



UNIVERSIDAD
DE PIURA

REPOSITORIO INSTITUCIONAL
PIRHUA

EFICACIA DE LA TECNOLOGÍA DE MEMBRANAS PARA CONVERTIR EFLUENTES MINEROS, EN AGUAS PARA RIEGO

Rocío Gamarra-Castañeda

Piura, julio de 2015

Facultad de Ingeniería

Maestría en Gestión y Auditorías Ambientales

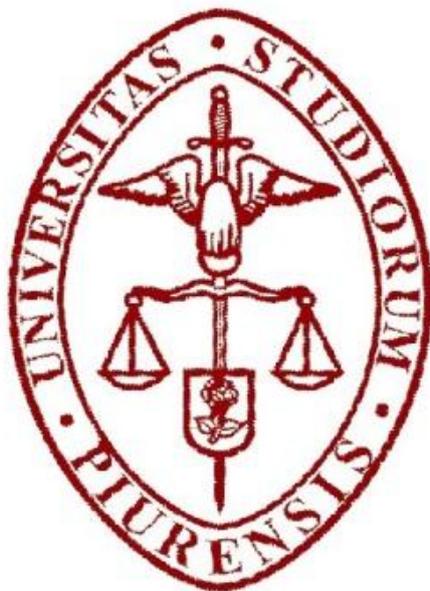
Gamarra, R. (2015). *Eficacia de la tecnología de membranas para convertir efluentes mineros, en aguas para riego* (Tesis de Maestría en Gestión y Auditorías Ambientales). Universidad de Piura. Facultad de Ingeniería. Piura, Perú.



Esta obra está bajo una [licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-SinDerivadas 2.5 Perú](#)

[Repositorio institucional PIRHUA – Universidad de Piura](#)

UNIVERSIDAD DE PIURA
FACULTAD DE INGENIERÍA



“Eficacia de la tecnología de membranas para convertir efluentes mineros, en aguas para riego”

Tesis para optar el Grado de
Máster en Gestión y Auditorías Ambientales

Rocío del Carmen Gamarra Castañeda

Asesor: Mgtr. Augusto Martín Alza Vilela

Piura, Julio del 2015

A Juan, Rodrigo y Luciana, con todo mi amor.

Prólogo

Los efluentes generados por la minería son el principal problema que enfrenta la actividad minera hoy en día. Se pueden destacar tres principales fuentes de la contaminación en la actividad minera: botaderos de desmonte, depósitos de relaves y lagunas en los tajos abiertos. Cada una de estas fuentes de contaminación tiene diferentes características tanto físicas como geoquímicas, resultando en diferentes cinética y magnitud del problema. En muchos casos las diferentes fuentes están conectadas.

Cuando esta agua contaminada alcanza los cuerpos del agua, las alteraciones del ecosistema de hecho ocurrirán. La flora y la fauna pueden ser afectadas y los recursos hídricos pueden tornarse dañinos para el consumo humano o los propósitos agrícolas e industriales. También la infiltración del drenaje ácido de la mina puede contaminar suelos y el agua subterránea.

En el pasado, las empresas operadoras frecuentemente no necesitaban remediar los impactos ambientales ocasionados en los recursos naturales. De esta manera, los costos ambientales no eran económicamente contabilizados o, incluso, muchas veces se asumían como costo cero. Como resultado, en muchos países los costos efectivos han sido con frecuencia subsidiados por los contribuyentes y los ciudadanos afectados. Actualmente las empresas están cada vez más conscientes, tanto de los impactos ambientales como de sus costos económicos. En este contexto, es interesante comenzar a conectar ambas variables de manera más sistemática, tanto en la investigación como en las estrategias de manejo.

La razón de esta investigación es presentar como alternativa de solución al tratamiento de efluentes, un sistema de tratamiento mecánico: las membranas. Esto significa bajos costos de mantenimiento y la posibilidad de ser replicado fácilmente tanto por empresas mineras en actividad como por otras que tienen pasivos ambientales producto de antiguas explotaciones. La ventaja de estos procedimientos es que son fáciles de manejar, no incluyen etapas de gran complejidad. Con la aplicación de esta tecnología los contaminantes se eliminan, se necesita poco espacio para montarla y sobre todo es respetuosa del medio ambiente.

Finalmente quiero agradecer a las personas que han cedido mucho de su valioso tiempo para colaborar conmigo en la realización de esta tesis: a Augusto Alza y Pablo Gomez por su guía y comentarios que ayudaron a encaminar la tesis y a Edgar Escobedo por la información, fotos y comentarios que son el fondo del presente trabajo.

Resumen

El objetivo principal del presente trabajo es analizar y determinar la eficacia de la tecnología de membranas para el tratamiento de efluentes, provenientes de la explotación minera.

Para lograr esto, el trabajo de investigación se ha realizado tomando muestras de efluentes mineros de cuatro distintas minas en actividad. Los distritos mineros estudiados se sitúan en la zona de los Andes del Perú, y sus operaciones son de tajo abierto, bocamina y pilas de lixiviación.

Para realizar el presente trabajo de investigación se realizó una primera toma de muestras que permitió realizar la caracterización completa del agua de entrada (microbiológica, fisicoquímica, etc.) a los sistemas de membrana.

Una vez determinadas las características de los efluentes mineros con los que se iba a trabajar, se determinó el tipo de tratamiento a realizar. Luego se realizaron las pruebas piloto y finalmente se procedió a realizar un nuevo muestreo tanto a la salida de la ultrafiltración como a la salida de la ósmosis inversa, permitiendo así determinar la eficiencia del proceso de tratamiento con membranas.

En las distintas pruebas piloto realizadas se puede observar que la tecnología de membranas tiene gran versatilidad, se adapta a los cambios. Además se obtienen muy buenos resultados, cumpliendo con los estándares de calidad del agua por el MINAM y disminuyendo de manera eficiente la concentración de otros parámetros como nitratos, nitritos y metales que no son regulados.

Índice general

Introducción.....	1
--------------------------	----------

I.- Capítulo 1: Antecedentes

1.1. Introducción	3
1.2. Características de la planta	4
1.3. Resultados obtenidos	5

II.- Capítulo 2: Marco teórico

2.1.- Tecnología de membranas	7
2.1.1. Ultrafiltración	
2.1.1.1. Definición	14
2.1.1.2. Características	15
2.1.1.3. Aplicaciones	15
2.1.1.4. Ventajas	16
2.1.1.5. Desventajas	17
2.1.2. Ósmosis inversa	
2.1.2.1. Definición	17
2.1.2.2. Características	18
2.1.2.3. Aplicaciones	19
2.1.2.4. Ventajas	20
2.1.2.5. Rechazo de membranas	21
2.2.- Efluentes mineros	
2.2.1. Definición	23
2.2.2. Efluentes líquidos	23

2.2.2.1. Aguas ácidas	24
2.2.2.2. Relaves	26
2.3.- Clases de agua	27

III.- Capítulo 3: Casos de aplicación de la tecnología de membranas

3.1.- Introducción	29
3.2.- Caso I	
3.2.1 Generalidades	29
3.2.2 Caracterización del agua de ingreso	32
3.2.3 Caracterización del agua de salida	32
3.3.- Caso II	
3.3.1 Generalidades	34
3.3.2 Caracterización del agua de ingreso	35
3.3.3 Caracterización del agua de salida	39
3.4.- Caso III	
3.4.1 Generalidades	41
3.4.2 Caracterización del agua de ingreso	42
3.4.3 Caracterización del agua de salida	43
3.5.- Caso IV	
3.5.1 Generalidades	45
3.5.2 Caracterización del agua de ingreso	47
3.5.3 Caracterización del agua de salida	49

IV.- Capítulo 4: Comparación de resultados

4.1.- Características del agua tratada con membrana	
4.1.1. Resultados antes y después del tratamiento con membranas	51
4.1.2. Porcentajes de reducción de parámetros	67
4.2.- Comparación con los límites máximos permisibles y con los ECA	
4.2.1. Comparación con los límites máximos permisibles	73
4.2.2. Comparación con los estándares de calidad de agua	86
4.3.- Costo operativo del sistema de membranas	97

Conclusiones y recomendaciones.....	101
--	------------

Bibliografía	103
---------------------------	-----

Anexo A: Decretos supremos

A-1. Decreto Supremo N° 10-2010-MINAM. Límites máximos permisibles para la descarga de efluentes líquidos de actividades Minero – Metalúrgicas	105
A-2. Decreto Supremo N° 002-2008-MINAM. Estándares nacionales de calidad ambiental para agua	111

Introducción

La extracción minera y sus procesos son fuente de diversos elementos que están dispuestos en el ambiente, de ahí la contaminación del agua, el suelo y el aire. Por tal razón se han desarrollado muchas soluciones con el objetivo de disminuir esta problemática, en particular para la primera de Estas: es decir la contaminación del agua.

Aquí presentaremos una solución específica para el tratamiento y eventualmente el uso de efluentes mineros basado en membranas. El proceso, al cual se denominará de múltiples barreras, está basado en un tren de tratamiento de membranas que involucra las siguientes etapas: ultrafiltración y ósmosis inversa, así como, de ser requerido, desinfección u oxidación.

El objetivo principal del presente trabajo es analizar y determinar la eficacia de la tecnología de membranas para el tratamiento de efluentes, provenientes de la explotación minera. El trabajo realizado se ha dividido en cuatro capítulos. En el primer capítulo se muestran los antecedentes desarrollados en el Perú con trabajos similares, mencionándose a Yanacocha como la única minera aplicando actualmente este tipo de sistemas.

En el segundo capítulo se desarrolla el marco teórico base para entender cómo funcionan los sistemas de membrana aplicados: ultrafiltración y ósmosis inversa, mostrando sus características, ventajas y desventajas. Adicionalmente se mencionan las características de los efluentes mineros y la clasificación de las aguas de acuerdo a su uso según lo indicado por el MINAM.

En el capítulo tres se muestran, tabulados, los resultados de los ensayos realizados tanto en el agua de ingreso como en el agua de salida luego del tratamiento de ultrafiltración y de ósmosis inversa. Estos resultados se han dividido en cuatro casos de acuerdo a los diferentes centros mineros estudiados

En el capítulo cuatro se muestra por medio de gráficos la remoción realizada en los diferentes parámetros evaluados y una comparación de los resultados obtenidos versus los límites máximos permisibles y los estándares de calidad del agua establecidos por el MINAM de acuerdo a lo mencionado en el capítulo dos.

Finalmente concluimos que esta tecnología, ha dado resultados sobresalientes. Cumple con los estándares de calidad de agua requeridos, y en la mayoría de los casos alcanza valores muy por debajo de estos. Permite la recuperación y recirculación de cianuro de la solución de alimentación y es fácil de operar.

Capítulo 1

Antecedentes

1.1. Introducción

En este primer capítulo se mostrarán las experiencias realizadas con procedimientos de membranas para aplicaciones similares a las propuestas en esta tesis. Hasta el momento el único caso registrado en el Perú con la tecnología de membranas es la Planta de Ósmosis Inversa de Yanacocha Norte que comenzó su operación en marzo del 2004. Esta planta fue diseñada para tratar 358 m^3 de solución barren provenientes del tanque de alimentación, y dar como resultado del proceso una solución clarificada denominada permeado ($250 \text{ m}^3/\text{hora}$) y una solución que contiene todas las sales y sólidos disueltos que se denomina concentrado ($108 \text{ m}^3/\text{hora}$).

Minera Yanacocha opera a 37 kilómetros al norte de la ciudad de Cajamarca, su función principal es la extracción de oro. Esta extracción se inicia con el proceso de lixiviación, que consiste en regar los pads de lixiviación con una solución cáustico cianurada. La solución cargada en oro es enviada a pozas de almacenamiento para luego ser bombeada hacia las plantas de procesos. Las plantas de proceso de oro se encuentran en tres diferentes áreas geográficas de donde toman su nombre: La Quinua, Yanacocha Norte (donde está ubicada la planta de ósmosis inversa de $250 \text{ m}^3/\text{h}$) y Pampalarga. Estas plantas están interconectadas por sistemas de bombeo que permiten el intercambio de flujos entre ellas.

La solución barren —que sale de los filtros prensa— se retorna hacia los pads para continuar con el proceso de lixiviación en un circuito cerrado. El exceso de solución que se tiene en el sistema se envía hacia las plantas de tratamiento de soluciones para luego descargarlo hacia una poza amortiguadora y, finalmente, de esta poza hacia el medio ambiente. Se cuenta con dos procesos de tratamiento de soluciones en exceso; el primer proceso es el denominado “convencional”, con una capacidad instalada de $2600 \text{ m}^3/\text{h}$, y el segundo es el de ósmosis reversa, con una capacidad de $250 \text{ m}^3/\text{h}$.

En los años de operación de Minera Yanacocha la producción de oro ha crecido con una alta pendiente, lo que la convierte en la mina de oro más grande del Perú y del mundo.

Antes de decidir qué tipo de planta de tratamiento utilizar, se evaluaron varias alternativas tecnológicas, de acuerdo a Pimentel, M. y Sánchez, W., se evaluaron las siguientes:

- Continuar con el sistema usado hasta el momento (convencional)
- Remoción biológica de nitratos (oxidación bacteriana) + planta convencional
- Tecnología de membranas
- Otras tecnologías:

- Intercambio iónico para remoción de nitrato
- Reducción química de nitrato
- AVR (acidificación, ventilación, re-adsorción) para recuperación de cianuro
- Columnas de carbón para recuperación de oro remanente

1.2. Características de la planta

La planta de ósmosis inversa de MYSRL está diseñada para tratar 358 m³/h de solución barren proveniente del tanque de alimentación, y obtener 250 m³/h de una solución clarificada denominada “permeado”, 108 m³/h de una solución que contiene todas las sales y sólidos disueltos que se denomina “concentrado”.

La solución barren es bombeada a un sistema de pre filtros (tres filtros de mangas, dos en operación y uno en *stand-by*), de una micra, donde se eliminan los sólidos presentes en suspensión que podrían dañar las membranas. Previamente en la línea se dosifica antincrustante, para reducir la velocidad con la que precipitan los carbonatos, silicatos y otras sales presentes en la solución (para evitar la pronta saturación de las membranas). Luego la solución es bombeada mediante una bomba centrífuga de alta presión donde se le da la presión requerida para llevar a cabo el proceso de ósmosis inversa.

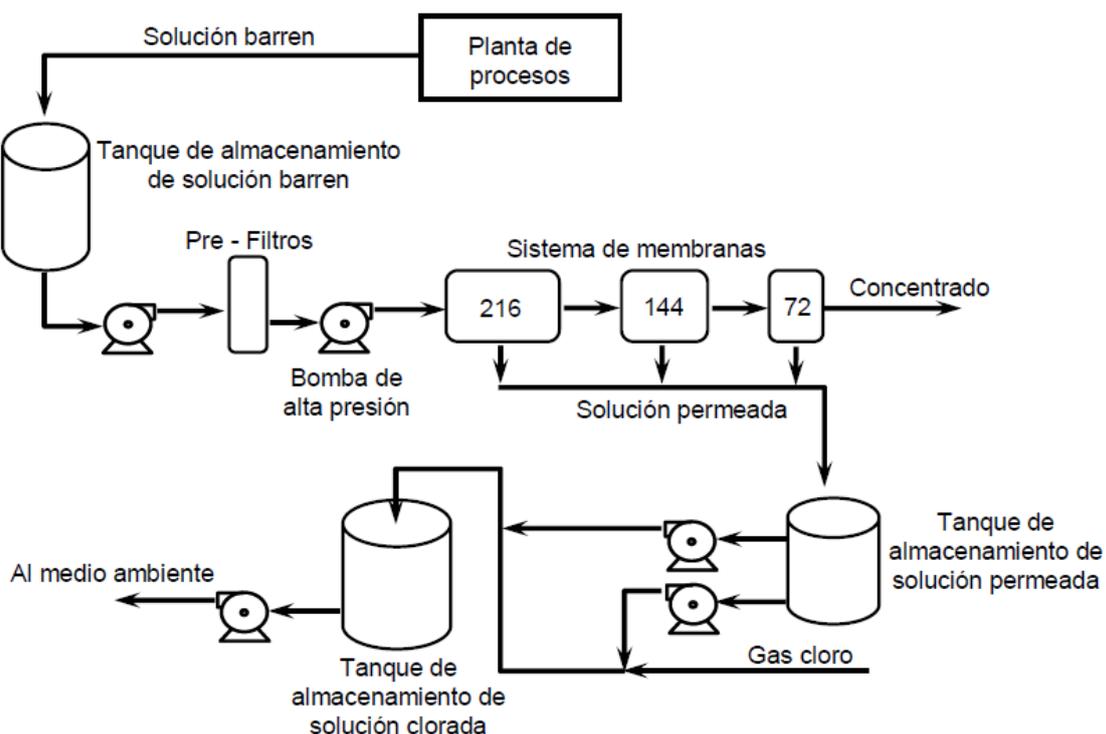


Figura 1 Diagrama de flujo de la planta instalada en Yanacocha

Fuente: Pimentel, M. y Sánchez, W., 2011

La solución concentrada se envía hacia la piscina de barren para luego ser bombeada hacia el pad de lixiviación. Las soluciones permeadas de cada etapa se unen en una misma tubería y pasan a un tanque de almacenamiento para luego ser bombeadas a un tanque de cloración para la destrucción del cianuro (Pimentel, M. y Sánchez, W., 2011).

1.3. Resultados obtenidos

El proceso de ósmosis inversa, como aplicación para tratar efluentes de procesos metalúrgicos, tiene como primera aplicación en el mundo minero la planta construida en Yanacocha. Debido a ello se han producido diversos problemas en el arranque de la planta, entre ellos podemos mencionar los siguientes:

- Oscilaciones bruscas de los valores de mercurio en la solución de alimentación.
- Oscilaciones en los valores del permeado de la osmosis inversa en solución de alimentación.
- Nivel inestable de solución en el tanque de alimentación.
- Presencia de oxígeno en la solución de alimentación.
- Presencia de aceites en la solución de alimentación.
- Arreglo del sistema de tuberías de planta ósmosis inversa inadecuados.
- Baja presión en la descarga de bomba de carga.
- Ensuciamiento de las membranas por mercurio y zinc.
- Determinar la cantidad óptima de anti incrustante.
- Determinar los tipos y frecuencia de lavados.

Luego de efectuar las medidas de solución respectivas se realizó una prueba de 720 horas de operación continua cuya meta era alcanzar un flujo de solución permeada de 250 m³/h con una disponibilidad mínima del 96%. La prueba definiría el futuro de esta planta y sus posibles ampliaciones. Los resultados alcanzados estuvieron dentro de lo esperado (Pimentel, M. y Sánchez, W., 2011).

Los resultados obtenidos en la planta de 250 m³/h ayudaron a decidir la construcción de una planta de mayor capacidad (1000 m³/h), que inició operaciones en agosto del 2005 y con lo que se llega a tener un flujo de tratamiento de 1250 m³/h usando la tecnología de membranas.

Capítulo 2

Marco teórico

2.1.- Tecnología de membranas

Las membranas son barreras físicas semipermeables que separan dos fases, impidiendo su íntimo contacto y restringiendo el movimiento de las moléculas a través de ella de forma selectiva. Este hecho permite la separación de las sustancias contaminantes del agua, generando un efluente acuoso depurado.

De la Sota (2006) considera que la rápida expansión de la utilización de membranas en procesos de separación ha sido propiciada por dos hechos: la fabricación de membranas con capacidad para proporcionar elevados flujos de permeado y la fabricación de dispositivos compactos, baratos y fácilmente intercambiables donde disponer grandes superficies de membrana.

Los procesos de separación con membranas tienen las siguientes características:

- Permiten la separación de contaminantes que se encuentran disueltos o dispersos en forma coloidal
- Eliminan contaminantes que se encuentran a baja concentración
- Las operaciones se llevan a cabo a temperatura ambiente
- Procesos sencillos y diseños compactos que ocupan poco espacio
- Pueden combinarse con otros tratamientos
- No eliminan realmente el contaminante, únicamente lo concentran en otra fase
- Pueden darse el caso de incompatibilidades entre el contaminante y la membrana
- Problemas de ensuciamiento de la membrana: necesidad de otras sustancias para llevar a cabo la limpieza, ajustes de pH, ciclos de parada para limpieza del equipo
- Deficiente escalado: doble flujo-doble de equipos (equipos modulares)
- Ruido generado por los equipos necesarios para conseguir altas presiones

Las membranas se pueden fabricar con materiales poliméricos, cerámicos o metálicos.

Atendiendo a su estructura física se pueden clasificar en:

- Membranas microporosas: Estructuras porosas con una estrecha distribución de tamaño de poros. Tienen una distribución de diámetros de poro que puede ir de 0,001 mm a 10 mm. Se usan en los procesos de microfiltración y ultrafiltración y se basan en impedir el paso a través de la membrana de aquellos contaminantes de mayor tamaño que el mayor diámetro de poro de la membrana. En este tipo de membranas la fuerza impulsora es una diferencia de presión.

- Membranas densas: Estructuras sin poros donde el paso de las sustancias a través de la membrana sigue un modelo de solución-difusión, en el que los componentes de la solución se disuelven en la membrana y posteriormente se difunden a través de ella. Esto permite la separación de sustancias del tamaño de moléculas e iones. Debido a las fuertes presiones, necesarias para estos procesos, las membranas son de tipo anisótropo. La ósmosis inversa y la nanofiltración son procesos que utilizan este tipo de membranas.
- Membranas cargadas eléctricamente: Pueden ser porosas o densas, con restos aniónicos o catiónicos fijos en la estructura de la membrana. La separación es consecuencia de la carga de la membrana, siendo excluidos aquellos componentes cuya carga sea la misma que la de la membrana. La separación también depende de la carga y concentración de los iones de la solución, así mismo, el proceso de separación es menos efectivo en soluciones de elevada fuerza iónica. Estas membranas se utilizan en los procesos de electrodiálisis.
- Membranas anisótropas: Las membranas anisótropas son estructuras laminares o tubulares donde el tamaño de poro, la porosidad o la composición de la membrana cambia a lo largo de su espesor. Están constituidas por una delgada película (densa o con poros muy finos) soportada en otra más gruesa y porosa, de tal forma que la primera es la responsable del proceso de separación y la segunda aporta al sistema la suficiente resistencia mecánica para soportar las condiciones de trabajo. La película responsable del proceso de separación y la que aporta la resistencia mecánica pueden estar fabricadas con el mismo material (membranas de Loeb-Sourirajan) o con materiales diferentes (membranas de tipo composite).
Debido a que la velocidad de paso de las sustancias a través de la membrana es inversamente proporcional a su espesor, las membranas deberán ser tan delgadas como sea posible. La mejora en los procesos de separación, debido a este tipo de membranas, ha hecho que sean las de elección en los procesos a escala industrial.

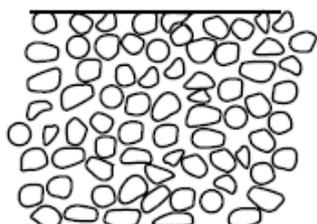
En la figura 2 puede observarse los esquemas de los principales tipos de membranas mencionados líneas arriba.

Las membranas también pueden fabricarse en forma de láminas planas, tubulares o del tipo denominado fibra hueca (*hollow fiber*), ver esquemas en la figura 3

- Membranas espirales: permiten que el agua a filtrar recorra toda la membrana y sea recogida en un canal central. Reduce costos de energía al reducir requerimientos de bombeo. Se puede operar a altas presiones y altas temperaturas.
- Membranas tubulares (de ½" o 1" de diámetro). Trabaja muy bien en altas concentraciones de contaminantes, su limpieza puede ser tanto química como mecánica y su taponamiento es mínimo. Soporta altas temperaturas y altos rangos de pH.
- Membranas de fibra hueca: son estructuras tubulares con dimensiones que son un orden de magnitud inferior a las denominadas membranas tubulares. La mayoría de ellas son de tipo anisótropo, donde la estructura responsable de la separación se dispone en la superficie externa o interna de la fibra. Las fibras huecas se disponen en módulos compactos con mayor superficie filtrante que los módulos de láminas planas y de membranas tubulares, permitiendo separaciones más eficientes.

Membranas simétricas

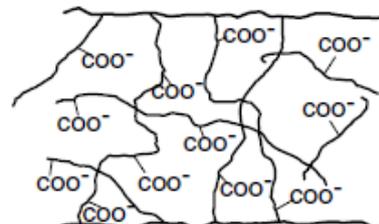
Membrana microporosa isotrópica



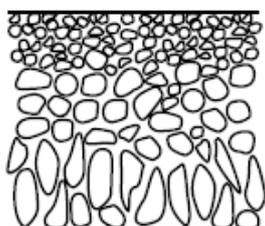
Membrana no porosa densa



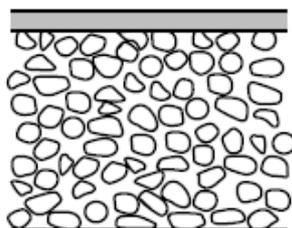
Membrana cargada eléctricamente



Membranas anisotrópicas



Loeb-Sourirajan
membrana anisotrópica



Membrana de película delgada compuesta

Membrana líquida soportada

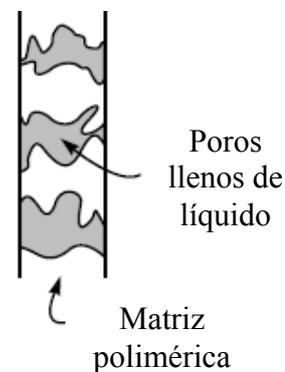


Figura 2 Esquemas de los principales tipos de membrana

Fuente: Baker, 2004

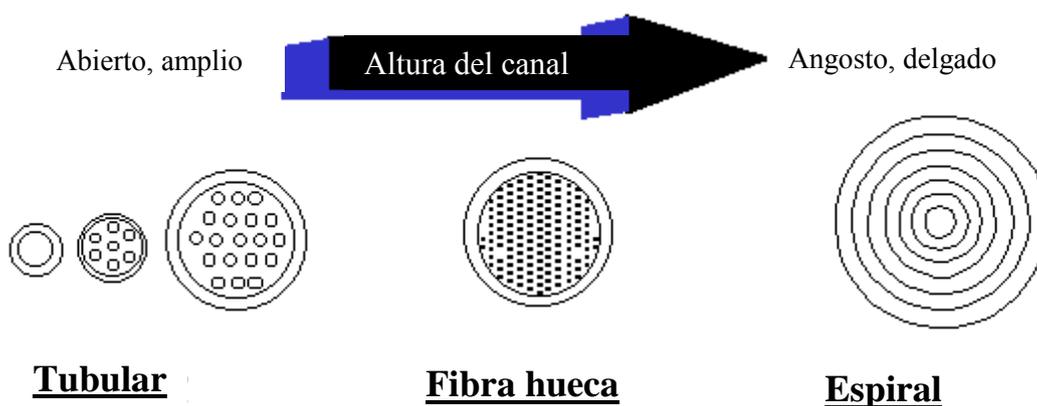


Figura 3 Esquemas de las principales formas de láminas

Fuente: Baker, 2004

De acuerdo a De la Sota, J (2006), el desarrollo de materiales para la fabricación de membranas que permitan separaciones eficientes y su disposición en configuraciones o módulos de fácil instalación y sustitución que puedan agruparse para conseguir superficies filtrantes de centenas o millares de metros cuadrados, ocupando volúmenes aceptables, han sido los hechos que han condicionado la utilización de membranas a escala industrial.

En la actualidad las configuraciones en las que se presentan las membranas pueden ser:

- Cartuchos de membranas, donde las membranas, convenientemente plegadas, se enrollan alrededor del colector de permeado. Los cartuchos de membranas son desechables (ver figura 4)

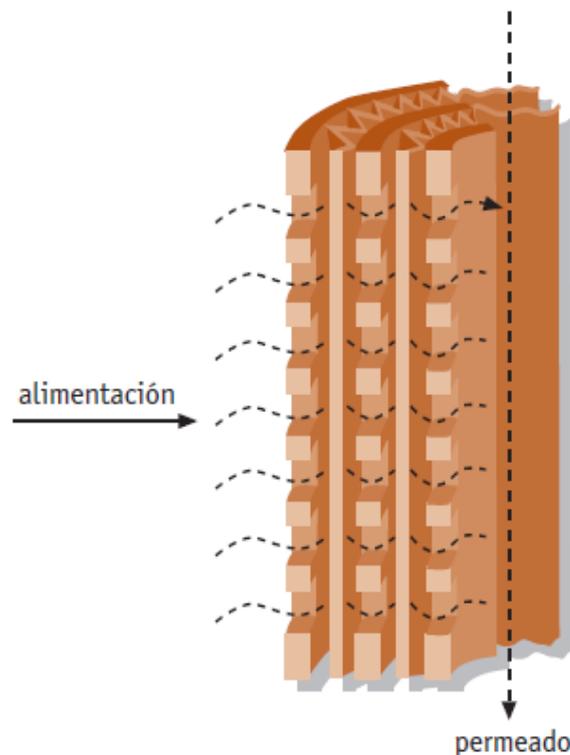


Figura 4 Esquema de cartuchos de membranas

Fuente: De la Sota, J., 2006

- Módulos tipo placa-bastidor, tiene una disposición semejante a los filtros-prensa. Las membranas se disponen en bastidores separados por placas. La alimentación, impulsada por una bomba, circula por los espacios placa-membrana, concentrándose en contaminantes conforme tiene lugar el flujo de permeado a través de las paredes de las membranas (ver figura 5).
- Módulos de membranas tubulares, constituidos por carcasa cilíndrica que contienen un número variable de membranas tubulares. La alimentación se bombea por el interior de las membranas, produciéndose un flujo lateral de permeado a través de las paredes. La carcasa tiene los dispositivos adecuados para recoger los flujos de permeado y concentrado.

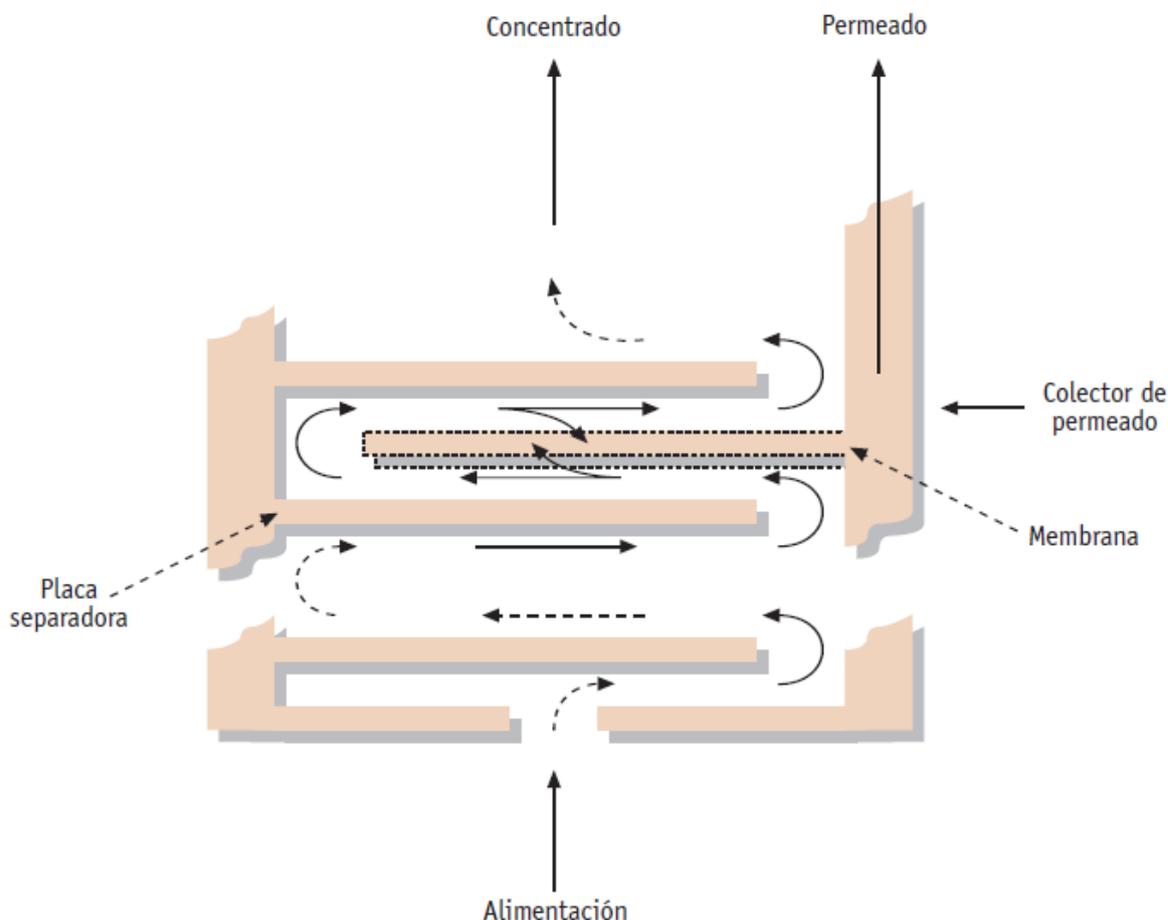


Figura 5 Esquema de módulos tipo placa-bastidor

Fuente: De la Sota, J., 2006

- Módulos de membranas enrolladas en espiral, estructura compleja donde una membrana, con un separador interno, se enrolla en espiral alrededor del tubo colector de permeado. Las paredes exteriores de la membrana, que forman las espirales, se encuentran separadas por estructuras huecas que permiten que la alimentación discurra a través de ellas y que el permeado fluya, lateralmente, a través de las paredes de las membranas (ver figura 6).
- Módulos de membranas tipo fibra hueca, estructuras semejantes a los intercambiadores de calor multitubulares, de 70 cm de longitud y 8 cm de diámetro donde se alojan entre 500 y 2000 membranas del tipo fibra hueca. Básicamente existen dos configuraciones, atendiendo a que la alimentación circule por el interior o el exterior de las fibras.

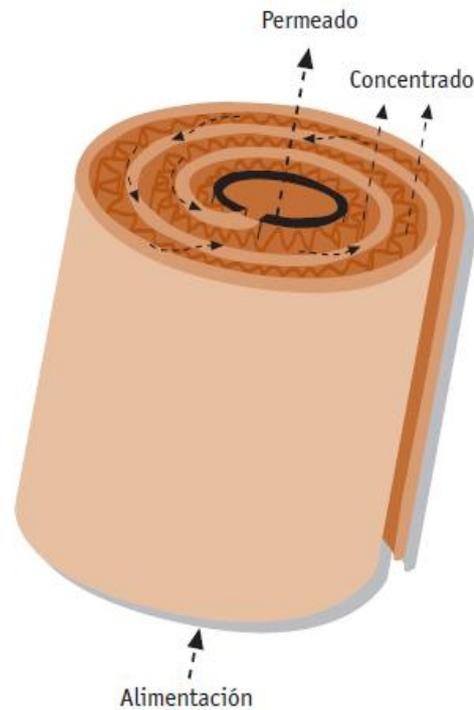


Figura 6 Esquema de membrana enrollada en espiral

Fuente: De la Sota, J., 2006

En la Tabla 1 se recogen algunas de las características más significativas de este tipo de disposiciones como costo de producción, caída de presión, prestaciones a altas presiones y la necesidad de materiales específicos debido al tipo de membrana.

Tabla 1 Principales características de las configuraciones de membranas

Parámetros	Fibra hueca	Fibras capilares	Enrollado espiral	Placa marco	Tubular
Costos de producción (US\$/m ²)	5 - 20	10 - 50	5 - 100	50 - 200	50 - 200
Control concentrado polarización - ensuciamiento	Pobre	Bueno	Moderado	Bueno	Muy bueno
Caída presión en zona de permeado	Alta	Moderada	Moderada	Baja	Baja
Prestaciones altas presiones trabajo	Sí	No	Sí	Sí	Marginal
Materiales específicos membrana	Sí	Sí	No	No	No

Fuente: De la Sota, J., 2006 (p. 68)

Según De la Sota, J. (2006) las membranas pueden operar de la siguiente manera:

- Filtración en línea: las membranas se disponen en la línea de flujo del efluente que se desea tratar (alimentación), quedando las partículas contaminantes retenidas en el interior de las membranas y generándose una corriente depurada (permeado). Las membranas utilizadas son de tipo filtro profundo, dispuestas en cartuchos (Figura 7).

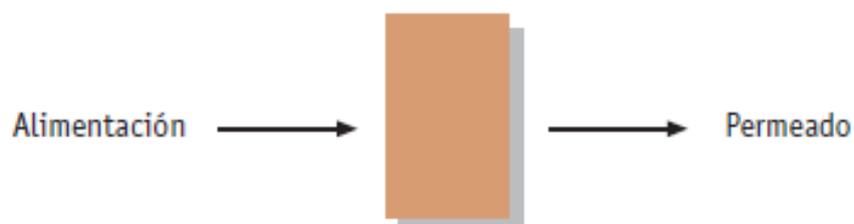


Figura 7 Esquema de la filtración en línea.

Fuente: De la Sota, J., 2006

- Filtración tangencial: El efluente a tratar se hace circular tangencialmente a la membrana. Los contaminantes quedarán en la superficie de la membrana, siendo arrastrados por el flujo tangencial, evitándose el ensuciamiento de la membrana. Esta forma de operar genera a partir de la alimentación dos corrientes o flujos: concentrado, con una concentración de contaminantes mayor que en la alimentación, y permeado, con una concentración de contaminantes que hacen posible su vertido o reutilización. Las membranas utilizadas son de tipo tamiz o densas (Figura 8).

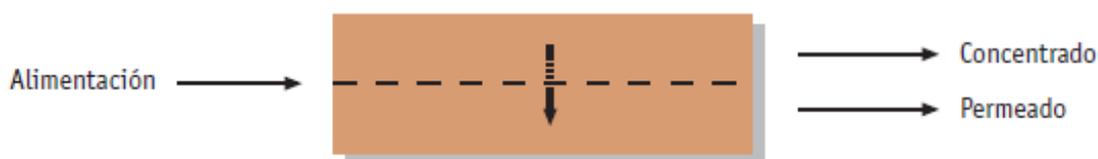


Figura 8 Esquema de la filtración tangencial.

Fuente: De la Sota, J., 2006

El buen funcionamiento de una membrana se consigue cuando se mantiene el flujo de permeado y el coeficiente de rechazo dentro de las condiciones de diseño de la operación, o sea, sin grandes modificaciones en la diferencia de propiedad (presión, potencial eléctrico) que genera el flujo de permeado.

Existen varios procesos de membranas, entre ellos podemos mencionar:

- Microfiltración.
- Ultrafiltración
- Nanofiltración
- Ósmosis Inversa
- Electrodialisis

Para el interés de esta tesis se ahondará en la ultrafiltración y la ósmosis inversa.

2.1.1. Ultrafiltración

2.1.1.1. Definición

La ultrafiltración (UF) es un tipo de filtración por membranas en la cual la presión hidrostática fuerza un líquido contra una membrana semipermeable. Los sólidos suspendidos y los solutos de alto peso molecular son retenidos, mientras que el agua y los solutos de bajo peso molecular atraviesan la membrana. Este proceso de separación es usado en industria e investigación para purificar y concentrar soluciones macromoleculares. La ultrafiltración es aplicada en casos de flujo cruzado o flujo sin salida.

Las membranas usadas en la ultrafiltración tienen poros más grandes que las usadas en la nanofiltración y la ósmosis inversa (ver figura 9) y es por lo tanto la menos costosa de los tres, es útil para la separación de materiales delicados puesto que es un método que no desnaturaliza en la separación.

