear.
- Mantener la capacidad técnica de enriquecer uranio.
- Mantener la infraestructura necesaria para garantizar el suministro de uranio a las centrales nucleares de potencia.
- Desarrollar a partir de la experiencia obtenida métodos más eficientes de producir uranio enriquecido.
- Capacitar al personal en el manejo de la tecnología de enriquecimiento y en actividades conexas.

El objetivo específico del proyecto es alcanzar el enriquecimiento de uranio empleado en la actualidad para la operación de la Central Nuclear Atucha I, es decir de 0,85% en U-235.

La obtención de este resultado, junto con otras acciones que viene realizando la República Argentina, tiene como objetivo asegurar la participación del país como miembro del *Nuclear Supplier Group* (NSG), es decir, el Grupo de Suministradores Nucleares. Este grupo se encuentra conformado por naciones que poseen alguna de las tecnologías consideradas críticas en el campo de la utilización de la energía nuclear con fines pacíficos.

La continuidad en dicha organización permite a la Argentina garantizar sus posibilidades de participación en los mercados mundiales como vendedor o comprador de materiales y tecnologías nucleares y así posibilitar un desarrollo local autónomo de esta fuente de energía, adecuándose a las necesidades propias sin la interferencia de potencias extranjeras.

Se debe tener en cuenta que una gran cantidad de los equipos y materiales alcanzados por las reglamentaciones del NSG son utilizados en otras aplicaciones de la energía nuclear como la salud, energía, transporte, agricultura, industria metal mecánica, etc., y también en actividades ajenas a las aplicaciones nucleares. Las actividades mencionadas podrían ser alcanzadas por las mismas restricciones determinadas por el NSG, afectando su actividad o, en el mejor de



los casos, importar productos terminados, hecho que implicaría restringir el desarrollo industrial y tecnológico del país, produciéndose además una disminución del valor agregado y de la aplicación de mano de obra nacional.

En cuanto a los aspectos ambientales de la puesta en marcha del Laboratorio Mock-up, uno de los más relevantes está relacionado con la gestión de Efluentes. Es por esto que el CTP crea el Sistema Integral de Tratamiento de Efluentes (SITE), sistema que nuclea la gestión de los efluentes cloacales e industriales. En la Figura N° 2 se muestra un esquema simplificado del SITE.

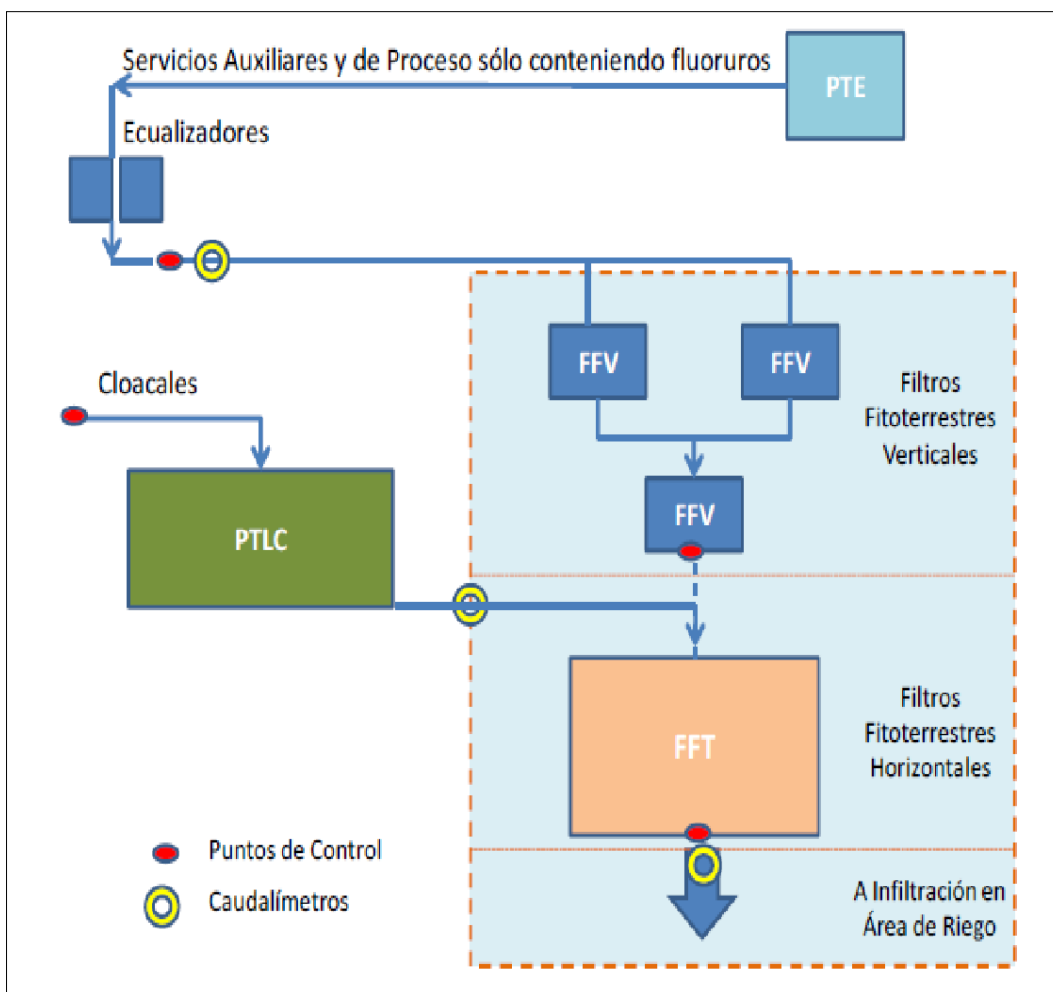


Figura N° 2: Esquema del Sistema Integral de Tratamiento de Efluentes

El sistema consta de dos corrientes de efluentes de entrada a ser tratados, los cloacales y los de servicios auxiliares conteniendo fluoruros. Los efluentes del Mock-Up son colectados y gestionados en forma independiente a los efluentes asimilables a domiciliarios. Estos últimos son enviados a la Planta de Tratamiento

de Líquidos Cloacales (PTLC), para luego ingresar a la Planta de Tratamiento por Filtros Fitoterrestres y finalizar en el área de riego.

Los efluentes industriales sin Uranio, provenientes de la Planta de Tratamiento de Efluentes Industriales (PTE), son tratados en la Planta de Tratamiento por Filtros Fitoterrestres Verticales.

Como se muestra en la Figura N° 2, fueron instalados puntos de control para ambas corrientes, antes y después de su tratamiento, así como también se controla el caudal de entrada y salida del sistema.

## 5.2. DESCRIPCIÓN DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE EFLUENTES INDUSTRIALES

---

La PTE recibe líquidos y gases que son tratados para evitar descargas de sustancias contaminantes al ambiente. Los efluentes que allí se reciben se clasifican en los siguientes:

- Efluentes de Procesos.
- Efluentes de Servicios Auxiliares.
- Efluentes de Limpieza y descontaminación de componentes.

### 5.2.1. Efluentes de Procesos

---

Los efluentes de la Planta de Producción de Flúor, tanto líquidos como gaseosos, contienen Fluoruros y se encuentran libres de Uranio, debido a que no hay presencia de este elemento en dicho sector.

Los efluentes líquidos obtenidos en el proceso de Mock-Up contienen fluoruros y Uranio (en menores concentraciones/proporciones). Esta corriente proviene del equipo lavador de gases (scrubber venturi) que es parte constitutiva del sistema Mock-Up.

Estos efluentes, una vez en solución, son tratados con lechada de cal en circuitos independientes de manera que tanto el uranio como los fluoruros quedan retenidos bajo forma de sólidos insolubles ( $\text{CaF}_2$ ).

---

### **5.2.2. Efluentes de Servicios Auxiliares.**

---

Estos efluentes provienen de los circuitos de refrigeración, de los de calefacción, de los drenajes de las torres de enfriamiento, de la limpieza de pisos y lavabos de áreas que no contienen uranio pero pueden contener fluoruros en solución.

### **5.2.3. Efluentes de limpieza y descontaminación de componentes**

---

Para realizar las tareas de mantenimiento y reparación de componentes del Mock-Up que han estado en contacto con el  $UF_6$  es necesario previamente limpiar y descontaminar las piezas a reparar.

El volumen de los líquidos con uranio en solución, resultante de la operación de limpieza, depende de la tasa de fallas y roturas que se produzcan en el Mock-Up y son tratados de acuerdo a lo indicado en el apartado "Descripción del Tratamiento de Efluentes de Procesos".

## **5.3. DESCRIPCIÓN DEL TRATAMIENTO DE EFLUENTES DE PROCESOS**

---

### **5.3.1. Tratamiento de efluentes de la Planta de Flúor**

---

Este proceso tiene dos funciones principales: neutralizar los efluentes gaseosos y captar los fluoruros de los efluentes líquidos provenientes de la Planta de producción de Flúor.

Los principales contaminantes esperados en los efluentes gaseosos son fluoruro de hidrógeno HF y  $F_2$ , los cuales son altamente corrosivos en contacto con la humedad ambiente, por lo que no se liberan. A partir del tratamiento realizado en la PTE, el HF y el  $F_2$  son retenidos bajo la forma de un compuesto insoluble: el fluoruro de calcio ( $F_2Ca$ ).

Las soluciones de HF –ácidas- son previamente neutralizadas; en el proceso de neutralización se produce FK el que es, posteriormente, tratado y precipitado como  $F_2Ca$ .

---

### 5.3.2. Línea de tratamiento de efluentes conteniendo sólo fluoruros (GESU)

---

En la Figura N° 3 se muestra el diagrama de flujo de la línea de tratamiento de los efluentes conteniendo sólo fluoruros. Las etapas del tratamiento se dividen en cuatro sistemas:

- **Sistema 1:** Neutralización de gases.
- **Sistema 2:** Almacenamiento de soluciones de KF a tratar.
- **Sistema 3:** Precipitación con lechada de cal.
- **Sistema 4:** Ajuste de la solución de KOH sobrenadante.

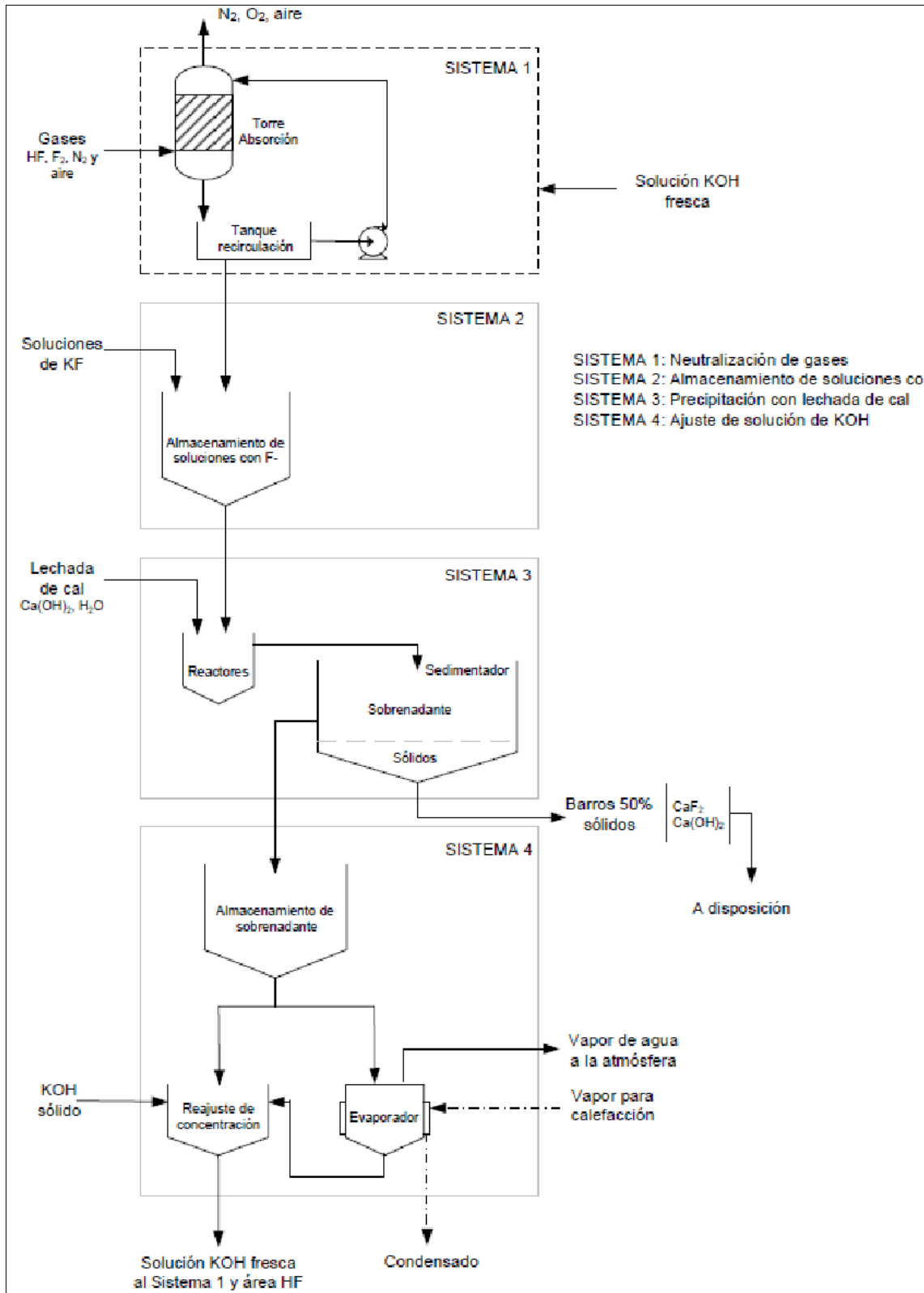
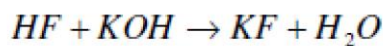
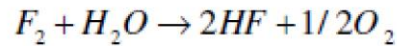


Figura N° 3: Diagrama de flujo de la línea de tratamiento de efluentes de la Planta de Flúor

Para alcanzar este objetivo, los efluentes gaseosos se envían al Sistema 1 donde se utilizan dos torres lavadoras de gases (torres de absorción de gases), una operando en forma continua y otra en stand-by. En las torres se produce el contacto entre los gases a tratar y una solución neutralizadora de KOH, ocurriendo las siguientes reacciones químicas:



El producto de las reacciones es el KF, el cual se descarga por la parte inferior de la torre lavadora de gases hacia el recipiente de recirculación de solución neutralizadora. Cuando la solución alcanza una concentración de KOH igual a la mitad de la inicial, la misma es enviada a un tanque de almacenamiento de soluciones con fluoruros, perteneciente al Sistema 2.