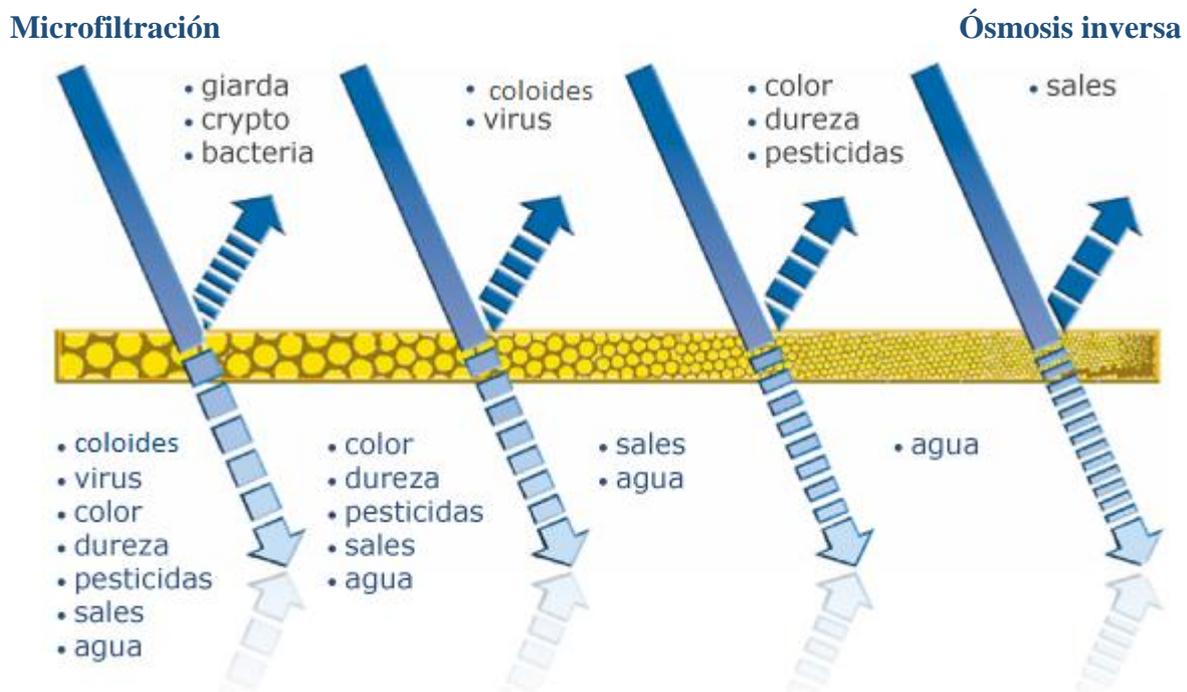


Figura 9 Características de las membranas

Fuente: Unitek (empresa especializada en tratamiento de agua)

La ultrafiltración es una operación de separación que comparte las características de una filtración "normal" y de la ósmosis inversa. El modelo más utilizado es el de poros en vez del de solubilidad-difusión, se aplica en la separación de productos bioquímicos (proteínas, polisacáricos) y metales complejados.

El agua a tratar es conducida al sistema por baja presión, donde membranas de alta resistencia la reciben para liberarla de materiales de alto peso molecular y sólidos suspendidos. Los fluidos viajan por la superficie de las membranas en forma horizontal a muy alta velocidad impidiendo la formación de lodos que obstaculicen y resten eficiencia de las mismas (ver figura 10). Los sistemas de ultrafiltración son capaces de remover por

encima del 90% de los contaminantes, esto significa reducir costos de disposición y/o reciclado hasta de un 10%. Requiere un mínimo de energía para su funcionamiento y poca atención del operador. Son de capacidad variable, ya que van de 50 a 180 000 galones por día.

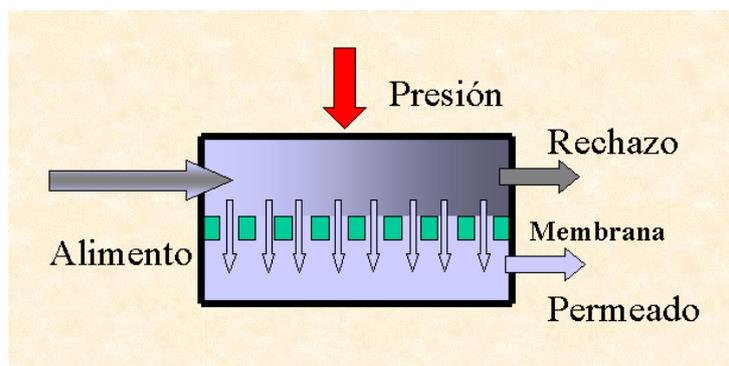


Figura 10 Esquema de un proceso de ultrafiltración
Fuente: Unitek

2.1.1.2. Características

- La ultrafiltración es un proceso de separación por membranas.
- Se basa en la exclusión por tamaño.
- Rango de separación $0,01 \mu\text{m}$ a $0,1 \mu\text{m}$ (10 a 100 nm).
- Permite remoción total de sólidos en suspensión y coloides.
- 6 log de reducción bacteriológica.
- Remoción parcial de materia orgánica (puede utilizarse coagulación en línea).



Figura 11 Diferentes tipos de membrana usadas en el proceso de ultrafiltración
Fuente: Unitek

2.1.1.3. Aplicaciones

Las aplicaciones de la ultrafiltración son numerosas entre ellas podemos mencionar:

- Separación por tamaño molecular de soluciones o productos mezclados como el suero de la leche. La ultrafiltración permite separar las pequeñas moléculas de lactosa de las proteínas para así concentrar y valorizar estas últimas.
- Eliminación completa de todas las partículas o materias en el tratamiento y la potabilización del agua donde la ultrafiltración se utiliza como último tratamiento de filtración para obtener agua pura y estéril.
- Concentración de coloides y aceites.
- Recuperación y tratamiento de ciertos condensados contaminados durante procedimientos industriales.

2.1.1.4. Ventajas

- Resistencia a agentes de sanitización oxidantes (NaClO, ozono, etc).
- Remoción completa de sólidos suspendidos
- Remoción de microorganismos
- Excelente calidad de agua para inicio del proceso de ósmosis inversa.
- Remoción parcial de materia orgánica disuelta (bajo nivel de coagulación en alimentación)
- Bajo consumo de energía
- Bajos costos de operación.
- Requiere menos presión que la ósmosis inversa.
- Equipamiento sencillo.
- No se usan sistemas de calentamiento.

Tabla 2 Ventajas de la Ultrafiltración

	Ultrafiltración (UF)	Convencional
Calidad de agua tratada	<ul style="list-style-type: none"> • Calidad constante • SDI* <3 100% del tiempo, normalmente <1,5 • Turbidez <0,1 NTU** • Desinfección: 6 log bacterias y 4 log virus 	<ul style="list-style-type: none"> • Calidad depende del influente • SDI* <4 aprox. 90% del tiempo • Turbidez <1,0 NTU**
Duración típica	<ul style="list-style-type: none"> • Membranas UF: 5 – 10 años • <u>Microfiltros</u>: sólo utilizados como seguridad 	<ul style="list-style-type: none"> • Medios filtrantes 10-20 años • <u>Microfiltros</u>: 4-8 semanas
Diseño Ósmosis inversa (OI)	Flux 20-30% mayor	N/A
Reposición de membranas OI	8-10% por año	12-14% por año
Frecuencia de limpiezas químicas de membranas	1-2 veces por año	4-12 veces por año
Superficie de implantación	30-60% respecto de convencional	100%
Operación	<ul style="list-style-type: none"> • Totalmente automática • Menor dosis de coagulante requerida 	<ul style="list-style-type: none"> • Mayor necesidad de control humano
Costos de operación	5-10% menor	100%

* SDI: índice de densidad de sedimentos o del inglés *Silt Density Index* (SDI)

** NTU: la turbidez se mide en unidades nefelométricas de turbidez, o *Nephelometric Turbidity Unit* (NTU).

Fuente: Unitek

2.1.1.5. Desventajas

A pesar de las múltiples ventajas de la ultrafiltración, Harper (1991) apunta las siguientes desventajas de este proceso:

- No remueve las sales, de manera que no reduce la alcalinidad.
- Vida útil de la membrana afecta enormemente el costo.
- Permeabilidad decrece con el tiempo.
- No es sustituto de “desinfección”
- Los agentes limpiadores deben ser libres de hierro y sílica.

2.1.2. Ósmosis inversa

2.1.2.1. Definición

La ósmosis (del griego $\acute{\omega}\sigma\mu\acute{o}\varsigma$, acción de empujar, impulso, y -sis) es un fenómeno físico relacionado con el movimiento de un solvente a través de una membrana semipermeable. Tal comportamiento supone una difusión simple a través de la membrana, sin gasto de energía. La ósmosis del agua es un fenómeno biológico importante para el metabolismo celular de los seres vivos.

En el caso de la ósmosis, el solvente (no el soluto) pasa espontáneamente de una solución menos concentrada a otra más concentrada, a través de una membrana semipermeable (ver figura 12). Entre ambas soluciones existe una diferencia de energía, originada en la diferencia de concentraciones. El solvente pasará en el sentido indicado hasta alcanzar el equilibrio. Si se agrega a la solución más concentrada, energía en forma de presión, el flujo de solvente se detendrá cuando la presión aplicada sea igual a la presión osmótica aparente entre las dos soluciones.



Figura 12 Esquema del principio de ósmosis

Fuente: Unitek

Lo descrito hasta ahora ocurre en situaciones normales, en que los dos lados de la membrana estén a la misma presión; si se aumenta la presión del lado de mayor concentración, puede lograrse que el agua pase desde el lado de alta concentración al de baja concentración de sales.

La presión osmótica aparente es una medida de la diferencia de energía potencial entre ambas soluciones. Si se aplica una presión mayor a la solución más concentrada, el solvente comenzará a fluir en el sentido inverso. Se trata de la ósmosis inversa (ver

figura 13). El flujo de solvente es una función de la presión aplicada, de la presión osmótica aparente y del área de la membrana presurizada.

En el caso de la ósmosis inversa se puede decir que se está haciendo lo contrario de la ósmosis, por eso su nombre. Téngase en cuenta que en la ósmosis inversa a través de la membrana semipermeable sólo pasa agua. Es decir, el agua de la zona de alta concentración pasa a la de baja concentración.



Figura 13 Esquema del principio de ósmosis inversa

Fuente: Unitek

2.1.2.2. Características

Los componentes básicos de una instalación típica de ósmosis inversa consisten en un tubo de presión conteniendo la membrana, aunque normalmente se utilizan varios de estos tubos, ordenados en serie o paralelo. Una bomba suministra en forma continua el fluido a tratar a los tubos de presión, y, además, es la encargada en la práctica de suministrar la presión necesaria para producir el proceso. Una válvula reguladora en la corriente de concentrado, es la encargada de controlar la misma dentro de los elementos (se denominan así a las membranas convenientemente dispuestas) (ver figura 14 y 15)

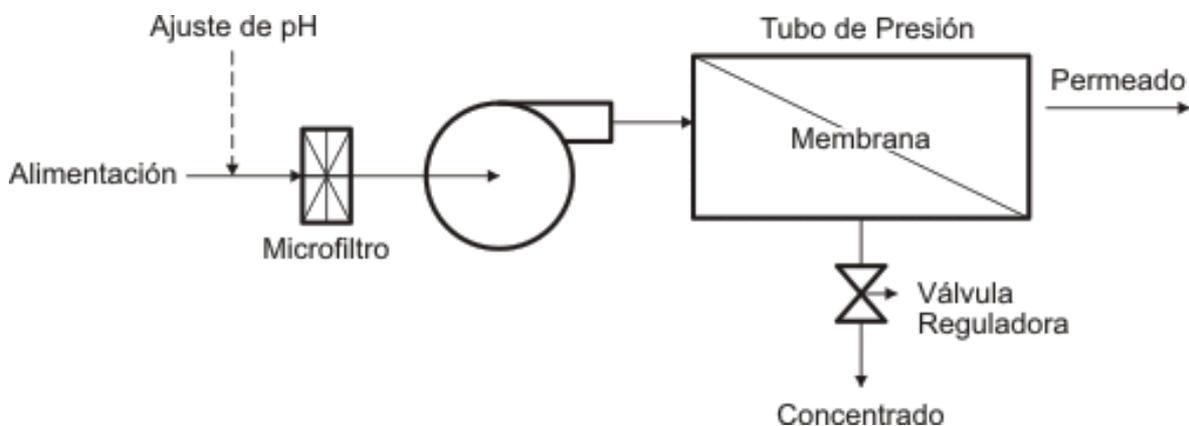


Figura 14 Esquema básico de un sistema de ósmosis inversa

Fuente: Unitek



Figura 15 Planta de ósmosis inversa
Fuente: Unitek

Según De la Sota, J. (2006), en términos generales y para una alimentación con una concentración de sal determinada, el incremento de la diferencia de presión transmembrana mantiene una relación lineal con el aumento de flujo de agua. El aumento de presión transmembrana también provoca un aumento del coeficiente de rechazo.

El aumento de la concentración de la sal en la alimentación, provoca una disminución del flujo de agua, ya que aumenta la diferencia de presión osmótica transmembrana, disminuyendo la fuerza impulsora que lo genera. En cuanto al coeficiente de rechazo, éste también disminuye debido al aumento de la fuerza impulsora que favorece el flujo transmembrana de la sal. La temperatura guarda una relación más compleja, su incremento provoca una disminución del coeficiente de rechazo y un aumento del flujo de agua.

En ósmosis inversa se utilizan membranas densas, anisótropas, en configuraciones del tipo módulos enrollados en espiral y también se utilizan membranas del tipo fibra hueca. La elección del tipo de membranas dependerá de las características del agua a tratar, ya que las configuraciones con membranas tipo fibra hueca presentan mayores problemas de ensuciamiento que las configuraciones tipo enrollamiento en espiral.

2.1.2.3. Aplicaciones

La ósmosis inversa puede aplicarse en un campo muy vasto y entre sus diversos usos podemos mencionar:

- Abastecimiento de aguas para usos industriales y consumo de poblaciones.

- Tratamiento de efluentes municipales e industriales para el control de la contaminación y/o recuperación de compuestos valiosos reutilizables.
- En la industria de la alimentación, para la concentración de alimentos (jugo de frutas, tomate, leche, etc.).
- En la industria farmacéutica, para la separación de proteínas, eliminación de virus, etc.

Se han efectuado numerosas experiencias para concentrar y purificar líquidos y gases. No obstante, las aplicaciones más difundidas son las que trataremos a continuación:

Desalinización de aguas salobres

La salinidad de este tipo de aguas es de 2000 mg/l – 10 000 mg/l. En su tratamiento se utilizan presiones de 14 bares a 21 bares para conseguir coeficientes de rechazo superiores al 90 % y obtener aguas con concentraciones salinas menores de 500 mg/l, que son los valores recomendados por la *Organización Mundial de la Salud* (OMS) como condición de potabilidad. Las plantas de tratamiento utilizan módulos de membranas enrolladas en espiral.

Desalinización de agua de mar

Dependiendo de la zona geográfica, la salinidad de este tipo de aguas es de 30 000 mg/l a 40 000 mg/l. Para conseguir condiciones de potabilidad se utilizan membranas de poliamida de tipo fibra hueca que permiten conseguir coeficientes de rechazo superiores al 99,3 % con presiones de trabajo de 50 bar – 70 bar.

Producción de agua ultrapura

La ósmosis inversa permite obtener a partir del agua de consumo (concentración de sólidos disueltos < 200 mg/l) agua de la calidad exigida en la industria electrónica. El principal problema en este tipo de instalaciones es el bioensuciamiento de las membranas, por lo que es necesaria la instalación de sistemas de esterilización mediante radiación UV.

Tratamiento de aguas residuales

Esta aplicación de la ósmosis inversa está limitada por los altos costes de operación debido a los problemas de ensuciamiento de las membranas.

En el caso de las aguas residuales industriales, la ósmosis inversa se utiliza en aquellas industrias donde es posible mejorar la economía del proceso mediante la recuperación de componentes valiosos que puedan volver a reciclarse en el proceso de producción: industrias de galvanoplastia y de pintura de estructuras metálicas, o donde la reutilización del agua tratada signifique una reducción importante del consumo de agua: industria textil.

En el caso de las aguas urbanas, la ósmosis inversa es un tratamiento que estaría indicado como tratamiento terciario, siendo posible obtener agua con una calidad que la hiciese apta para el consumo. El principal problema para la consolidación de este tipo de tratamiento es la respuesta social. Sin embargo, en zonas de Japón y California, donde existen limitaciones extremas de agua, se están utilizando plantas de ósmosis inversa para tratar el agua procedente del tratamiento biológico de las aguas domésticas, empleándose el agua tratada para la recarga de acuíferos.

2.1.2.4. Ventajas

La ósmosis inversa presenta las siguientes ventajas:

- Permite remover la mayoría de los sólidos (inorgánicos u orgánicos) disueltos en el agua, hasta el 99% (ver tabla 3)
- Remueve los materiales suspendidos y microorganismos.
- Realiza el proceso de purificación en una sola etapa y en forma continua.
- Es una tecnología extremadamente simple, que no requiere de mucho mantenimiento y puede operarse con personal no especializado.
- El proceso se realiza sin cambio de fase, con el consiguiente ahorro de energía.
- Es modular y necesita poco espacio, lo que le confiere una versatilidad excepcional en cuanto al tamaño de las plantas: desde 1 m³/día, a 1 000 000 m³/día.

2.1.2.5. Rechazo de membranas

Debido a los altos valores de rechazo de los procesos de ósmosis inversa, el ensuciamiento es la causa más importante del mal funcionamiento de las membranas. Las causas más frecuentes del ensuciamiento son debido a:

- depósitos en la superficie de la membrana de costras o escamas, dependiendo de la composición de la alimentación y como consecuencia de que las concentraciones de sal en el concentrado puedan sobrepasar el producto de solubilidad de la sal;
- sedimentos de partículas como coloides, productos de la corrosión del hierro de las conducciones, precipitados de hidróxido de hierro, algas, etc.;
- bioensuciamiento debido al crecimiento de microorganismos en la superficie de la membrana, ya que algunos materiales de las membranas, como acetato de celulosa o poliamidas, pueden ser un sustrato utilizable por los microorganismos y
- ensuciamiento debido a compuestos orgánicos como aceites o grasas presenten en las aguas residuales industriales.

La forma de limpieza de las membranas estará en función de las características del agua de alimentación, del tipo de membrana y de la naturaleza del ensuciamiento, como pauta general se puede proceder a alternar periodos de enjuagado de las membranas, haciendo circular las soluciones limpiadoras a alta velocidad por la superficie de las membranas, con periodos donde las membranas queden sumergidas en las soluciones limpiadoras.

Los agentes de limpieza habitualmente utilizados son:

- ácidos clorhídrico, fosfórico o cítrico y agentes quelantes como EDTA, para eliminar las costras de precipitados salinos, y ácido oxálico para eliminar los sedimentos de hierro,
- álcalis combinados con surfactantes para eliminar microorganismos, sedimentos y compuestos orgánicos y
- esterilización de las membranas con soluciones de cloro para eliminar microorganismos.

Las sucesivas limpiezas terminan por degradar las membranas. Dependiendo de la aplicación, el periodo de vida garantizado por el fabricante suele ser de 1 a 2 años. Con un buen programa de limpieza la vida de las membranas se puede prolongar hasta 3 años, siendo improbables periodos de vida de 5 años.

Tabla 3 Rechazo de membranas

Inorgánicos

Cationes			Aniones		
Nombre	Símbolo	%Rechazo	Nombre	Símbolo	%Rechazo
Sodio	Na ⁺	94 - 96	Cloruro	Cl ⁻	94 - 95
Calcio	Ca ⁺⁺	96 - 98	Bicarbonato	HCO ₃ ⁻	95 - 96
Magnesio	Mg ⁺⁺	96 - 98	Sulfato	SO ₄ ⁻²	99 ⁺
Potasio	K ⁺	94 - 96	Nitrato	NO ₃ ⁻	93 - 96
Hierro	Fe ⁺⁺	98 - 99	Fluoruro	F ⁻	94 - 96
Manganeso	Mn ⁺⁺	98 - 99	Silicato	SiO ₂ ⁻	95 - 97
Aluminio	Al ⁺⁺⁺	99 ⁺	Fosfato	PO ₄ ⁻³	99 ⁺
Amonio	NH ₄ ⁺	88 - 95	Bromuro	Br ⁻	94 - 96
Cobre	Cu ⁺⁺	96 - 99	Borato	B ₄ O ₇ ⁻	35 - 70*
Níquel	Ni ⁺⁺	97 - 99	Cromato	CrO ₄ ⁻	90 - 98
Estroncio	Sr ⁺⁺	96 - 99	Cianuro	CN ⁻	90 - 95*
Cadmio	Cd ⁺⁺	95 - 98	Sulfito	SO ₃ ⁻²	98 - 99
Plata	Ag ⁺	94 - 96	Tiosulfato	S ₂ O ₃ ⁻	99 ⁺
Arsénico	As ⁺⁺⁺	90 - 95	Ferrocianuro	Fe(CN) ₆ ⁻	99 ⁺

Orgánicos

Nombre	Peso molecular	%Rechazo
Sucrosa	342	100
Lactosa	360	100
Proteínas	> 10 000	100
Glucosa	198	99,9
Fenol	94	93 - 99*
Ácido acético	60	65 - 70
Tinturas	400 - 900	100
Demanda bioquímica de oxígeno (DBO)	-----	90 - 99
Demanda química de oxígeno (DQO)	-----	80 - 95
Úrea	60	40 - 60
Bacterias y virus	5000 - 100 000	100
Pirógenos	1000 - 5000	100

* Depende del pH.

Fuente: elaboración propia

2.2. Efluentes mineros

2.2.1. Definición

Durante los procesos mineros se originan importantes residuos de origen y composición muy variables. Estos van desde el polvo (particulado fino) que se origina durante las labores de explotación, pasando por los efluentes líquidos que se generan durante el proceso minero (la propia mina, los lavaderos, las escombreras), hasta los residuos sólidos que se acumulan en las escombreras, y claro está, los gases liberados por los procesos mineros y metalúrgicos. Cada uno de estos residuos presenta problemas ambientales importantes, de todas estas posibilidades para el interés de la tesis nos concentraremos en los efluentes líquidos.

2.2.2. Efluentes líquidos

Los efluentes líquidos mineros tienen su origen en la manipulación de los productos mineros con agua o soluciones químicas. Por ejemplo, durante los procesos de concentración por vía húmeda o por el empleo del agua para lavar instalaciones mineras. A esto tenemos que sumar las interacciones naturales que se produce entre los productos mineros y las aguas superficiales o de lluvia. Por ejemplo la lluvia cae sobre las escombreras, infiltrándose en las mismas, generando procesos de oxidación, hidrólisis, lavado, etc.

En la figura 16 se ilustran los diferentes tipos de efluentes mineros y sus destinos más habituales.

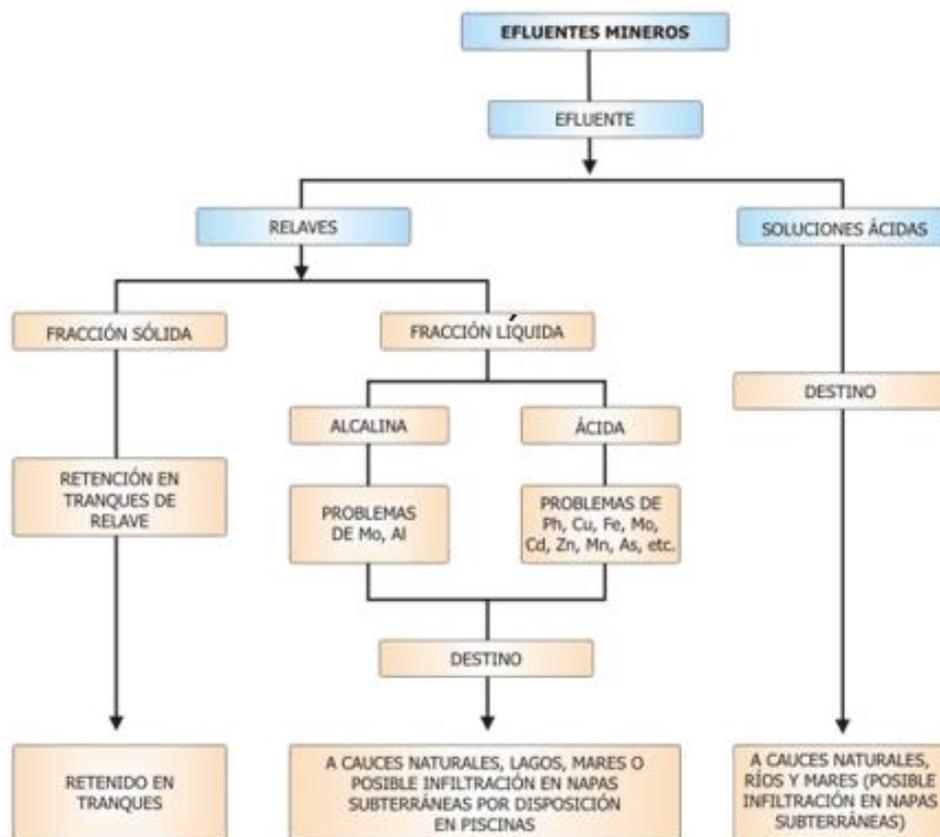


Figura 16 Efluentes mineros y destinos más habituales

Fuente: Fundación Iberoamericana Universitaria

2.2.2.1. Aguas ácidas

Las aguas ácidas generadas por la minería actual o pasada resultan de la oxidación de minerales sulfurados, principalmente pirita, en presencia de aire, agua y bacterias. La pirita es uno de los sulfuros más comunes y abundantes y normalmente es incorporado en los desechos mineros, su oxidación produce ácido sulfúrico y óxidos de hierro. Las aguas ácidas atacan otros minerales, produciendo soluciones que pueden acarrear elementos tóxicos al ambiente, como cadmio o arsénico. La generación de aguas ácidas puede ocurrir durante la exploración, operación y cierre de una mina. Esta agua puede venir de tres fuentes principales: sistemas de desagüe de minas, tanques de lavado y desmontes. Estas descargas pueden producir desde algunos efectos menores como decoloración local de suelos y drenajes con precipitación de óxidos de Fe, o llegar a una extensa polución de sistemas de ríos y tierras de cultivo. En algunos distritos mineros el problema es mayor después del cierre de las operaciones mineras. Esto se debe a la recuperación del nivel de aguas subterráneas después que se remueve el equipo de bombeo que mantenía secas las labores mineras.

En el medio natural los excesos de metales pesados pueden generarse por drenajes de aguas de minas, de desmontes o de lavados mineros. Algunos metales, como cadmio y mercurio, y no metales como antimonio o arsénico, son muy comunes en pequeñas cantidades en depósitos metálicos y son altamente tóxicos, aun en pequeñas cantidades, particularmente en forma soluble, la cual puede ser absorbida por los organismos vivos. Lo mismo se aplica al plomo, pero afortunadamente este metal es bastante poco reactivo a menos que sea ingerido y la mayoría de los minerales naturales de plomo son muy insolubles en aguas subterráneas.

El contacto entre los minerales y el agua puede originar distintas reacciones, en función de la naturaleza del mineral o minerales implicados y de la físico-química del agua implicada. En cuanto a la mineralogía implicada, cada mineral presenta distintos comportamientos frente al agua: los hay solubles e insolubles, hidrolizables y no hidrolizables, sorbentes y no sorbentes. Los minerales solubles a su vez pueden serlo en diferentes grados, y depender de la temperatura del agua. La halita y el yeso son ejemplos de minerales solubles en distinto grado. La halita es muy soluble incluso en agua fría mientras que el yeso es mucho menos soluble, aunque su solubilidad aumenta considerablemente con un incremento en la temperatura.

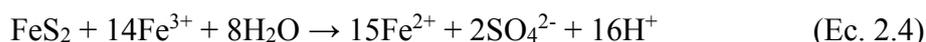
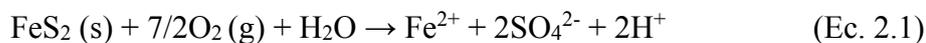
La hidrólisis de los minerales consiste en su descomposición debida a la acción de los hidrogeniones de las aguas ácidas. El proceso implica tres pasos:

- 1) Rotura de la estructura del mineral. Debido a su pequeño tamaño y a su gran movilidad, los iones H^+ se introducen con facilidad en las redes cristalinas, lo que produce la pérdida de su neutralidad eléctrica; para recuperarla, el cristal tiende a expulsar a los cationes, cuya carga es también positiva. Como consecuencia, la estructura cristalina colapsa, y se liberan también los aniones.
- 2) Lixiviado de una parte de los iones liberados, que son transportados por las aguas fuera de la roca meteorizada.
- 3) Neoformación de otros minerales, por la unión de los iones que dan como resultado compuestos insolubles. La intensidad del proceso hidrolítico se traduce en el grado de lixiviación de elementos químicos y en la formación de nuevos minerales.

El principal responsable de la generación de aguas ácidas es el proceso de oxidación de la pirita, que se ve favorecida en áreas mineras debido a la facilidad con la que el aire entra en contacto con los sulfuros (a través de las labores mineras de acceso y por los poros existentes en las pilas de estériles y residuos) así como el incremento de la

superficie de contacto de las partículas. Así, se considera que los factores que más afectan a la generación ácida son el volumen, la concentración, el tamaño de grano y la distribución espacial de la pirita.

Las reacciones que intervienen en la oxidación de la pirita pueden ser representadas por las siguientes cuatro ecuaciones:



En la reacción de oxidación de la pirita (Ec. 2.1) se produce Fe^{2+} , SO_4^{2-} y H^+ . Esta reacción provoca un aumento en el total de sólidos disueltos y un aumento de la acidez, que irá asociado a una disminución del pH, a menos que sea neutralizada la acidez generada. Si el ambiente circundante es lo suficientemente oxidante, entonces muchos iones ferrosos se oxidarán a iones férricos (Ec. 2.2). Por lo general, por encima de un pH de valor cercano a 3, el ion férrico formado precipita mediante hidrólisis como hidróxido (Ec. 2.3), disminuyendo, por tanto, el Fe^{3+} en disolución, mientras que el pH baja simultáneamente. Por último, algunos cationes férricos (Fe^{3+}) que se mantienen en disolución, pueden seguir oxidando adicionalmente a la pirita y formar así Fe^{2+} , SO_4^{2-} y H^+ (Ec. 2.4).

Cinéticamente, la oxidación de la pirita (Ec. 2.1) es, en un principio, un proceso lento, que acaba con el hierro liberado precipitado como hidróxido (Ec. 2.3) al ser todavía relativamente alto el pH. Progresivamente, la capacidad neutralizadora del medio va disminuyendo y, al alcanzar el pH el valor de 3,5, deja ya de formarse el hidróxido y la actividad del Fe^{3+} en solución se incrementa. A este pH, además, las bacterias catalizan y aceleran la oxidación de Fe^{2+} a Fe^{3+} (Ec. 2.2) en varios órdenes de magnitud. Es entonces cuando la reacción (Ec. 2.4) de oxidación de la pirita por el Fe^{3+} empieza a tener lugar, siendo la causa de la rápida oxidación de la pirita a pH ácido.

La geoquímica de las aguas ácidas de mina es un fenómeno complejo al haber diversos procesos químicos, físicos y biológicos jugando un papel importante en la producción, liberación, movilidad y atenuación de los contaminantes. Los procesos que contribuyen, en su conjunto, en la geoquímica de las aguas ácidas son los siguientes (López Pamo et al., 2002):

- la oxidación de la pirita
- la oxidación de otros sulfuros
- la oxidación e hidrólisis del hierro disuelto y otros metales
- la capacidad neutralizadora de la ganga mineral y roca existente
- la capacidad neutralizadora de las aguas bicarbonatadas
- la disponibilidad de oxígeno
- la disponibilidad de agua líquida o en forma vapor
- la localización y forma de zonas permeables en relación con las vías de flujo
- las variaciones climáticas (diarias, estacionales o episodios de tormentas)
- la formación de eflorescencias y su redisolución

- el calentamiento por conducción y radiación del calor generado en diversas reacciones exotérmicas (oxidación de la pirita, disolución de sales solubles y la dilución de un ácido concentrado)
- la temperatura
- la acción de catálisis de las bacterias
- la adsorción microbiana de metales
- la precipitación y disolución de metales durante el transporte
- la fotoreducción del hierro
- la formación de complejos orgánicos
- los procesos microambientales sobre superficies o entorno a organismos.

La importancia que tiene el problema de la formación de aguas ácidas ha llevado a desarrollar y establecer una serie de ensayos (estáticos, cinéticos y modelos matemáticos) capaces de determinar el potencial generador de acidez de los residuos mineros. Los ensayos estáticos predicen la calidad de los drenajes mediante la comparación entre la capacidad de neutralización y el potencial de generación ácida. Los ensayos cinéticos se basan en reproducir en laboratorio los procesos y las condiciones de los lugares de mina que pueden generar acidez, dando información sobre el rango de producción ácida. Conducen a confirmar los resultados de los ensayos estáticos, requieren de mayor tiempo y son más costosos que éstos. Por último, la modelización matemática permite predecir la calidad de las aguas y la generación ácida de los drenajes, mediante la simulación para largos periodos de tiempo de todas las variables y condiciones que afectan a la formación de aguas ácidas.

La clave para el manejo de aguas ácidas es entender el ciclo de los elementos entre sulfuros y óxidos para interferir en la movilidad de los elementos, en el momento adecuado para controlar el sistema en la medida necesaria. Cada residuo minero es un paciente único debido a la gran variabilidad de los parámetros que controlan el sistema (tipo de yacimiento, granulometría, clima, proceso metalúrgico, entre otros)

2.2.2.2. Relaves

El proceso de lixiviación se basa en la sensibilidad de los minerales oxidados a ser atacados por soluciones ácidas.

En estos casos se utiliza agua (o una solución de ácido y agua) para disolver y extraer el compuesto metálico deseado y separarlo de los materiales estériles. Por ejemplo, en las minas de oro se usa una solución de cianuro y agua, y con las minas de cobre, una solución de ácido sulfúrico.

Estas soluciones (lixiviantes) pueden regarse sobre montones gigantes de mena rota (lixiviación en pilas, o en ramas), sobre mena triturada almacenada en tinajas gigantes (lixiviación en tinajas), o, en el caso de minas de cobre de baja ley, sobre pilas de material estéril o relaves (lixiviación de desechos) para recuperar pequeñas cantidades de cobre.

Bajo las pilas de material a lixiviar se instala previamente una membrana impermeable sobre la que se dispone un sistema de drenaje (tuberías perforadas) que permiten recoger las soluciones que se infiltran a través del material.

A través del sistema de riego por goteo y de los aspersores, se vierte lentamente una solución de ácido con agua en la superficie de las pilas. Dicha solución se infiltra en la pila hasta su base, actuando rápidamente. La solución disuelve el mineral deseado contenido en los minerales oxidados, formando una solución, que es recogida por el sistema de drenaje, y llevada fuera del sector de las pilas en canaletas impermeabilizadas.

El riego de las pilas o lixiviación se mantiene de 45 a 60 días, que corresponde al tiempo en que se supone que se ha agotado por completo la cantidad de mineral lixiviable. El material restante, también denominado ripio, se transporta mediante correas a botaderos, donde tiene lugar un segundo proceso de lixiviación para extraer el resto del mineral.

Las operaciones de procesamiento del mineral requieren una gran cantidad de agua que, a pesar de que la mayoría pueda ser reciclada, es necesario desechar una cierta cantidad. Por otro lado, puede contener productos químicos y niveles de metales. En este sentido, en algunas minas, el agua es tratada para extraerle este tipo de productos antes de ser reutilizada o desechada, pero no en todas.

Independientemente del destino final que se le dé al agua, generalmente se guarda de forma temporal en tanques para permitir que las partículas sólidas se hundan o puedan ser tratadas, para extraer de esta manera los componentes tóxicos. A través de la filtración o evaporación, cierta cantidad de agua de estos tanques terminará en el medio ambiente. Este hecho depende de la efectividad del diseño y construcción del tanque, factores climáticos, propiedades del suelo, y proximidad de ríos y arroyos.

Durante el proceso de minería, las rocas extraídas que contienen metales pesados (cadmio, cobre, plomo, manganeso, mercurio, plata y zinc) se almacenan en rumas o canchas de relave, exponiéndolas al oxígeno y al agua. Aunque las concentraciones de productos químicos, metales y ácidos, no siempre son lo suficientemente altas para ser un problema ambiental o para dañar los organismos vivos, si éstos no son tratados adecuadamente, pueden causar daño y contaminar las fuentes de agua.

En este sentido, el problema más grande asociado con el procesamiento de la mina es la cuestión de cómo desechar los relaves resultantes del tratamiento. El alto contenido de agua en los relaves, y la creación de partículas finas que no se solidifican rápidamente, aumentan la inestabilidad y la vulnerabilidad de los relaves a la erosión.

2.3.- Clases de agua

El término calidad del agua es relativo y está referido a la composición del agua, en la medida en que esta es afectada por la concentración de sustancias producidas por procesos naturales y actividades humanas. Como tal, es un término neutral que no puede ser clasificado como bueno o malo, sin hacer referencia al uso para el cual el agua es destinada.

De acuerdo a lo anterior, tanto los criterios como los estándares y objetivos de calidad de agua variarán dependiendo de si se trata de agua para consumo humano (agua potable), para uso agrícola o industrial, para recreación, para mantener la calidad ambiental, etc.

Los límites tolerables de las diversas sustancias contenidas en el agua son normadas por la Organización Mundial de la Salud (O.M.S.), la Organización Panamericana de la Salud (O.P.S.), y por los gobiernos nacionales, pudiendo variar ligeramente de uno a otro. Por lo tanto los valores que se presentan aquí son aplicables para el Perú.

El Ministerio del Ambiente mediante Decreto Supremo N° 002-2008 del 31-07-2008 (ver Anexo A-1), y el Decreto Supremo N° 010- 2010 del 21-08-2010 (ver Anexo A-2), presentan los *Estándares nacionales de calidad ambiental para agua* y los *Límites máximos permisibles para la descarga de efluentes líquidos de actividades Minero – Metalúrgicas* respectivamente.

La calidad de los cuerpos de agua en general ya sea terrestre o marítima del país se clasificará respecto a sus usos de la siguiente manera:

- Categoría 1: Poblacional y recreacional

- Categoría 2: Actividades marino costeras
- Categoría 3: Riego de vegetales y bebidas de animales
- Categoría 4: Conservación del ambiente Acuático

Para los efectos de la tesis se busca alcanzar al menos los valores de los parámetros contemplados en la categoría 3 (ver Anexo A-2)

Capítulo 3

Casos de aplicación de la tecnología de membranas

3.1.- Introducción

Para realizar el presente trabajo de investigación se realizará una primera toma de muestras que permitirá realizar la caracterización microbiológica del agua. Una vez que se haya determinado las características de las aguas de exceso con las que se trabajará, se procederá a realizar un nuevo muestreo que nos permitirá poner en práctica el proceso de tratamiento con membranas.

Estas pruebas se realizaron en una planta piloto instalada en cada uno de los casos que mostraremos en este capítulo. La planta piloto permite:

- Realizar las pruebas con una menor inversión en equipamiento.
- Hacer un diseño a la medida.
- Anticipar los problemas que se presentarán en la puesta en marcha.
- Mejorar la estimación de los costos operativos.
- Confirmar las simulaciones del proceso.

El proceso de investigación con membranas comprende varias fases sucesivas:

- En una primera fase se evalúa y analiza exhaustivamente el agua exceso. Se determina su origen, el tipo de contaminación que presenta, la dosis de contaminantes, estructura y otra serie de parámetros de interés a la hora de abordar las siguientes fases.
- Fase de tratamiento de membranas (descontaminación o saneamiento) propiamente dicha, esta fase se aborda a su vez en dos etapas: la primera sometiendo la muestra al tratamiento de ultrafiltración; luego se procede a caracterizar el agua obtenida. Esta muestra caracterizada se trata con ósmosis inversa.
- Una vez concluida la fase de ósmosis inversa se analiza el agua. Estos resultados se comparan con los resultados de la muestra tomada inicialmente y con los estándares establecidos por el MINAM a fin de determinar el vertido del efluente tratado.

3.2.- Caso I

3.2.1 Generalidades

Localización

Este primer caso está ubicado en el departamento de Arequipa a 1350 km de Lima. Es una mina de labor subterránea productora de oro y plata. Hasta 1980 la mina operó como productora de plata, luego comenzó la explotación de vetas auríferas. El mineral es procesado en una planta externa y utiliza los procesos de concentración de gravedad y flotación. El terreno del área en estudio es escarpado y se caracteriza por pendientes montañosas empinadas y quebradas. Las instalaciones mineras están situadas entre 3800 y 4500 metros sobre el nivel del mar (msnm).

Clima y meteorología

El área designada para el Proyecto se encuentra ubicada entre las regiones naturales de Suni (3500 – 4000 msnm) y Puna (4000 a 4800 msnm), conformado por mesetas, colinas y montañas, donde las precipitaciones varían entre 500 mm y 1000 mm anuales y la temperatura promedio anual es de 6 °C.