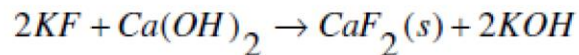
Dicho tanque recibe además los efluentes líquidos que provienen de la Planta de Flúor, teniendo estas soluciones en su composición FK.

Una vez que se completa el volumen de líquido correspondiente a un "batch", se toma una muestra del contenido del tanque y se la envía al Laboratorio de Analítica para determinar la concentración de fluoruros, ya que esto permite definir el caudal con el que se trabajará para precipitación con lechada de cal.

Cuando se completa el volumen de un "batch" se habilita un segundo tanque (que anteriormente se encontraba en stand by) para seguir recibiendo efluentes líquidos.

Cuando se tienen los resultados de la muestra analizada, se bombea en forma regulada el caudal que se envía al Sistema 3. En los reactores del sistema mencionado también ingresa en forma dosificada la lechada de cal en exceso para asegurar una reacción total.

Los tres reactores se encuentran conectados en serie para aumentar el tiempo de residencia y, de esta forma, obtener un mayor grado de conversión en la siguiente reacción:



El rebalse del último reactor alimenta un sedimentador donde se deposita el  $CaF_2$  y el  $Ca(OH)_2$  en exceso, mientras que la solución regenerada de  $KOH$  se envía desde el sedimentador hacia un tanque de almacenamiento de sobrenadante perteneciente al sistema 4.

De acuerdo a cálculos teóricos, se generarán 800 a 900 kg de barros por año, los cuales se descargan del precipitador y son dispuestos en forma segura. De acuerdo con la ficha de seguridad química, el  $CaF_2$  es de muy baja solubilidad (se considera insoluble en agua a  $20^\circ C$ ) y la prevención consiste en mantener el producto en lugares ventilados, evitar la dispersión del polvo y, durante las operaciones de manipuleo, usar gafas. Los residuos de  $CaF_2$  producidos en la PTE contienen  $Ca(OH)_2$  en exceso lo que disminuye, aún más, la posibilidad de solubilización de los mismos.

La gestión del  $CaF_2$  puede ser realizada en trincheras ubicadas en zona de baja escorrentía superficial gestionadas de manera a evitar que, al secarse los barros, se produzca polvo. Esta contingencia podría evitarse a través de una gestión adecuada de las trincheras. Como alternativa se plantea la disposición transitoria en tambores cerrados y, posteriormente, la inclusión del  $CaF_2$  en material de construcción (baldosones).

En el Sistema 4 se recibe el sobrenadante y se ajusta la solución neutralizadora de  $KOH$ . Se analiza en el sobrenadante la concentración de  $KOH$  y, de acuerdo a los resultados obtenidos y en función del volumen a utilizar, esta concentración es ajustada a los valores de operación, ya sea evaporando una fracción de la misma o agregando  $KOH$  para reutilizarla en la absorción de gases y en la neutralización de líquidos ácidos.

---

### 5.3.3. Tratamiento de efluentes de Mock-Up

---

Este proceso es similar al anteriormente descrito y tiene como finalidad captar los fluoruros y el uranio provenientes de los efluentes líquidos del Scrubber-Venturi del Mock-Up.

### 5.3.4. Línea de tratamiento de efluentes conteniendo uranio y fluoruros (GECU)

---

En la Figura N° 4 se muestra el diagrama de flujo de la línea de tratamiento de los efluentes conteniendo fluoruros y uranio, el que es independiente de la línea de tratamiento de efluentes conteniendo sólo fluoruros.

Las etapas del tratamiento se dividen en tres sistemas:

- **Sistema 1:** Almacenamiento de soluciones de KF a tratar.
- **Sistema 2:** Precipitación con lechada de cal.
- **Sistema 3:** Ajuste de la solución de KOH sobrenadante.



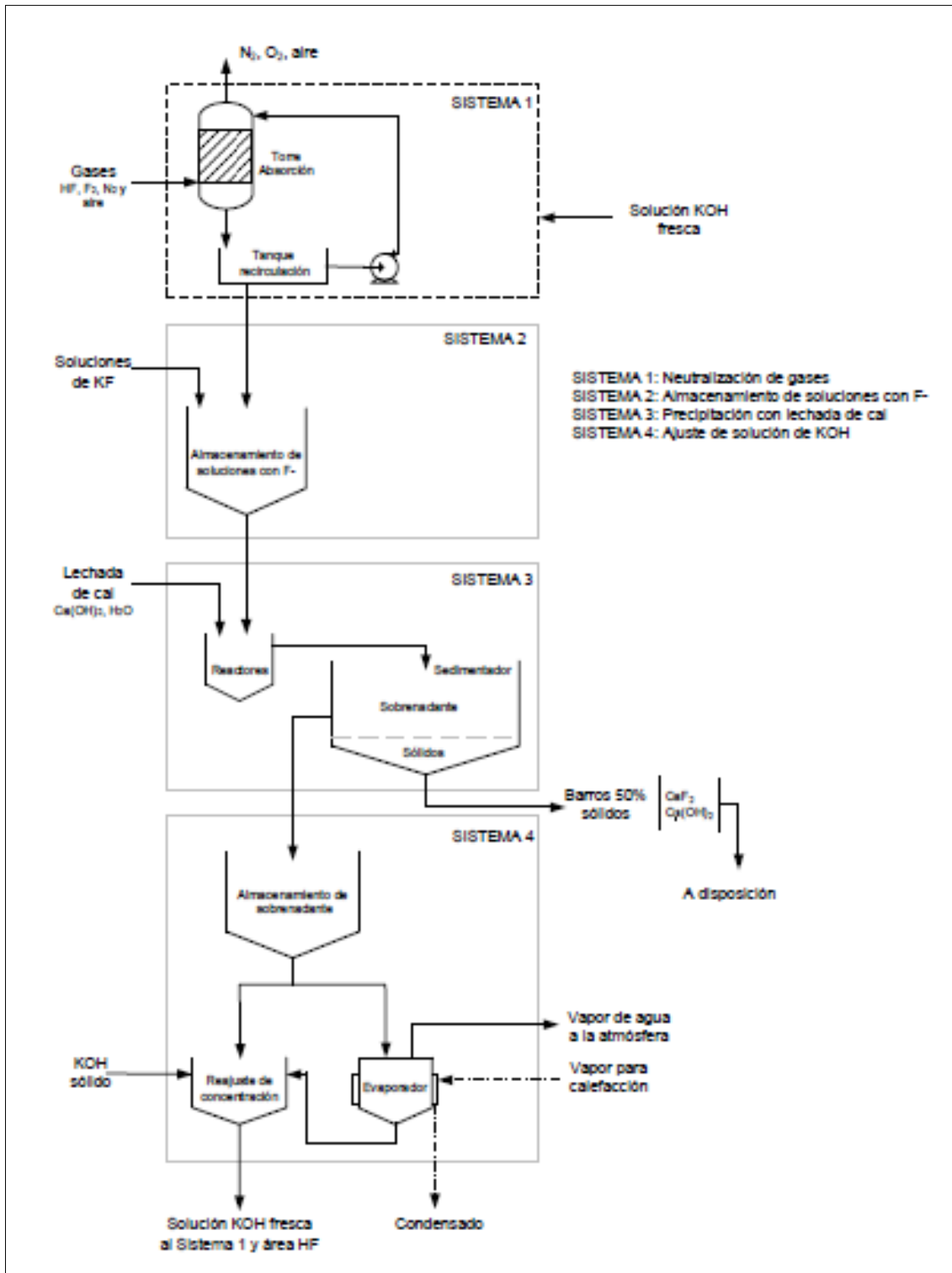


Figura N° 4: Diagrama de flujo de la línea de tratamiento de efluentes del Mock up

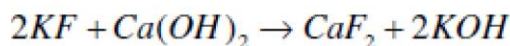
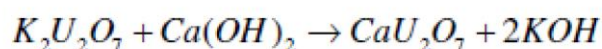
Los efluentes líquidos provenientes de equipos que han estado en contacto con uranio se envían desde el Mock-Up a un tanque de almacenamiento de

soluciones con fluoruros y uranio perteneciente al Sistema 1. Estas soluciones contienen en su composición Diuranato de Potasio ( $K_2U_2O_7$ ) y KF.

Una vez que se completa el volumen de líquido correspondiente a un “batch”, se toma una muestra del efluente y se la envía al Laboratorio de Analítica para determinar la concentración de fluoruros y uranio, debido a que esto permite definir el caudal con el que se trabajará en la etapa de precipitación. En este caso no se requiere de un segundo tanque en stand-by ya que según cálculos teóricos el volumen anual a tratar no superará los 3 m<sup>3</sup>.

Cuando se tienen los resultados de la muestra analizada se bombea en forma regulada el efluente hacia el Sistema 2. En los reactores se adiciona, en forma dosificada, la lechada de cal en exceso para asegurar una reacción total.

Dos reactores se encuentran conectados en serie con el objetivo de aumentar el tiempo de residencia de la mezcla y, de esta forma, obtener mayor conversión en las siguientes reacciones:



La solución pasa de los reactores al sedimentador donde se depositan los barros conteniendo diuranato de calcio ( $CaU_2O_7$ ),  $CaF_2$  y el exceso de  $Ca(OH)_2$ . El KOH regenerado se envía del sedimentador hacia un tanque de almacenamiento de sobrenadante.

Periódicamente se descargan los barros del precipitador y son dispuestos en tambores de 200 l. Estos tambores se almacenan en el área de contenedores de “Residuos Radiactivos de Baja Actividad Específica (BAE)” disponibles en el CTP, la que se encuentra bajo vigilancia permanente y en condiciones de monitoreo periódico.

Todo el material dispuesto en los contenedores es, previamente, inventariado y, posteriormente, queda bajo supervisión del área interna de la CNEA responsable del Programa Nacional de Residuos Radiactivos.

En el Sistema 3 se recibe el sobrenadante y se ajusta la solución neutralizadora de KOH. Se analiza en el sobrenadante la concentración de KOH y de acuerdo a los resultados, y en función del volumen a utilizar, esta concentración se lleva a los valores de operación ya sea evaporando una fracción de la misma o agregando KOH para reutilizarla en equipo lavador de gases (Scrubber-Venturi) del Mock-Up.

### **5.3.5. Efluentes de Servicios Auxiliares**

---

Estos efluentes se recolectan en forma alternada en dos piletas de 12 m<sup>3</sup> cada una, denominadas “Piletas de Monitoreo” y ubicadas en la planta de tratamiento de efluentes, en las que se realiza el control de la concentración de fluoruros y pH antes de ser enviados a las humificadoras.

Si bien en este caso de estudio existe un vuelco cero a cuerpo receptor, es necesario apuntar que la provincia de Río Negro no tiene regulado el parámetro de vuelco de fluoruros. Por su parte, las provincias que han regulado el parámetro para descarga a cuerpos de agua superficial o colectora establecen como máximo valores que van desde 1 a 2,0 mg/l.

### **5.3.6. Efluentes de limpieza y descontaminación de componentes**

---

Como se indicó anteriormente, para realizar tareas de mantenimiento de los componentes que han estado en contacto con el UF<sub>6</sub>, es necesario, como paso previo, limpiar y descontaminar las piezas a reparar. Se han realizado cálculos teóricos que indican que la cantidad de líquidos con uranio producto de la descontaminación de componentes serán del orden de los 6000 l anuales.

Estos líquidos son tratados por evaporación de tal manera que el volumen se reduce a unos 500 l o menos, los cuales seguirán conteniendo uranio en solución y finalmente se almacenan en recipientes plásticos de acuerdo a lo que disponga la Autoridad Regulatoria Nuclear (ARN), hasta su reutilización, la que se realizará considerando que el uranio contenido en los líquidos mencionados tiene un alto valor comercial.

---

## 5.4. DESCRIPCIÓN DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE EFLUENTES CLOACALES

---

### 5.4.1. Tratamiento Primario

---

#### 5.4.1.1. Cámaras sedimentadoras- digestoras

---

El afluente que ingresa al sistema de tratamiento proviene de los sanitarios, aseos y del comedor instalados en el área de “Pilca II” del CTP. Este escurre por gravedad hacia el sistema de pretratamiento que se realiza en las cámaras sedimentadoras-digestoras. En este sistema se asientan los sólidos en suspensión y se separan las sustancias flotantes, eliminando de esta forma los sólidos suspendidos arrastrados por los desagües. Los sólidos excedentes generados en el tratamiento secundario también se recirculan a estas cámaras.

El sistema de tratamiento primario presenta dos cámaras, una respectiva al recinto de sedimentación separado y la otra sumergida. Esta disposición permite la efectiva degradación de los sólidos floculantes y favorece tanto las condiciones necesarias para la sedimentación como el aislamiento de los líquidos frescos de la zona de digestión, evitando de esta manera la generación de olores

Por lo tanto, las sustancias que ingresan en el tratamiento primario se deslizan por las ranuras del recinto de sedimentación hacia el recinto inferior de digestión donde se degrada anaeróbicamente. El líquido pretratado continúa el circuito de tratamiento hacia la cámara de aireación.

### 5.4.2. Tratamiento Secundario

---

#### 5.4.2.1. Cámaras de Aireación

---

El efluente se conduce a un recinto de aireación en el cual la materia orgánica biodegradable es oxidada a través del metabolismo de las bacterias aerobias, presentes en forma de lodo en suspensión denominado barro o lodo activado. El oxígeno necesario para la actividad de estos microorganismos se provee por intermedio de compresores que impulsan aire a través de difusores que se encuentran dispuestos en el fondo del recinto.

#### 5.4.2.2. Sedimentadores secundarios

El efluente de las cámaras de aireación desborda a los sedimentadores en los cuales decanta el barro activado arrastrado. Este barro que se asienta en el fondo es extraído por eyección neumática y es recirculado a la entrada de las cámaras de aireación a fin de “sembrar” el desagüe crudo y mantener en el mismo la cantidad de bacterias necesarias para consumir toda la materia orgánica que presente en el efluente.

Periódicamente, y en función de su acumulación, parte de este barro se derivará a través de las válvulas correspondientes a las cámaras sedimentadoras-digestoras. Las aguas clarificadas que se obtienen del sedimentador son redirigidas a través de un colector y desde allí se envían a la Planta de tratamiento por Filtros Fitoterrestres. En la Figura N° 5 se muestra la vista en planta de la PTLC y la Figura N° 6 un corte transversal de la misma.

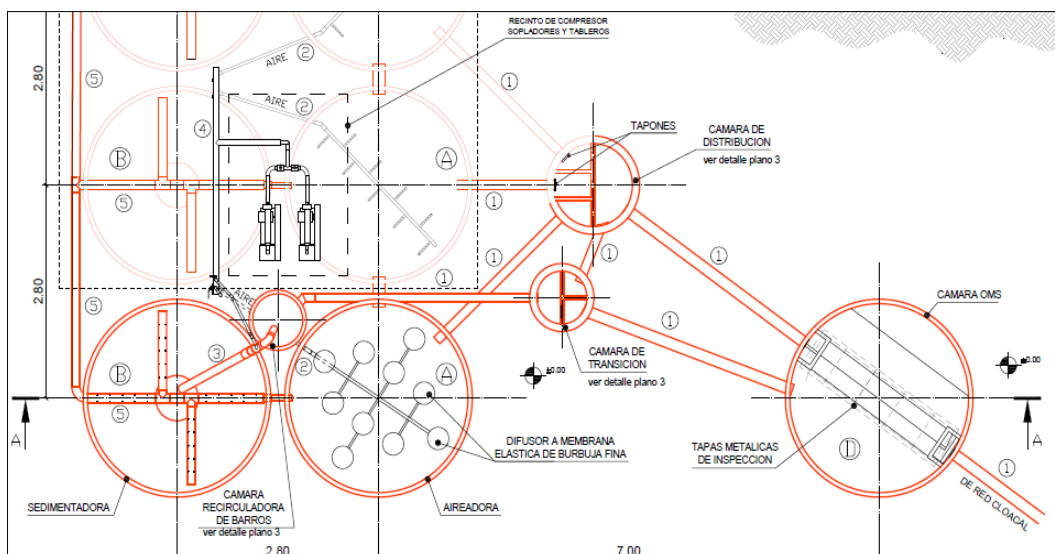


Figura N° 5: Vista en planta de la Planta de Tratamiento de Líquidos Cloacales

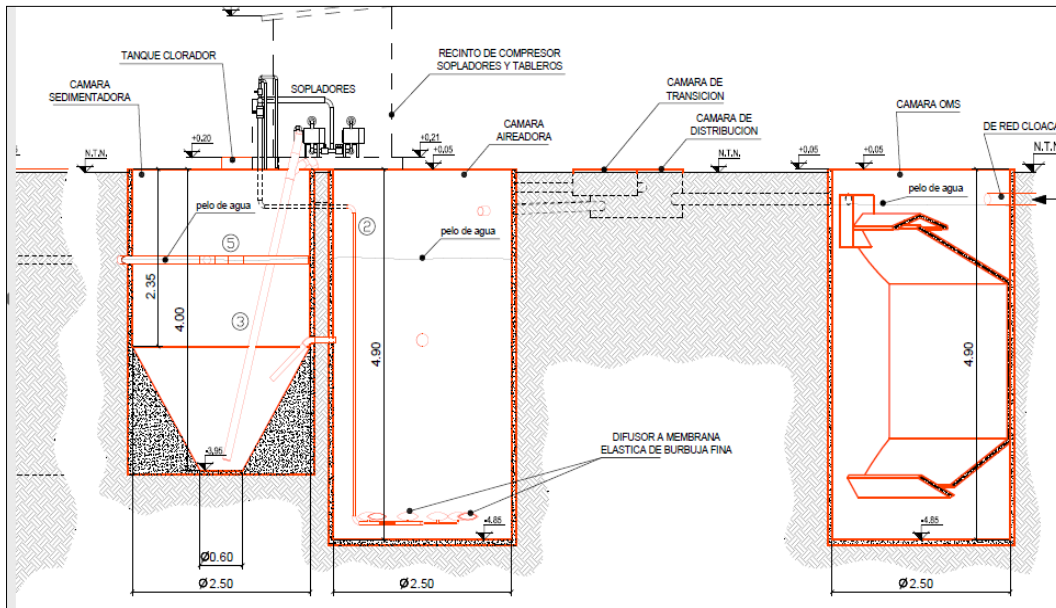


Figura N° 6: Vista en corte de la Planta de tratamiento de Líquidos Cloacales

### 5.5. PLANTA DE TRATAMIENTO POR FILTROS FITOTERRESTRES (PTFFT)

La PTFFT está compuesta por la Pileta Flujo Horizontal, con la capacidad de realizar el tratamiento terciario de los líquidos provenientes de la PTLC con un caudal de aproximadamente 24 m<sup>3</sup> por día. Además, se compone por tres Piletas de Flujo Vertical que tienen como función el tratamiento para retención de flúor de los líquidos provenientes de la Línea de Efluentes de Servicios Auxiliares de la PTE del Mock-up. Estos líquidos son enviados en, aproximadamente, cuatro “batches” (volumen de efluentes a ser descargado en forma controlada y discontinua, de parámetros conocidos como ser, concentraciones de fluoruros, uranio, pH, etc.) anuales de hasta 3 m<sup>3</sup> cada uno hacia los tanques equalizadores. Para ser distribuidos en las humidificadoras en días sucesivos y con una concentración de flúor no mayor a 500 mg/l y pH entre 6 y 8. La conexión entre las piletas de monitoreo de la PTE y los tanques equalizadores es a través de una cañería de polietileno de 2” de diámetro y con una longitud total de aproximadamente 300 m.

El Sistema se conforma por:

- Tanques ecualizadores
- Sistemas de conducción y conteo de caudal.
- Humificadoras (Filtros Verticales) para el tratamiento de efluentes con fluoruros.
- Módulo horizontal para el tratamiento de efluentes cloacales tratados.
- Cámara de salida.
- Estación de bombeo.
- Sistema de riego

#### 5.5.1.1. **Tanques ecualizadores**

---

Estos tanques tienen la función de amortiguar el volumen de efluentes con fluoruros, provenientes de la pileta de Monitoreo de la PTE. Son dos tanques conectados a través de cañerías aéreas de PVC de 2" de diámetro. La capacidad de almacenaje de los tanques es de 10 m<sup>3</sup> y de 3 m<sup>3</sup> cada uno. La Figura N° 7 muestra los tanques que reciben los efluentes de la Pileta de Monitoreo de la PTE.



Figura N° 7: Tanques equalizadores.

#### 5.5.1.2. Humificadoras (Filtros Verticales)

El sistema consiste en tres piletas, cuya función específica es el tratamiento biológico de los líquidos que, provenientes de la PTE, contienen fluoruros. Considerando las características el volumen, cada Humificadora posee un talud perimetral cuya pendiente es de 60°, con una base de 5 x 4 m y una altura de 1,10 m. El fondo y el talud lateral de cada Humificadora están recubiertos con membrana de polietileno de alta densidad y de espesor de 2000  $\mu\text{m}$ . Sobre la membrana de polietileno del fondo son dispuestas cañerías paralelas, cuya función es el filtrado y drenaje del líquido. Las cañerías de filtrado y drenaje son de tipo drenoflex con 110 mm de diámetro y 3,2 mm de espesor. Las Humificadoras cuentan, hacia el interior de la membrana de polietileno, un revestimiento de grava y arcilla con un espesor mínimo de 0,30 m en el fondo de las mismas y de 0,40 m en los taludes laterales.

A estos módulos se les incorporan efluentes provenientes de los tanques equalizadores, en forma de batch con una concentración no mayor de 500 mg/l



de fluoruros y con un pH comprendido entre 6 y 8, nunca sobrepasando los 5 cm por encima del nivel del sustrato.

Si bien el momento de uso es durante la temporada estival, se debe tener un especial cuidado en que siempre tenga humedad suficiente, considerando que las plantas son de pantano. Esto puede monitorearse mediante la cañería de control.

En ningún momento deberá salir líquido de estos dos módulos. El sistema está diseñado para que en la época estival se evapotranspire un total de 12 m<sup>3</sup>. La Figura N° 8 muestra las Humificadoras (Filtros Verticales).



Figura N° 8: Humificadoras

Por seguridad se construyó un tercer módulo. Si por un evento extraordinario los filtros verticales deben generar efluentes, estos pueden ser alojados en el mismo para su tratamiento. Este tercer filtro módulo cuenta con una salida para casos de contingencias. Para mantener la humedad en este módulo se le pueden incorporar los lodos de la PTLC para su acondicionamiento. Las plantas utilizadas por estos filtros son las llamadas carrizos (*Phragmites australis*). Esta es una especie de caña del género *Phragmites* de la familia Poaceae. Es una planta perenne, con un rizoma rastrero con capacidad para crecer en la superficie

buscando agua. Puede alcanzar los 4 m de altura y 2 cm de diámetro, presentando una gran inflorescencia al final del tallo.



Figura N° 9: Conexión entre filtro vertical y filtro horizontal

Estos tres filtros verticales son protegidos en la época de lluvia y nieve con una estructura que impide el ingreso de las mismas.

#### 5.5.1.3. Módulo de Tratamiento Filtro Fitoterrestres

El Módulo de Tratamiento Filtro Fitoterrestres, cuya función es la de depuración biológica, recibe los líquidos provenientes de la PTLC y de las Humificadoras en caso de producirse líquidos excedentes. Ocupa una superficie neta (fondo) de 20 x 20 m y está rodeado de un talud de 1,20 m de altura con una pendiente de 45°. Dispone de una Cámara de Salida ubicada antes del envío de líquidos al Sector de Riego. El fondo del módulo de tratamiento cuenta con una primera capa de recubrimiento realizado con material granular, con un espesor mínimo de 0,20 m. Sobre el material granular del fondo y los taludes laterales se encuentra un revestimiento de membrana de polietileno de alta densidad y de espesor de 2000 µm. Sobre la membrana de polietileno se disponen cañerías de filtrado y drenaje,

tipo drenoflex de 110 mm de diámetro, las que se extienden hasta la Cámara de Salida del Módulo. También cuenta con piedra bola, variando su espesor en toda la superficie del módulo. Sobre la piedra bola del lado de salida del líquido cuenta de una capa de arena con sustrato humoso de aproximadamente 0,55 m de espesor, de tal manera que la altura total de relleno y lecho drenante sea de 0,90 m, medido en el lado de salida de líquidos. Sobre este relleno se implanta el vegetal utilizado como filtro el carrizo. La Figura N° 10 muestra un corte del Módulo de Tratamiento Horizontal.