Según los registros de la estación meteorológica de Orcopampa, entre los años 2001 a 2007, la temperatura media anual es de 9,3 °C; el valor máximo promedio anual, de 18,3 °C y el mínimo promedio, de -0,1 °C.

En el área el comportamiento de los vientos es variable, sin embargo, hay predominancia de vientos que vienen del SSE y SE en las mañanas, dirección SO en las tardes, y variable entre SO y SE en las noches. La zona está influenciada por vientos locales denominados de valle y ladera. La intensidad es también fluctuante, calmada por las mañanas.

Las precipitaciones son típicas de la sierra peruana con periodo de sequía (mayo a noviembre) y de lluvia (diciembre a abril). El año de mayor registro de precipitación fue el 2002, con un valor de 563,7 mm y el de menor registro de precipitación fue el 2005, con un total anual de 299,1 mm.

La humedad relativa está ligada al régimen mensual de precipitaciones pluviales.

Flora y fauna

Las especies de flora y fauna que viven en la zona, han desarrollado adaptaciones de protección contra las bajas temperaturas y extrema sequedad del ambiente. El área del Proyecto está comprendida en dos zonas de vida: Bosque húmedo - Montano Subtropical y Páramo húmedo - Subalpino Subtropical.

La vegetación natural está conformada por el chacomo, quinal, ulcumano; así como también se caracteriza por la presencia de gramíneas que conforma los llamados “pajonales de puna”.

Está cubierto de pastos y áreas agrícolas entre los que se cultivan: papa huayro y peruanita, habas, olluco, cebada y pastos forrajeros.

Del lado de la fauna se encuentra el ganado ovino, vacuno y de alpacas. Además de 24 especies de fauna, de las cuales las especies *Buteo polisorus* var. *Posilocruss*, *Falco peregrinus*, *Bolborrhynchus andicola*, *Hippocamellus antisensis*, se encuentran en estado “amenazado”; las especies *Vultur gryphus* y *Lama guanacoe* están “en peligro”.

Descripción de las pruebas

La prueba de campo se realizó in-situ con una planta de ultrafiltración Unitek, seguida de una unidad de ósmosis inversa equipada con membrana TFC (*thin film composite*) de alto rechazo de sales.

La planta de ultrafiltración recibió el efluente de la relavera desde un tanque de acumulación. Se realizaron cinco corridas en total con el mismo efluente, las pruebas se dividieron en dos siguiendo los esquemas de las figuras 17 y 18.

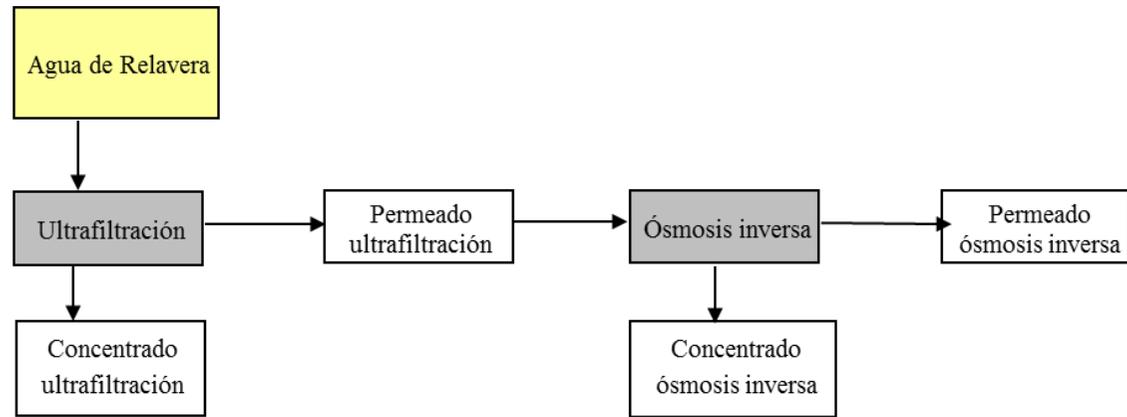


Figura 17 Esquema de pruebas 1, 2 y 3
Fuente: Unitek

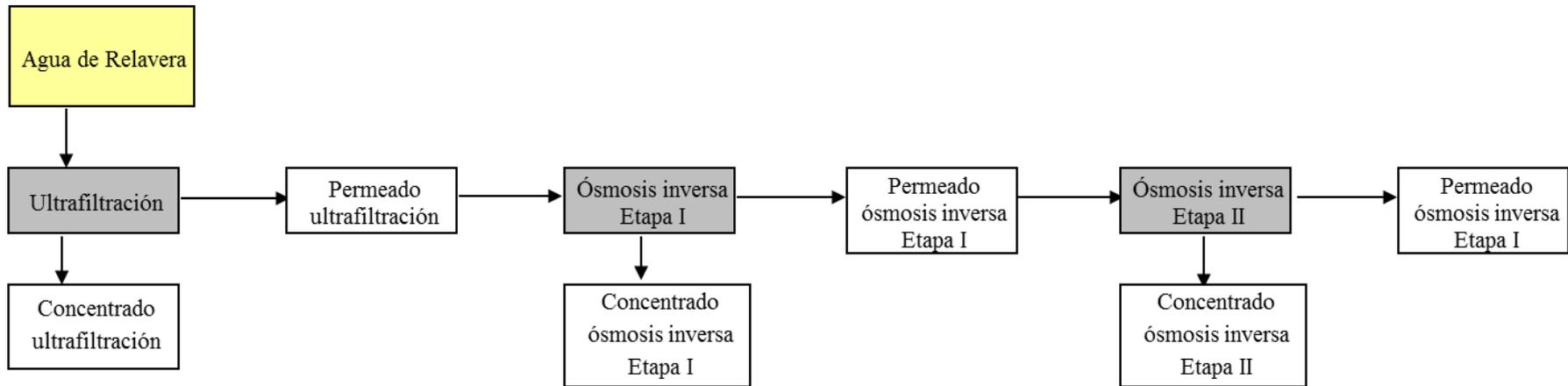


Figura 18 Esquema de pruebas 4 y 5
Fuente: Elaboración propia

3.2.2 Caracterización del agua de ingreso

Se realizaron 5 corridas y se muestreo el agua de ingreso para cada una obteniéndose los resultados mostrados en la tabla 4

Tabla 4 Caracterización del agua de ingreso

Descripción	Und	Agua de ingreso				
		Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3	Prueba 4	Prueba 5
Conductividad	uS/cm	4110,00	4140,00	4140,00	4090,00	4120,00
CN WAD*	mg/l	31,00	30,00	30,00	30,50	31,25
CN total	mg/l	40,10	33,50	33,50	38,80	33,50
Au	mg/l	0,13	0,14	0,14	0,13	0,13
Ag	mg/l	0,22	0,22	0,22	0,34	0,21
Cu	mg/l	18,61	19,07	19,07	24,81	23,26
Fe	mg/l	0,23	0,16	0,16	0,15	0,21

*Cianuro WAD: especies de cianuro liberadas con un pH 4,5 como HCN y CN⁻

Fuente: Elaboración propia

En todos los casos se verificó in situ que la turbidez fuera abatida completamente en el primer paso de ultrafiltración (figura 19)



Antes



Después

Figura 19 Fotos de la muestra antes y después de la ultrafiltración

Fuente: Unitek

3.2.3 Caracterización del agua de salida

Luego de caracterizar el agua de entrada se realizaron los procesos de ultrafiltración y ósmosis inversa (para las pruebas 1, 2 y 3) y se aplicó una segunda ósmosis en las pruebas 4 y 5. Después de cada uno de los procesos se ha caracterizado el agua resultante, los resultados se pueden apreciar en las tablas 5 a la 9.

Tabla 5 Caracterización del agua de salida prueba 1

Descripción	Und	Prueba 1		
		Salida Ultrafiltración	Salida Perm OI-1	Salida Conc OI-1
Conductividad	uS/cm	4140,00	66,50	4350,00
CN WAD	mg/l	29,00	2,40	7,60
CN total	mg/l	32,70	3,10	12,70
Au	mg/l	0,14	0,02	0,02
Ag	mg/l	0,21	0,05	0,06
Cu	mg/l	19,05	0,25	2,98
Fe	mg/l	0,17	<0,10	0,18

Fuente: Elaboración propia

Tabla 6 Caracterización del agua de salida prueba 2

Descripción	Und	Prueba 2		
		Salida Perm UF	Salida Perm OI-1	Salida Conc OI-1
Conductividad	uS/cm	4140,00	78,00	4620,00
CN WAD	mg/l	24,80	4,00	15,00
CN total	mg/l	31,00	5,20	20,00
Au	mg/l	0,14	<0,02	0,02
Ag	mg/l	0,21	<0,02	0,05
Cu	mg/l	19,13	0,57	16,25
Fe	mg/l	0,24	<0,10	0,19

Fuente: Elaboración propia

Tabla 7 Caracterización del agua de salida prueba 3

Descripción	Und	Prueba 3		
		Salida Perm UF	Salida Perm OI-1	Salida Conc OI-1
Conductividad	uS/cm	4140,00	127,20	4650,00
CN WAD	mg/l	24,80	8,40	30,70
CN total	mg/l	31,00	9,00	40,10
Au	mg/l	0,14	0,01	0,03
Ag	mg/l	0,21	0,01	0,06
Cu	mg/l	19,13	1,12	19,66
Fe	mg/l	0,24	<0,10	0,16

Fuente: Elaboración propia

Tabla 8 Caracterización del agua de salida prueba 4

Descripción	Und	Prueba 4				
		Salida Perm UF	Salida Perm OI-1	Salida Conc OI-1	Salida Perm OI-2	Salida Conc OI-2
Conductividad	uS/cm	4090,00	123,70	4520,00	21,00	164,20
CN WAD	mg/l	30,50	7,30	8,60	1,20	8,10
CN total	mg/l	38,80	9,30	10,90	1,55	10,30
Au	mg/l	0,13	0,02	0,04	0,02	0,02
Ag	mg/l	0,34	0,02	0,08	0,00	0,04
Cu	mg/l	24,81	1,41	26,82	0,16	10,68
Fe	mg/l	0,15	<0,10	0,16	<0,10	<0,10

Fuente: Elaboración propia

Tabla 9 Caracterización del agua de salida prueba 5

Descripción	Und	Prueba 5				
		Salida Perm UF	Salida Perm OI-1	Salida Conc OI-1	Salida Perm OI-2	Salida Conc OI-2
Conductividad	uS/cm	4130,00	118,30	4650,00	19,70	156,60
CN WAD	mg/l	28,80	6,20	26,10	2,90	6,80
CN total	mg/l	30,00	9,00	31,50	3,10	7,50
Au	mg/l	0,13	0,03	0,03	0,02	0,02
Ag	mg/l	0,21	0,02	0,10	<0,10	0,06
Cu	mg/l	23,00	1,58	23,77	0,10	8,34
Fe	mg/l	0,17	0,01	0,16	0,03	<0,10

Fuente: Elaboración propia

3.3.- Caso II

3.3.1 Generalidades

Localización

Este segundo caso está localizado en el departamento de Lima. Es una mina de labor subterránea que utiliza el método de corte y relleno y métodos de subnivel. La mena es procesada en el molino, el cual tiene un rango de utilización de 97,1 %, utiliza diferentes sistemas de flotación para obtener un concentrado de plomo-plata y un concentrado de zinc. Posee contenido mineral de plata, plomo y zinc.

Las instalaciones mineras están situadas entre 4500 y 5000 msnm.

Clima y meteorología

En la zona de estudio el clima es típicamente andino; en la época de estío, entre los meses de mayo a octubre, las temperaturas presentan los niveles más bajos por la noche (por debajo de 0 °C), produciéndose las “heladas”. Mientras que el verano se caracteriza por la presencia de lluvias, lo cual ocurre en los meses de noviembre a abril.

El clima se caracteriza por ser frío y seco durante todo el año, variando solamente durante el cambio de estaciones por el aumento o disminución de las precipitaciones.

No existen registros meteorológicos continuos de la zona de estudio.

Flora y fauna

Existen 170 especies de flora entre las que se cuentan plantas con flores, helechos, musgos, algas y líquenes.

Durante el día la vegetación está totalmente expuesta a vientos fríos y a una radiación muy intensa, y durante la noche, es afectada por las bajas temperaturas y sufren pérdida de radiación térmica a través de la delgada capa de aire hacia el espacio.

Debido a esta situación ambiental, gran parte de la fitomasa de las grandes alturas esta debajo del suelo. Se calcula que más del 90% de las partes vivas de la planta están debajo de la superficie en la forma de raíces y rizomas (Dennos & Jhonson 1970).

Las formas de vida que se pueden encontrar en ambientes de grandes alturas consisten de plantas herbáceas perennes como gramíneas, graminoides plantas almohadilladas, arrosietadas líquenes y musgos. La puna de la zona de Oyón se caracteriza por estar dominada físionómicamente por la presencia de gramíneas aunque hay otras plantas generalmente arrosietadas.

La fauna es escasa en el área de estudio. Los animales por su característica de movimiento activo, no son fáciles de observar, salvo las especies de habitat relacionado a las lagunas siendo necesaria complementar la inspección con la ubicación de restos que las especies animales dejan (madrigueras, nidos y heces).

En la clase aves se tiene: *Anas flavirostris oxypter* “pato sutro”, *Buteoo polyosoma* “gavilan”, *Chloephaga melanoptera* “huallata o huashua”, *Eupelia cruziana* “tortolita”, *Larus serranus* “gaviota andina”, *Lophonetta specularioides atticula* “pato real”, *Plagadis ridgwayi* “yanavico” y *Zenaida asiática meloda* “cuculí”.

Descripción de las pruebas

La prueba de campo se realizó in-situ con una planta de ultrafiltración Unitek, seguida de una unidad de ósmosis inversa equipada con membrana TFC de alto rechazo de sales. La planta de ultrafiltración recibió el efluente desde un tanque de acumulación de 1000 litros.

Se realizaron 4 pruebas en total con el mismo efluente. En las pruebas 2, 3 y 4 se cambió el pH añadiendo ácido clorhídrico.

- Prueba 1: Tanque de acumulación 1000 litros, pH 11,5 (ver figura 20)
- Prueba 2 y 3: Tanque de acumulación 1000 litros, ácido clorhídrico 100 ml. pH 9,5 (ver figura 21 y 22)
- Prueba 4: Tanque de acumulación 1000 litros, ácido clorhídrico 150 ml. pH 7,8 (ver figura 23)

3.3.2 Caracterización del agua de ingreso

Se realizaron 4 corridas y se muestreo el agua de ingreso para cada una obteniéndose los resultados mostrados en la tabla 10

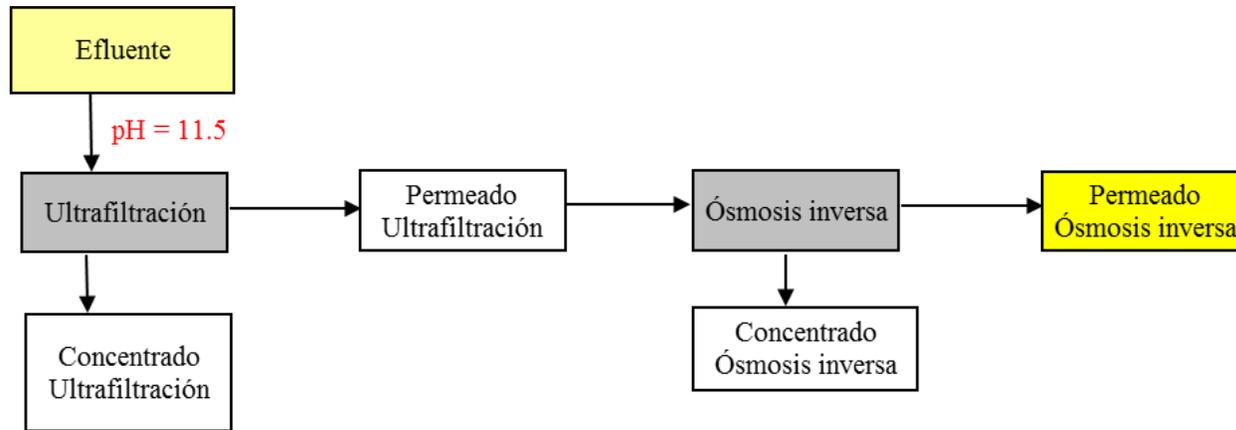


Figura 20 Esquema de prueba 1
Fuente: elaboración propia

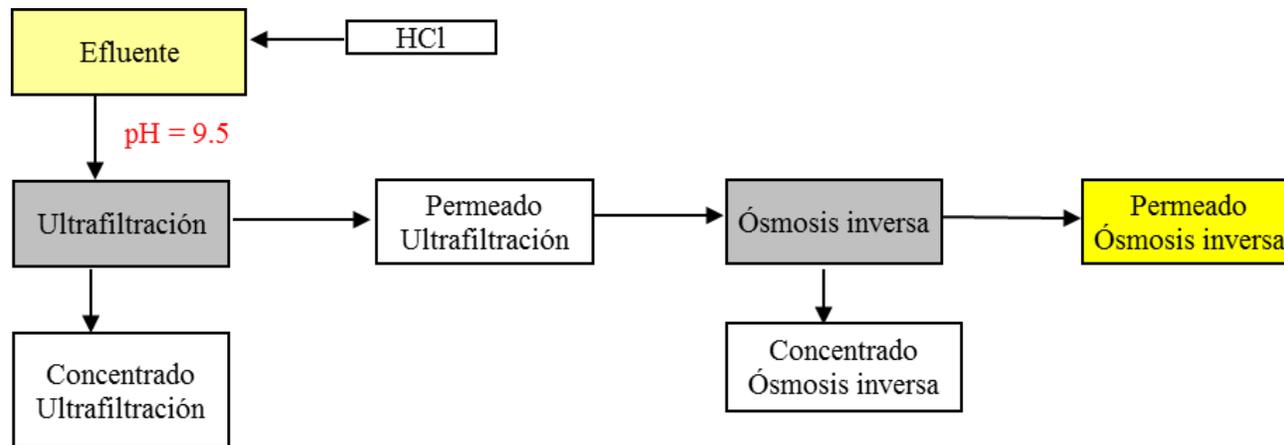


Figura 21 Esquema de prueba 2
Fuente: elaboración propia

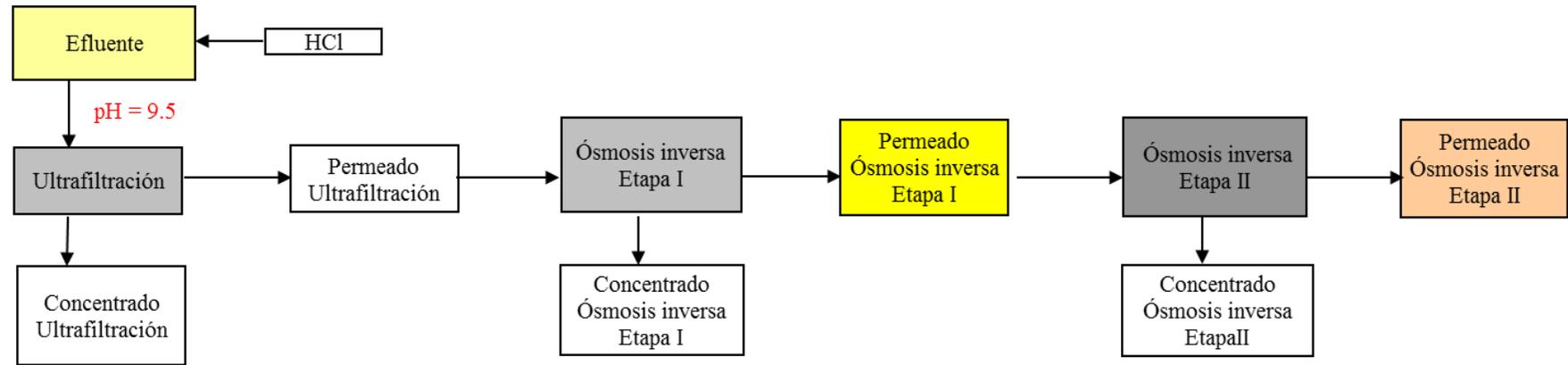


Figura 22 Esquema de prueba 3

Fuente: elaboración propia

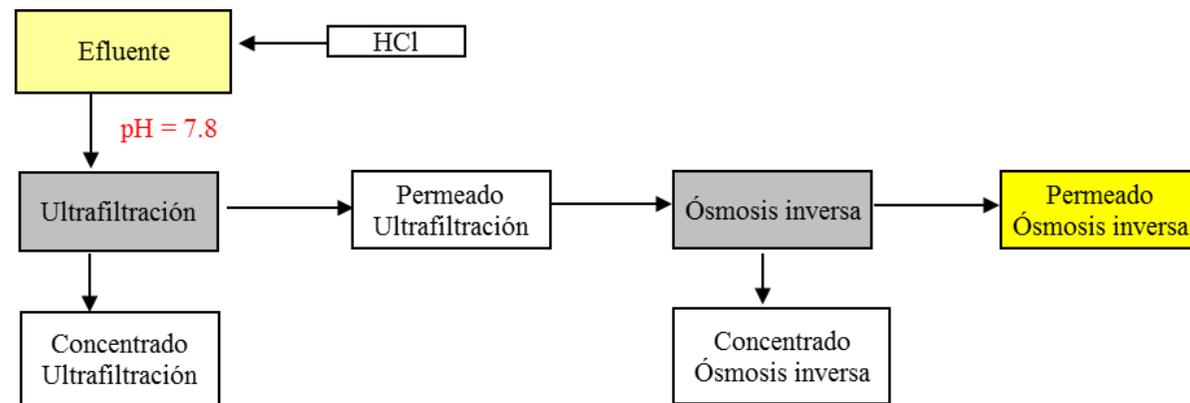


Figura 23 Esquema de prueba 4

Fuente: elaboración propia

Tabla 10 Caracterización del agua de ingreso

Descripción	Und	Agua de ingreso			
		Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3	Prueba 4
Conductividad	uS/cm	4800	4780	4780	4800
CN Wad	mg/l	29,40	29,20	29,00	31,80
CN total	mg/l	30,00	29,25	29,60	32,00
SCN	mg/l	704,01	679,31	691,66	685,49
TSS	mg/l	6,80	<5,00	8,00	10,40
Ag	mg/l	2,28	2,26	2,32	2,09
Metales disueltos					
Mn	mg/l	<0,01	<0,01	<0,01	0,01
Cu	mg/l	18,30	17,30	19,30	12,50
Fe	mg/l	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03
Zn	mg/l	3,00	3,50	3,00	2,40
Pb	mg/l	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03
Metales totales					
Mn	mg/l	<0,01	0,03	0,03	0,10
Cu	mg/l	19,00	19,10	19,60	15,20
Fe	mg/l	0,06	0,07	0,29	0,16
Zn	mg/l	3,30	3,70	3,50	2,70
Pb	mg/l	<0,03	<0,03	0,06	0,04

Fuente: Elaboración propia

La prueba de campo se efectuó a lo largo de 4 días. En todos los casos se verificó in situ que tanto la turbidez como los sólidos totales en suspensión (TSS) eran abatidos completamente en el primer paso de ultrafiltración, ver figura 24.



Antes



Después

Figura 24 Fotos de la muestra antes y después de la ultrafiltración

Fuente: Unitek

3.3.3 Caracterización del agua de salida

Luego de caracterizar el agua de entrada se realizaron los procesos de ultrafiltración y ósmosis inversa (para las pruebas 1, 2 y 4) y se aplicó una segunda ósmosis en la prueba 3. Después de cada uno de los procesos se ha caracterizado el agua resultante, los resultados se pueden apreciar en las tablas 11 a la 14.

Tabla 11 Caracterización del agua de salida prueba 1

Descripción	Und	Prueba 1		
		Salida UF*	Salida permeado OI**	Salida concentrado OI**
Conductividad	uS/cm		185,00	
CN WAD	mg/l	29,20	0,35	12,40
CN total	mg/l	29,20	0,40	30,60
SCN	mg/l	702,50	13,24	730,00
TSS	mg/l	<5,00	<5,00	<5,00
Ag	mg/l	2,22	0,02	2,42
Metales disueltos				
Mn	mg/l	<0,01	<0,01	<0,01
Cu	mg/l	18,00	0,02	19,90
Fe	mg/l	<0,03	<0,03	<0,03
Zn	mg/l	2,90	<0,03	3,20
Pb	mg/l	<0,03	<0,03	<0,03
Metales totales				
Mn	mg/l	<0,01	<0,01	<0,01
Cu	mg/l	18,80	0,02	20,10
Fe	mg/l	<0,03	<0,03	<0,03
Zn	mg/l	3,10	<0,03	3,40
Pb	mg/l	<0,03	<0,03	<0,03

* UF: ultrafiltración

** OI: ósmosis inversa

Fuente: Elaboración propia

Tabla 12 Caracterización del agua de salida prueba 2

Descripción	Und	Prueba 2		
		Salida UF	Salida permeado OI	Salida concentrado OI
Conductividad	uS/cm		93,00	
CN WAD	mg/l	27,20	2,98	32,80
CN total	mg/l	27,00	2,80	29,50
SCN	mg/l	670,20	15,44	680,47
TSS	mg/l	<5,00	<5,00	<5,00
Ag	mg/l	2,21	0,03	2,42

Tabla 12 Continuación de página anterior

Descripción	Und	Prueba 2		
		Salida UF	Salida permeado OI	Salida concentrado OI
Metales disueltos				
Mn	mg/l	<0,01	<0,01	<0,01
Cu	mg/l	16,10	0,04	20,60
Fe	mg/l	<0,03	<0,03	<0,03
Zn	mg/l	3,10	<0,03	3,90
Pb	mg/l	<0,03	<0,03	<0,03
Metales totales				
Mn	mg/l	<0,01	<0,01	<0,01
Cu	mg/l	18,90	0,05	21,10
Fe	mg/l	<0,03	<0,03	0,03
Zn	mg/l	3,20	<0,03	4,00
Pb	mg/l	<0,03	<0,03	<0,03

Fuente: Elaboración propia

Tabla 13 Caracterización del agua de salida prueba 3

Descripción	Und	Prueba 3				
		Salida UF	Salida permeado OI -1	Salida concentrado OI-1	Salida permeado OI-2	Salida concentrado OI-2
Conductividad	uS/cm		90,00		30,00	
CN WAD	mg/l	28,88	3,60	38,20	2,49	3,78
CN Total	mg/l	28,50	3,50	32,00	2,44	1,21
SCN	mg/l	685,24	18,52	695,80	6,18	19,58
TSS	mg/l	<5,00	<5,00	<5,00	<5,00	<5,00
Ag	mg/l	2,23	0,02	2,50	0,00	0,07
Metales disueltos						
Mn	mg/l	<0,01	<0,01	0,01	<0,01	<0,01
Cu	mg/l	18,10	0,04	21,50	0,04	0,08
Fe	mg/l	<0,03	<0,03	0,03	<0,03	<0,03
Zn	mg/l	3,00	<0,03	3,60	<0,03	0,17
Pb	mg/l	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03
Metales totales						
Mn	mg/l	0,02	<0,01	0,01	<0,01	0,02
Cu	mg/l	18,60	0,04	21,70	0,06	0,09
Fe	mg/l	0,10	<0,03	0,05	0,04	<0,03
Zn	mg/l	3,20	<0,03	3,80	0,03	0,24
Pb	mg/l	<0,03	<0,03	0,10	<0,03	<0,03

Fuente: Elaboración propia

Tabla 14 Caracterización del agua de salida prueba 4

Descripción	Und	Prueba 4		
		Salida UF	Salida permeado OI	Salida concentrado OI
Conductividad	uS/cm		50,00	
CN Wad	mg/l	27,20	4,11	34,80
CN Total	mg/l	30,00	4,28	34,80
SCN	mg/l	680,20	18,32	692,80
TSS	mg/l	<5,00	<5,00	<5,00
Ag	mg/l	2,01	0,03	2,26
Metales disueltos				
Mn	mg/l	<0,01	<0,01	0,01
Cu	mg/l	8,90	0,01	18,50
Fe	mg/l	<0,03	<0,03	<0,03
Zn	mg/l	2,20	<0,03	2,30
Pb	mg/l	<0,03	<0,03	<0,03
Metales totales				
Mn	mg/l	0,03	<0,01	0,02
Cu	mg/l	12,70	0,03	23,80
Fe	mg/l	<0,03	<0,03	0,04
Zn	mg/l	2,60	0,03	3,30
Pb	mg/l	<0,03	<0,03	<0,03

Fuente: Elaboración propia

3.4.- Caso III

3.4.1 Generalidades

Localización

Este caso está ubicado en el departamento de Lima, a una altitud que varía entre los 3800 y los 5000 msnm. La topografía es abrupta, con valles en U, estrechos y profundos, que se suceden en forma descendente al punto en que las terrazas o terrenos planos son sumamente escasos.

Comprende una importante formación geológica explotada hace muchos años constituida principalmente por vetas y cuerpos mineralizados de cobre, plomo, zinc y plata.

Clima y meteorología

El lugar donde se ubica el proyecto minero objeto de estudio, posee un clima de puna que se caracteriza por ser frío y seco durante todo el año, con una estación lluviosa que ocurre entre diciembre y abril. Las temperaturas máximas y mínimas fluctúan entre 20 y -2 °C. La precipitación promedio anual en el área es de 850 mm por año. La dirección predominante de los vientos se da de oeste a este y tienen una velocidad máxima de 30 km/h.

Flora y fauna

La vegetación está conformada por las unidades de roquedales, pajonal y turberas. De acuerdo a los resúmenes ejecutivos y a los estudios de impacto ambiental (EIA) realizados por la unidad minera, existen 68 especies de plantas vasculares en el área de estudio, las cuales están agrupadas en 18 familias botánicas, de las cuales la familia *Asteraceae* (familia del girasol) y la *Poaceae* (gramíneas) son las mejor representadas con 22 y 21 especies respectivamente. Estas dos familias, son típicas de la flora alto andina.

Dentro de la zona de la mina se existen también aproximadamente 10 especies de fauna, principalmente aves. Es importante mencionar que algunas de las especies registradas en la zona de la mina que se encuentran en peligro de extinción, como es el caso de la *Vicugna*.

Descripción de las pruebas

La prueba de campo se realizó in-situ con una planta de ultrafiltración Unitek, seguida de una unidad de ósmosis inversa equipada con membrana TFC de alto rechazo de sales. La planta de ultrafiltración recibió el efluente desde un tanque de acumulación de 1000 litros, previamente tratado en las condiciones establecidas.

Se realizaron tres corridas representando este efluente pre-tratado (OF AM: *over flow* agua de mina en cabecera) en distintos escenarios. El diseño del tren de membranas (ver figura 25) se realizó de acuerdo a la calidad del efluente de la prueba 3.

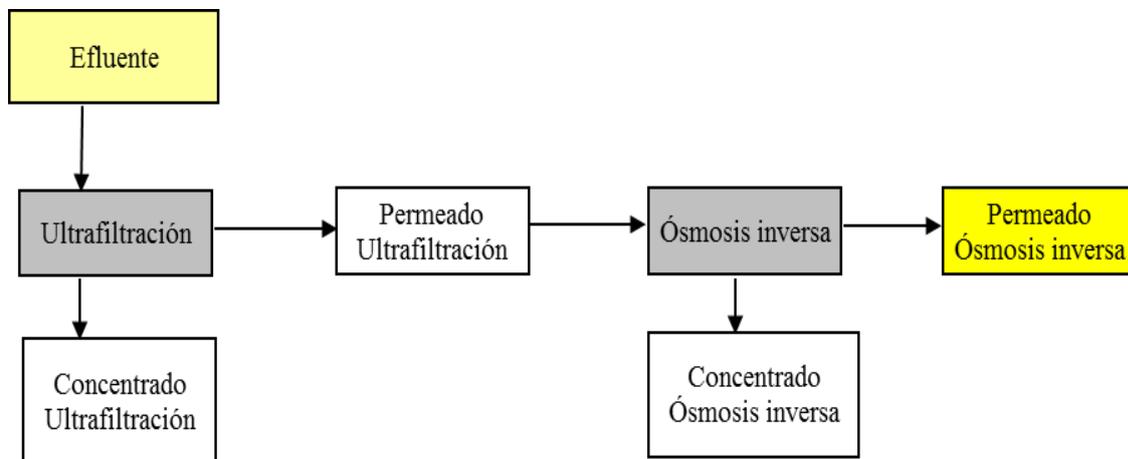


Figura 25 Esquema de tren de membranas

Fuente: Unitek

3.4.2 Caracterización del agua de ingreso

Se realizaron tres corridas y se muestreó el agua de ingreso para cada una obteniéndose los resultados mostrados en la tabla 15

Tabla 15 Caracterización del agua de ingreso

Descripción	Und	Caracterización agua de ingreso		
		Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3
Al total	mg/l	1,1860	0,3490	0,2000
As total	mg/l	0,0150	0,0120	0,0080
Ba total	mg/l	0,0280	0,0360	0,0410
Cd total	mg/l	0,0150	0,2710	0,0140
Co total	mg/l	0,0060	0,2010	0,0590
Cu total	mg/l	0,3680	0,5190	0,0280
Cr total	mg/l	0,0060	0,0060	0,0060
Fe total	mg/l	3,0870	2,1260	1,9630
Li total	mg/l	0,0250	0,1010	0,0520
Mg total	mg/l	13,8210	47,7620	14,2070
Mn total	mg/l	0,6880	17,0390	5,0300
Hg total	mg/l	0,0002	0,0002	0,0002
Ag total	mg/l	0,0010	0,0000	0,0000
Pb total	mg/l	0,1190	0,0870	0,0340
Se total	mg/l	0,0140	0,0260	0,0270
Zn total	mg/l	1,8730	152,3190	22,2580
TSS	mg/l	40,0000	14,0000	8,0000

Fuente: Elaboración propia

La prueba de campo se efectuó a lo largo de tres días. En todos los casos se verificó in situ que tanto la turbidez como los sólidos totales en suspensión (TSS) eran abatidos completamente en el primer paso de ultrafiltración.

3.4.3 Caracterización del agua de salida

Luego de caracterizar el agua de entrada se realizaron los procesos de ultrafiltración y ósmosis inversa (para las pruebas 1, 2 y 3). Después de cada uno de los procesos se ha caracterizado el agua resultante, los resultados se pueden apreciar en las tablas 16 a la 18.

Tabla 16 Caracterización del agua de salida prueba 1

Descripción	Und	Prueba 1	
		Salida UF	Salida permeado OI
Al total	mg/l	0,521	0,20000
As total	mg/l	0,005	0,00300
Ba total	mg/l	0,027	0,00250
Cd total	mg/l	0,001	0,00040
Co total	mg/l	0,004	0,00007

Tabla 16 Continuación de pagina anterior

Descripción	Und	Prueba 1	
		Salida UF	Salida permeado OI
Cu total	mg/l	0,0090	0,0060
Cr total	mg/l	0,0060	0,0060
Fe total	mg/l	2,3120	0,2000
Li total	mg/l	0,0230	0,0009
Mg total	mg/l	13,0480	0,0600
Mn total	mg/l	0,4350	0,0020
Hg total	mg/l	0,0002	0,0002
Ag total	mg/l	0,0002	0,0002
Pb total	mg/l	0,0040	0,0012
Se total	mg/l	0,0120	0,0098
Zn total	mg/l	0,0150	0,0090
TSS	mg/l	4,0000	0,0000

Fuente: Elaboración propia

Tabla 17 Caracterización del agua de salida prueba 2

Descripción	Und	Prueba 2	
		Salida UF	Salida permeado OI
Al total	mg/l	0,2000	0,2000
As total	mg/l	0,0070	0,0030
Ba total	mg/l	0,0360	0,0025
Cd total	mg/l	0,1930	0,0010
Co total	mg/l	0,1740	0,0010
Cu total	mg/l	0,0110	0,0060
Cr total	mg/l	0,0060	0,0060
Fe total	mg/l	1,6520	0,2000
Li total	mg/l	0,0910	0,0009
Mg total	mg/l	44,2050	0,2400
Mn total	mg/l	14,6250	0,0920
Hg total	mg/l	0,0002	0,0002
Ag total	mg/l	0,0002	0,0002
Pb total	mg/l	0,0040	0,0012
Se total	mg/l	0,0200	0,0098
Zn total	mg/l	128,1810	0,7680
TSS	mg/l	6,0000	<1,0000

Fuente: Elaboración propia

Tabla 18 Caracterización del agua de salida prueba 3

Descripción	Und	Prueba 3	
		Salida UF	Salida permeado OI
Al total	mg/l	0,2000	0,2000
As total	mg/l	0,0050	0,0030
Ba total	mg/l	0,0390	0,0025
Cd total	mg/l	0,0240	0,0004
Co total	mg/l	0,0590	0,4400
Cu total	mg/l	0,0070	0,0060
Cr total	mg/l	0,0060	0,0060
Fe total	mg/l	1,6940	0,2000
Li total	mg/l	0,0500	0,0009
Mg total	mg/l	14,2440	0,1070
Mn total	mg/l	5,0130	0,0390
Hg total	mg/l	0,0002	0,0002
Ag total	mg/l	0,0002	0,0002
Pb total	mg/l	0,0040	0,0012
Se total	mg/l	0,0220	0,0098
Zn total	mg/l	19,9970	0,2110
TSS	mg/l	6,0000	4,0000

Fuente: Elaboración propia

3.5.- Caso IV

3.5.1 Generalidades

Localización

La unidad minera objeto de estudio, en este caso, es una empresa aurífera subterránea de mediana minería ubicada a una altitud comprendida entre 1200 y 2800 msnm, en el departamento de La Libertad.

El área del proyecto se extiende sobre un área de 78 674 ha, cuyo relieve se caracteriza por tener una morfología abrupta debido a la presencia de laderas escarpadas y quebradas profundas.

La actividad principal de la compañía es la obtención de recursos minerales, el minado y beneficio mediante cianuración, precipitación y fundición para obtener oro bullión.

Clima y meteorología

De acuerdo al resumen ejecutivo del EIA presentado por la unidad minera del estudio, la zona se caracteriza por tener un clima cálido con temperatura media anual de 22 °C, con una marcada estación de lluvia desde enero hasta abril seguido por una estación de sequía, siendo la precipitación anual promedio de 430 mm, con vientos muy débiles a brisas moderados (de 6 a 28 km/h) durante la noche y mañanas y con brisas frescas y

fuerter (hasta 49 km/h) en la tarde. Durante el año los vientos provienen predominantemente desde el NE, ENE y NNE.

Flora y fauna

Para presentar su EIA la unidad minera ha evaluado las formaciones vegetales habiendo identificado en el área el Bosque Húmedo, formación vegetal arbórea y arbustiva compuesta por “aliso” (*Alnus acuminata*), “coto quishuar” (*Gynoxis sp.*), “pauca” (*Escallonia pendula*), “cucharilla” (*Oreocallis grandiflora*) y “chinche” (*Weinmannia pinnata*), principalmente y el Monte Ribereño, como formación vegetal arbórea y arbustiva ubicada en las riberas de las quebradas y ríos de la zona, representada por “sauce” (*Salix chilensis*), “pájaro bobo” (*Tessaria integrifolia*) y “carrizo” (*Arundo donax*).

La fauna fue identificada en el EIA mediante el análisis de la información bibliográfica existente y observaciones directas y de sus indicios, identificando la probable presencia de un número de aves (gallinazo, cernícalo americano, tortolita y rabiblanca, saltapalito entre otros), mamíferos (muca, zorrillo y zorro) y reptiles (jergota, coralillo, geko y lagartija).

Descripción de las pruebas

La compañía minera ha desarrollado el monitoreo de sus efluentes de acuerdo a lo estipulado en su Estudio de Impacto Ambiental. Del monitoreo realizado, se desprenden que en los efluentes de la unidad minera, los parámetros pH, SST, CN total, cadmio total, hierro disuelto, plomo total, cobre total, mercurio total, y zinc total están por debajo de los límites máximos permisibles establecidos por el D.S. N°010-2010-MINAM.

Por el contrario el arsénico total, se encuentra por encima de los límites máximos permisibles entre 0,1120 mg/l a 1,6151 mg/l. En este sentido, para mitigar, se propuso el plan de implementación para el cumplimiento de los límites máximos permisibles, en un plazo de 36 meses.

A fin de adecuarse a la normatividad vigente se realizaron pruebas en escala piloto para poder seleccionar la tecnología a fin de reducir la presencia de arsénico total en los puntos de descarga a los cuerpos receptores y de ser factible obtener agua para consumo humano, dada a la escasez imperante en la zona.