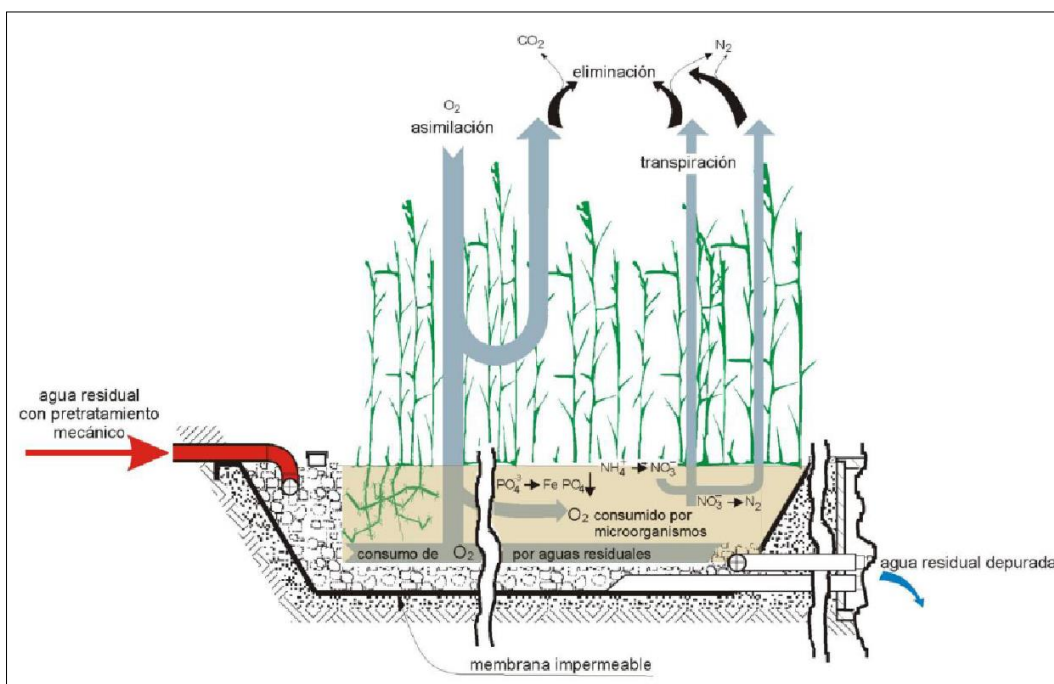


Figura N° 10: Esquema de perfil de Módulo de Tratamiento Horizontal

#### 5.5.1.4. Cámara de salida

Se trata de una cámara de fibra de vidrio, que se encuentra semienterrada y a la salida consta de dos mangueras flexibles para el control hidráulico, una para controlar el drenaje final y una para el drenaje interior. Dicha cámara también funciona como inspección y punto de control para la toma de muestras. La Figura N° 11 muestra las mangueras con control hidráulico de niveles.



Figura N° 11: Cámara de salida

#### 5.5.1.5. Estación de bombeo

El control del bombeo de salida se encuentra sistematizado. Se implementó un tablero automático con sus protecciones correspondientes.

La función del módulo horizontal es la de realizar el tratamiento final de los efluentes cloacales tratados antes de derivar los mismos al Área de Riego. La Figura N° 12 muestra el sitio electo para realizar el riego con el reuso de efluentes tratados.



Figura N° 12: Área de riego

### 5.5.1.6. Sistema de Riego

Durante una primera etapa se realizó riego por manto, sobre vegetación natural. Esto permitió lograr una apreciación real de todos los parámetros y comportamiento del sistema. Dicha operación se realizó instalando a una altura media del talud de contención una manguera de polietileno de diámetro de 50 mm que conducía el efluente hacia el inicio de cada manguera principal (de una pulgada de diámetro). Se construyeron 5 mangueras principales (surcos) y de cada una se desprendieron mangueras secundarias (también de una pulgada de diámetro) a modo de ramificación hacia ambos lados, como muestra la Figura N° 13.

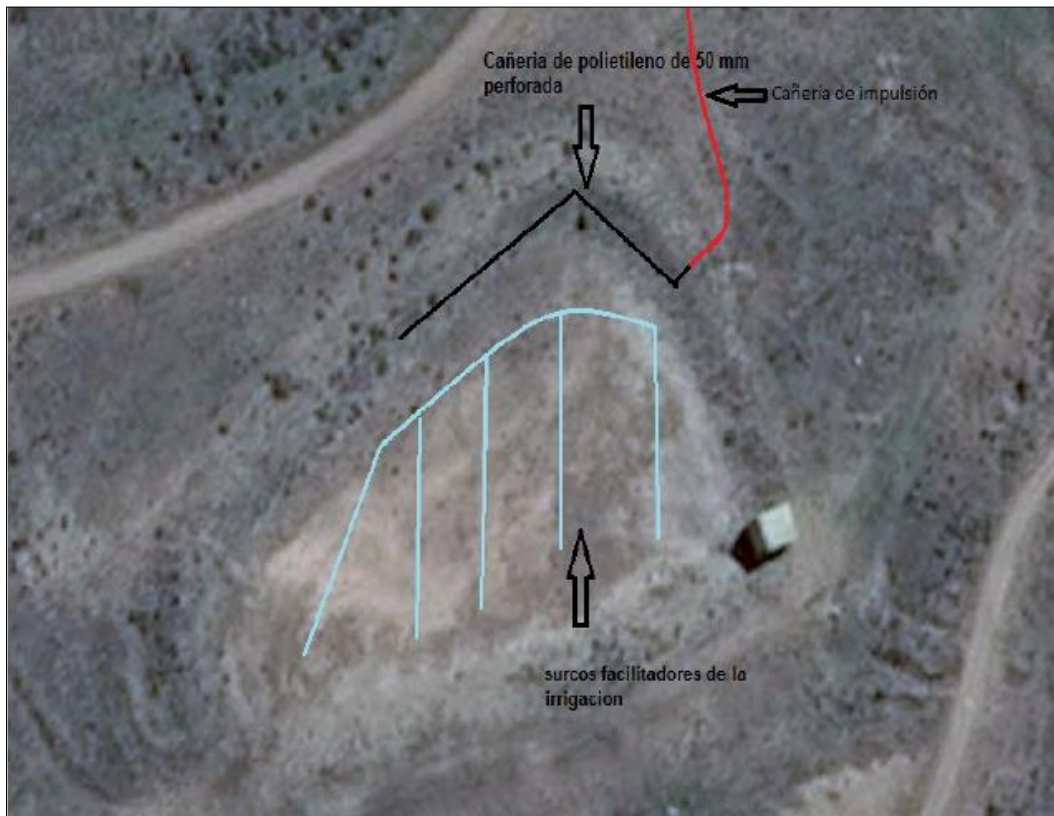


Figura N° 13: Sector de riego

A los efectos de la valoración del desempeño ambiental del Mock-Up y de los impactos del tratamiento de los efluentes generados por las actividades realizadas, las plantas de tratamiento PTE y la PTLC, son consideradas incluidas en un Sistema Integral de Tratamiento de Efluentes, cuya función es la de asegurar que los efluentes cumplan los requisitos normativos correspondientes.

---

## 6. MATERIALES Y MÉTODOS

---

### 6.1. ÁREA DE ESTUDIO

---

El Complejo Tecnológico Pilcaniyeu (CTP) de la Comisión Nacional de Energía Atómica (CNEA) se encuentra sobre la margen derecha del río Pichi Leufú (RPL), en el Departamento Pilcaniyeu, provincia de Río Negro, (Latitud Sur 41,2° - Longitud Oeste 70,9°), a 60 km de la ciudad de San Carlos de Bariloche, con acceso desde la ruta nacional N° 23 a la altura del km 576. En la Figura N° 14 se muestra la ubicación general del CTP y la Figura N° 15 muestra la accesibilidad al mismo.

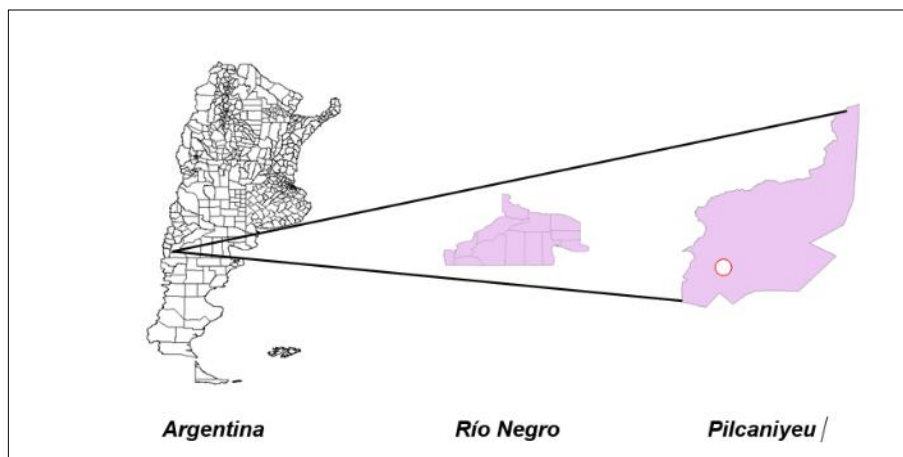


Figura N° 14: Ubicación general del Complejo Tecnológico Pilcaniyeu



Figura N° 15: Accesibilidad al CTP

El clima en el área es semiárido frío con un régimen mediterráneo de lluvias (concentradas en otoño-invierno) y marcado déficit de humedad en verano (Muñoz, 1982). La precipitación media anual es de  $264 \pm 79$  mm, siendo el mes más lluvioso junio, en el cual se concentran alrededor del 20% de las precipitaciones anuales (Estación Meteorológica INTA Pilcaniyeu 1978-2008).

La latitud y el grado de continentalidad determinan el régimen de temperaturas de una región, en el caso de la provincia de Río Negro este régimen está caracterizado por ser templado fresco con una moderada amplitud anual (Godagnone y Bran, 2009). La temperatura media anual del área es de  $7,7^{\circ}\text{C}$ , mientras que la temperatura máxima media anual es  $12,8^{\circ}\text{C}$  y la temperatura mínima media anual es  $2,3^{\circ}\text{C}$ . En los meses invernales se observan temperaturas por debajo de los  $0^{\circ}\text{C}$ , siendo el mes más frío julio con una temperatura media anual registrada de  $0,9^{\circ}\text{C}$ ; y los meses más calurosos son enero y febrero con una temperatura media anual de  $14,2^{\circ}\text{C}$ . Los factores locales como la topografía y el viento afectan la temperatura. En el caso de los fuertes vientos, estos reducen la temperatura media en aproximadamente  $4,2^{\circ}\text{C}$ , por lo tanto la sensación térmica siempre es menor a la temperatura real registrada (Paruelo et al., 1998).

La provincia de Río Negro está afectada por dos centros de presión: el centro de alta presión subtropical del Pacífico y la faja de baja presión del círculo polar

antártico. Ambos centros de presión tienen pequeñas variaciones estacionales en cuanto a su localización e intensidad, lo que ocasiona la permanencia durante todo el año de los vientos que se originan en ellos. Estos vientos fuertes conocidos como “Vientos del oeste de las latitudes medias” o “Vientos de Ferrell”, descargan la humedad proveniente del océano Pacífico a ambos lados de la cordillera de los Andes (Muñoz y Garay, 1985; Godagnone y Bran, 2009). Los vientos del oeste no sólo son conocidos por su persistencia durante todo el año sino también por su gran intensidad (Paruelo et al., 1998). La velocidad media anual del viento en el área de trabajo es de 9,2 km/h con velocidades máximas que superan los 80 km/h en el mes de enero. La distribución anual de la velocidad media de los vientos aumenta en los meses de primavera y verano, disminuyendo la intensidad durante el invierno.

La vegetación del área corresponde al Distrito Occidental de la Provincia Fitogeográfica Patagónica caracterizada por estepas arbustivo-graminosas como unidad fisonómica florística (León et al., 1998). Además, el INTA, siguiendo el esquema fitogeográfico de Argentina (Cabrera, 1971), dividió a esta gran provincia fitogeográfica en áreas ecológicas homogéneas, con problemáticas agro-productivas semejantes (Bran, 1992). Teniendo en cuenta esta clasificación el área se encuentra dentro del área ecológica de Sierras y Mesetas Occidentales.

La fauna del área es propia de la Subregión zoogeográfica Andino patagónica con aportes de fauna exótica asilvestrada y doméstica (Ringuelet, 1961).

El sector de interés está ubicado dentro del Macizo Nordpatagónico o Macizo de Somuncurá o aún Precordillera Patagónica (Giacosa y Heredia, 2001). El relieve se caracteriza por un paisaje de lomadas y depresiones de origen glaciario con formas erosivas desarrolladas durante el Pleistoceno (Rabassa, 1979). Los suelos del área corresponden a tres tipos: Xerortentes líticos, en cimas de colinas, son suelos someros, areno-francos con escaso contenido de materia orgánica; Haploxeroles líticos, en laderas altas de pendiente pronunciada, son suelos someros, arenosos, sin estructura con moderado contenido de materia orgánica y Haploxeroles típicos, en laderas medias bajas y pendientes moderadas, son suelos profundos, arenosos con moderado contenido de materia orgánica.



## 6.2. DISEÑO DE MUESTREO

Todos los puntos de muestreo se ubicaron dentro de la cuenca del RPL. La misma se ubica entre los paralelos  $40^{\circ} 36,5'$  -  $41^{\circ} 31'$  de latitud sur y los meridianos  $70^{\circ} 24,5'$  -  $71^{\circ} 17,5'$  de longitud oeste. Forma parte de la cuenca del río Limay, desaguando por margen derecha en el embalse Alicurá. Se desarrolla en su totalidad en la provincia de Río Negro, en los departamentos Pilcaniyeu (98%) y Bariloche (2%) y su drenaje general es en sentido sur-norte (Figura N° 16).