Para el punto Bocamina se ha encontrado el sistema de tratamiento del efluente en base a la coagulación/floculación/sedimentación.

Para este caso la empresa Unitek Perú S.A. propuso dos sistemas:

- I) Un sistema de coagulación/ ultrafiltración a fin de alcanzar arsénico total < 0,10 ppm en la descarga del cuerpo receptor.
- II) Un sistema de coagulación/ ultrafiltración/ ósmosis inversa a fin de alcanzar arsénico total < 0,01 ppm para uso de agua potable para consumo humano.

Para demostrar la eficacia de la propuesta se realizó una prueba piloto, de acuerdo al esquema mostrado en la figura 26. La prueba se desarrolló con personal de Unitek durante 15 días. Los pasos seguidos fueron los siguientes:

- 1) Se toma el efluente del canal de la bocamina mediante una bomba de transferencia y se acumula el efluente en el tanque 1 de alimentación, en línea se dosifica ácido clorhídrico y/o hipoclorito de calcio.
- 2) Se transfiere el efluente del tanque 1 al tanque 2, mediante una bomba de transferencia, en línea se dosifica el coagulante (en nuestro caso se realizaron pruebas con sulfato férrico y cloruro férrico) a diferentes dosificaciones.

- 3) Desde el tanque 2, se alimenta al equipo de ultrafiltración.
- 4) Se acumula el agua ultrafiltrada en el tanque 3.
- 5) En el tanque 3 se dosifica bisulfito de sodio a fin de alimentar al equipo de ósmosis inversa sin presencia de cloro residual en la línea de alimentación a este equipo.
- 6) Se acumula el agua permeada de ósmosis inversa en el tanque 4.
- 7) Se toman muestras.
- 8) Adicionalmente se toma datos de pH, cloro residual, conductividad, arsénico disuelto, in situ.
- 9) También se realizó pruebas de SDI en la alimentación al primer tanque, antes de ingresar a la ultrafiltración y a la salida de la ultrafiltración.

3.5.2 Caracterización del agua de ingreso

Se evaluará la prueba piloto realizada en base a los resultados de un laboratorio metalúrgico (turbidez y pH) y de mina (arsénico total y arsénico disuelto) Se realizaron 5 corridas en función a las siguientes condiciones:

- Caso I: efluente sin adicionar productos químicos (prueba 1 y 2)
- Caso II: efluente adicionando hipoclorito de calcio (prueba 3)
- Caso III: efluente adicionando ácido muriático e hipoclorito de calcio (prueba 4)
- Caso IV: efluente adicionando ácido muriático, hipoclorito de calcio y sulfato férrico (prueba 5, 6, 7 y 10).
- Caso V: efluente adicionando ácido muriático, hipoclorito de calcio y cloruro férrico (prueba 8 y 9).

Se muestreó el agua de ingreso para cada una obteniéndose los resultados mostrados en la tabla 19

Tabla 19 Caracterización del agua de ingreso

Prueba N°	Calidad de agua cruda					
	As total (mg/l)	pH	Fe total ingreso (ppm*)	TSS ingreso (ppm*)	Turbidez ingreso UF (NTU)	Conductividad (uS/cm)
1		7,40			76,10	662,00
2		7,71				612,00
3	0,300	7,70	3,82	111,20	40,50	606,00
4	0,233	7,70	2,68	97,20	18,90	636,00
5	0,259	7,80	3,17	84,50	77,10	724,00
6	1,759	7,20	135,60	2 396,00	> 200,00	650,00
7	2,226	7,50	176,32	4 156,00	> 200,00	664,00
8	0,205	7,60	3,88	76,40	57,80	611,00
9	0,233	6,70	3,68	93,20	43,70	655,00
10	0,262	7,50	5,59	111,60	34,30	673,00

* ppm: partes por millón

Fuente: Elaboración propia

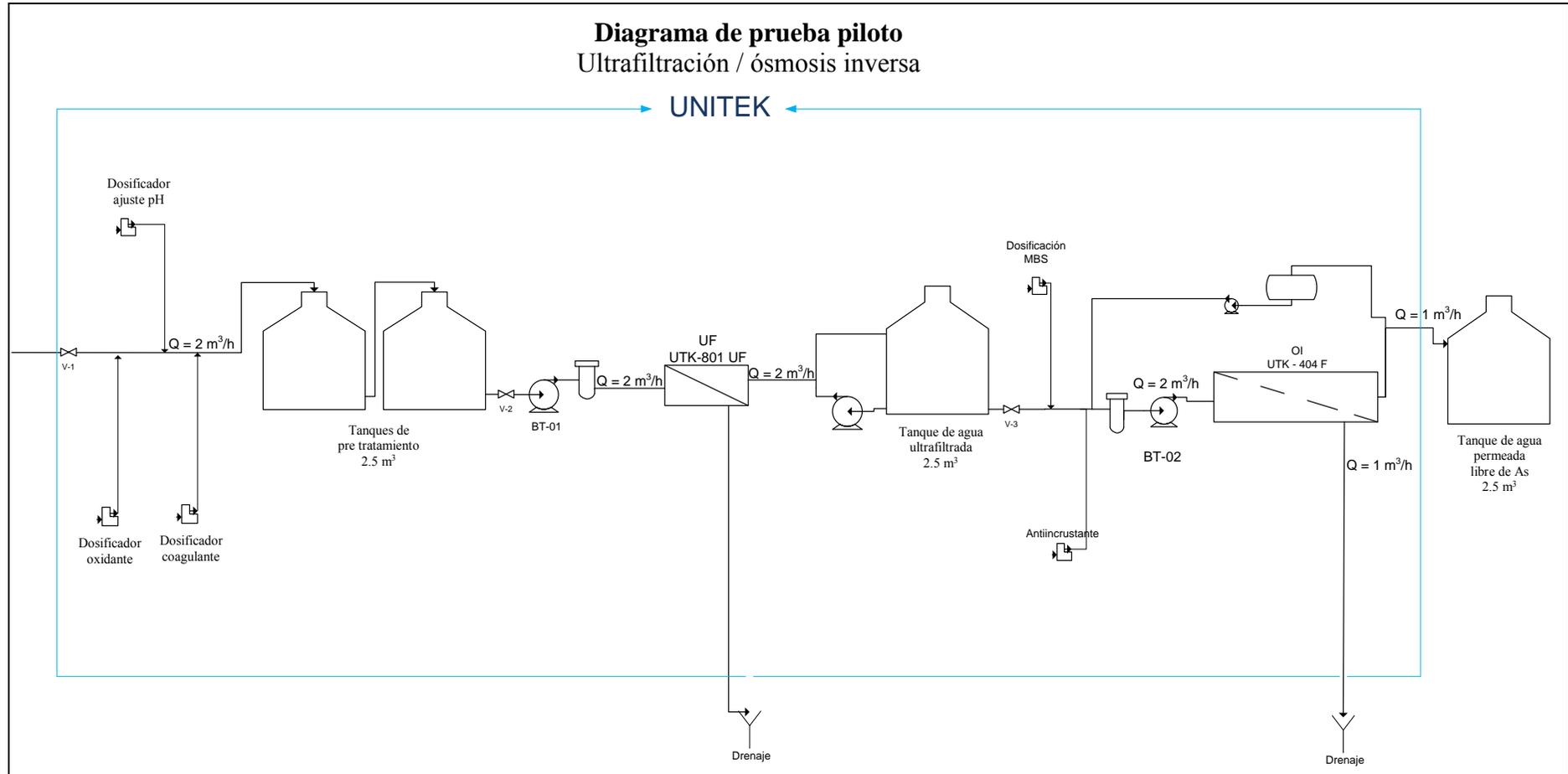


Figura 26 Diagrama de prueba piloto
Fuente: Unitek

La prueba de campo se efectuó a lo largo de 15 días. En todos los casos se verificó in situ que tanto la turbidez como los sólidos totales en suspensión eran abatidos completamente en el primer paso de ultrafiltración, ver figura 27.



Figura 27 Fotos de la muestra antes y después de la ultrafiltración
Fuente: Unitek

3.5.3 Caracterización del agua de salida

Después de cada uno de los procesos se ha caracterizado el agua resultante, los resultados se pueden apreciar en las tablas 20 a la 23. Los resultados de turbidez de este último caso se deben a que el límite del laboratorio donde se realizaron estas caracterizaciones tenía como límite de detección 5 ppm.

Tabla 20 Caracterización del agua de salida caso II

Descripción	Und	Prueba 3	
		Salida UF	Salida permeado OI
Turbidez	NTU	< 5,0000	< 5,0000
As total	mg/l	0,2077	0,0025
Fe total	mg/l	0,0229	0,0031

Fuente: Elaboración propia

Tabla 21 Caracterización del agua de salida caso III

Descripción	Und	Prueba 4	
		Salida UF	Salida permeado OI
Turbidez	NTU	< 5,0000	< 5,0000
As total	mg/l	0,1791	0,0024
Fe total	mg/l	0,0105	0,0031

Fuente: Elaboración propia

Tabla 22 Caracterización del agua de salida caso IV

Descripción	Und	Prueba 5		Prueba 6		Prueba 7		Prueba 10	
		Salida UF	Salida permeado OI						
Turbidez	NTU	<5,000	<5,000	<5,000	< 5,000	<5,000	< 5,000	<5,000	< 5,000
As total	mg/l	0,1720	0,0026	0,0040	0,0008	0,0042	0,0004	0,0046	0,0004
Fe total	mg/l	0,0112	0,0031	0,0109	0,0043	0,0284	0,0064	0,0103	0,0031

Fuente: Elaboración propia

Tabla 23 Caracterización del agua de salida caso V

Descripción	Und	Prueba 8		Prueba 9	
		Salida UF	Salida permeado OI	Salida UF	Salida permeado OI
Turbidez	NTU	< 5,0000	< 5,0000	< 5,0000	< 5,0000
As total	mg/l	0,0334	0,0004	0,0095	0,0004
Fe total	mg/l	0,0094	0,0031	0,0107	0,0039

Fuente: Elaboración propia

Capítulo 4

Comparación de resultados

4.1.- Características del agua tratada con membrana

4.1.1 Resultados antes y después del tratamiento con membranas

Aquí mostraremos, mediante gráficos obtenidos después de tabular los resultados mostrados en cada caso del capítulo 3, la eficacia de los sistemas de membrana (ultrafiltración y ósmosis inversa) para conseguir disminuir notablemente los valores de conductividad, sólidos suspendidos totales, cianuro, arsénico, metales, entre otros. Como se observará a lo largo del presente capítulo, la mayor disminución en los valores de los parámetros medidos, se produce luego de la ósmosis inversa.

a) Caso I

A continuación se mostrarán los resultados obtenidos luego de someter el agua de ingreso del caso I al tratamiento con membranas.

De la figura 28 a la figura 34 se muestran el promedio de los resultados de las 5 pruebas realizadas antes y después de la ultrafiltración (UF) y de la ósmosis inversa (OI). A las pruebas 4 y 5 se les realizó una segunda ósmosis inversa por ese motivo se muestra una segunda salida de ósmosis inversa.

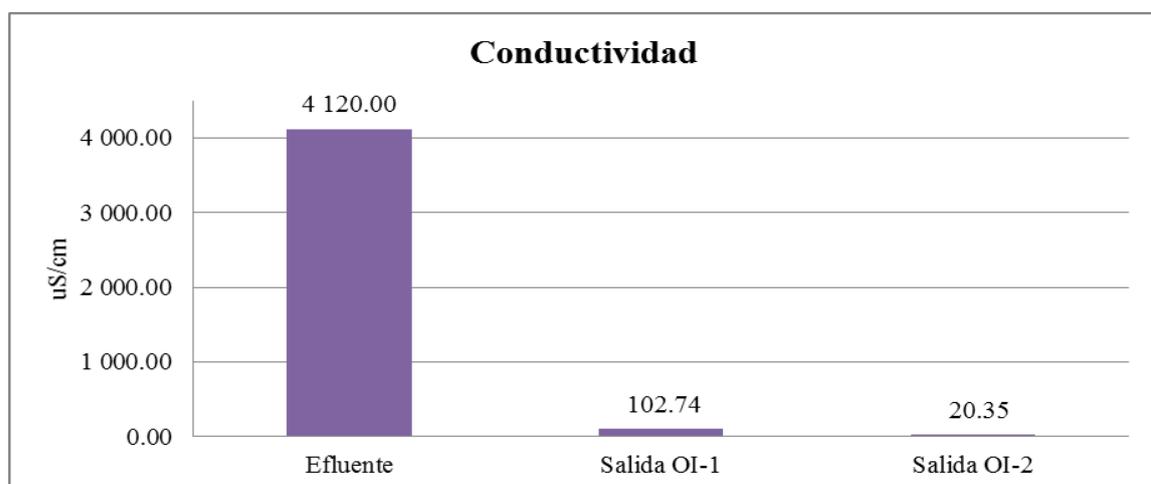


Figura 28 Caso I: resultados de conductividad

Fuente: elaboración propia

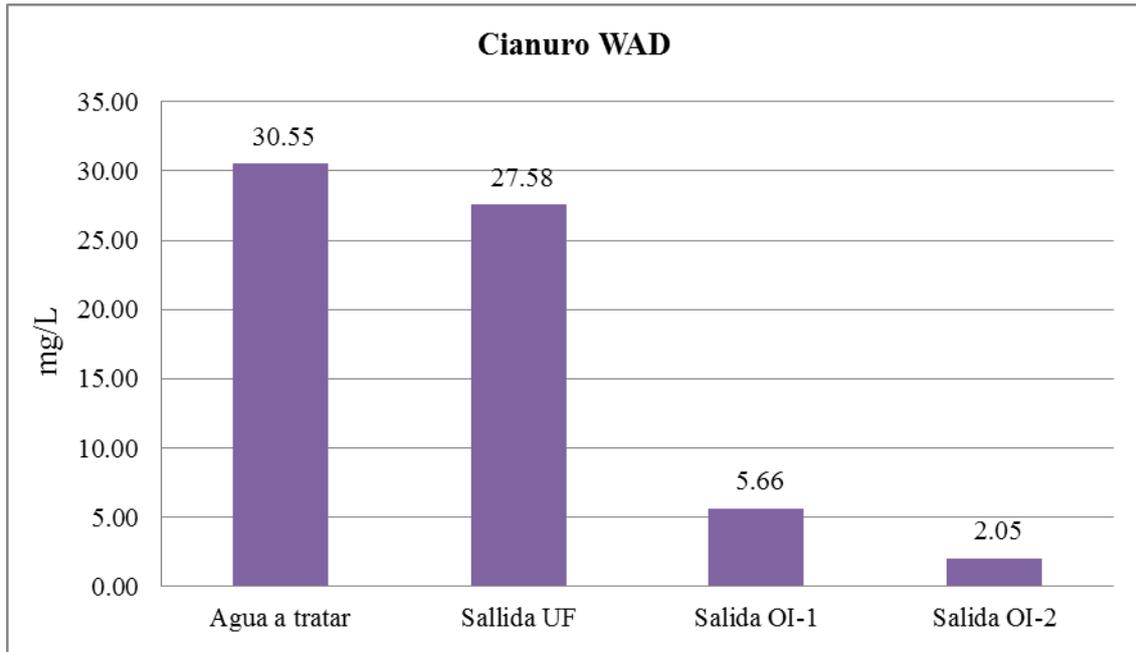


Figura 29 Caso I: resultados de cianuro WAD
Fuente: elaboración propia

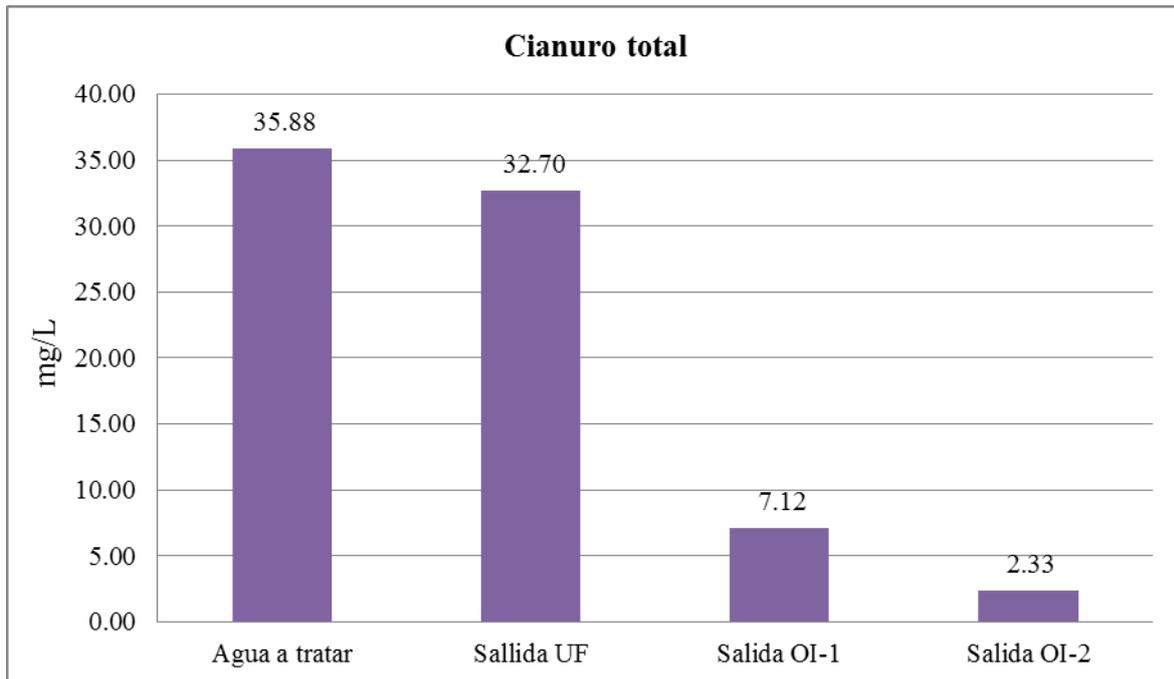


Figura 30 Caso I: resultados de cianuro total
Fuente: elaboración propia

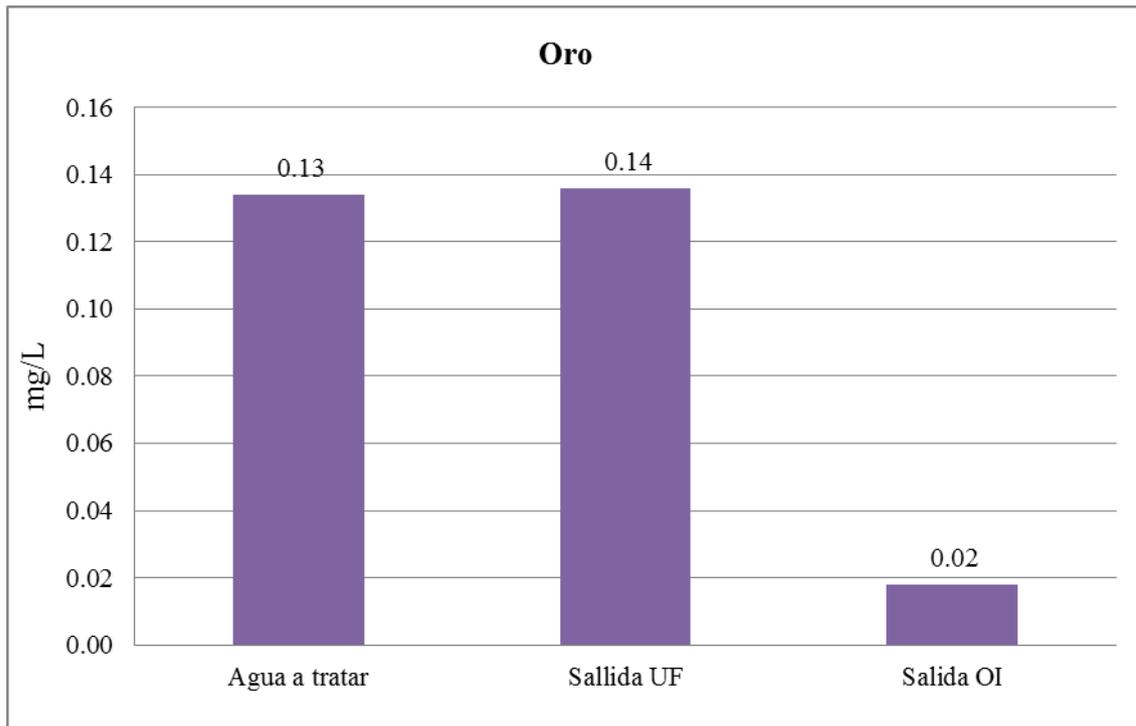


Figura 31 Caso I: resultados de metales: oro
Fuente: elaboración propia

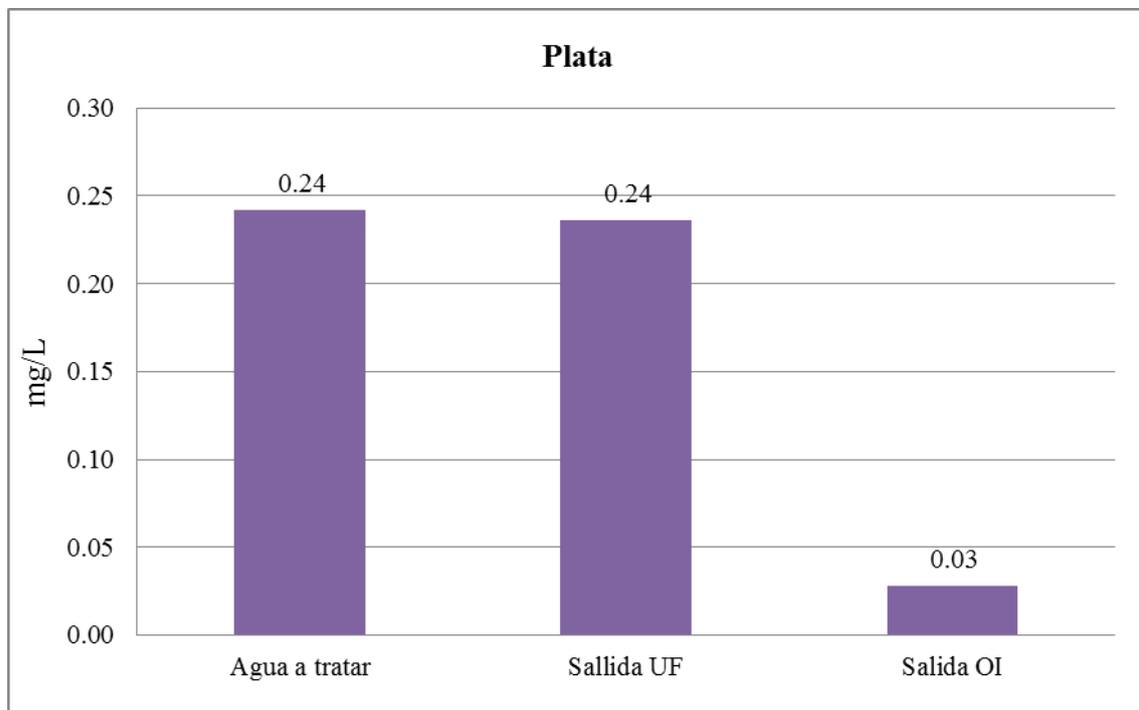


Figura 32 Caso I: resultados de metales: plata
Fuente: elaboración propia

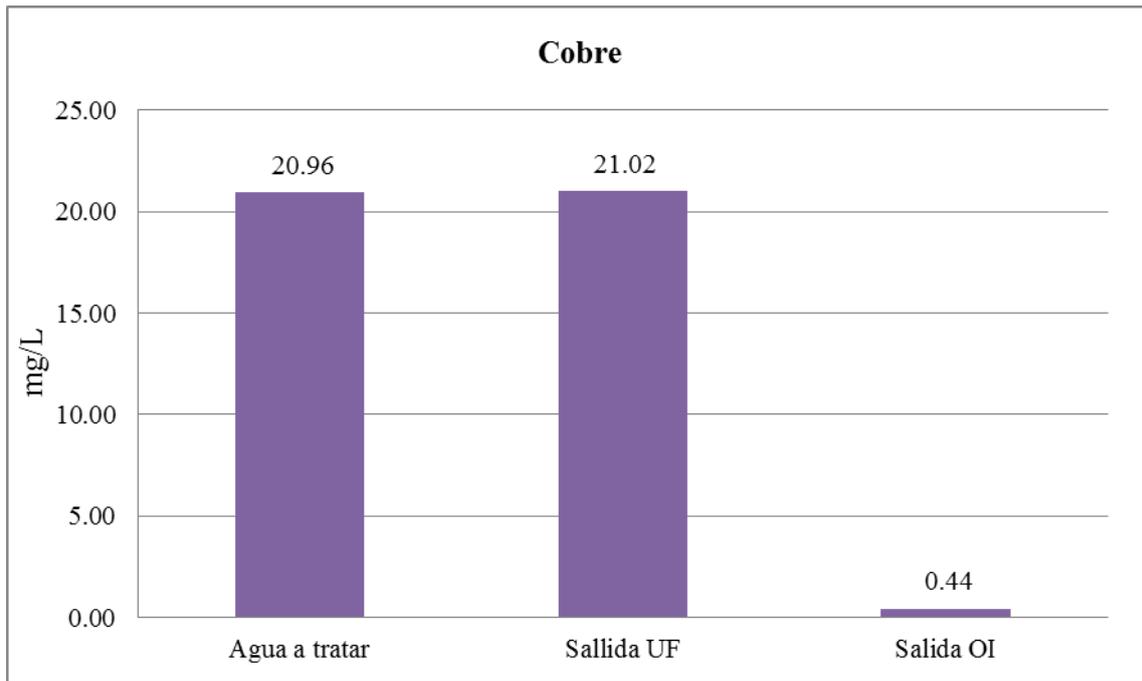


Figura 33 Caso I: resultados de metales: cobre
Fuente: elaboración propia

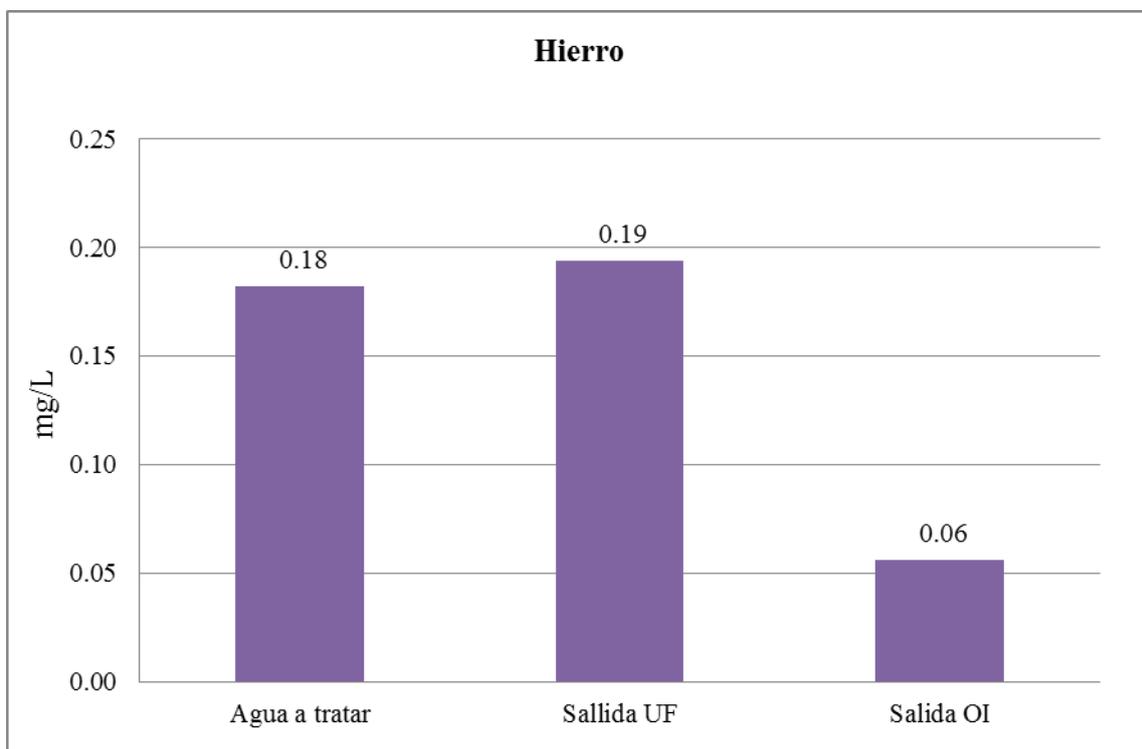


Figura 34 Caso I: resultados de metales: hierro
Fuente: elaboración propia

b) Caso II

A continuación se mostrarán los resultados obtenidos luego de someter el agua de ingreso del caso II al tratamiento con membranas.

De la figura 35 a la figura 42 se muestran los resultados de las 4 pruebas realizadas antes y después de la ultrafiltración y la ósmosis inversa. La prueba 3 fue sometida a una segunda ósmosis inversa. Adicionalmente a las pruebas 2, 3 y 4 se les modificó el pH de acuerdo a lo indicado en el capítulo 3.