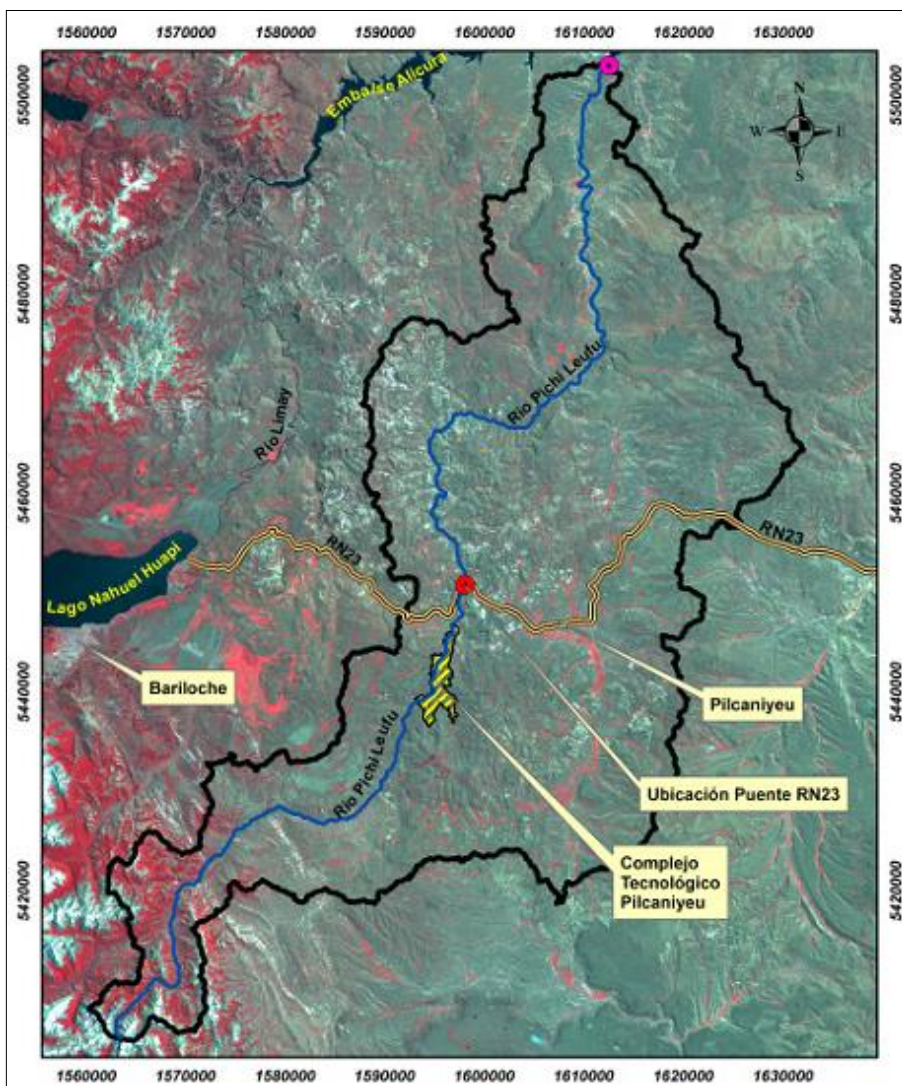


Figura N° 16: Ubicación de la cuenca del RPL

El diseño del muestreo de aguas superficiales implementado consta de 5 sitios de muestreo. A continuación, se detalla la ubicación y descripción de cada uno:

### 6.2.1. M1. Sitio cabecera del Río Pichi Leufú.

Coordenadas Geográficas: 41°11'35.88"S; 70°53'26.95"O

Este sitio se localiza dentro del predio del CTP, a 100 m aproximadamente del límite alambrado del lateral sur. Se encuentra en una zona alejada de la actividad antrópica y fuera de la zona de impacto que pudieran ocasionar las estructuras edilicias. Punto considerado como blanco, en el colector principal, para la actividad global que desarrolla la CNEA.

En la margen Este del río existe una planicie aluvial de aproximadamente 100 m que presenta abundante material con predominancia de cantos rodados.

En dirección este se observan pequeñas elevaciones con pendiente suave hacia el río. A 500 m del punto muestreado, en dirección norte se encuentra la primera infraestructura edilicia de la CNEA, correspondiente a Pilca IV (Reactor RA 8).

Sobre la margen oeste se observan pequeñas serranías cuyo piedemonte termina sobre el lecho del río.



Figura N° 17: M 1 – Cabecera del RPL

---

### 6.2.2. M16. Sitio aguas abajo de la ex - descarga de efluentes

---

Coordenadas Geográficas: 41°11'15.78"S; 70°52'5.81"O

Las muestras son colectadas sobre la margen derecha del RPL, 20 m aguas debajo de la ex descarga de efluentes cloacales tratados y constituye un punto medio del monitoreo hidrológico sobre el RPL.

El área que rodea al punto de muestreo se ve representada por sedimentos cuaternarios de origen fluvial.



Figura N° 18: M16 Sitio aguas abajo de la ex - descarga de efluentes

---

### 6.2.3. M7. Sitio puente del ferrocarril patagónico -

---

Coordenadas Geográficas: 41° 7'40.05"S; 70°50'42.87"O

Las muestras fueron colectadas sobre el RPL, unos 300 m antes de arribar al puente del ferrocarril patagónico que atraviesa dicho río.

La geología del borde del río lo constituye el material aluvial en el que predomina limo y arcilla y sobresale la presencia de conglomerado. Las sierras del costado derecho lo constituyen ignimbritas.

El punto muestreado se encuentra a unos 700 m del final del predio (límite norte) y constituye el cierre de balance del monitoreo hidrológico sobre el RPL.



Figura N° 19: M7 – Puente FFCC Patagónico

#### **6.2.4. M12. Sitio puente carretero en el predio del CTP -**

Coordenadas Geográficas: 41° 9'9.82"S; 70°51'20.40"O

Estas muestras se toman sobre el colector principal del área, RPL, en un ambiente netamente fluvial, donde predomina el material de granulometría variada con presencia de cantos rodados y bloques de gran tamaño.



Figura N° 20: M 12 – Puente carretero RPL

#### **6.2.5. M9. Sitio en el Arroyo Las Ardillas.**

Coordenadas Geográficas: 41°10'53.70"S; 70°51'32.60"O

Estas muestras se colectan a unos 70 m, arroyo arriba, en cercanías a un galpón de depósito abandonado. El área se encuentra cubierta de vegetación y el agua escurre, proveniente de las serranías cercanas ubicadas al oeste, en forma clara y cristalina. El arroyo atraviesa los terrenos de la CNEA a la altura de Pilca III desembocando luego en el RPL.



**Figura N° 21: M 9 – Cabecera Arroyo Las Ardillas**

En el siguiente mapa (Figura N° 22) se muestra la red actual de monitoreo de aguas superficiales, donde se observan los sitios de muestreo. La línea amarilla limita el área de la línea de base ambiental, mientras que la línea roja indica el Área correspondiente al CTP.

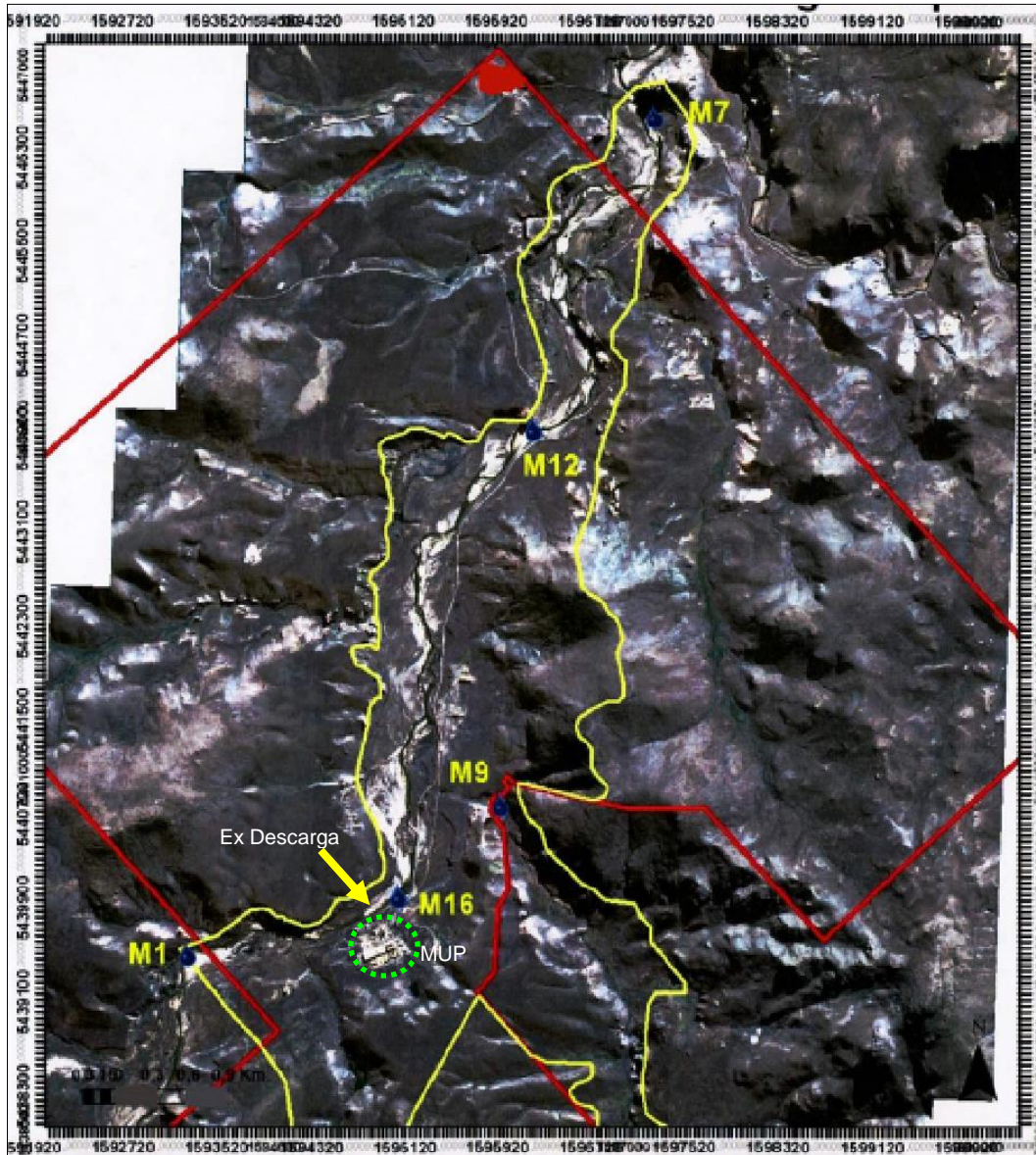


Figura N° 22: Red actual de monitoreo de aguas superficiales

### 6.3. PARÁMETROS MONITOREADOS

Las determinaciones analíticas se realizaron en condiciones de campo y de laboratorio. El análisis in situ es fundamental para la determinación de parámetros que cambian rápidamente durante el transporte y almacenamiento, así como para otros parámetros que no puedan determinarse en el laboratorio. También cuando el transporte de las muestras plantea problemas que hacen que la toma de muestras y análisis convencionales no resulten prácticos. Los equipos de análisis

portátiles permiten determinar sobre el terreno los siguientes parámetros clave de calidad del agua: temperatura, pH, Oxígeno Disuelto, Conductividad y Sólidos Disueltos.

Las determinaciones analíticas fueron realizadas en el Laboratorio del CTP, Centro Atómico Bariloche y en el Laboratorio BEHA AMBIENTAL SRL.

- Cationes: Ca, Mg, Na, K, Sr, Fe, Cr, Mn, Mo, Cd, Pb, Ni, Co, Zn, Cu, Li, U, Hg, As
- Aniones:  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{CO}_3^{2-}$ ,  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{F}^-$ ,  $\text{NO}_3^{2-}$ , P total,  $\text{NH}_4^-$ . N y C, P reactivo soluble

#### 6.4. PROCESAMIENTO Y TRATAMIENTO DE DATOS

---

Los datos recabados en esta investigación se refieren a mediciones de parámetros de calidad de agua en 5 sitios de muestreo a lo largo del tiempo. En cada momento de tiempo se puede obtener una matriz de datos en la que los sitios constituyen las filas (individuos) y los parámetros constituyen las columnas (variables). De esta manera se obtiene un conjunto de datos multivariados. El tratamiento de este tipo de estructura de datos puede realizarse con técnicas clásicas de Análisis Multivariado como el Análisis de Componentes Principales (ACP).

Si se consideran todas las matrices obtenidas a lo largo del tiempo, se cuenta con datos de tres vías, formados por individuos, variables y condiciones. En este caso, los análisis mejoran notablemente si se utiliza alguna técnica que respete la estructura cúbica de los datos. El Análisis Factorial Múltiple (AFM) (Esoffier y Pagès, 1988) permite trabajar simultáneamente con varias de tablas de datos, referidas al mismo conjunto de individuos. Cada tabla deberá estar centrada para poder interpretar los ejes principales como direcciones de mayor variabilidad y los cosenos de los ángulos entre vectores variables como coeficientes de correlación. Como todos los grupos de variables están definidos sobre el mismo conjunto de individuos, las tablas pueden ser concatenadas una al lado de la otra (yuxtapuestas horizontalmente) y formar una única tabla o matriz de individuos



por variables. Por lo tanto la información de partida está constituida por  $q$  tablas (grupos de variables o matrices) de  $n$  filas (individuos) y  $p$  columnas (variables).

El objetivo del AFM es encontrar una estructura común o representativa de todas las tablas (configuración consenso o compromiso), poniendo de relieve los principales factores de variabilidad de los individuos, de una manera equilibrada, para los  $q$  grupos de variables. Cuando las variables son cuantitativas, como en este caso, el AFM se basa en la metodología del ACP y consta de dos etapas. En la primera se estudia cada tabla por separado y en la segunda se realiza un análisis conjunto de toda la información.

Los resultados permiten analizar cómo se comportan los indicadores a lo largo del tiempo, es decir, la evolución de las variables. Además, permite caracterizar los sitios de muestreo, analizando su comportamiento en las diferentes condiciones. Por otro lado, a través de coeficientes específicos se puede estudiar la estabilidad del fenómeno a través de las distintas condiciones.

La técnica suministra gráficos que facilitan la interpretación de los resultados y muestran de manera resumida el comportamiento de cada uno de los tres elementos que constituyen la información: sitios, parámetros, tiempo. El software estadístico utilizado fue R versión 3.6.0.



---

## 7. RESULTADOS

---

El análisis de los resultados consta de tres partes: análisis de condiciones, análisis de sitios de muestreo y análisis de variables.

Las condiciones son los diferentes momentos en el tiempo. Para analizar cómo se comporta el fenómeno en estudio a través de las condiciones se puede utilizar el coeficiente RV que mide el grado de homotecia entre dos matrices, es decir, cuánto se parecen las configuraciones de sitios en cada momento. Este coeficiente toma valores entre 0 y 1.

En este estudio todos los valores resultaron mayores a 0,69 lo cual sugiere estructuras con gran similitud, mostrando las mayores diferencias el verano el 2012 con el invierno de 2014 (Tabla 1). Se debe tener presente que el laboratorio de Mock-up inició su funcionamiento en junio de 2014.

Por otro lado las mayores semejanzas se encontraron entre verano 2014 e invierno 2015 ( $RV = 0,985$ ).



**Tabla N° 1: Índice RV.**

	V12	O12	I12	P12	V13	O13	I13	P13	V14	O14	I14	P14	V15	O15	I15	P15
V12	1.000															
O12	0.804	1.000														
I12	0.806	0.969	1.000													
P12	0.885	0.926	0.881	1.000												
V13	0.810	0.980	0.954	0.906	1.000											
O13	0.897	0.950	0.917	0.923	0.939	1.000										
I13	0.857	0.976	0.979	0.913	0.950	0.940	1.000									
P13	0.729	0.944	0.871	0.896	0.937	0.901	0.864	1.000								
V14	0.862	0.932	0.936	0.890	0.914	0.947	0.915	0.910	1.000							
O14	0.734	0.848	0.830	0.795	0.827	0.840	0.788	0.894	0.941	1.000						
I14	0.693	0.901	0.888	0.908	0.844	0.787	0.881	0.861	0.844	0.793	1.000					
P14	0.873	0.888	0.890	0.941	0.841	0.913	0.886	0.855	0.944	0.881	0.890	1.000				
V15	0.773	0.830	0.793	0.928	0.810	0.810	0.775	0.886	0.874	0.865	0.900	0.930	1.000			
O15	0.813	0.923	0.933	0.953	0.896	0.871	0.922	0.883	0.902	0.820	0.960	0.942	0.919	1.000		
I15	0.823	0.946	0.936	0.886	0.919	0.921	0.919	0.933	0.985	0.941	0.881	0.925	0.882	0.903	1.000	
P15	0.889	0.966	0.970	0.946	0.945	0.946	0.976	0.886	0.957	0.867	0.908	0.942	0.863	0.954	0.947	1.000

Además, todos los momentos de tiempo contribuyen a la formación del eje principal. Se observa en la Figura N° 23 que todos tienen coordenadas cercanas a 1 en el eje horizontal.

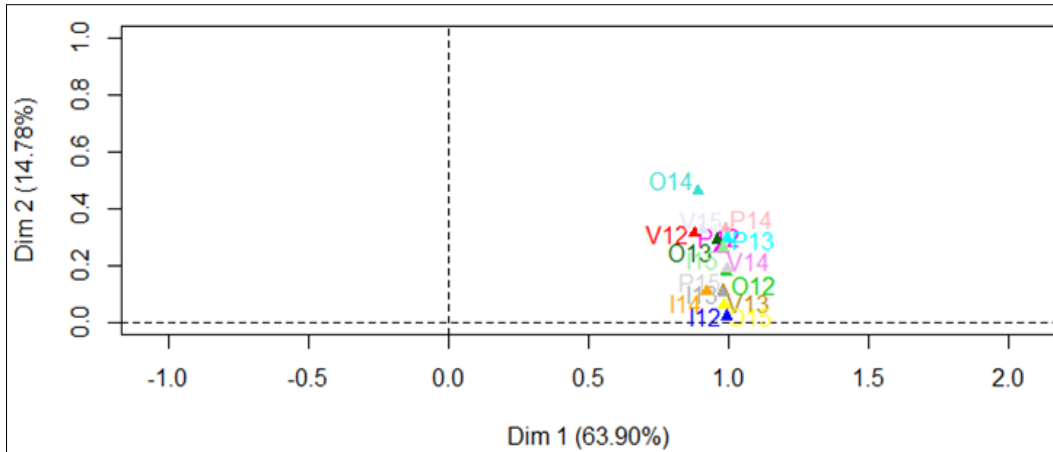


Figura N° 23: Gráfico de las condiciones en el plano principal

En relación al análisis de los sitios (Figura N° 24), se observa que el M9 tiene un comportamiento que se diferencia con respecto al resto de los puntos muestreados.

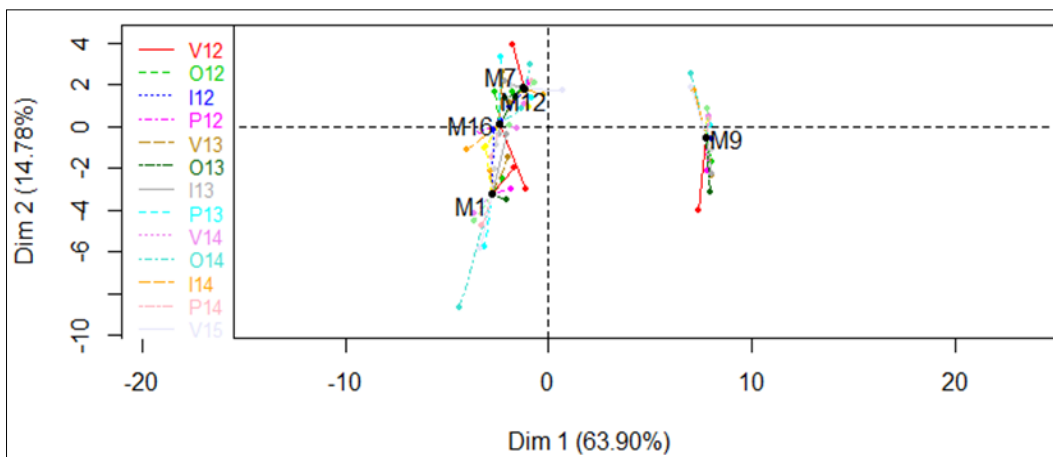


Figura N° 24: Proyección de los individuos sobre los ejes factoriales

La Figura N° 25 muestra la representación de todas las variables en todos los momentos de tiempo. La gran cantidad de variables consideradas en este análisis no permite una buena visualización en este gráfico. Por lo tanto, se analizaron todas las variables de forma individual. En la Figura N° 26 y Figura N°27 se muestran las 6 variables que aportan a la descripción de los cambios en los sitios

de muestreo a lo largo del tiempo. Estas variables son: Conductividad, Sólidos Disueltos, Potasio, Calcio, Magnesio y Sodio. Las variables Conductividad, Sólidos Disueltos y Potasio mostraron cambios en su comportamiento entre el otoño de 2014 y el verano de 2015. Mientras que las variables Calcio, Magnesio y Sodio en Verano de 2012.

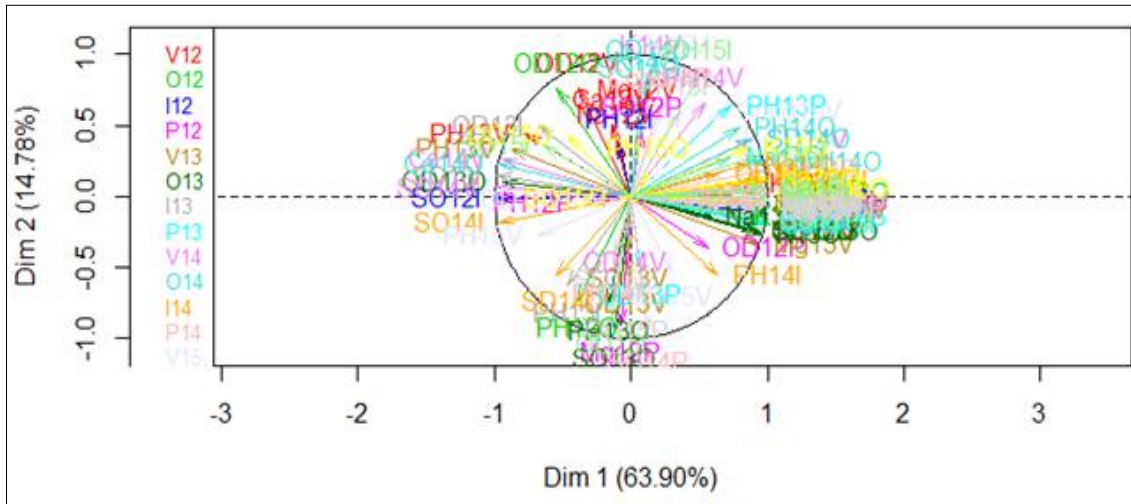


Figura N° 25: Gráfico de las variables en el círculo de correlación

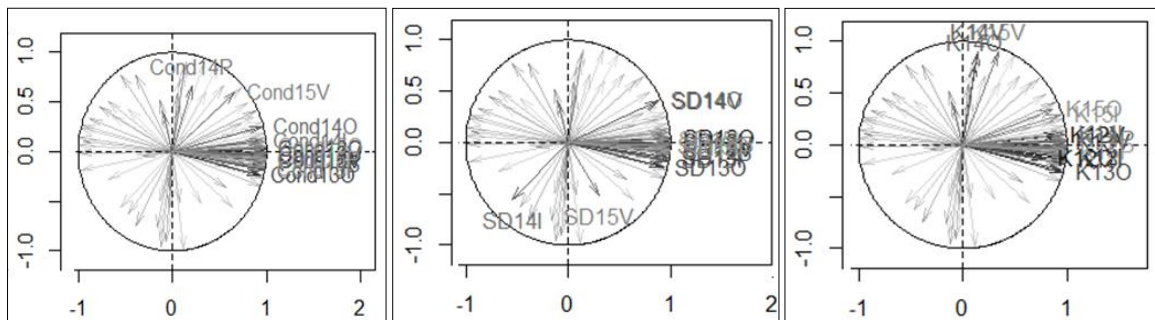


Figura N° 26: Comportamiento de las variables Conductividad, Sólidos Disueltos y Potasio

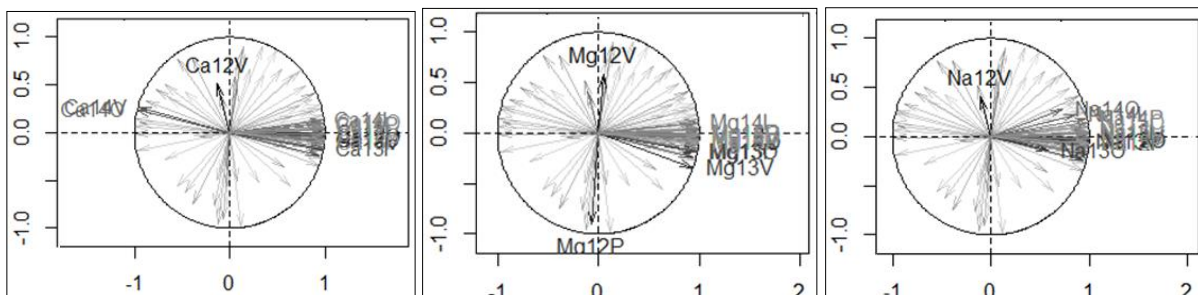


Figura N° 27: Comportamiento de las variables Calcio, Magnesio y Sodio.

El sitio M1, tomado como punto blanco, presentó mayores valores de Sólidos Disueltos en invierno 2014 y verano 2015.

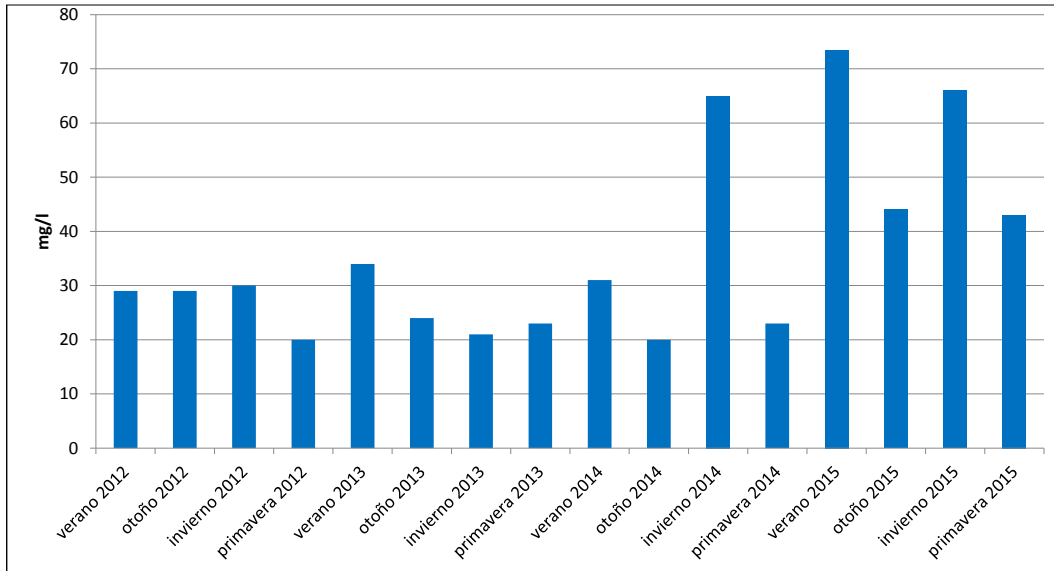


Figura N° 28: Comportamiento de Sólidos Disueltos en el sitio M1

Los sitios M7 y M12 presentaron mayores valores de Potasio en verano 2015, otoño 2014, verano de 2014 y primavera 2012.