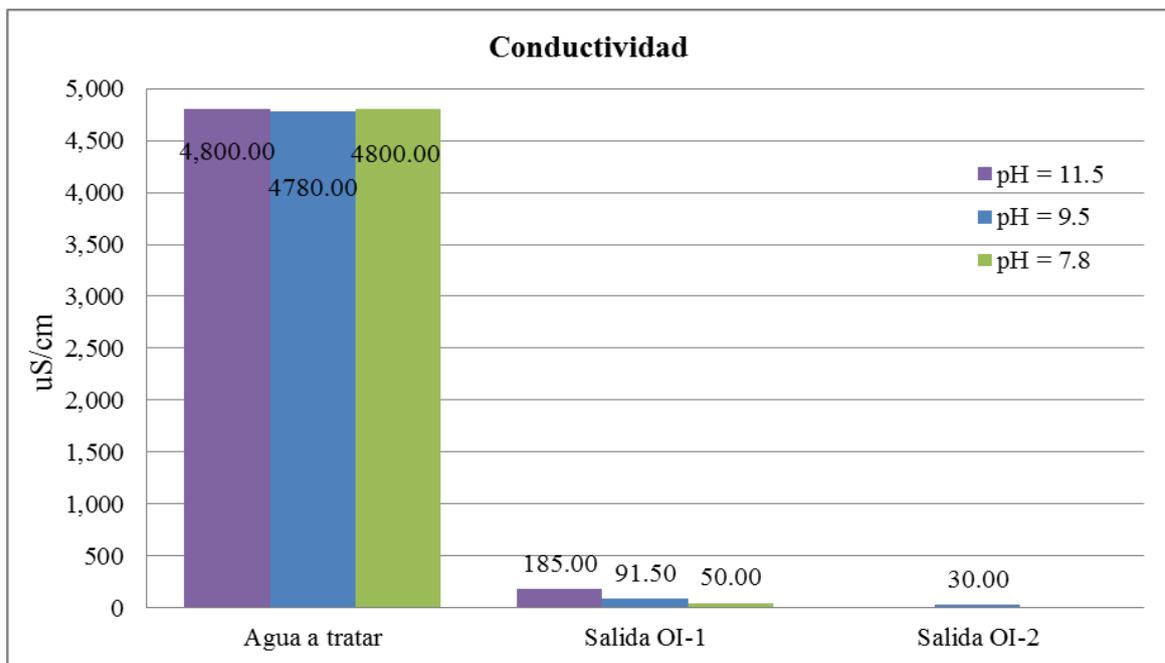


Figura 35 Caso II: resultados de conductividad

Fuente: elaboración propia

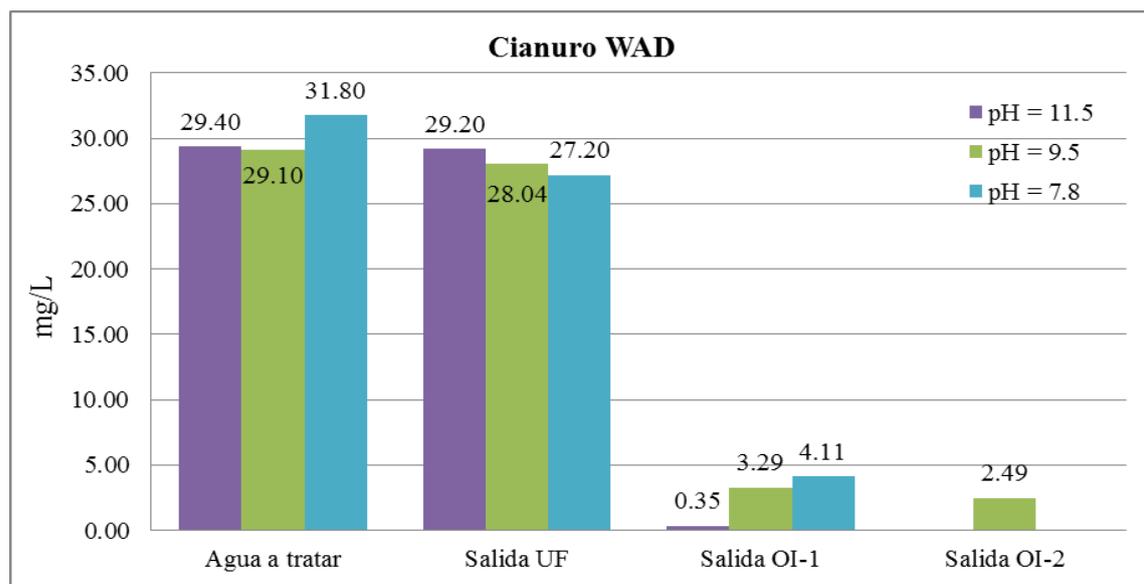


Figura 36 Caso II: resultados de cianuro WAD

Fuente: elaboración propia

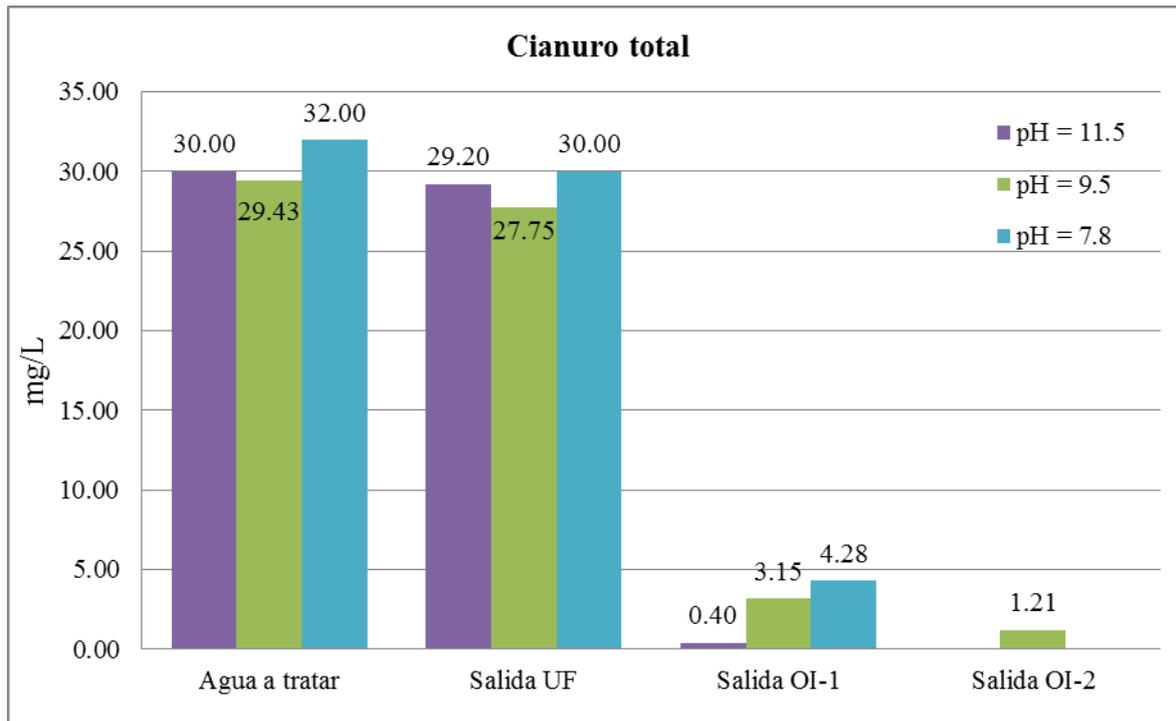


Figura 37 Caso II: resultados de cianuro total
Fuente: elaboración propia

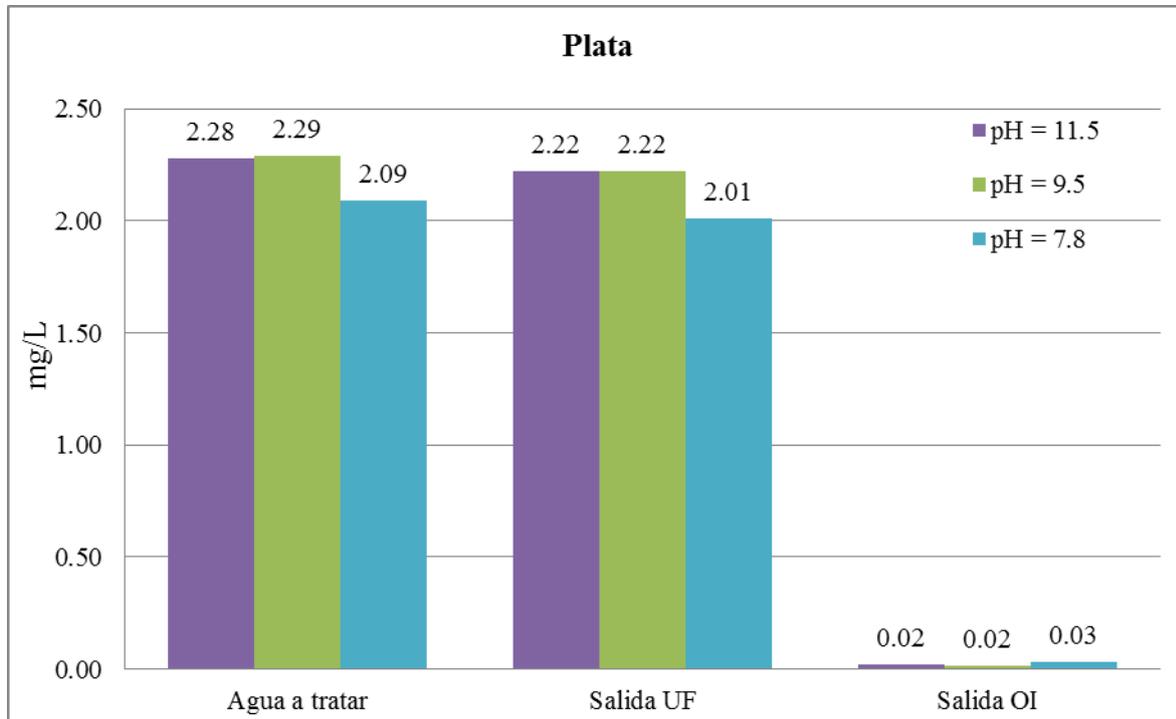


Figura 38 Caso II: resultados de metales: plata
Fuente: elaboración propia

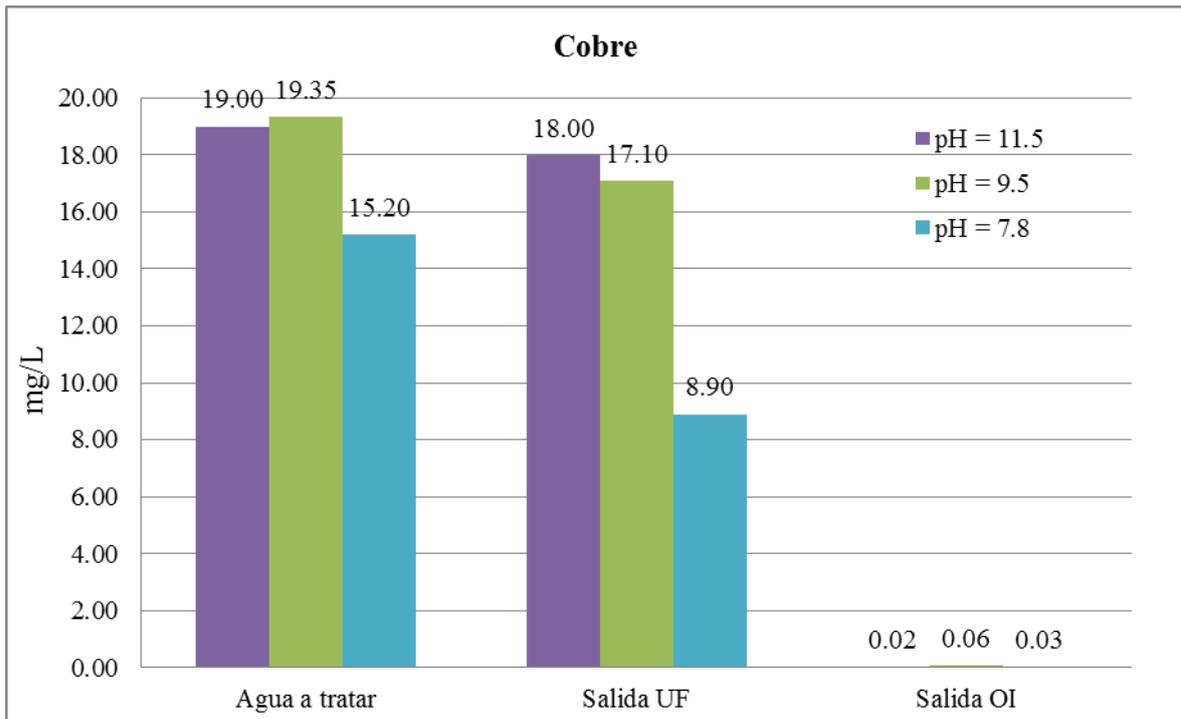


Figura 39 Caso II: resultados de metales: cobre
Fuente: elaboración propia

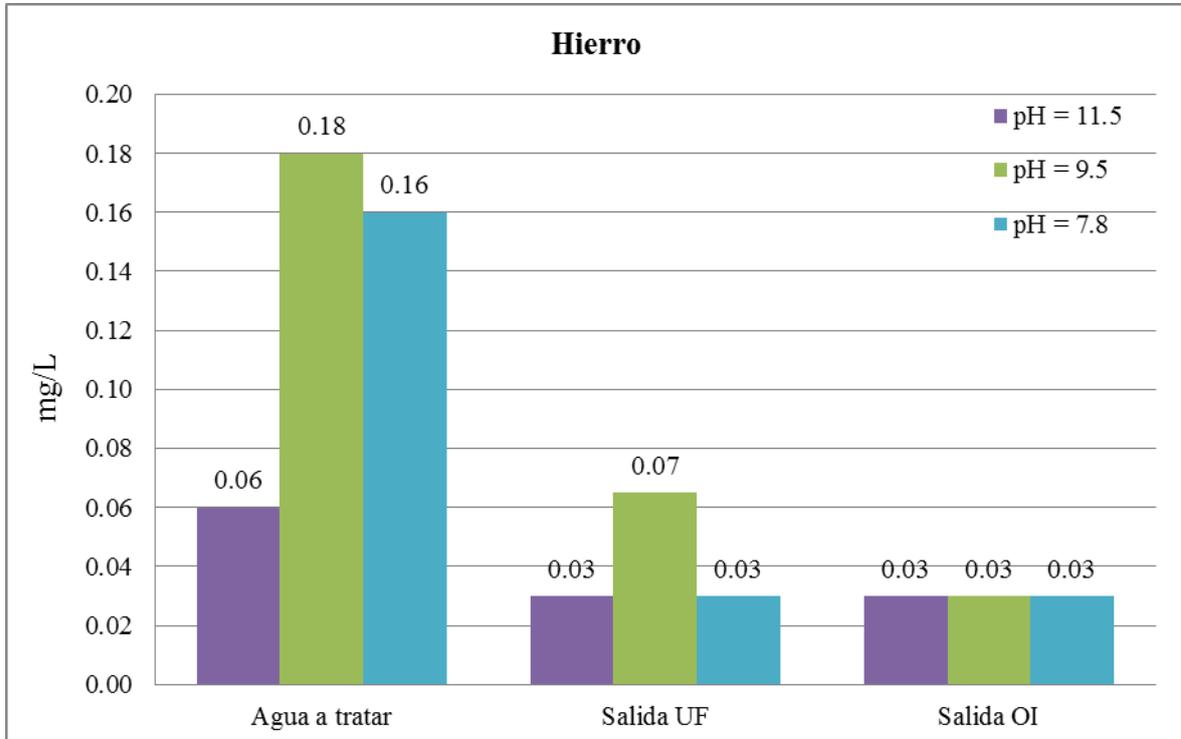


Figura 40 Caso II: resultados de metales: fierro
Fuente: elaboración propia

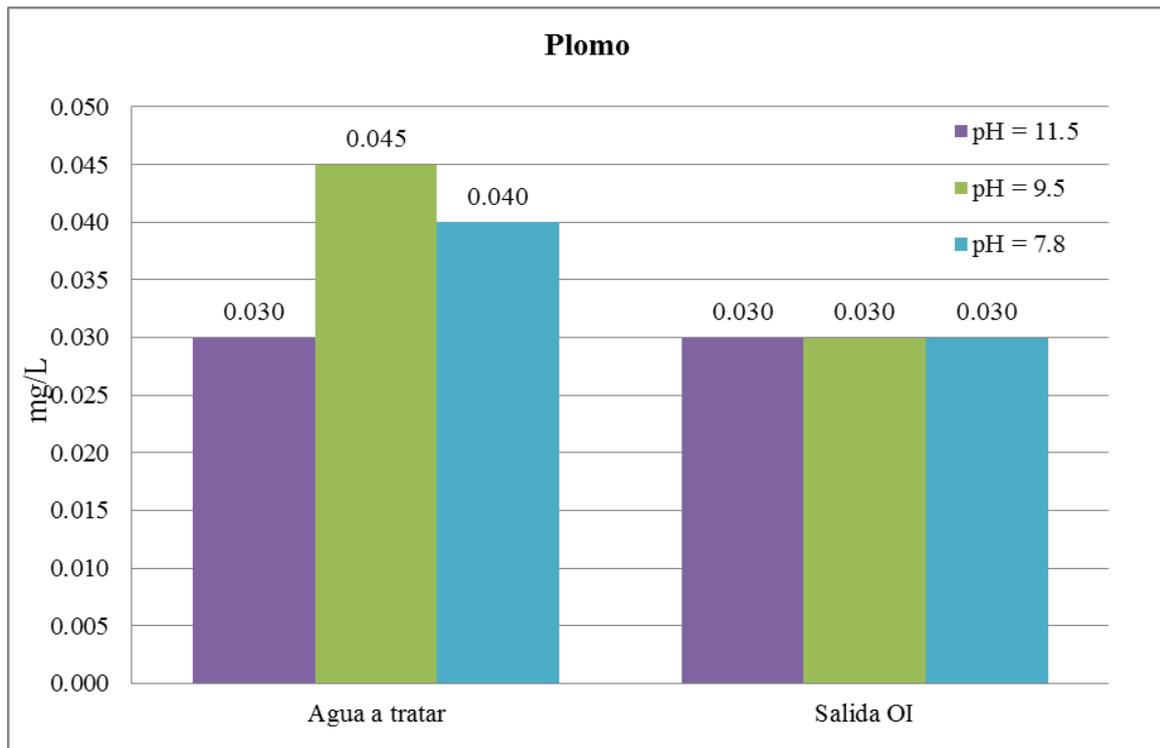


Figura 41 Caso II: resultados del plomo
Fuente: elaboración propia

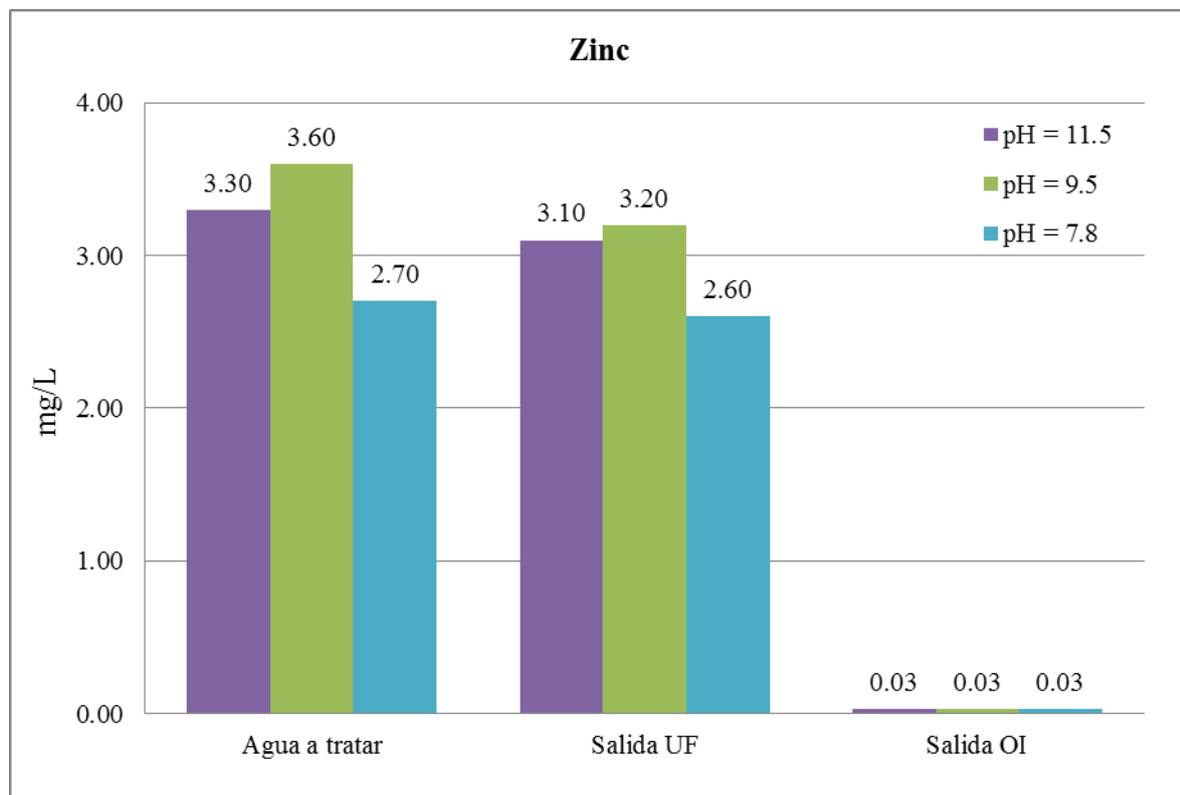


Figura 42 Caso II: resultados del zinc
Fuente: elaboración propia

c) Caso III

A continuación se mostrarán los resultados obtenidos luego de someter el agua de ingreso del caso III al tratamiento con membranas.

De la figura 43 a la figura 50 se muestran los resultados de las 3 pruebas realizadas antes y después de la ultrafiltración y la ósmosis inversa. Las pruebas se realizaron de acuerdo a lo indicado en el capítulo 3.

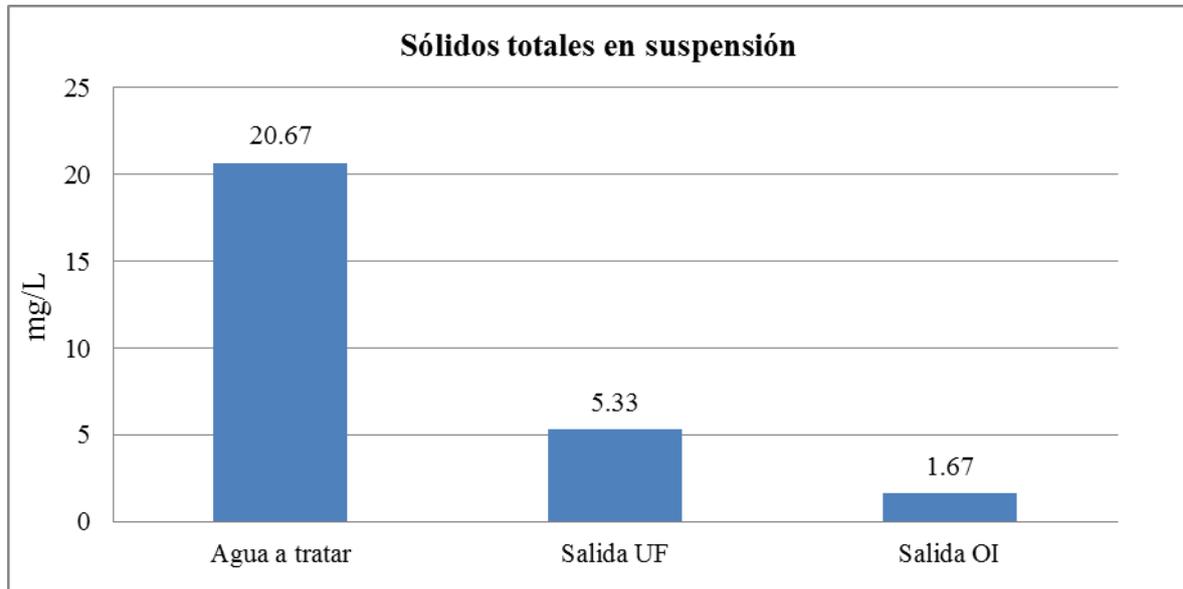


Figura 43 Caso III: resultados de sólidos totales en suspensión

Fuente: elaboración propia

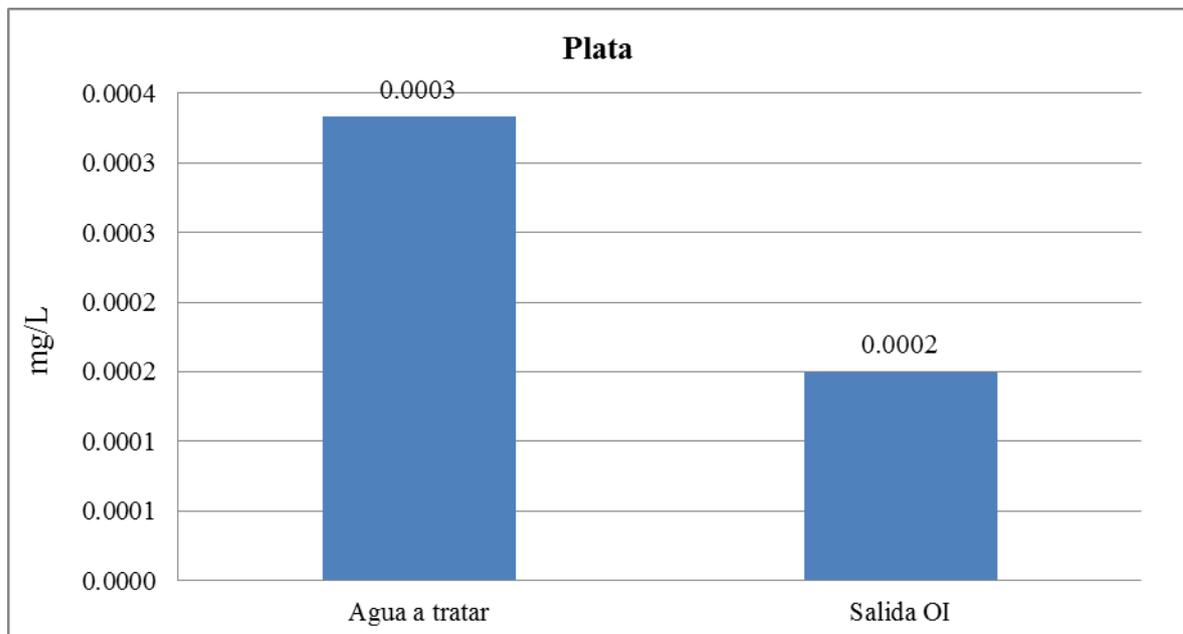


Figura 44 Caso III: resultados de plata

Fuente: elaboración propia

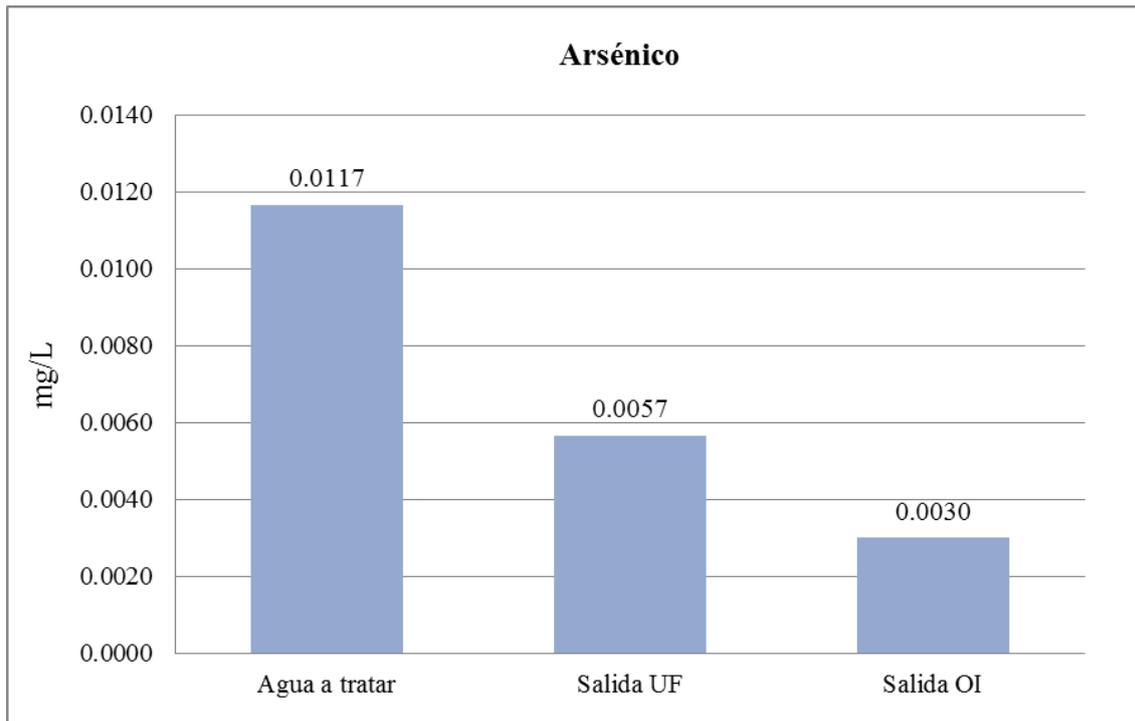


Figura 45 Caso III: resultados de arsénico total
Fuente: elaboración propia

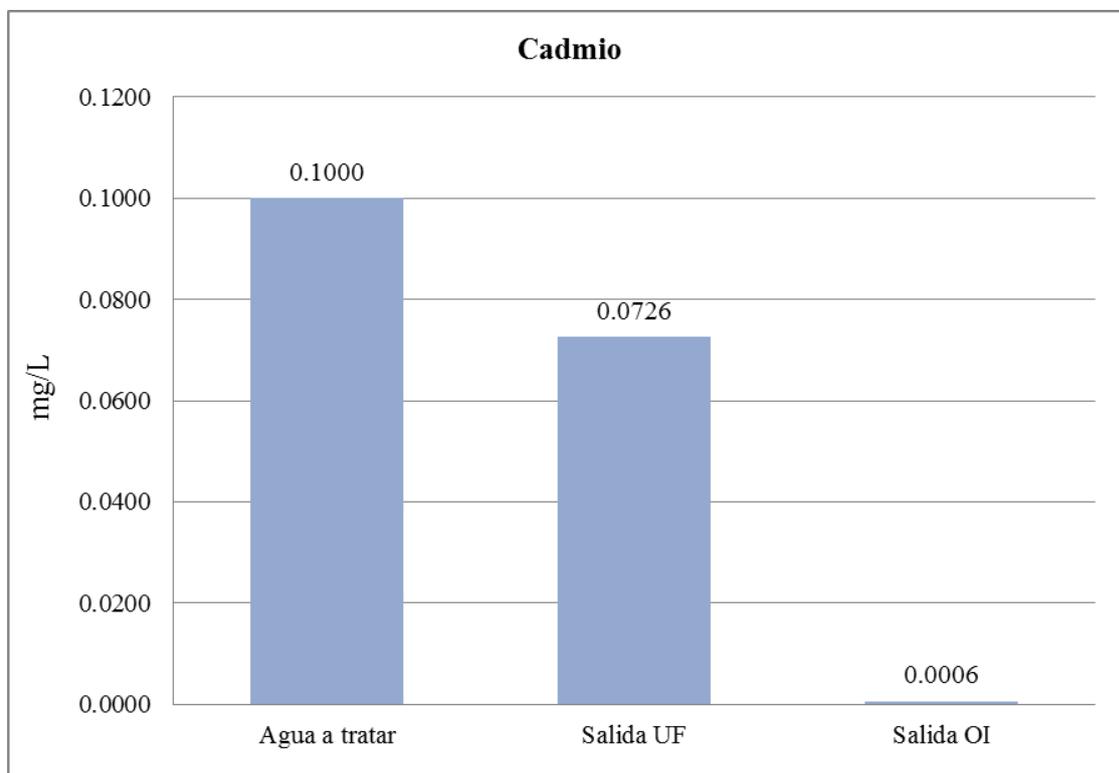


Figura 46 Caso III: resultados de cadmio total
Fuente: elaboración propia

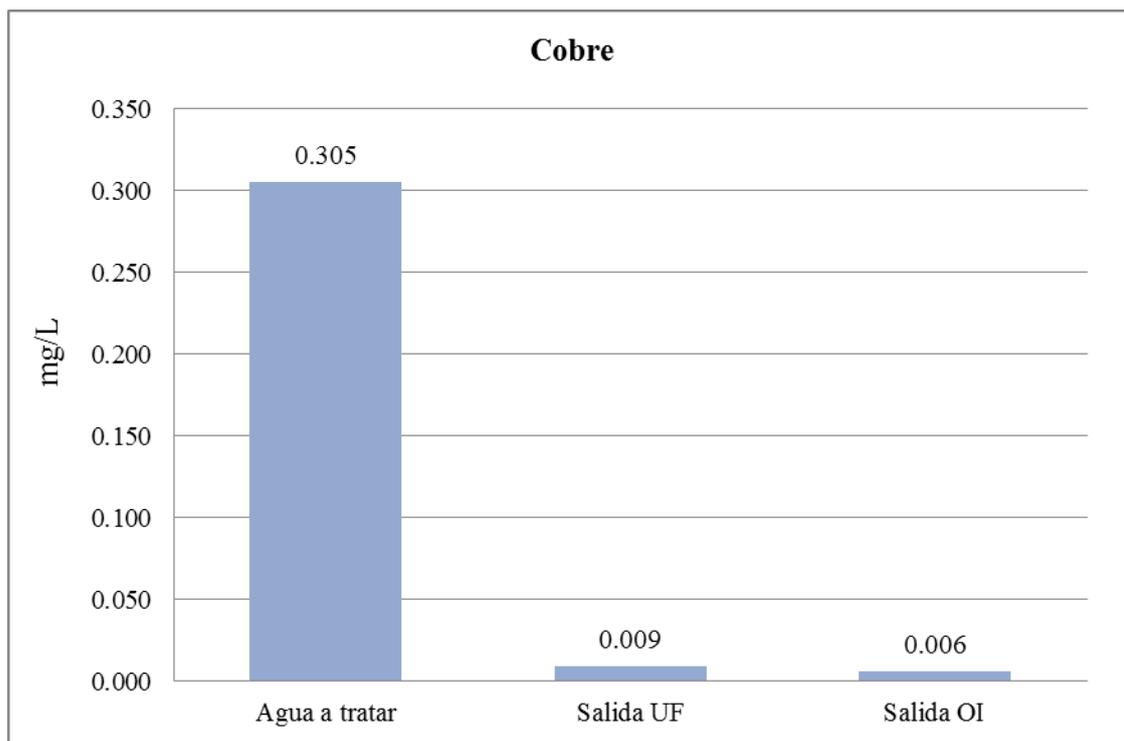


Figura 47 Caso III: resultados de metales: cobre
Fuente: elaboración propia

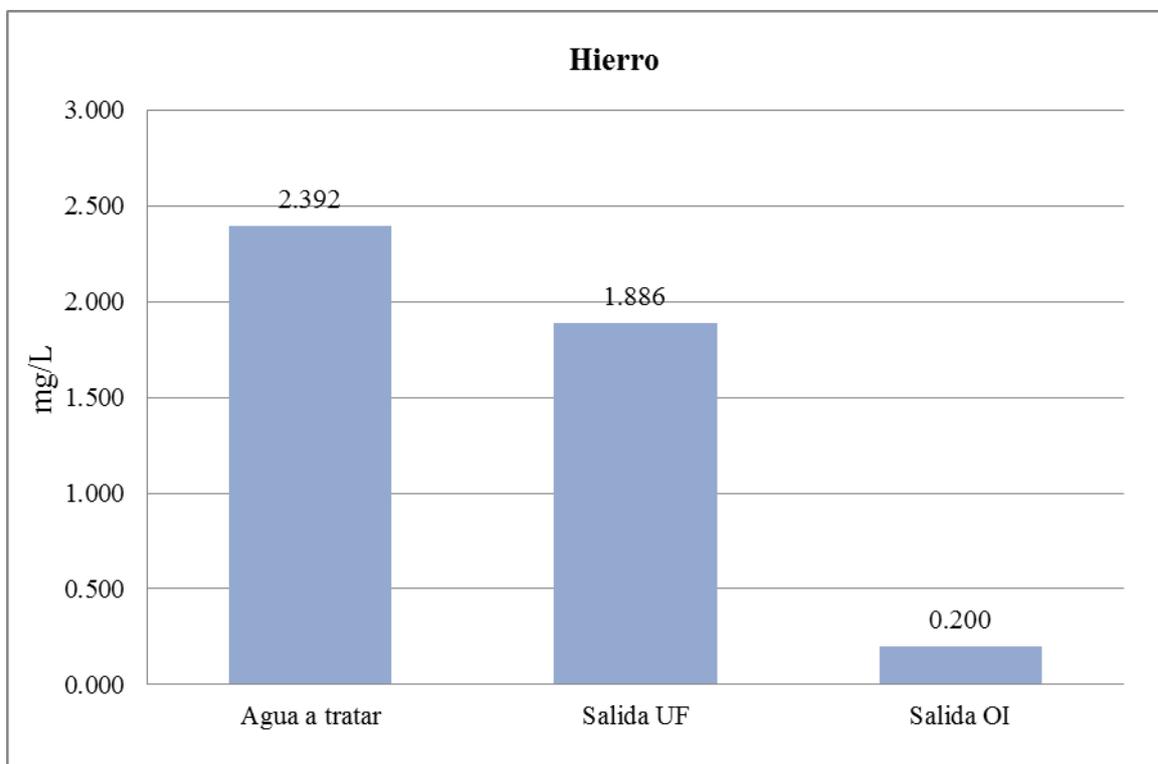


Figura 48 Caso III: resultados de metales: fierro
Fuente: elaboración propia

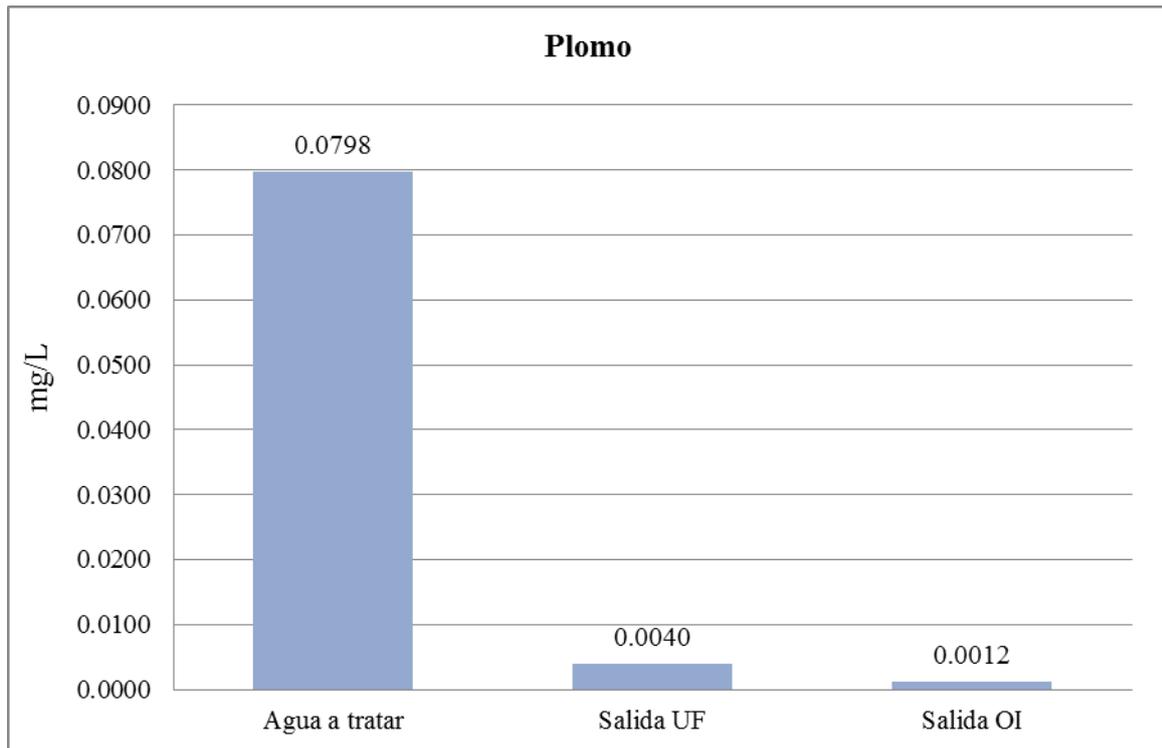


Figura 49 Caso III: resultados del plomo
Fuente: elaboración propia

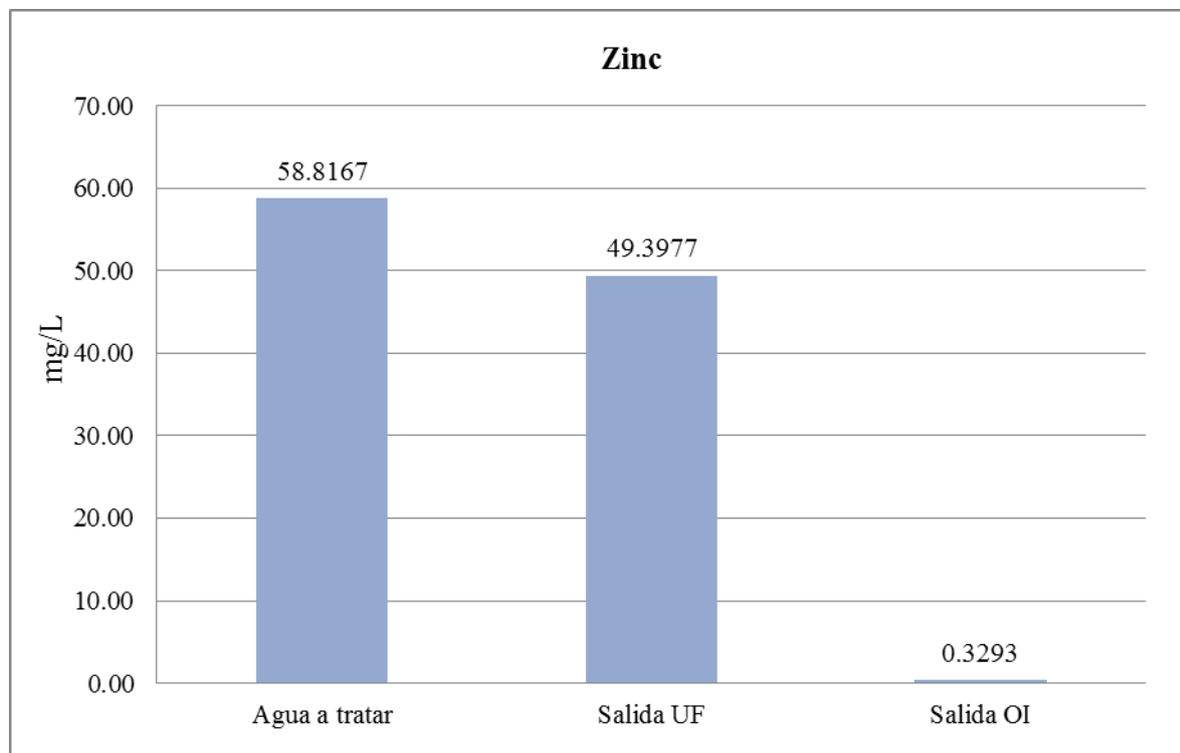


Figura 50 Caso III: resultados del zinc
Fuente: elaboración propia

d) Caso IV

A continuación se mostrarán los resultados obtenidos luego de someter el agua de ingreso del caso IV al tratamiento con membranas.

De la figura 51 a la figura 59 se muestran los resultados de las 10 pruebas realizadas. Estas diez pruebas se han caracterizado antes y después de la ultrafiltración y la ósmosis inversa. Las pruebas se han agrupado en 5 casos de acuerdo a lo indicado en el capítulo 3.

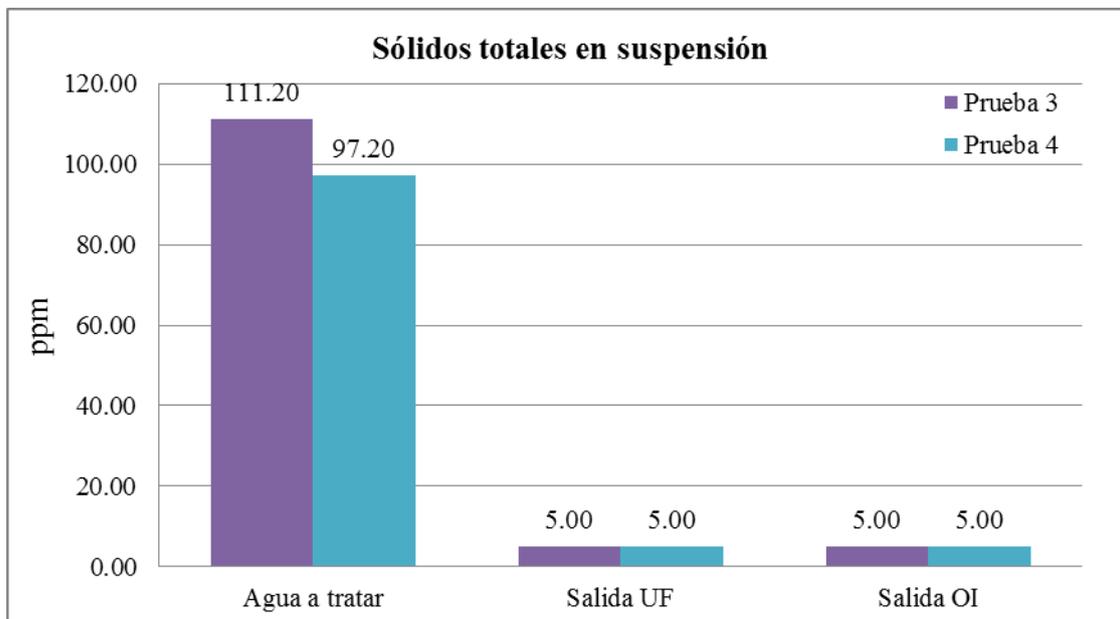


Figura 51 Caso IV: resultados de sólidos totales en suspensión para pruebas 3 y 4

Fuente: elaboración propia



Figura 52 Caso IV: resultados de sólidos suspendidos totales para pruebas 5, 6, 7 y 10

Fuente: elaboración propia

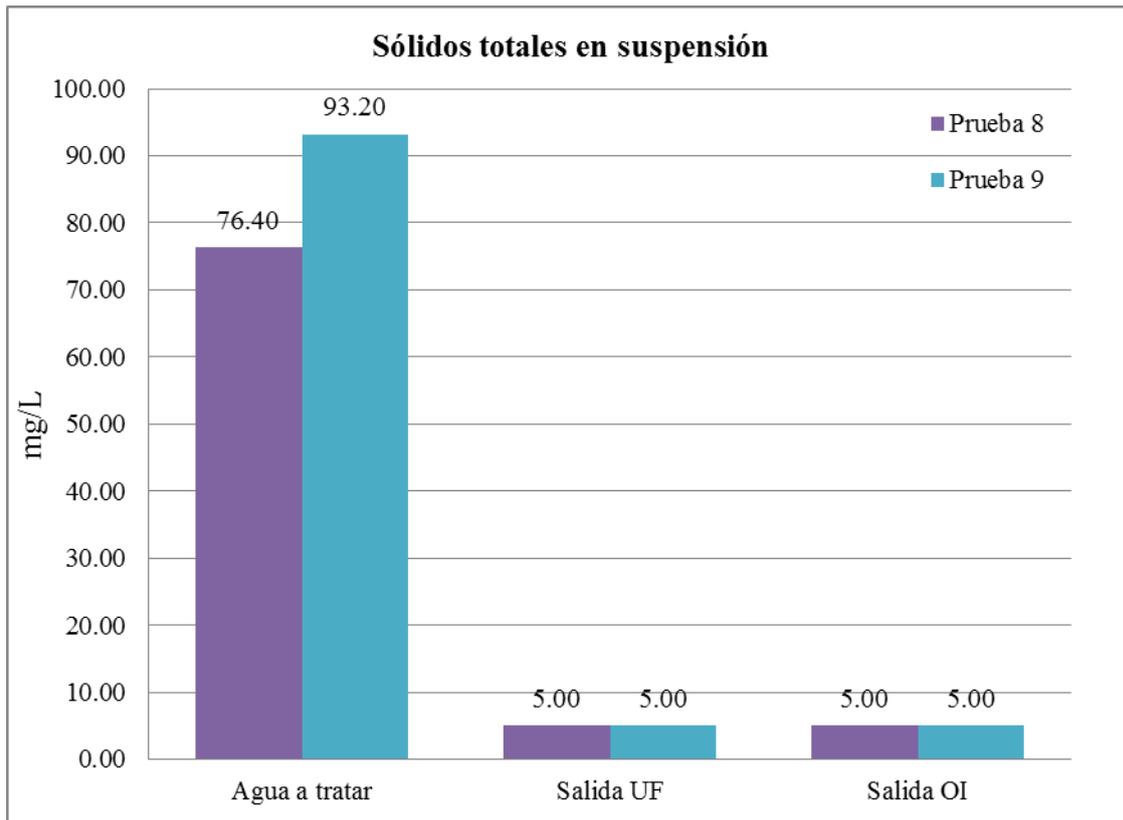


Figura 53 Caso IV: resultados de sólidos suspendidos totales para pruebas 8 y 9
Fuente: elaboración propia

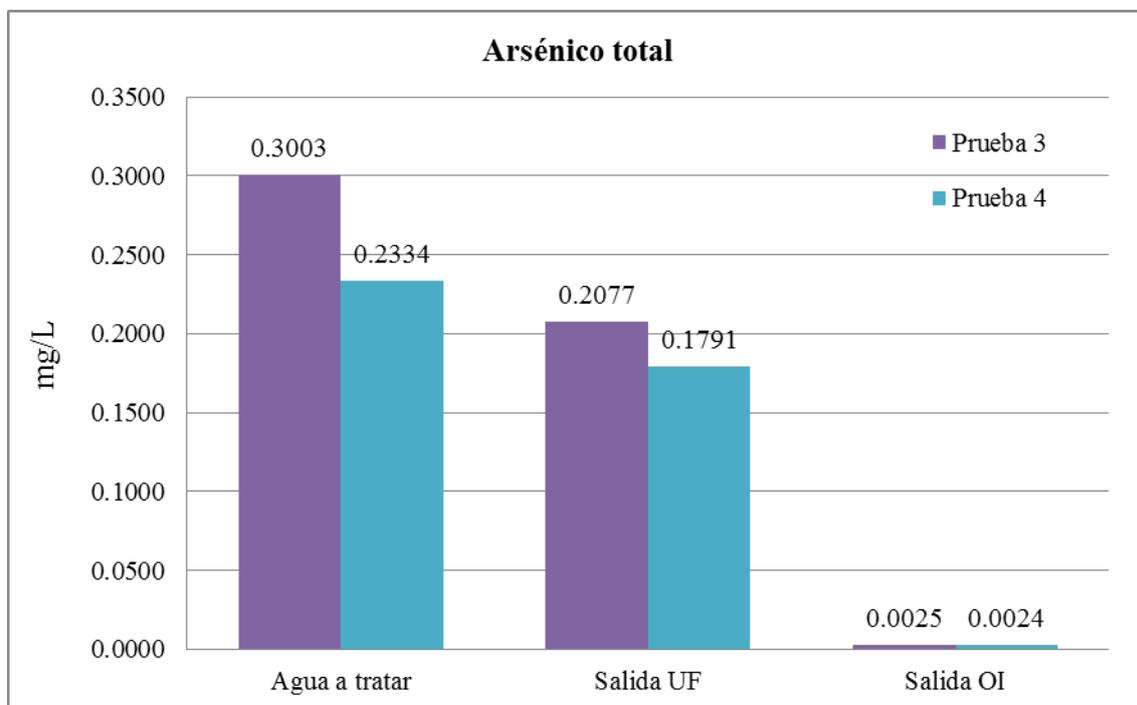


Figura 54 Caso IV: resultados de arsénico total para pruebas 3 y 4
Fuente: elaboración propia

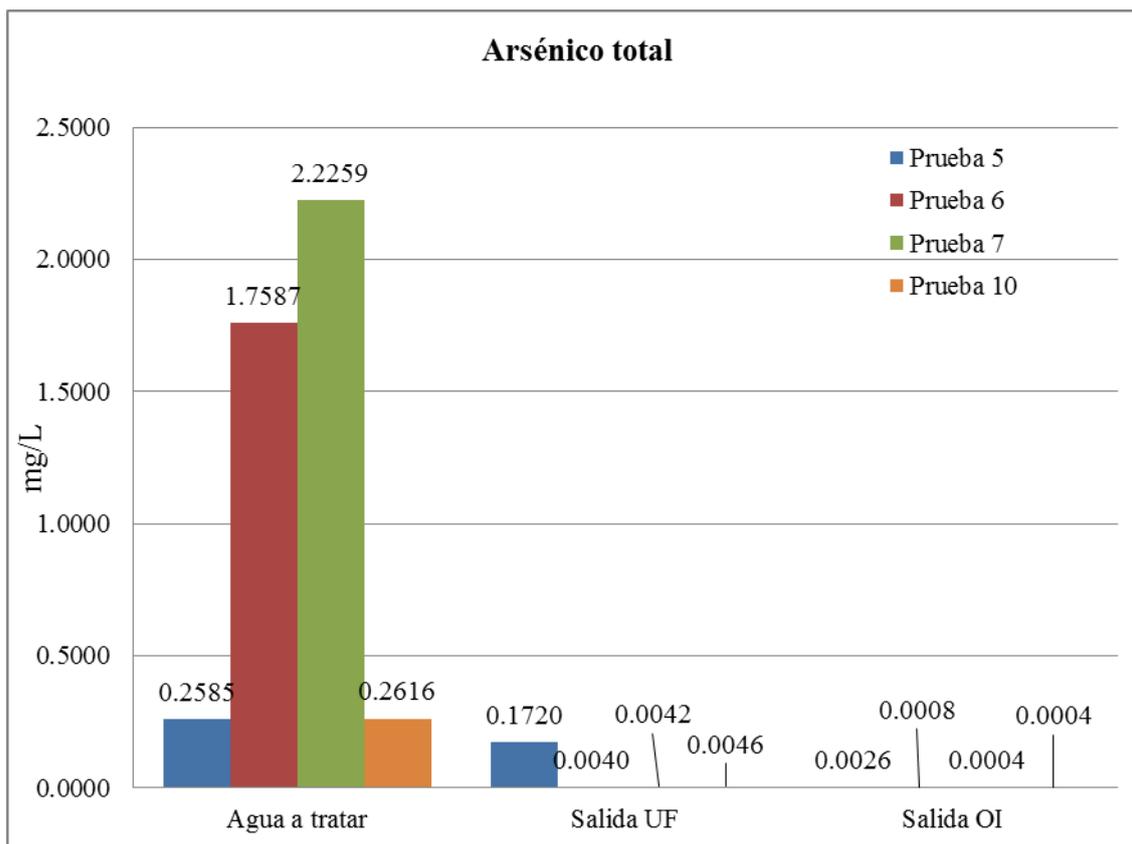


Figura 55 Caso IV: resultados de arsénico total para pruebas 5, 6, 7 y 10

Fuente: elaboración propia

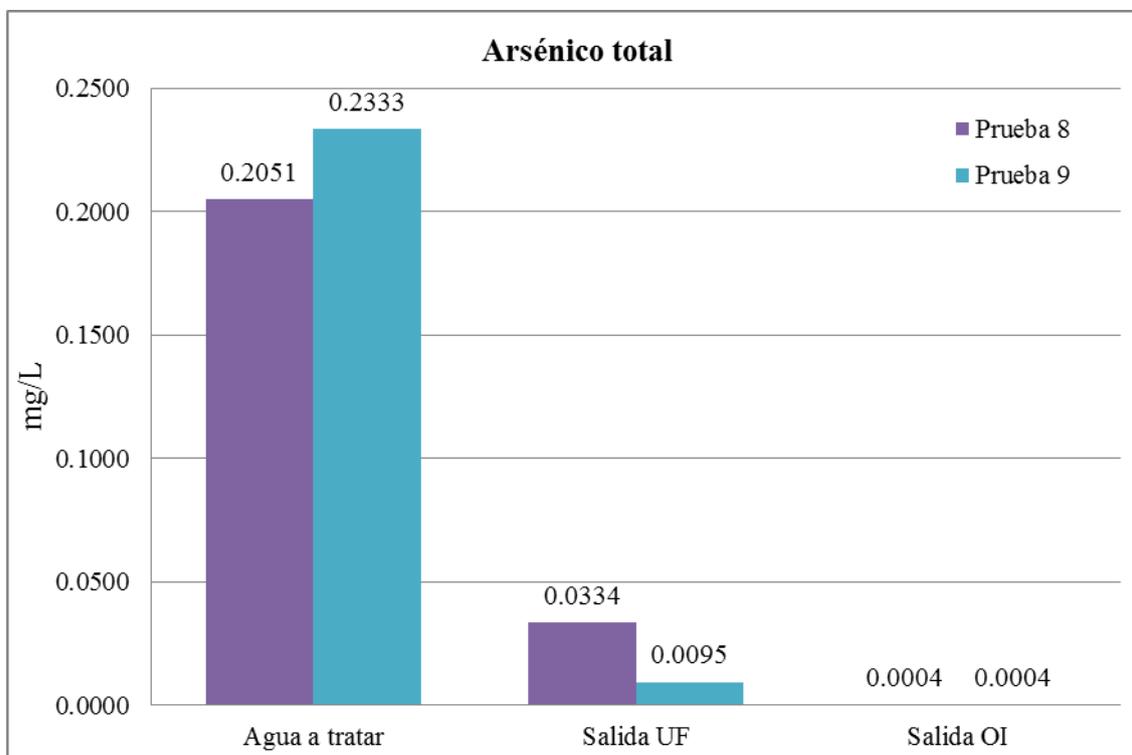


Figura 56 Caso IV: resultados de arsénico total para pruebas 8 y 9

Fuente: elaboración propia

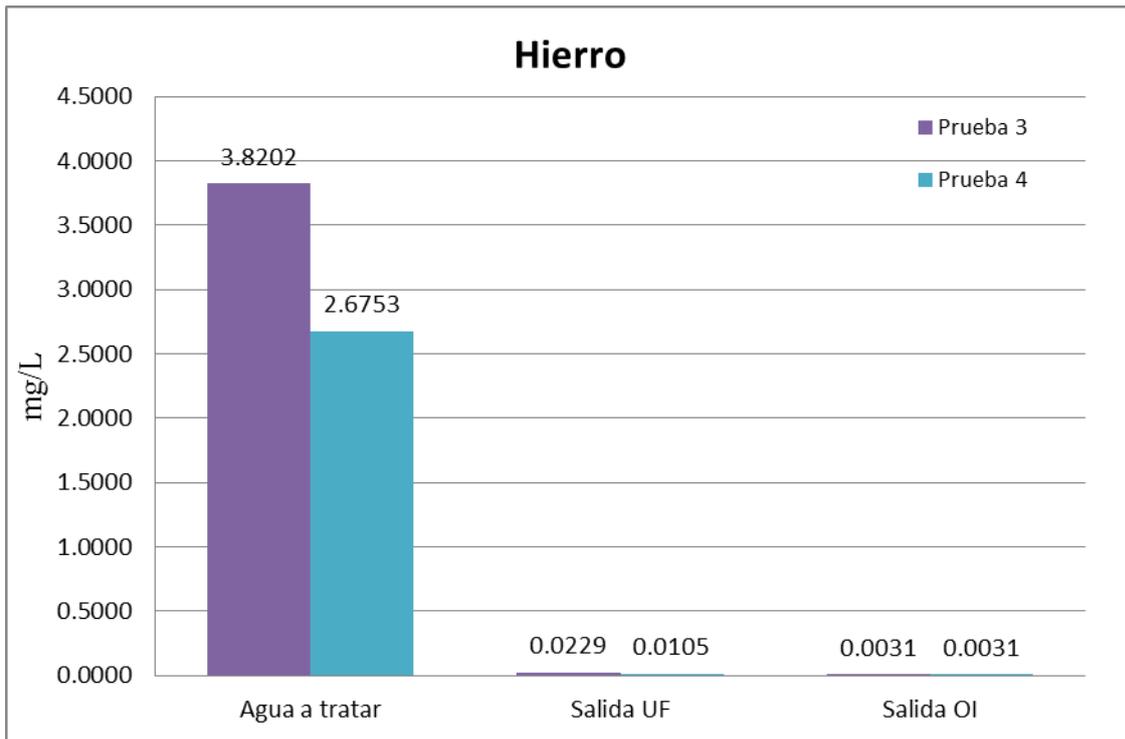


Figura 57 Caso IV: resultados de hierro total para pruebas 3 y 4
 Fuente: elaboración propia

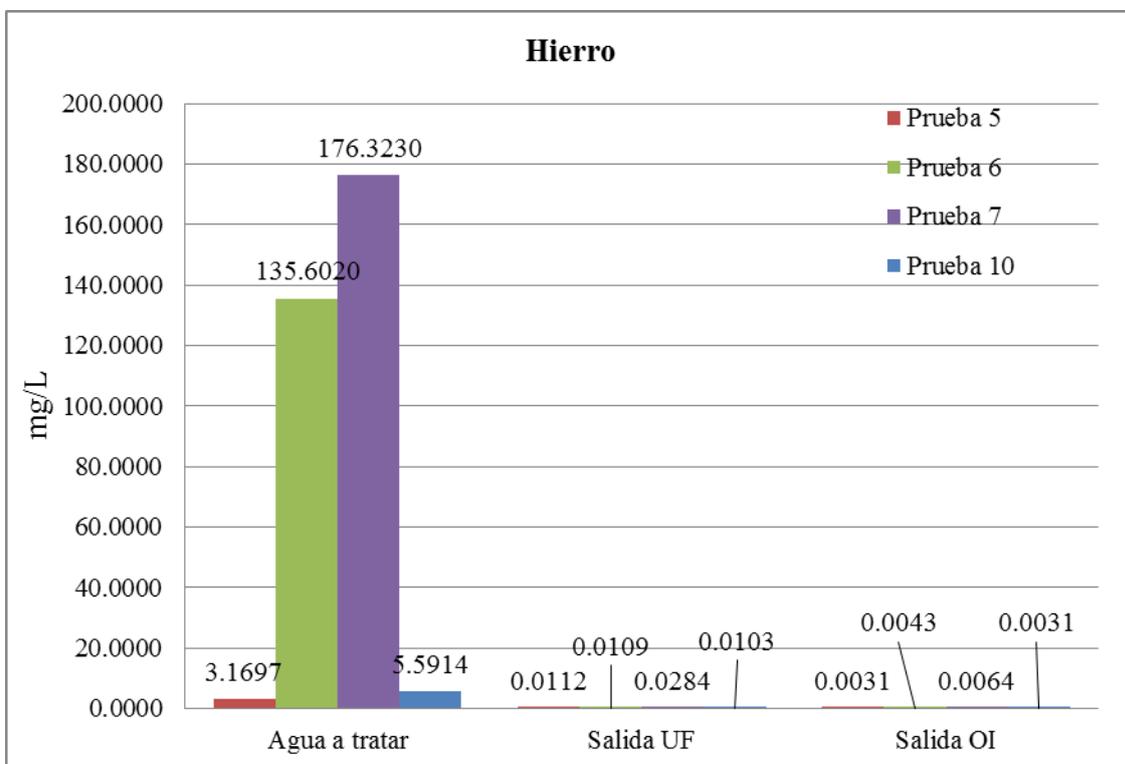


Figura 58 Caso IV: resultados de hierro total para pruebas 5, 6, 7 y 10
 Fuente: elaboración propia

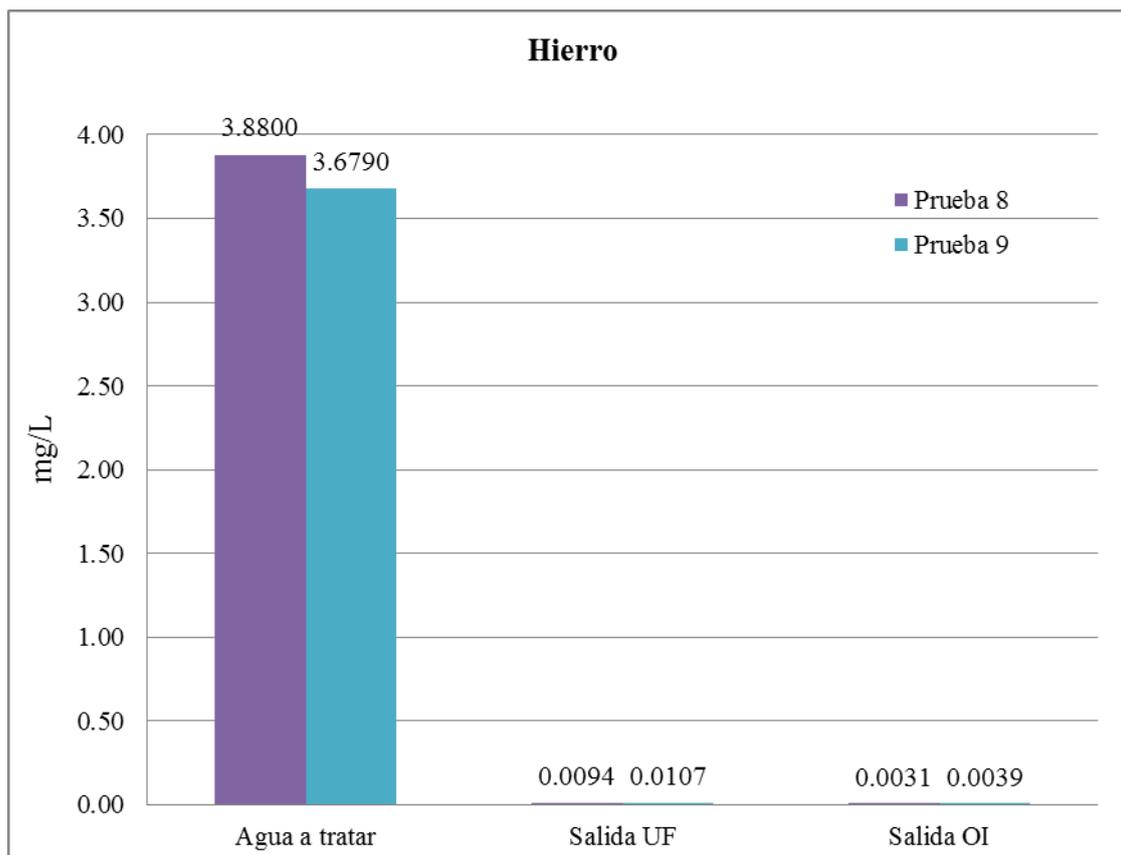


Figura 59 Caso IV: resultados de hierro total para pruebas 8 y 9
Fuente: elaboración propia

4.1.2 Porcentajes de reducción de parámetros

En este ítem se han comparado los resultados obtenidos del agua antes del tratamiento con los obtenidos luego de la ultrafiltración y luego de la ósmosis inversa, obteniéndose así los porcentajes de reducción a la salida de cada uno de los tratamientos. En los casos donde el esquema de tratamiento requiere pasar dos veces por la ósmosis inversa, se presentan ambos resultados.

En los cuadros presentados para cada caso se muestra el porcentaje promedio obtenido de todas las pruebas realizadas para cada caso. Se puede observar que al final del tratamiento el valor promedio de reducción para los distintos parámetros estudiados está por encima del 60%.

a) Caso I

Los gráficos mostrados en las figuras de la 60 a la 63, muestran los porcentajes de reducción que se ha obtenido usando el sistema de membranas en las 5 pruebas realizadas para el caso I, para reducción de conductividad, cianuro y metales. Estas pruebas se realizaron siguiendo el procedimiento descrito en el capítulo 3.

En el caso de la conductividad se han obtenido porcentajes de reducción mayores al 97%, en el caso del cianuro mayores al 90% y en el caso de metales, mayores al 60%

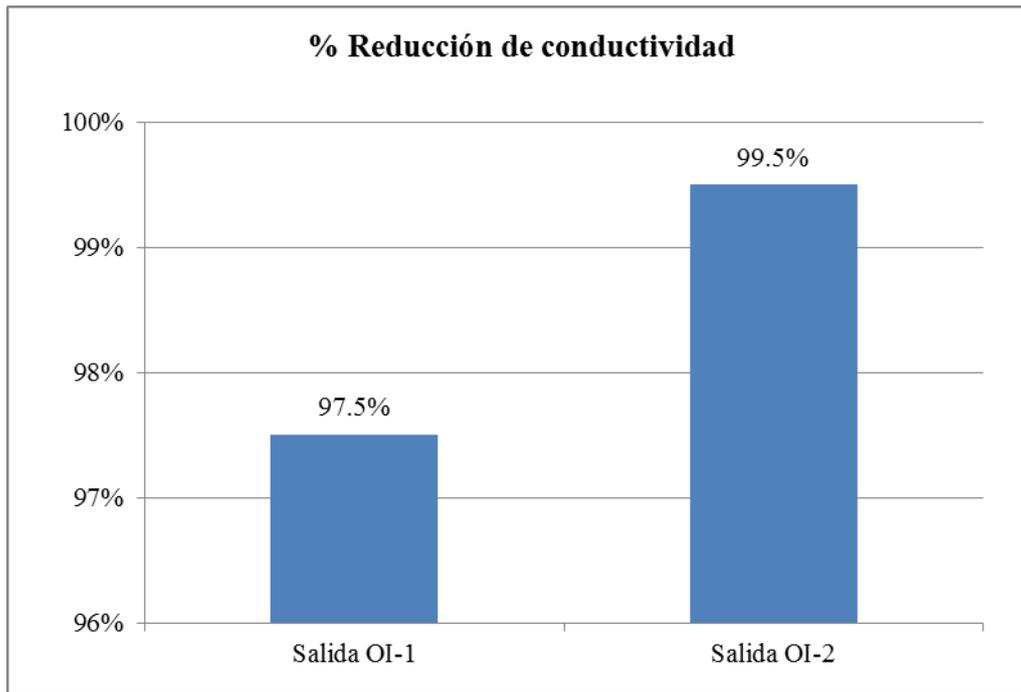


Figura 60 Caso I: porcentaje de reducción de la conductividad
Fuente: elaboración propia

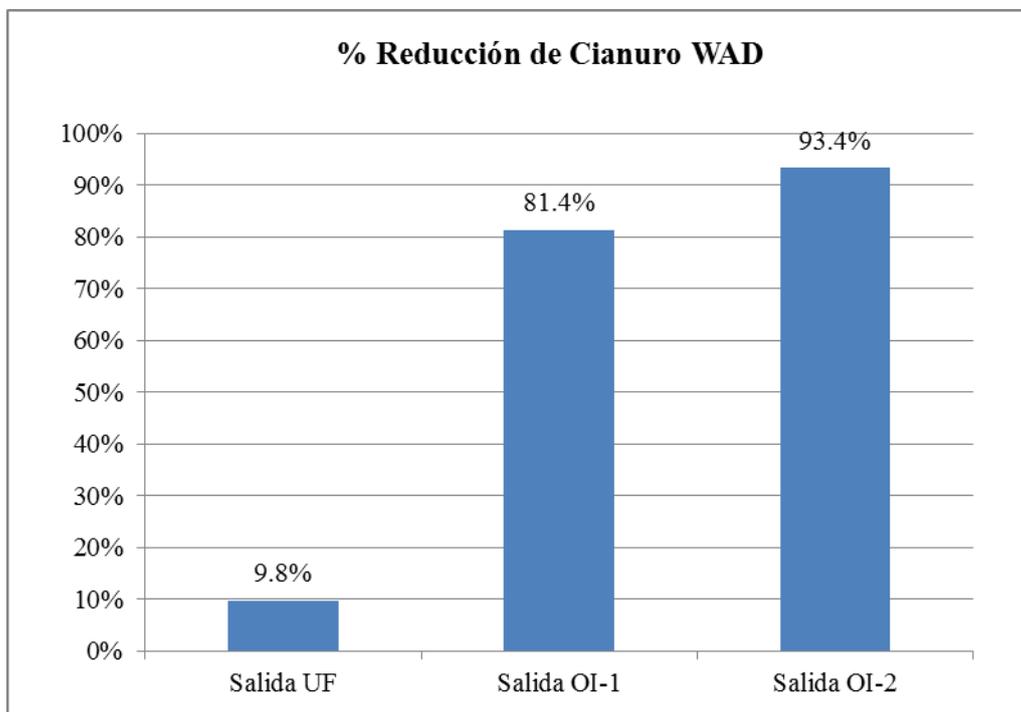


Figura 61 Caso I: porcentaje de reducción del cianuro wad
Fuente: elaboración propia

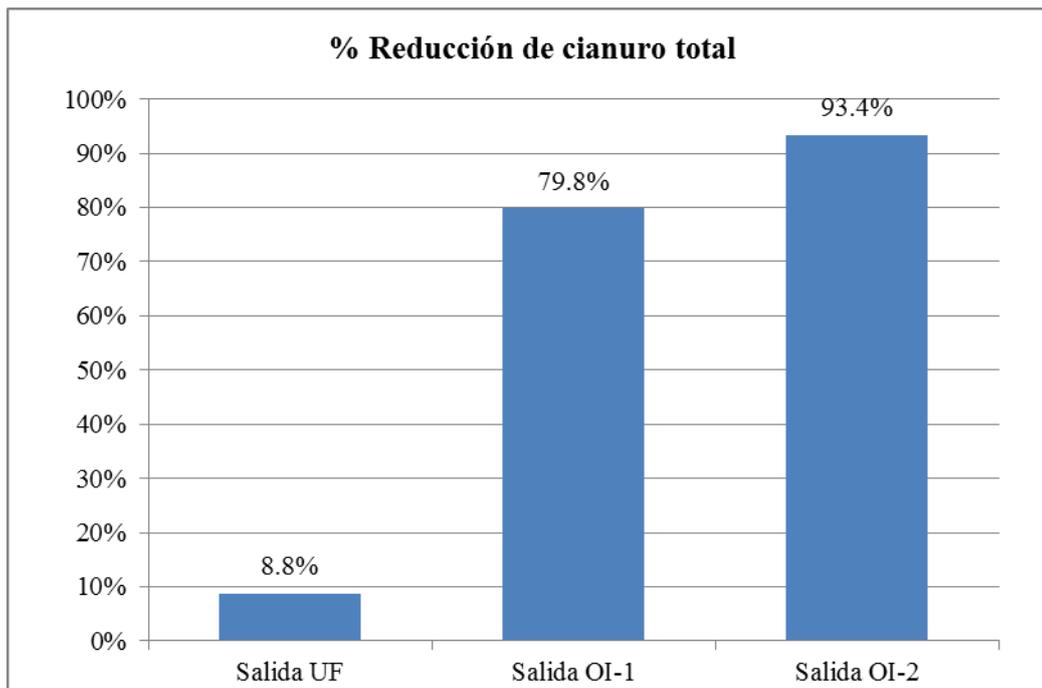


Figura 62 Caso I: porcentaje de reducción del cianuro total
Fuente: elaboración propia

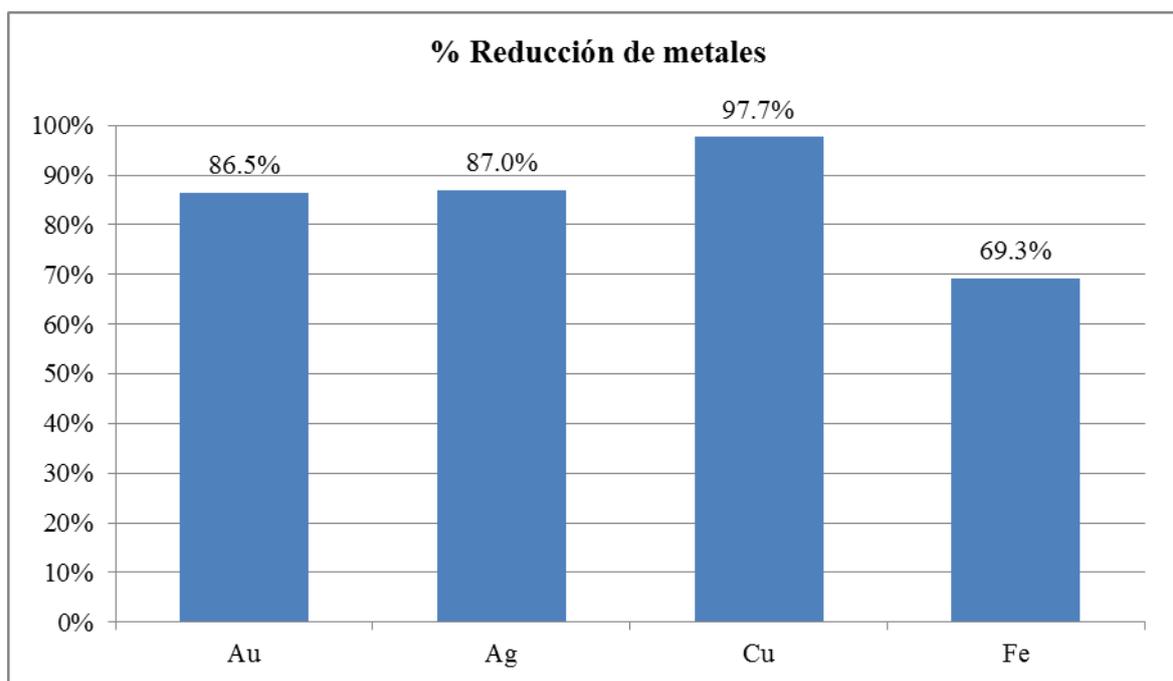


Figura 63 Caso I: porcentaje de reducción de metales
Fuente: elaboración propia

b) Caso II

Los gráficos mostrados en las figuras de la 64 a la 67, muestran los porcentajes de reducción que se ha obtenido usando el sistema de membranas en las 4 pruebas realizadas para el caso II. Estas pruebas se realizaron siguiendo el procedimiento descrito en el capítulo 3.

En el caso de la conductividad se han obtenido porcentajes de reducción mayor al 95%, en el caso del cianuro mayores al 90% y en el caso de metales, mayores al 25%

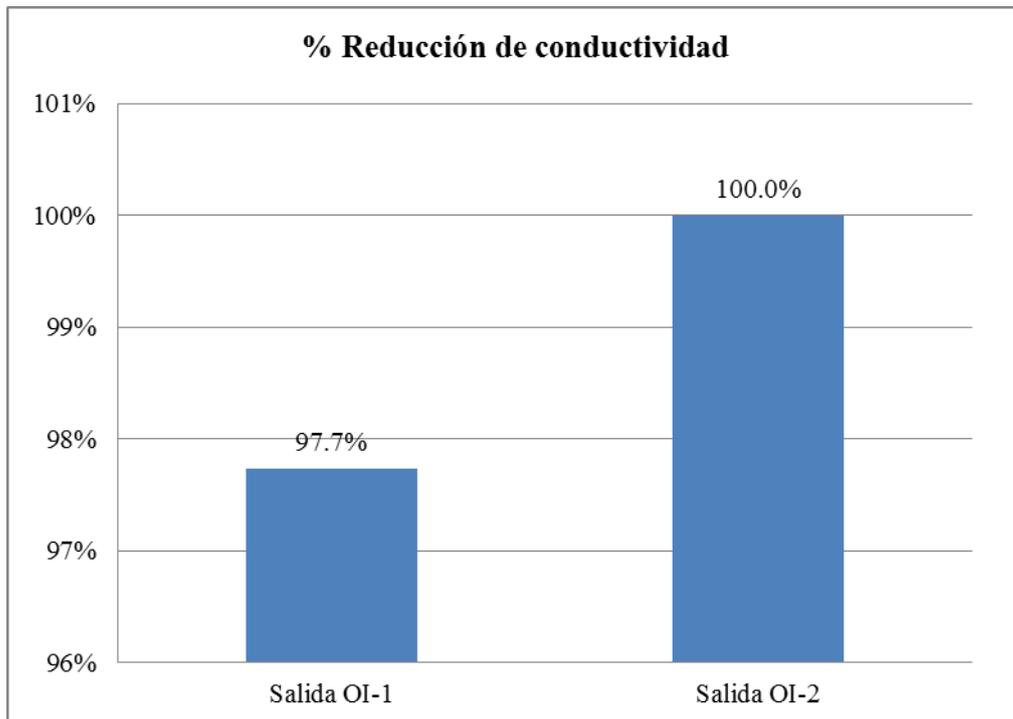


Figura 64 Caso II: porcentaje de reducción de la conductividad
Fuente: elaboración propia

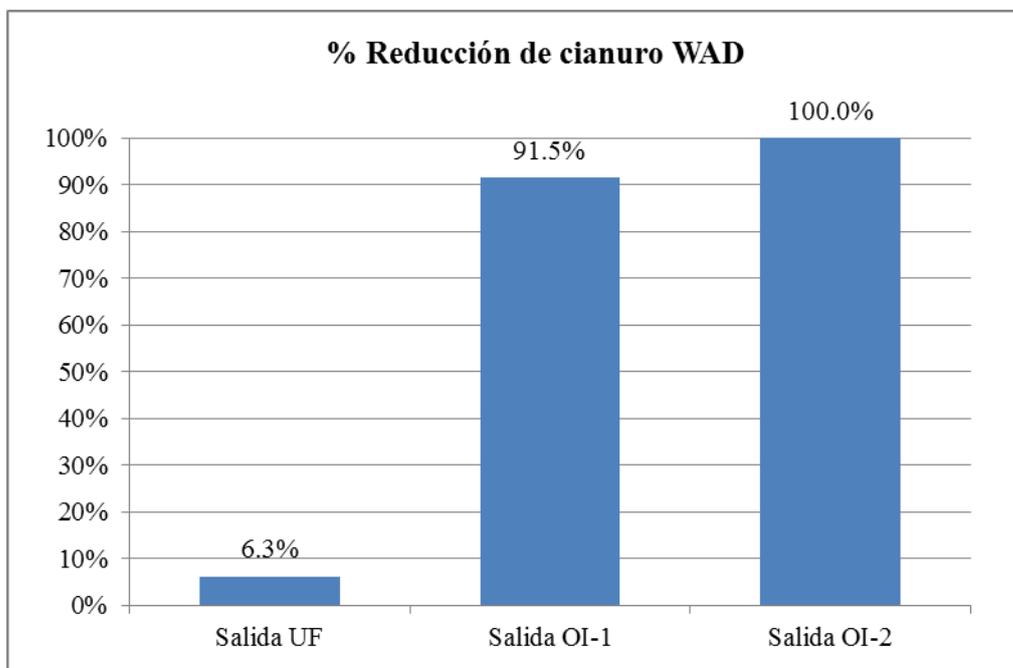


Figura 65 Caso II: porcentaje de reducción del cianuro WAD
Fuente: elaboración propia

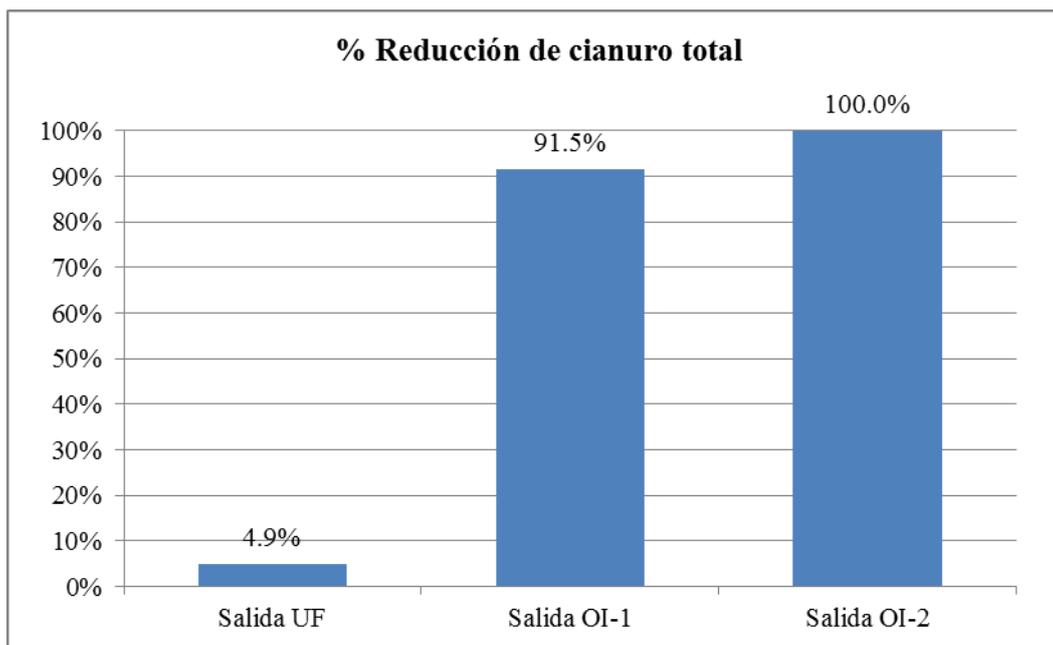


Figura 66 Caso II: porcentaje de reducción del cianuro total
Fuente: elaboración propia

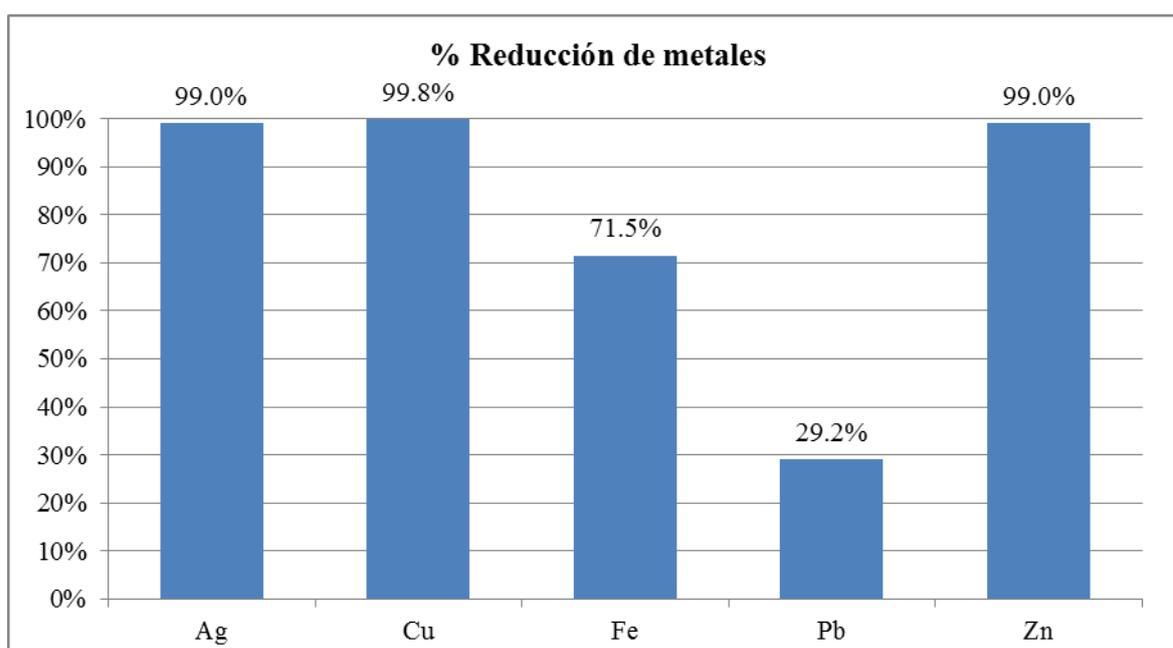


Figura 67 Caso II: porcentaje de reducción de metales
Fuente: elaboración propia

c) Caso III

Los gráficos mostrados en las figuras 68 y 69, muestran los porcentajes de reducción que se ha obtenido usando el sistema de membranas en las 3 pruebas realizadas para el caso III. Estas pruebas se realizaron siguiendo el procedimiento descrito en el capítulo 3.

En el caso de los sólidos suspendidos totales se han obtenido porcentajes de reducción mayores al 55% con la ultrafiltración, mientras que con la ósmosis inversa está por encima del 81%. En el caso de metales, se obtienen reducciones mayores al 45%

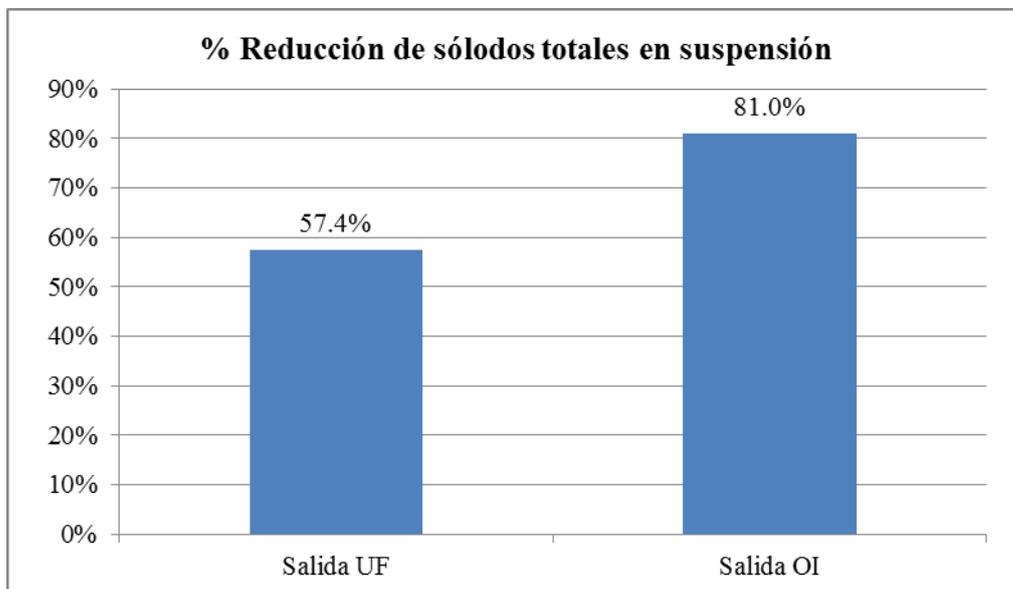


Figura 68 Caso III: porcentaje de reducción de sólidos suspendidos totales
Fuente: elaboración propia

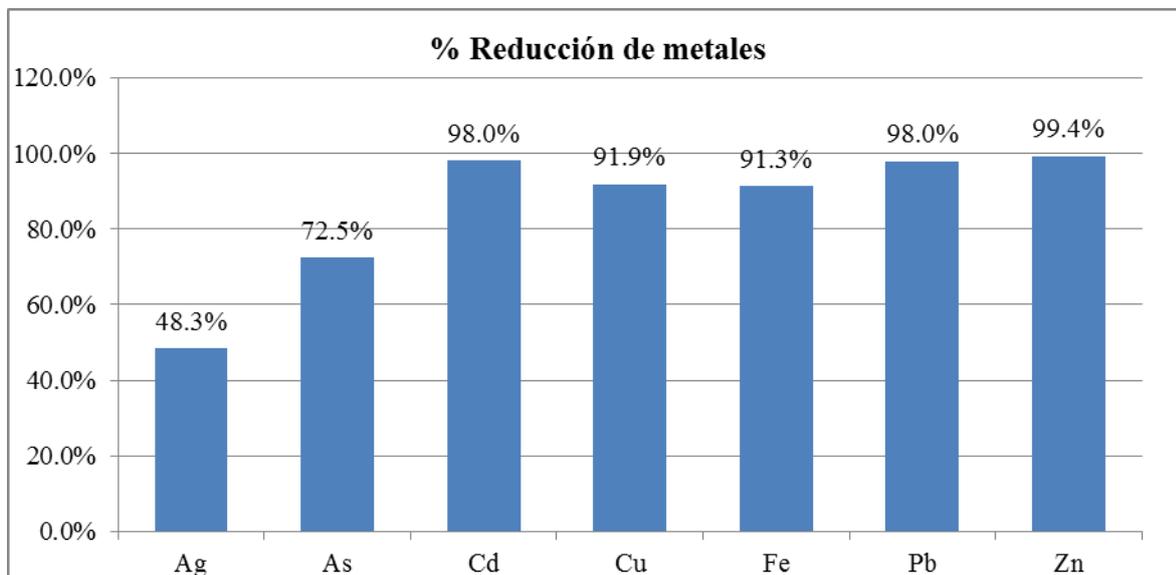


Figura 69 Caso III: porcentaje de reducción de metales
Fuente: elaboración propia

d) Caso IV

Los gráficos mostrados en las figuras 70 y 71, muestran los porcentajes de reducción que se ha obtenido usando el sistema de membranas en las 10 pruebas realizadas para el caso IV, para reducción de turbidez y arsénico. Estas pruebas se realizaron siguiendo el procedimiento descrito en el capítulo 3.