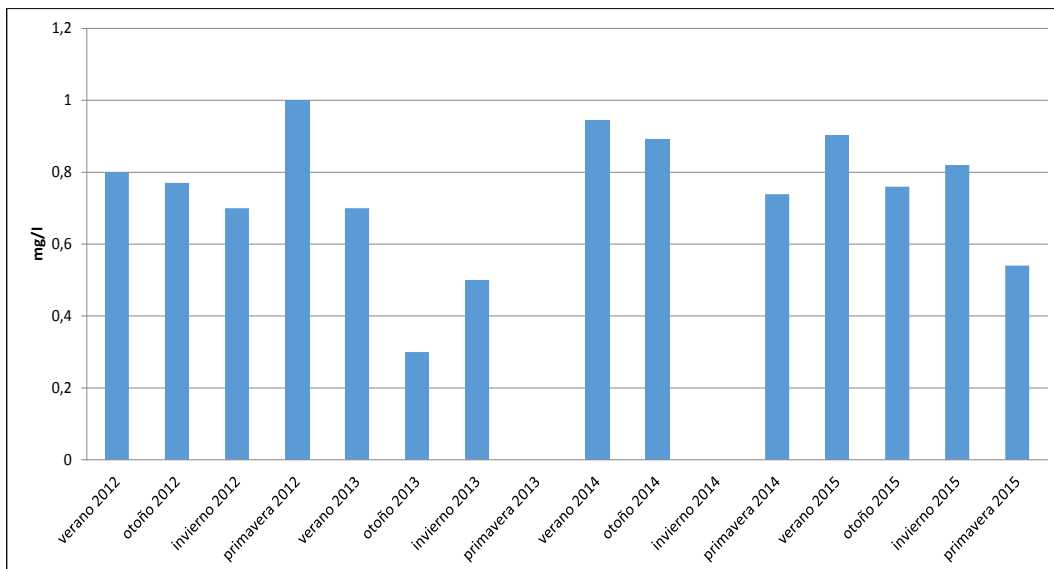


Figura N° 29: Variación de la Concentración de Potasio en el sitio M7

En general el sitio M9 posee mayores concentraciones de Conductividad, Sodio y Potasio que el resto de los sitios. A continuación se muestran gráficos (Figuras

Nº 29, 30 y 31) de las mediciones de dichas variables en comparación con los distintos sitios muestreados, donde se discrimina el M9 con línea punteada para su análisis.

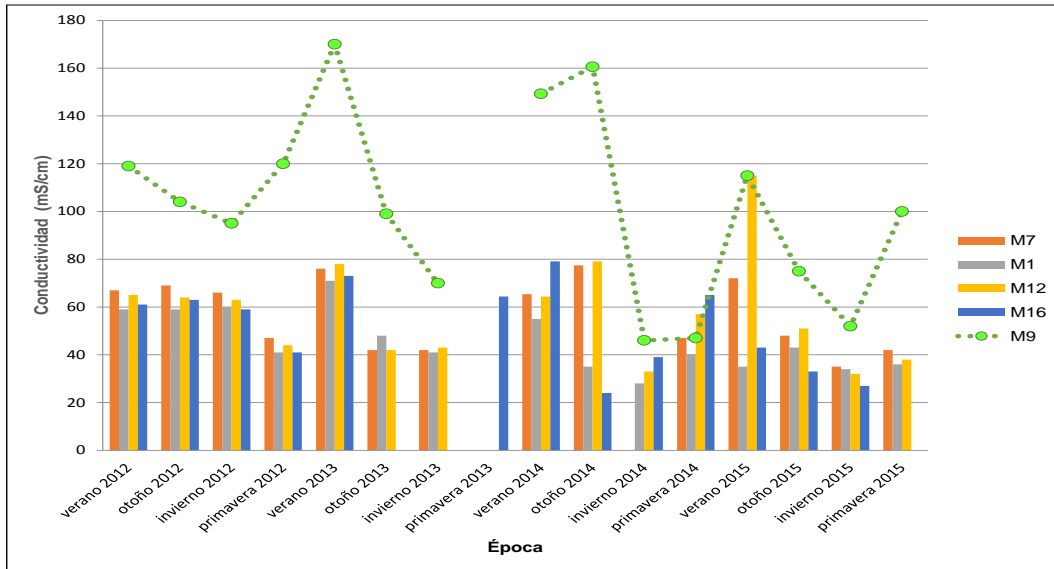


Figura Nº 30: Variación de la Conductividad

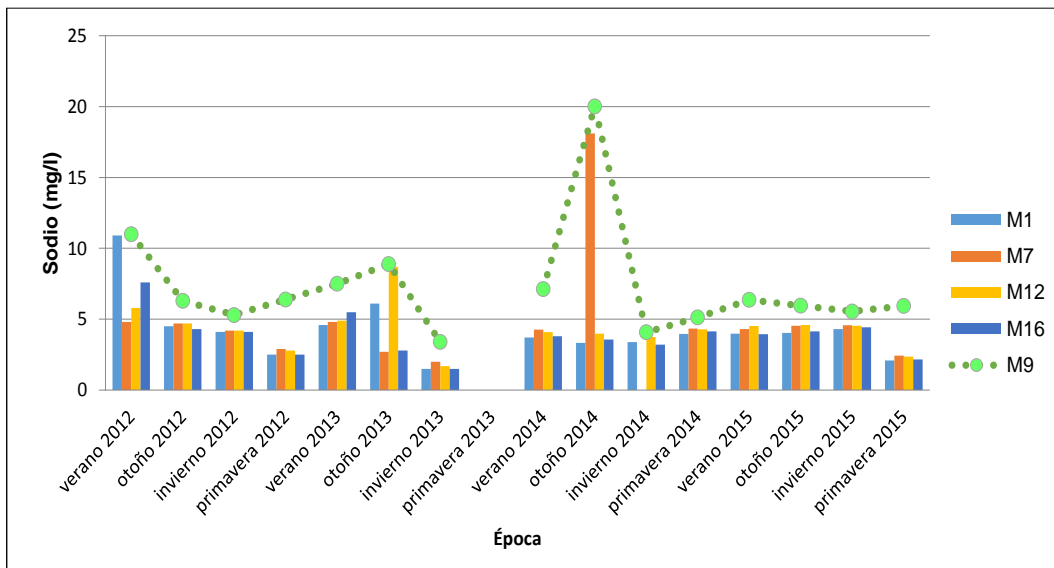


Figura Nº 31: Variación de la concentración de Sodio

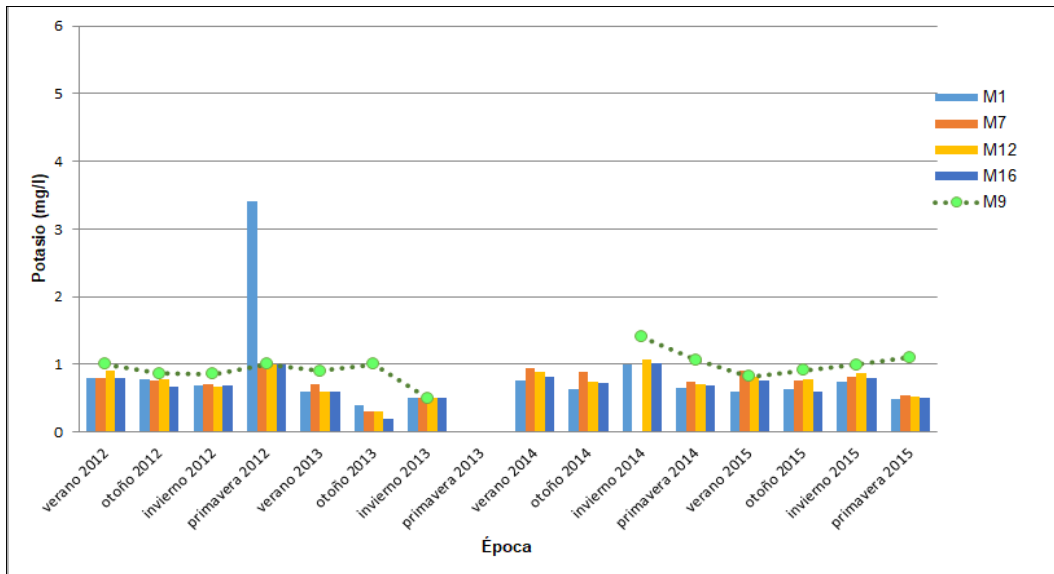


Figura N° 32: Variación de la concentración de Potasio

El sitio M1, considerado como punto blanco, posee un comportamiento similar en las variables analizadas al resto de los puntos de monitoreo ubicados aguas abajo.

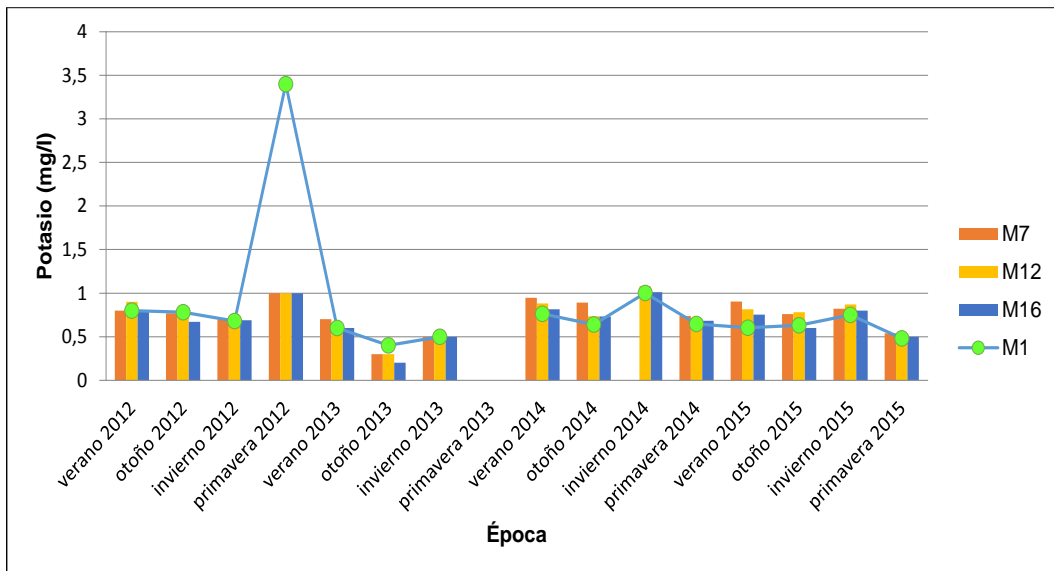


Figura N° 33: Comparación de la variación de la concentración de Potasio del sitio M1 con el resto de los sitios.



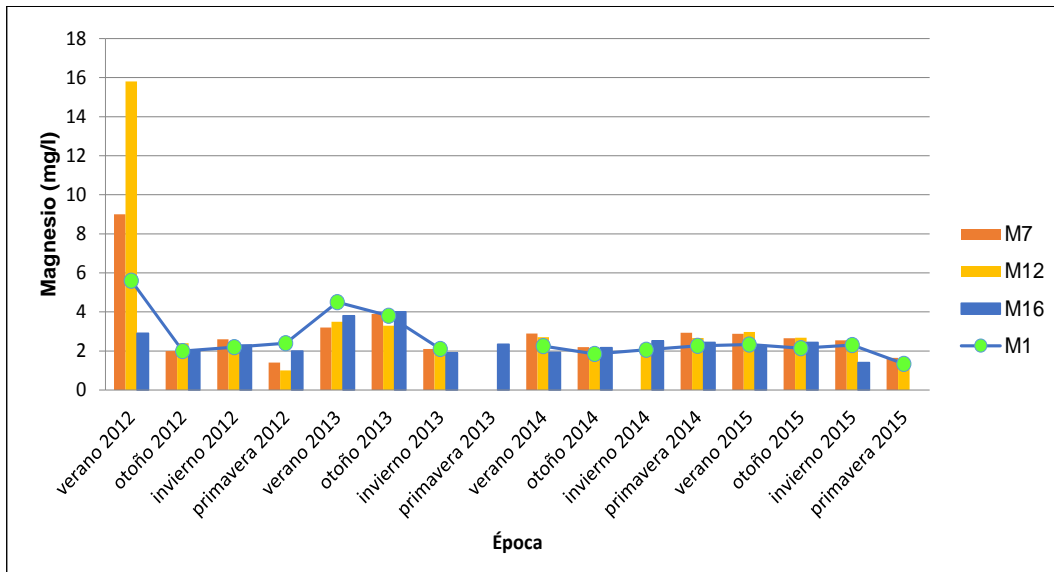


Figura N° 34: Comparación de la variación de la concentración de Magnesio del sitio M1 con el resto de los sitios.