Los sólidos totales en suspensión presentan una reducción mayor al 93% y en el caso del arsénico la reducción es mayor al 99% ambos a la salida de la ósmosis inversa.

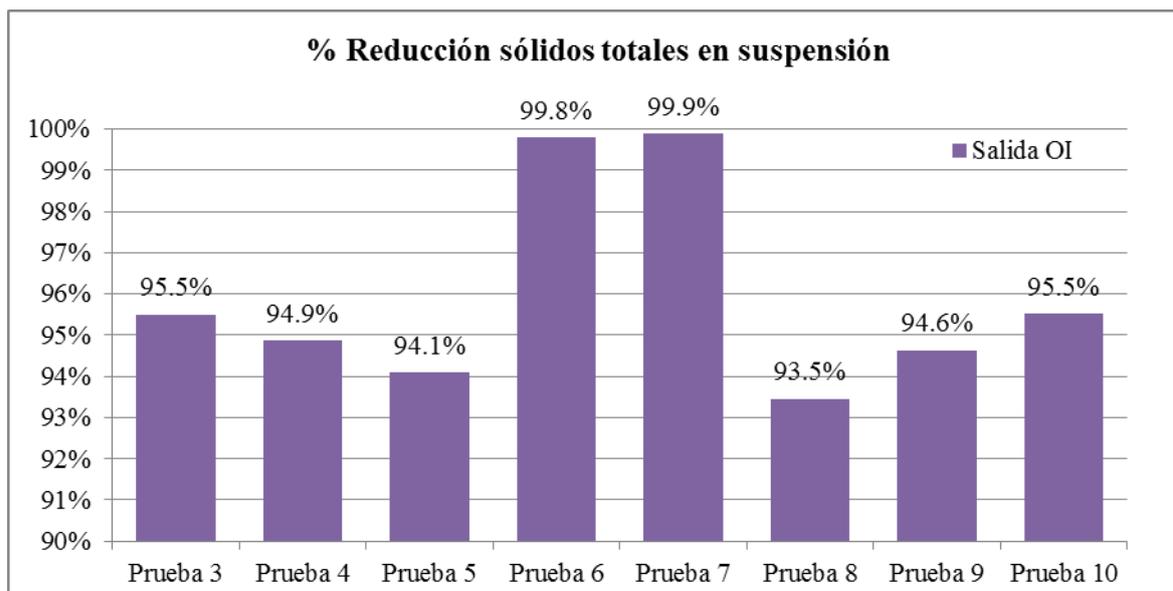


Figura 70 Caso IV: porcentaje de reducción de turbidez

Fuente: elaboración propia

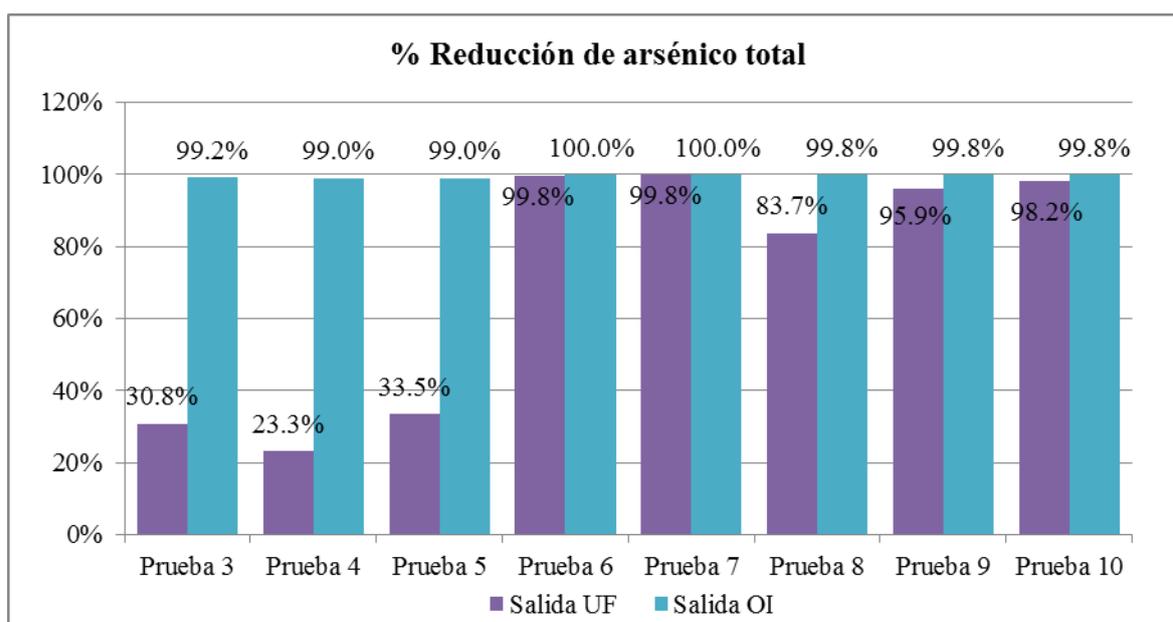


Figura 71 Caso IV: porcentaje de reducción de arsénico total

Fuente: elaboración propia

4.2.- Comparación con los límites máximos permisibles y con los ECA

4.2.1 Comparación con los límites máximos permisibles

En este ítem se compara los valores del agua en las distintas etapas del tratamiento (agua de ingreso, a la salida de la ultrafiltración y a la salida de la ósmosis inversa) versus los límites máximos permitidos de acuerdo a lo establecido en el DS-010-2010-MINAM (ver anexo A-1) Se apreciará a lo largo del desarrollo que en la mayoría de los casos el agua de ingreso tiene valores muy por encima de lo recomendado por la normativa actual para su eliminación al medio ambiente.

a) Caso I

Las figuras 72 a la 74, muestran los valores de agua comparados con los límites máximos permisibles (LMP) de acuerdo a lo establecido en el DS-010-2010-MINAM. En la figura 72 se puede apreciar que todos los valores del cianuro total están por encima de los LMP, incluso después de realizada la segunda ósmosis inversa. En el caso del cobre el agua que ingresa al tratamiento se encuentra por encima de los valores permitidos, pero después de la ósmosis inversa los resultados obtenidos cumplen la normativa como se muestra en la figura 73. Finalmente del hierro cumple con los LMP (ver figura 74).

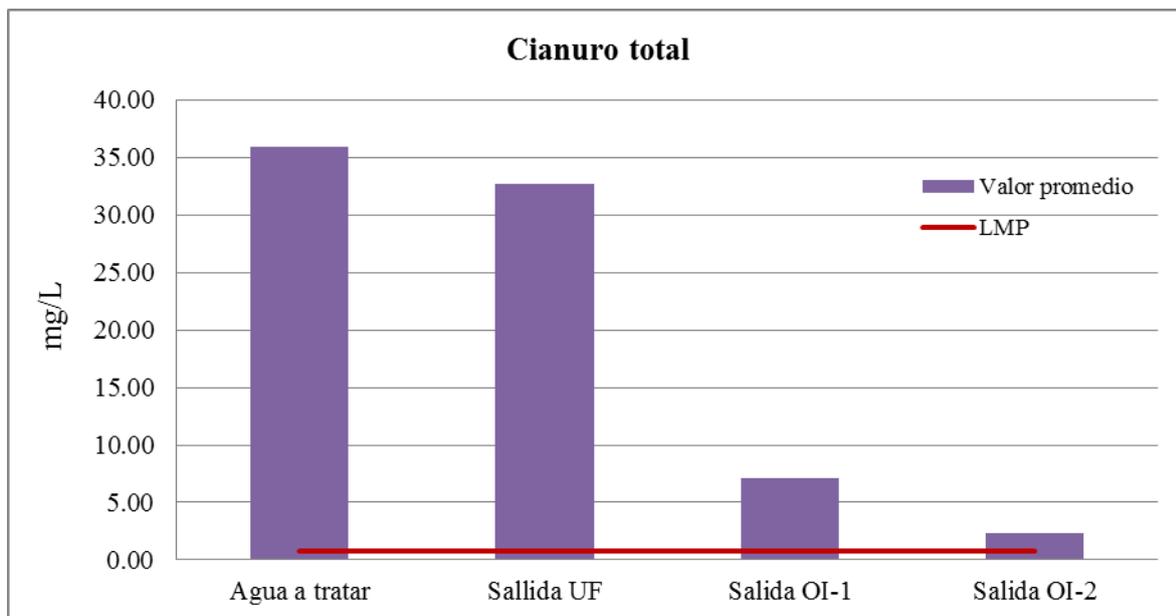


Figura 72 Caso I: comparación del cianuro total y los LMP

Fuente: elaboración propia

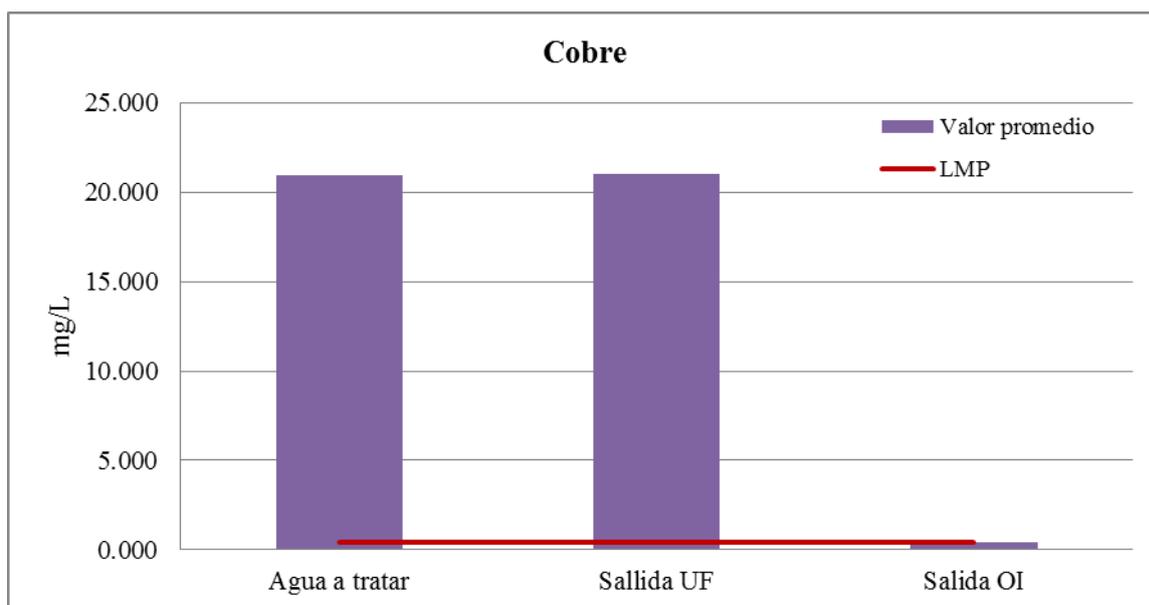


Figura 73 Caso I: contenido de cobre versus LMP

Fuente: elaboración propia

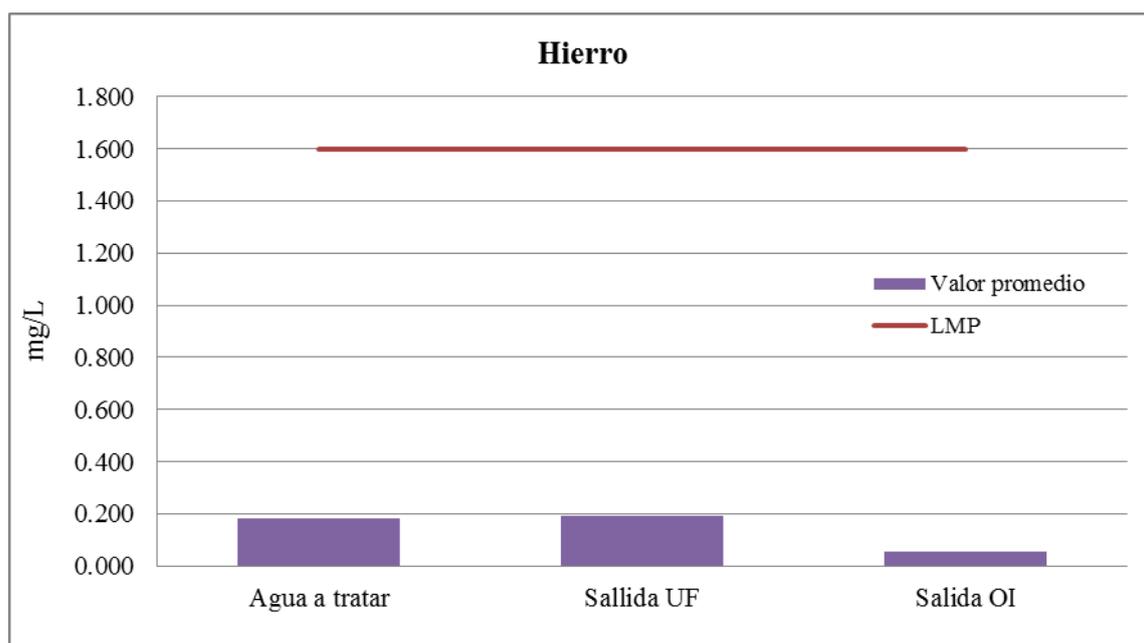


Figura 74 Caso I: comparación del contenido de hierro con los LMP

Fuente: elaboración propia

b) Caso II

En los gráficos mostrados a continuación, se puede observar que el cianuro a pesar de tener una reducción significativa luego de la ósmosis inversa, no cumple con los LMP establecidos (ver figura 75) Sin embargo los demás parámetros se encuentran muy por debajo de éstos (ver figuras de la 76 a la 79)

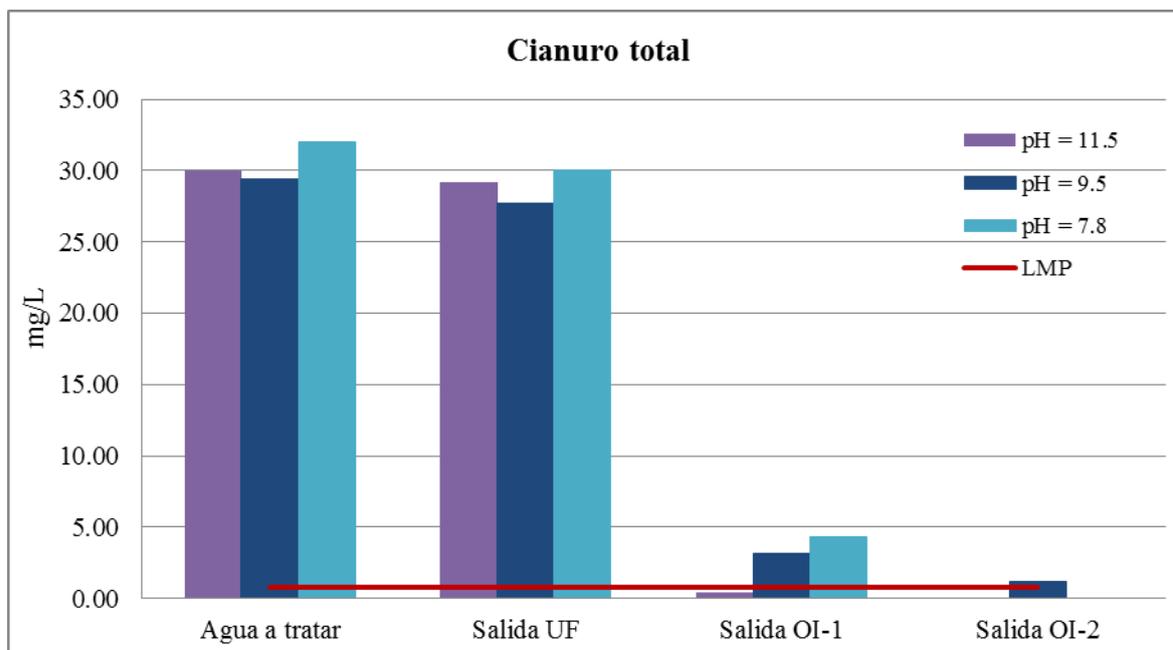


Figura75 Caso II: comparación del contenido de cianuro con los LMP

Fuente: elaboración propia

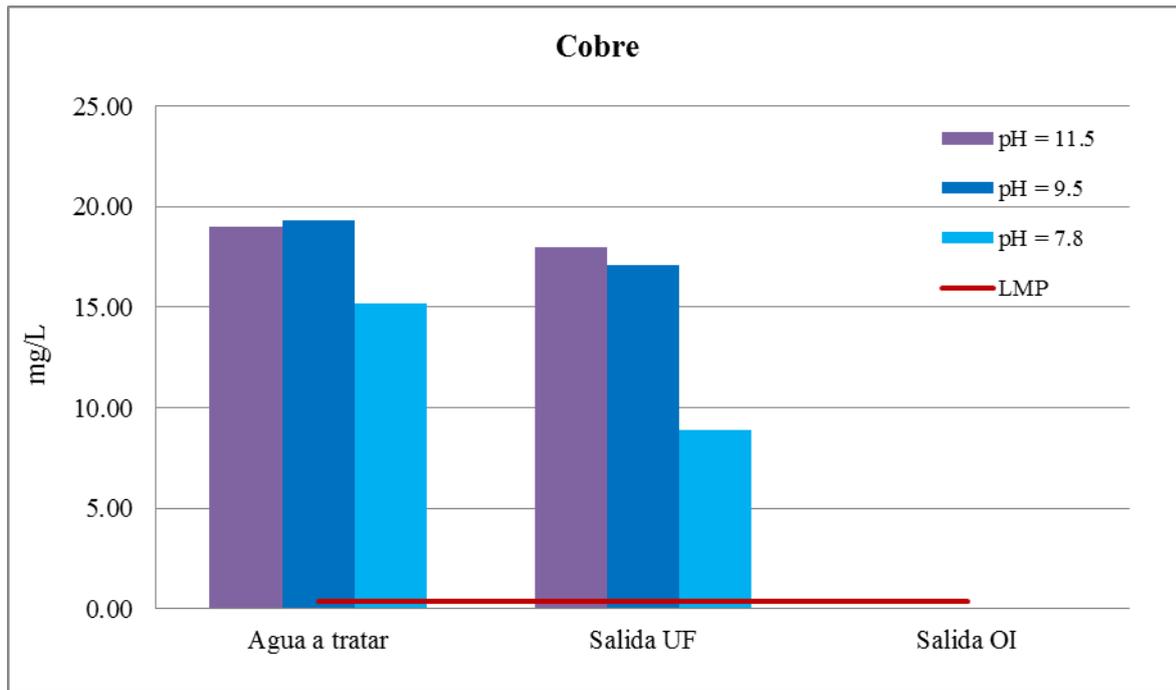


Figura 76 Caso II: comparación del contenido de cobre total con los LMP
Fuente: elaboración propia

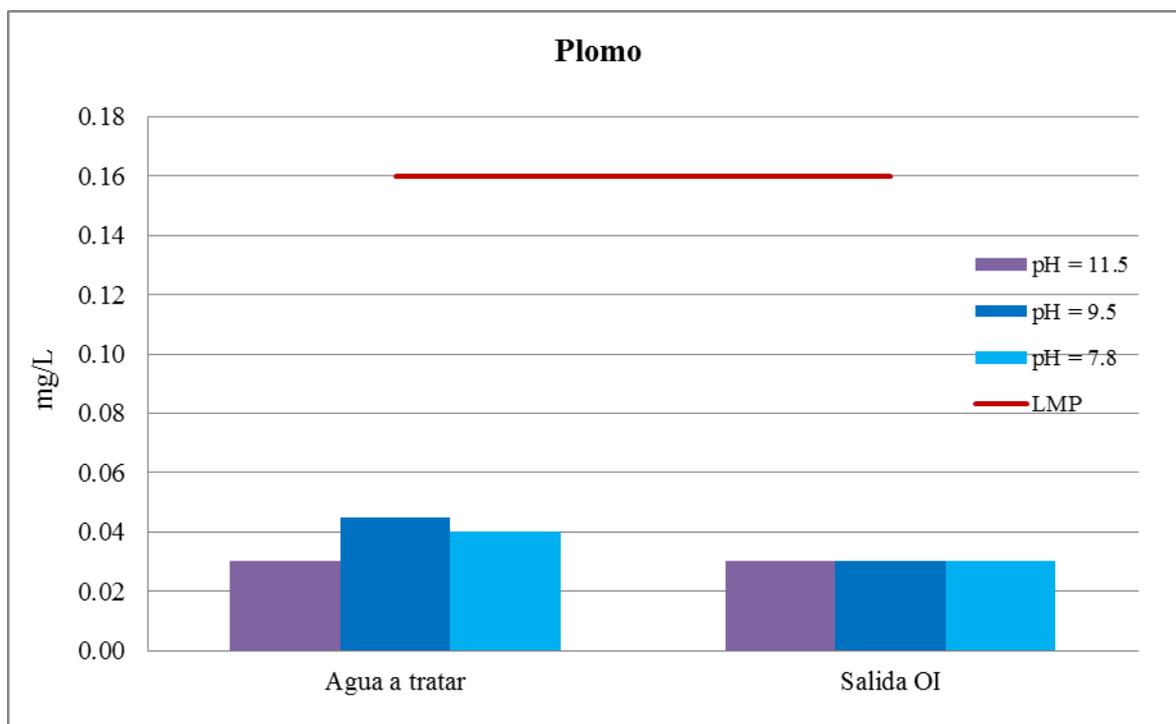


Figura 77 Caso II: comparación del contenido de plomo total con los LMP
Fuente: elaboración propia

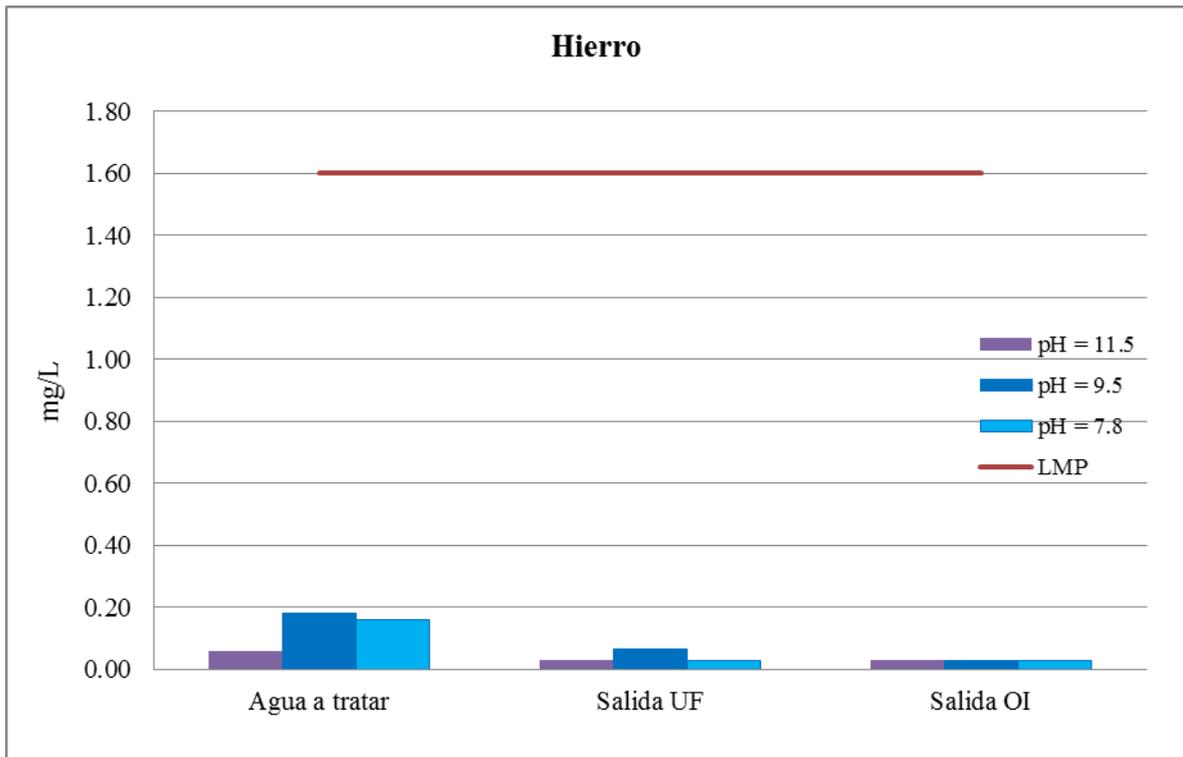


Figura 78 Caso II: comparación del contenido de hierro total con los LMP

Fuente: elaboración propia

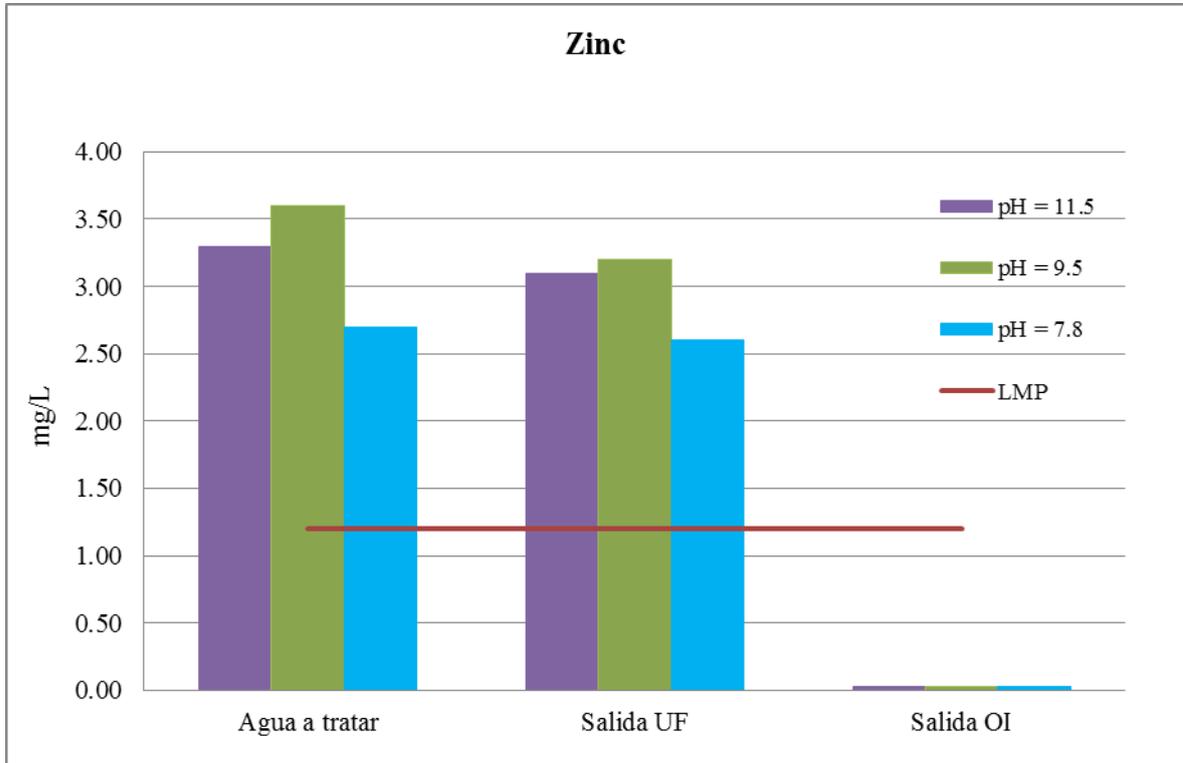


Figura 79 Comparación del contenido de zinc total con los LMP

Fuente: elaboración propia

c) Caso III

En este caso los sólidos totales en suspensión, cobre, arsénico y plomo del agua de entrada ya se encontraban por debajo de los LMP, con los tratamientos propuestos se han reducido más (ver figuras de la 80 a la 83). El hierro, cadmio y zinc si presentan valores por encima de los LMP a la entrada del tratamiento, luego de la ósmosis inversa se puede observar el cumplimiento de los LMP (ver figuras de la 84 a la 86)

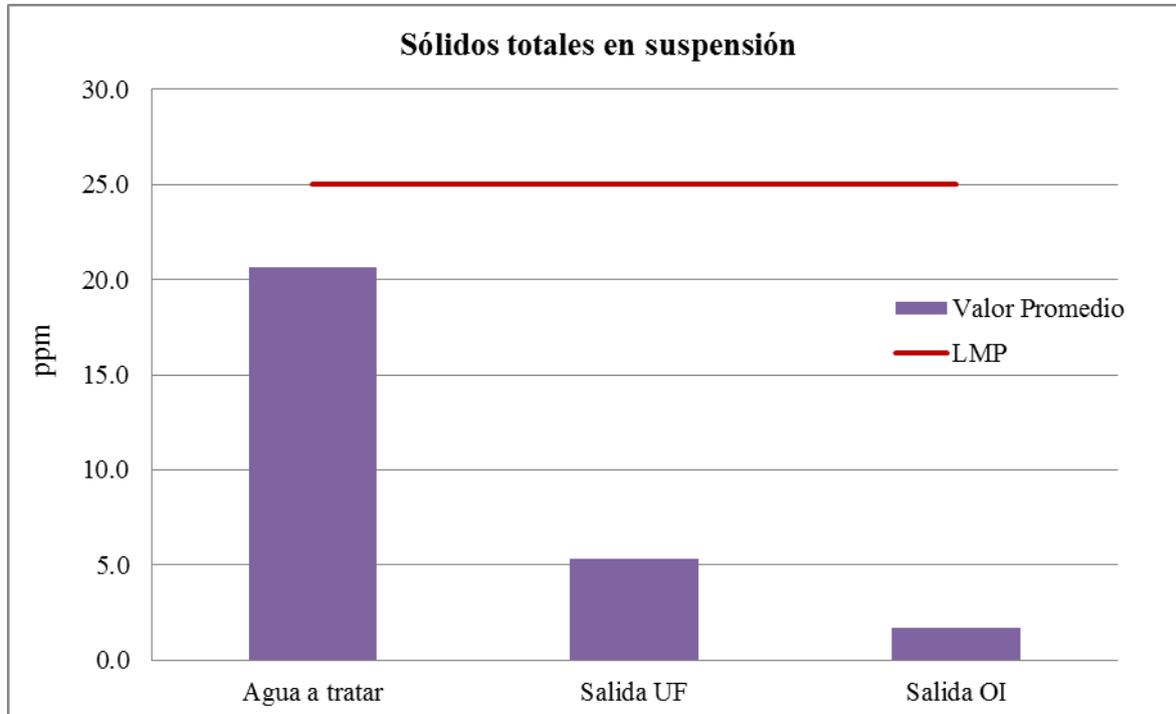


Figura 80 Caso III: comparación del contenido de sólidos suspendidos con los LMP
Fuente: elaboración propia

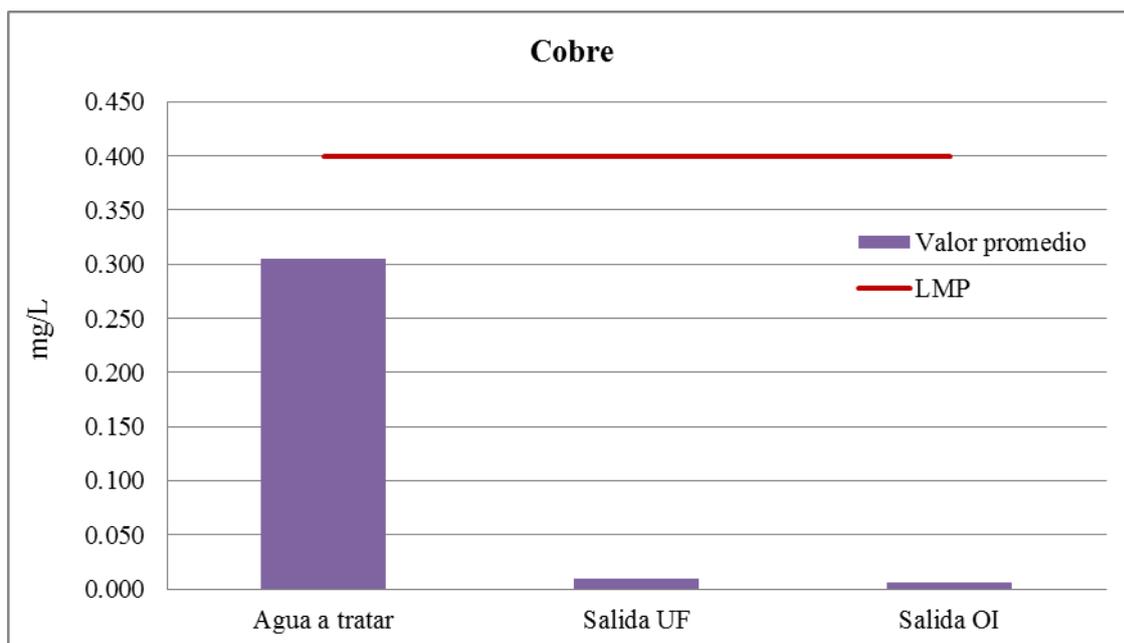


Figura 81 Caso III: comparación del contenido de cobre total con los LMP
Fuente: elaboración propia

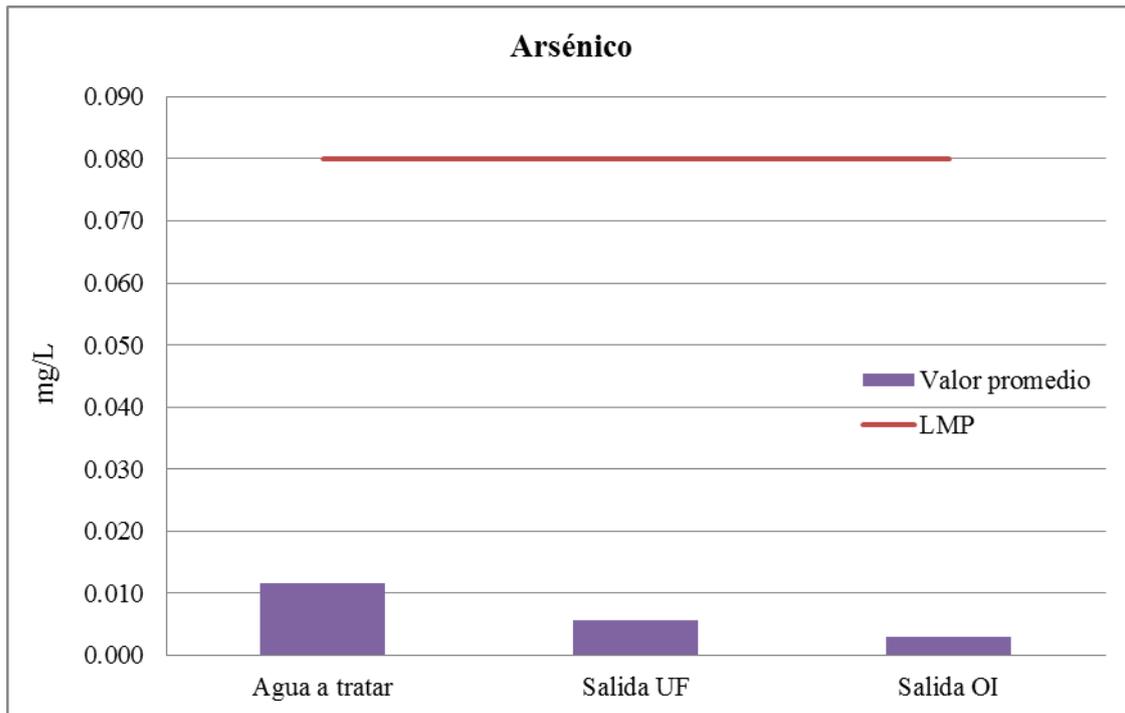


Figura 82 Caso III: comparación del contenido de arsénico total con los LMP
Fuente: elaboración propia

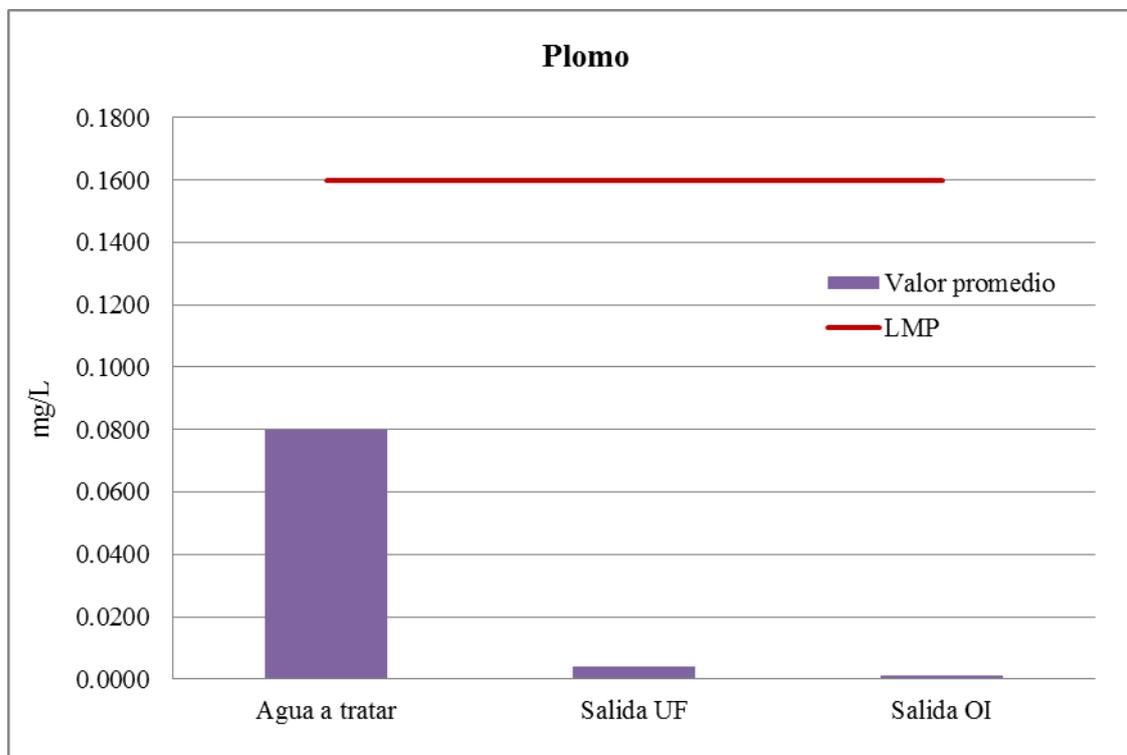


Figura 83 Caso III: comparación del contenido de plomo total con los LMP
Fuente: elaboración propia