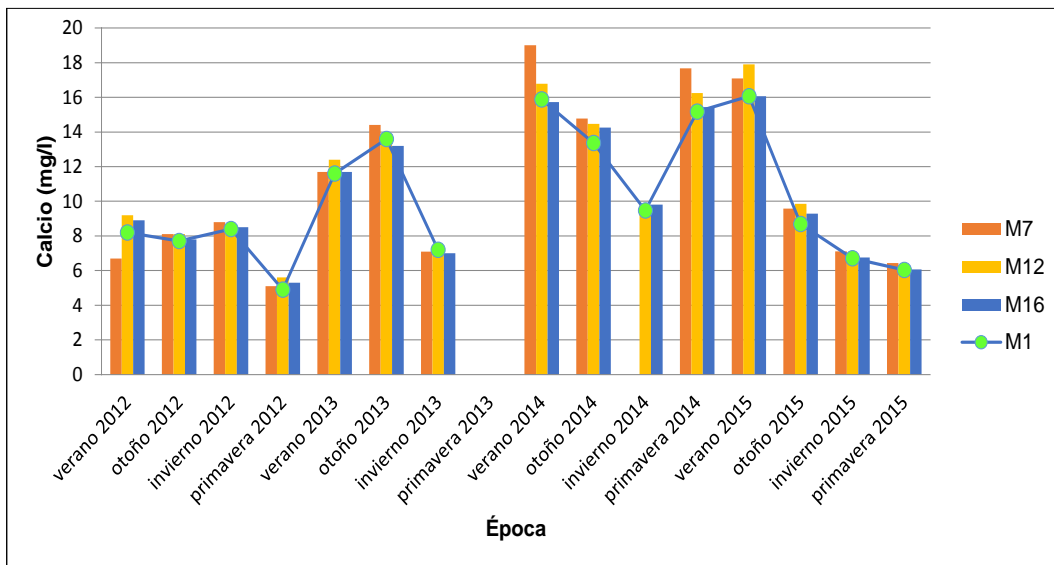


Figura N° 35: Comparación de la variación de la concentración de Calcio del sitio M1 con el resto de los sitios.

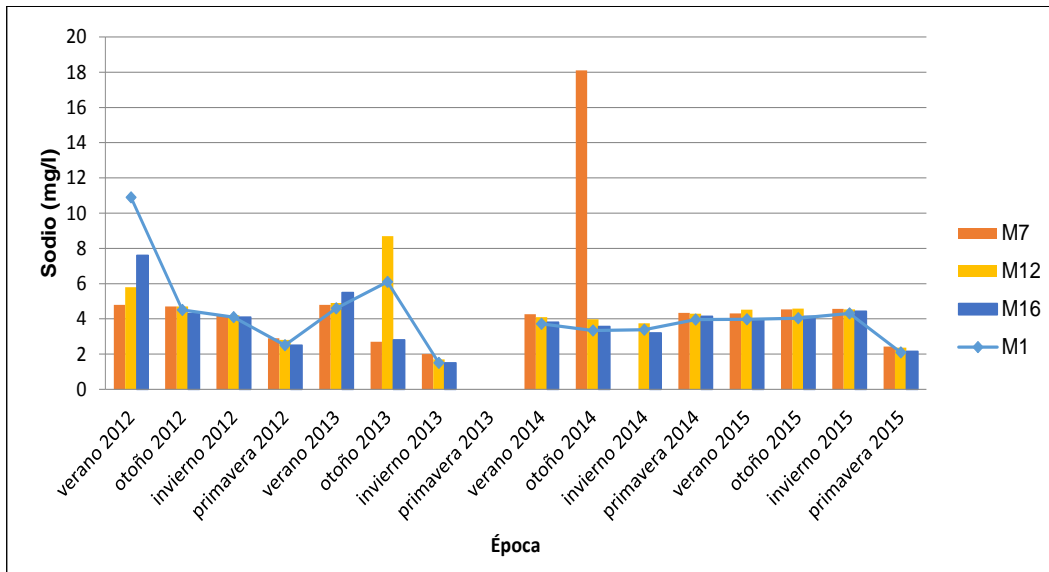


Figura N° 36: Comparación de la variación de la concentración de Sodio del sitio M1 con el resto de los sitios.

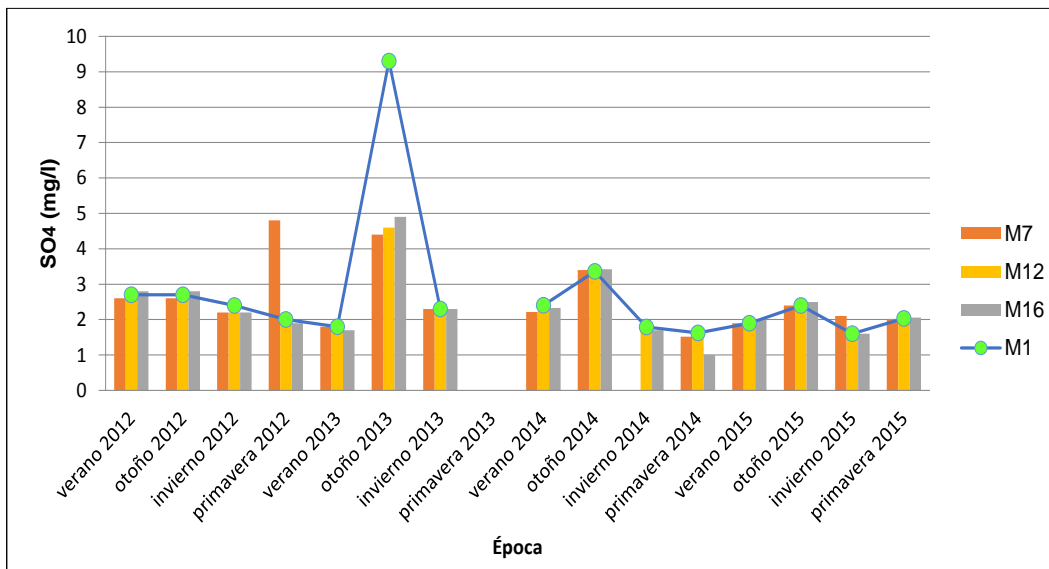


Figura N° 37: Comparación de la variación de la concentración de Sulfatos del sitio M1 con el resto de los sitios..

Cabe aclarar que en primavera del año 2013 y en invierno del año 2014 en el sitio M7 no se obtuvieron datos de los parámetros analizados en laboratorio debido a cuestiones climáticas y de logística.

---

## 8. CONCLUSIÓN

---

A lo largo de este Proyecto se analizó la variación de los parámetros físico-químicos correspondientes a aguas superficiales del Río Pichi Leufú con el fin de evaluar el efecto de la puesta en funcionamiento del Laboratorio Mock-up instalado por la CNEA sobre la calidad del agua.

En éste caso se analizaron pH, Conductividad, Sólidos Disueltos, Oxígeno Disuelto, Sulfatos, Calcio, Magnesio, Sodio y Potasio. Sólo se realiza análisis del anión Sulfato, debido a que los demás aniones ( $\text{Cl}^-$ ,  $\text{CO}_3^{2-}$ ,  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{F}^-$ ,  $\text{NO}_3^{2-}$ , P total,  $\text{NH}_4^-$ , N, C y P reactivo soluble) no registraban una variación significativa en los resultados obtenidos desde el año 2008 a la fecha.

En cuanto a los cationes analizados, se eligieron Ca, Mg, Na, K, dado que el resto presentaban valores muy bajos, mayormente por debajo del límite legal o de detección de los equipos de medición empleados para el estudio.

Se utilizó la técnica estadística de monitoreo Análisis Factorial Múltiple con el propósito de analizar distintas variables de la calidad del agua del Río Pichi Leufú, tanto físicas como químicas, a lo largo del tiempo.

Los resultados obtenidos a través del Análisis Factorial Múltiple proveen información rica en relación a la interpretación del efecto de las actividades en el Complejo Tecnológico Pilcaniyeu. Estos resultados muestran que las variables físicoquímicas utilizadas para el monitoreo en general se mantuvieron estables en los períodos analizados. Para el caso de las variables Conductividad, Sólidos Disueltos y Potasio, se detectan leves variaciones durante el año de la puesta en marcha, momento en que se implementó el sistema de vuelco cero de efluentes a través del Sistema Integral de Tratamiento de Efluentes.

Se puede observar como el M9 tiene un comportamiento distinto a los otros sitios muestreados a lo largo del tiempo. Esto se debe a que el M9 se encuentra ubicado en el Arroyo La Ardillas (afluente del Río Pichi Leufú) el cual posee menor caudal. Esto indica que exista una mayor variación de la concentración de iones medidos, por posibles aportes externos, que se mantienen en suspensión por la ligera escorrentía en comparación con los demás sitios.



Se puede concluir que las actividades que se desarrollan en el CTP no tienen influencia de manera significativa con el comportamiento natural del río analizado.

Por lo tanto, se considera que las actividades normales del Complejo Tecnológico Pilcaniyeu se desarrollan de manera satisfactoria, sin un impacto sensible sobre los recursos analizados.

Sin embargo, se sugiere que se continúen los muestreos de aguas superficiales a lo largo del tiempo para constatar que esta situación se mantiene y detectar a tiempo cambios en las condiciones, incluyendo tanto la etapa de funcionamiento como de abandono del Complejo Tecnológico Pilcaniyeu.

---

## 9. BIBLIOGRAFÍA

---

- BRAN, D. 1992. Regiones ecológicas de la Patagonia y sus principales formaciones vegetales. En: Primer curso de planificación integral de campo. Tomo I. PRECODEPA. INTA. EEA Bariloche. Río Negro.
- Cabrera AL. 1971. Fitogeografía de la república Argentina. Boletín de la Sociedad Argentina de Botánica 14 (1-2): 1-42.
- Cairns JR. 1986. Management of water quality and natural habitats to enhance both human and wildlife needs. Pp. 86-99. En: Cairns JR & R Patrick (eds.). Environmental regeneration II: Managing water resources. PraegenPubl. Filadelfia, USA.
- Diersing N. 2009. Water Quality: Frequently Asked Questions. Florida Brooks National Marine Sanctuary, Key West, FL1
- Escofier.; Pagès, J. (1990). Analyses Factorielles Simples et Multiples: Objectifs, Méthodes et Interprétation. Dunod. Paris.
- Ghermandi L. 2012. Estudio de Impacto Ambiental: Reactivación del módulo experimental para el enriquecimiento de uranio. Complejo Tecnológico Pilcaniyeu. Comisión Nacional de Energía Atómica - Centro Regional Universitario Bariloche, Universidad Nacional del Comahue.
- Giacosa R y N Heredia. 2001. Hoja Geológica 4172-IV San Carlos de Bariloche, provincias de Río Negro y Neuquén. Servicio Geológico Minero Argentino (SEGEMAR). Boletín 279. Buenos Aires.
- Godagnone RE y DE Bran. 2009. Inventario integrado de los recursos naturales de la Provincia de Río Negro. Godagnone, R.E. y Bran, D.E. (eds), INTA, Bs.As.
- Hirsch RM, WM Alley & WG Wilber. 1988. Concepts for a national water-quality assessment program. U. S. Geological Survey Circular 1021.
- Johnson DL, SH Ambrose, TJ Bassett, ML Bowen, DE Crummey, JS Isaacson, DN Johnson, P Lamb, M Saul & AE Winter-Nelson. 1997. Meanings of environmental terms. Journal of Environmental Quality. 26: 581-589.
- León RJC, DE Bran, M Collantes, JM Paruelo y A Soriano. 1998. Grandes unidades de vegetación de la Patagonia extra andina. Ecología Austral, 8(2): 125-144.

- Muñoz E. 1982. Relevamiento detallado de los recursos naturales renovables del área de influencia del Río Pichi Leufú. Comunicación Técnica N° 21, INTA-EEA Bariloche.
- Muñoz E y A Garay. 1985. Caracterización climática de la Provincia de Río Negro. Informe técnico INTA-EEA Bariloche.
- Paruelo JM, A Beltrán, E Jobbágy, OE Sala y RA Golluscio. 1998. The climate of Patagonia: General patterns and controls on biotic processes. *Ecología Austral* 8: 85-1.
- Rabassa J. 1979. Estudio geológico del sector del valle del río Pichileufú, entre el puente carretero de la ruta nacional 23 y la estancia Malaspina, Río Negro. INVAP Sociedad del Estado. Informe inédito. San Carlos de Bariloche.
- Ringuelet RA. 1961. Rasgos fundamentales de la zoogeografía de la Argentina. *Physis* 22: 151-170
- Sandoval J y M Peña. 2007. Análisis del desempeño de un humedal artificial de flujo subsuperficial en zonas tropicales basado en modelos hidráulicos y una cinética de primer orden. Conferencia Latinoamericana de saneamiento. LATINOSAN. Cali – Colombia.
- Schreiber M, 2012: Tesis Monitoreo Hidrológico Superficial del río Pichileufú y afluentes en el área del Complejo Tecnológico Pilcaniyeu, Provincia de Río Negro, Comisión Nacional de Energía Atómica. Universidad Católica de Salta. Facultad de Arquitectura y Urbanismo.
- Tortorelli M y D Hernández. 1995. Calidad de agua de un ambiente acuático sometido a efluentes contaminantes. En: Lopretto E & G Tell. *Ecosistemas de aguas continentales* (eds.) Ediciones Sur, La Plata-Argentina.