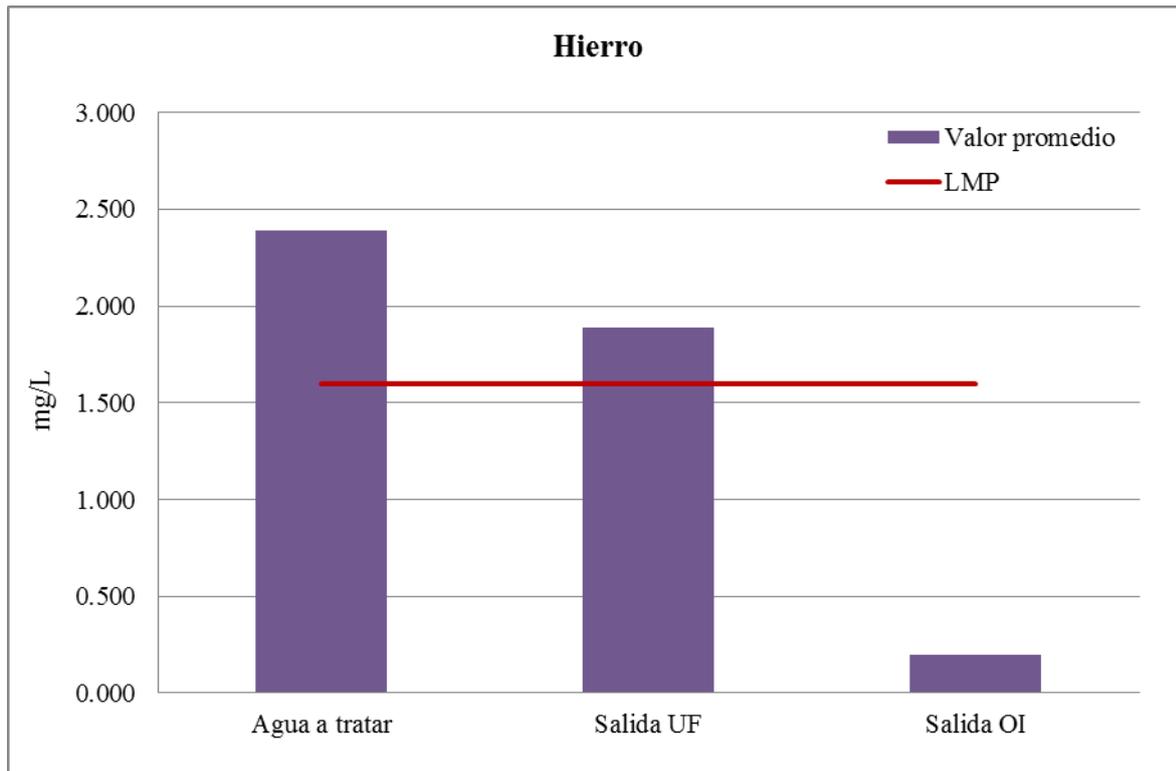


Figura 84 Caso III: comparación del contenido de hierro total con los LMP
Fuente: elaboración propia

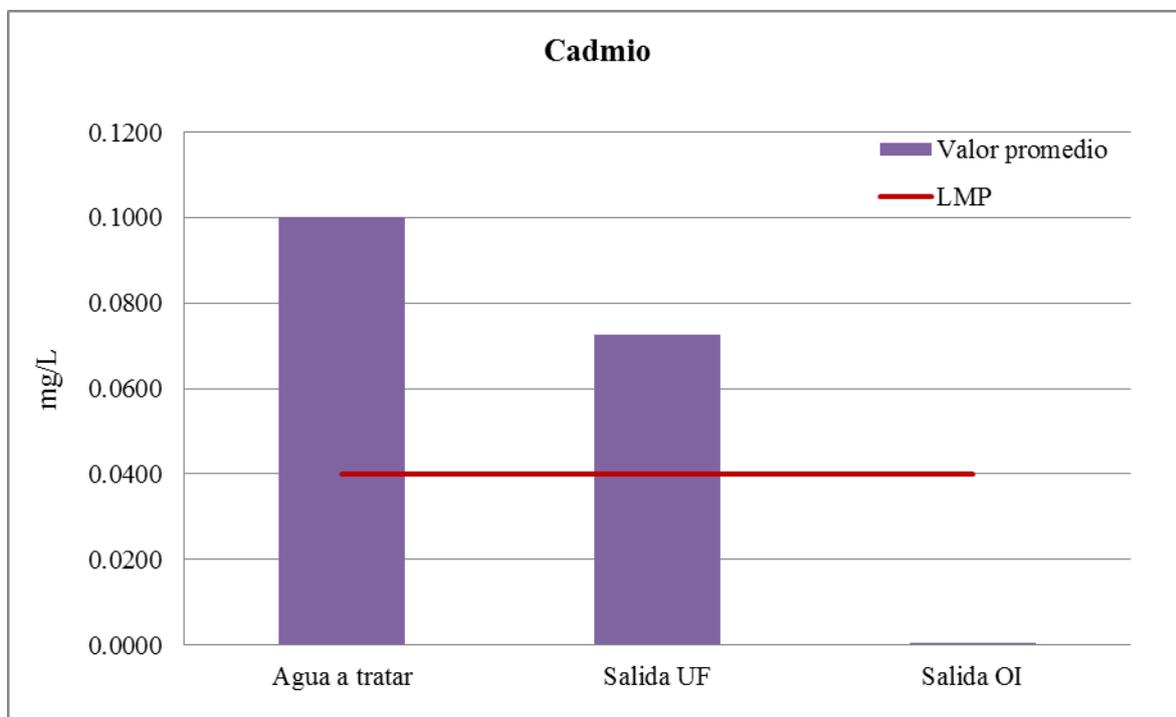


Figura 85 Caso III: comparación del contenido de cadmio total con los LMP
Fuente: elaboración propia



Figura 86 Caso III: comparación del contenido de cadmio total con los LMP

Fuente: elaboración propia

d) Caso IV

En este caso todos los parámetros estudiados cumplen, luego de la ósmosis inversa, con los límites máximos permitidos de acuerdo a lo establecido en el DS-010-2010-MINAM (ver figuras de la 87 a la 95)

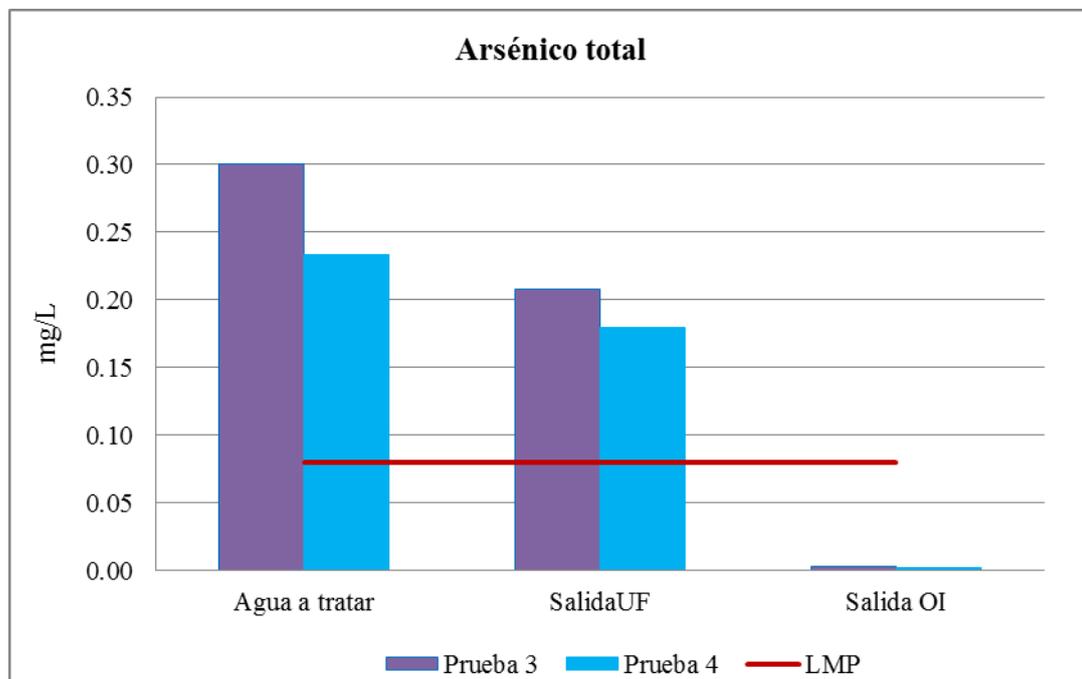


Figura 87 Caso IV: comparación del contenido de arsénico total con los LMP para las pruebas 3 y 4

Fuente: elaboración propia

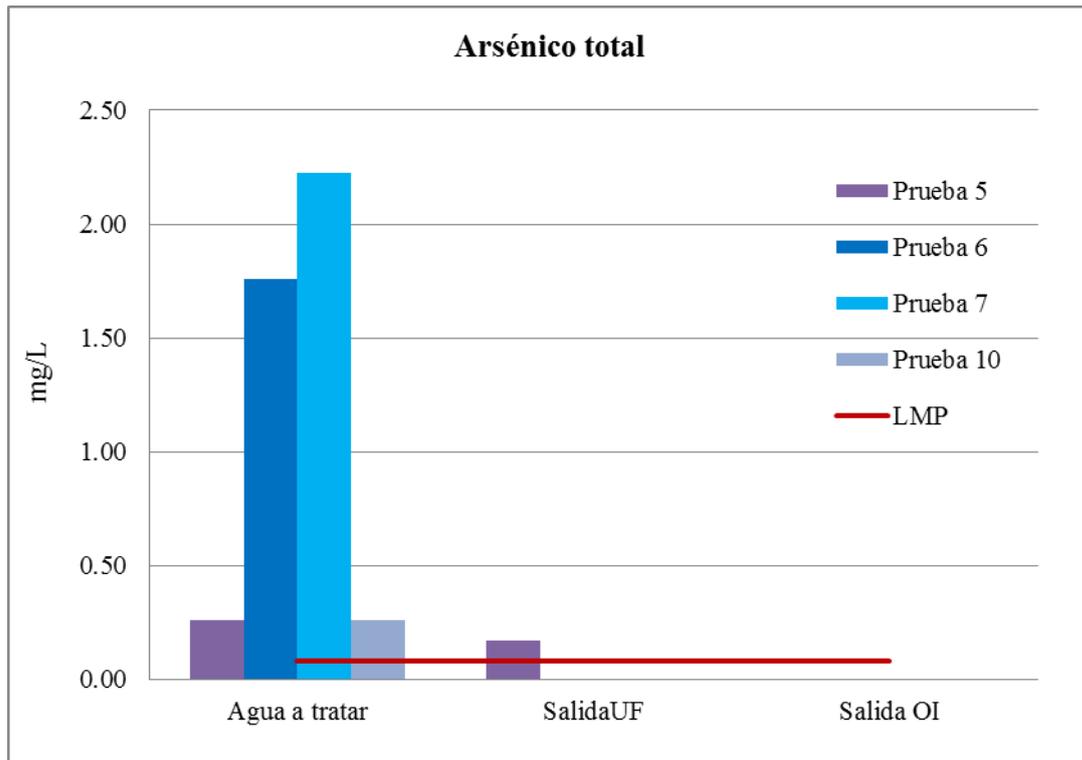


Figura 88 Caso IV: comparación del contenido de arsénico total con los LMP para las pruebas 5, 6, 7 y 10
Fuente: elaboración propia

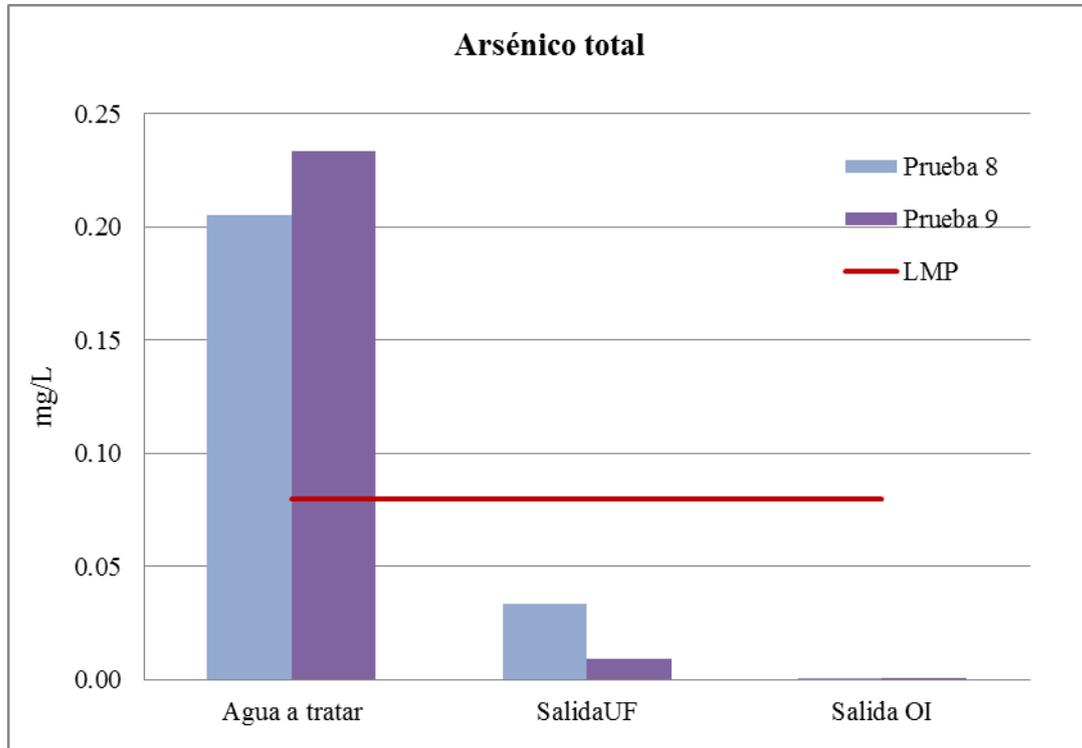


Figura 89 Caso IV: comparación del contenido de arsénico total con los LMP para las pruebas 8 y 9
Fuente: elaboración propia

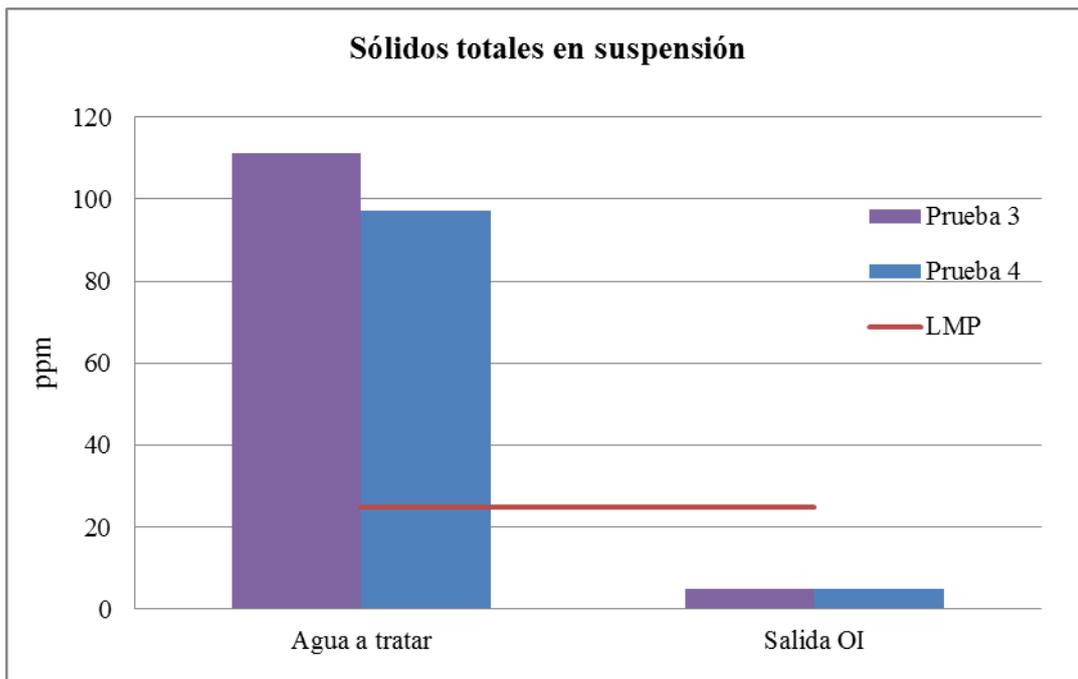


Figura 90 Caso IV: comparación del contenido de sólidos suspendidos totales con los LMP para las pruebas 3 y 4
 Fuente: elaboración propia

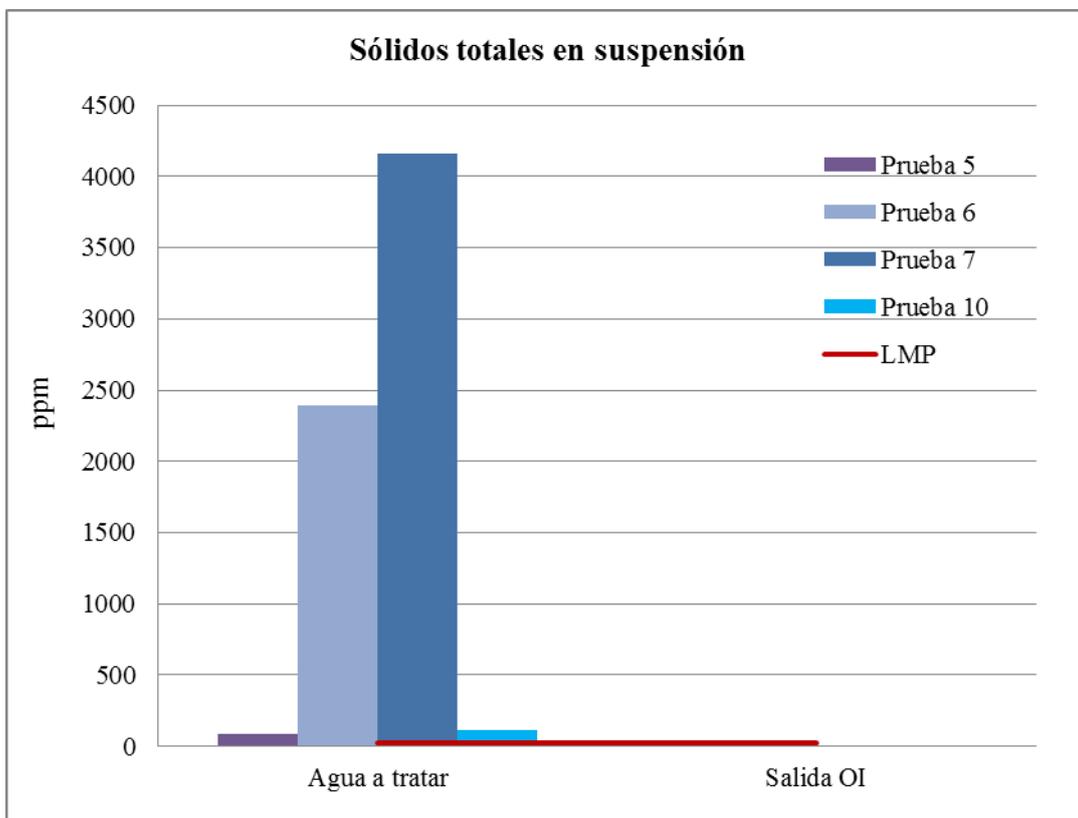


Figura 91 Caso IV: comparación del contenido de sólidos suspendidos totales con los LMP para las pruebas 5, 6, 7 y 10
 Fuente: elaboración propia

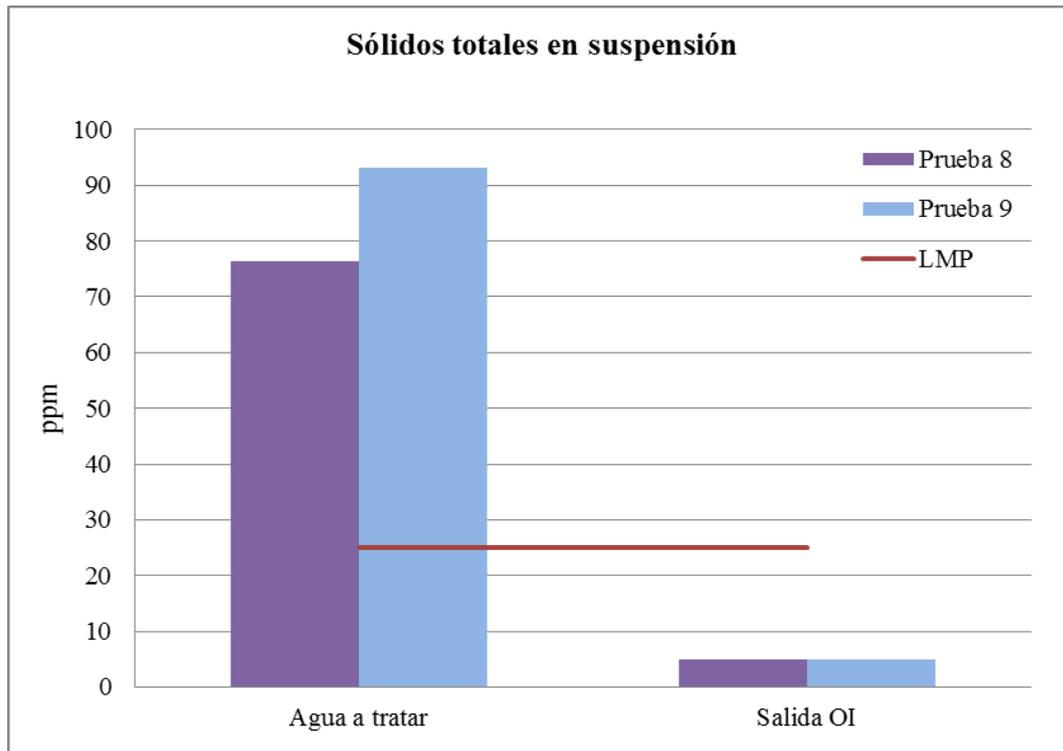


Figura 92 Caso IV: comparación del contenido de sólidos suspendidos totales con los LMP para las pruebas 8 y 9
Fuente: elaboración propia

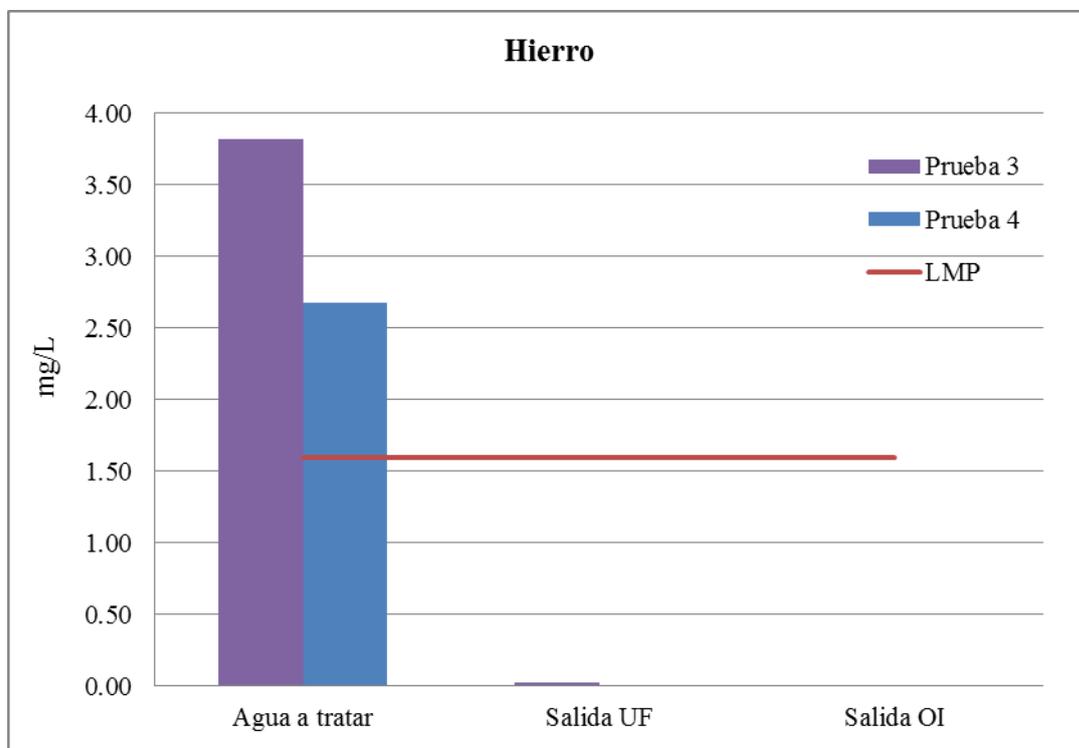


Figura 93 Caso IV: comparación del contenido de hierro total con los LMP para las pruebas 3 y 4
Fuente: elaboración propia

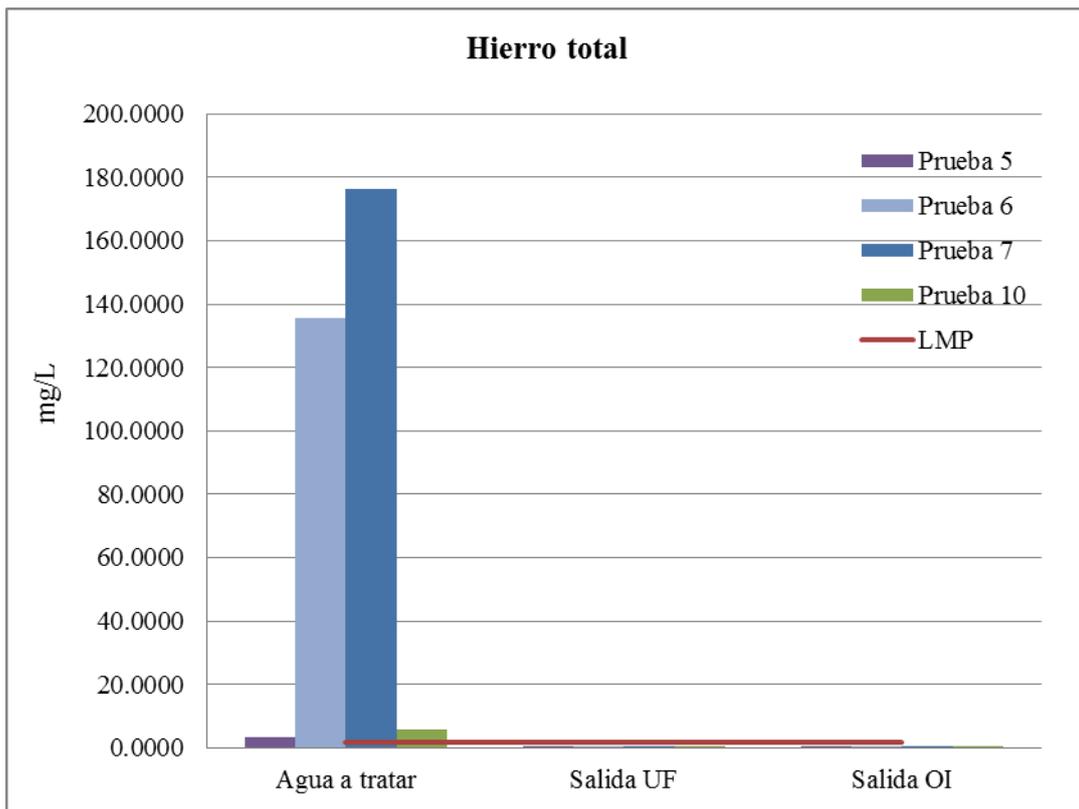


Figura 94 Caso IV: comparación del contenido de hierro total con los LMP para las pruebas 5, 6, 7 y 10
 Fuente: elaboración propia

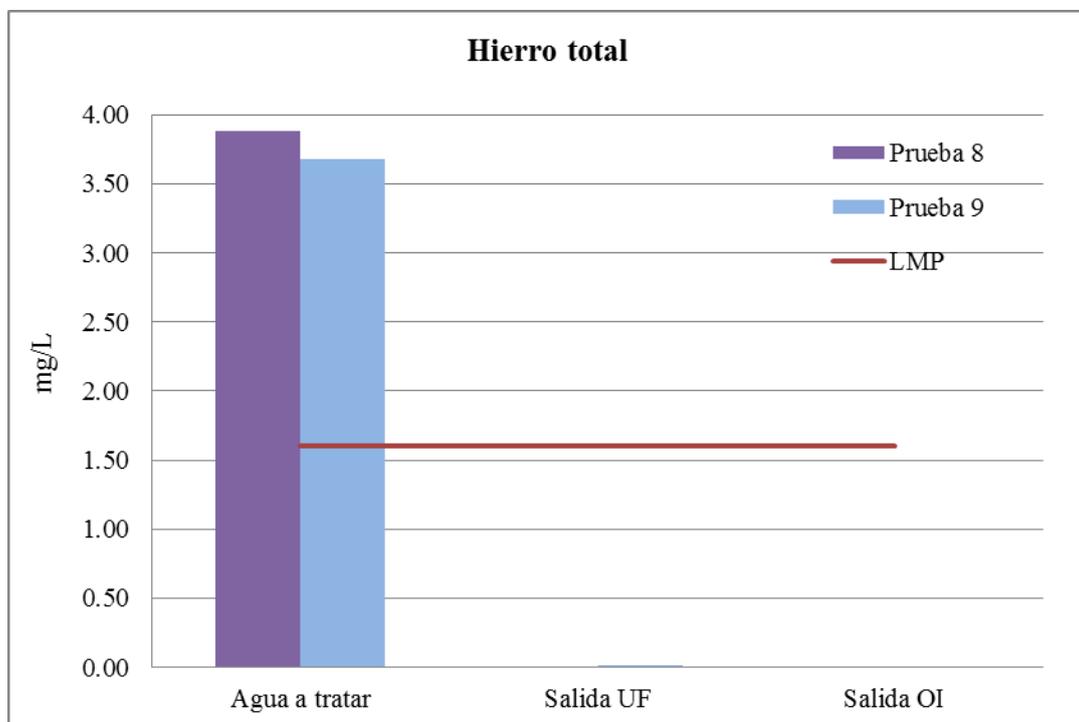


Figura 95 Caso IV: comparación del contenido de hierro total con los LMP para las pruebas 8 y 9
 Fuente: elaboración propia

4.2.2 Comparación con los estándares de calidad del agua (ECA)

En este ítem se comparan los valores promedio obtenidos del agua de salida para cada uno de los casos mencionados, con los estándares de calidad del agua (ECA), de acuerdo a lo establecido en el DS-002-2008-MINAM (ver anexo A-2).

A fin de ver la eficacia de cada uno de los sistemas se han realizado dos caracterizaciones, la salida de la ultrafiltración (UF) y la salida de la ósmosis inversa (OI), en los casos donde se ha realizado otra ósmosis inversa se presentan ambos resultados. Esto permite evaluar además si se necesitan ambos o con uno de ellos se cumplen los requisitos establecidos.

En todos los casos se han considerado los valores establecidos para la categoría 3: riego de vegetales de tallo alto y tallo bajo (ver página 114 del anexo A-2). Para el caso 4, adicionalmente sus resultados se han comparado con los ECA de la categoría 1: poblacional y recreacional en su clasificación A1 (ver página 112 del anexo A-2), es decir que después del tratamiento pueda ser utilizada para consumo humano. Esto se ha realizado así porque la compañía con la que se trabajó este proyecto deseaba usar el agua tratada para el consumo dentro de los campamentos.

a) Caso I

Los gráficos mostrados en las figuras 96 a la 98, muestran los valores de agua después de la ultrafiltración (UF) y después de la ósmosis inversa (OI) comparados con los ECA de acuerdo a lo establecido en el DS-002-2008-MINAM.

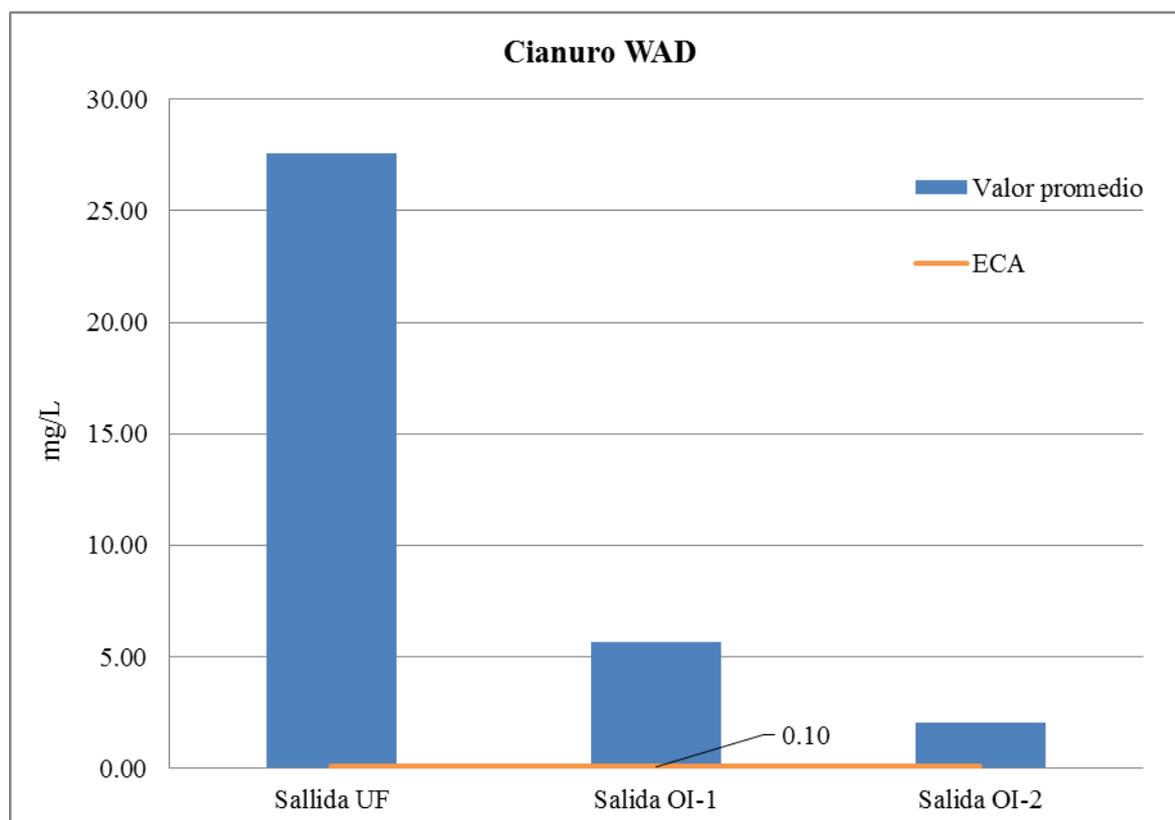


Figura 96 Caso I: contenido de cianuro wad comparado con los ECA

Fuente: elaboración propia

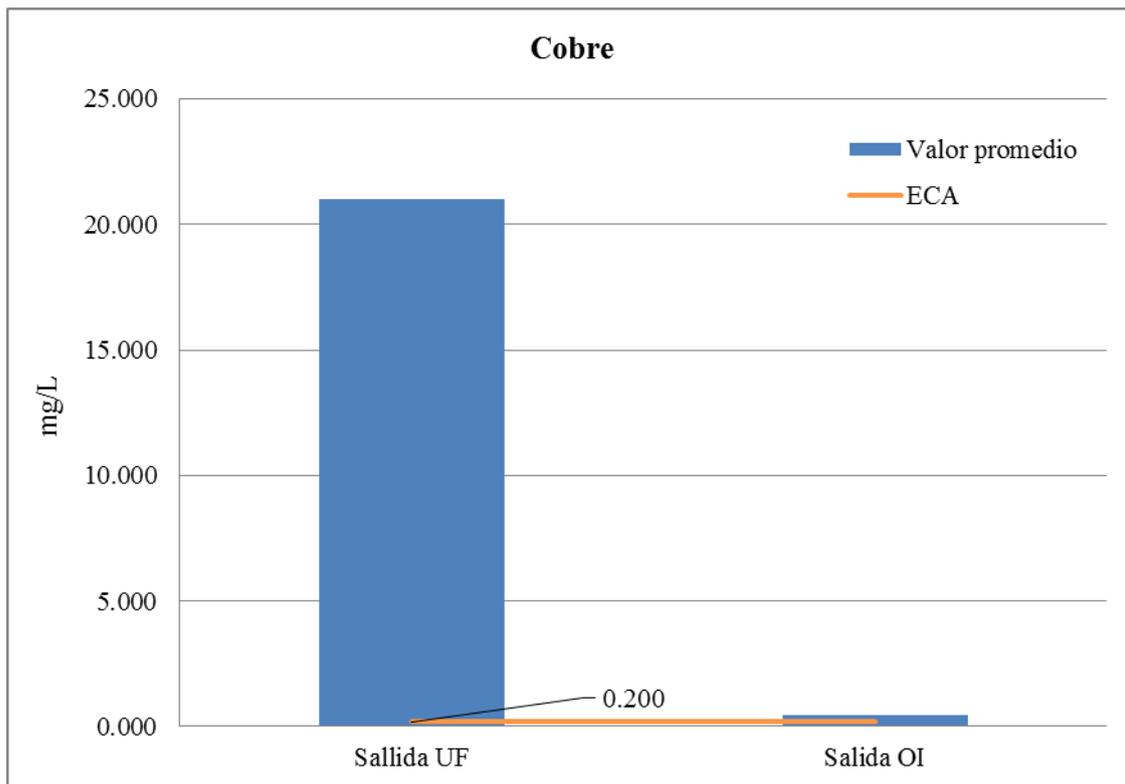


Figura 97 Caso I: contenido de cobre total comparado con los ECA
Fuente: elaboración propia

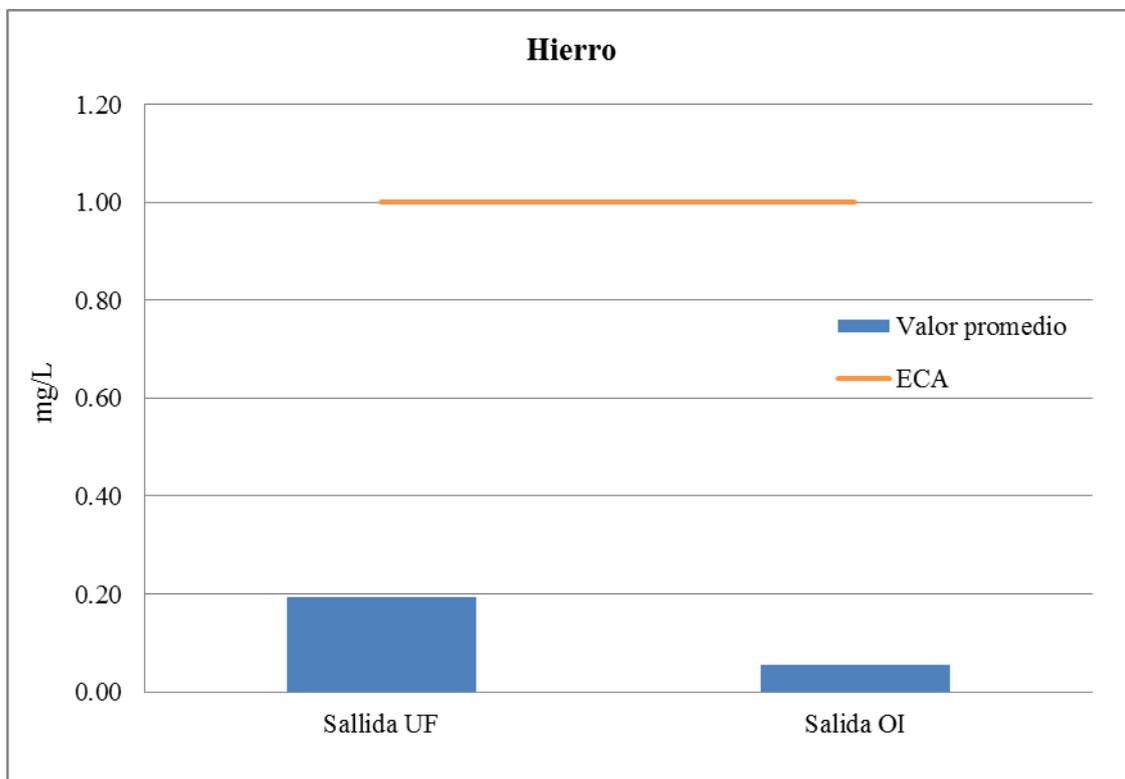


Figura 98 Caso I: contenido de hierro total comparado con los ECA
Fuente: elaboración propia

b) Caso II

En este caso el cianuro no cumple con los ECA, ni siquiera a la salida de la ósmosis inversa (ver figura 99), el cobre y el zinc no los cumplen a la salida de la ultrafiltración pero si a la salida de la ósmosis inversa (ver figuras 100 y 103) Mientras que el plomo y el hierro los cumplen incluso a la salida de la ultrafiltración (ver figuras 101 y 102)

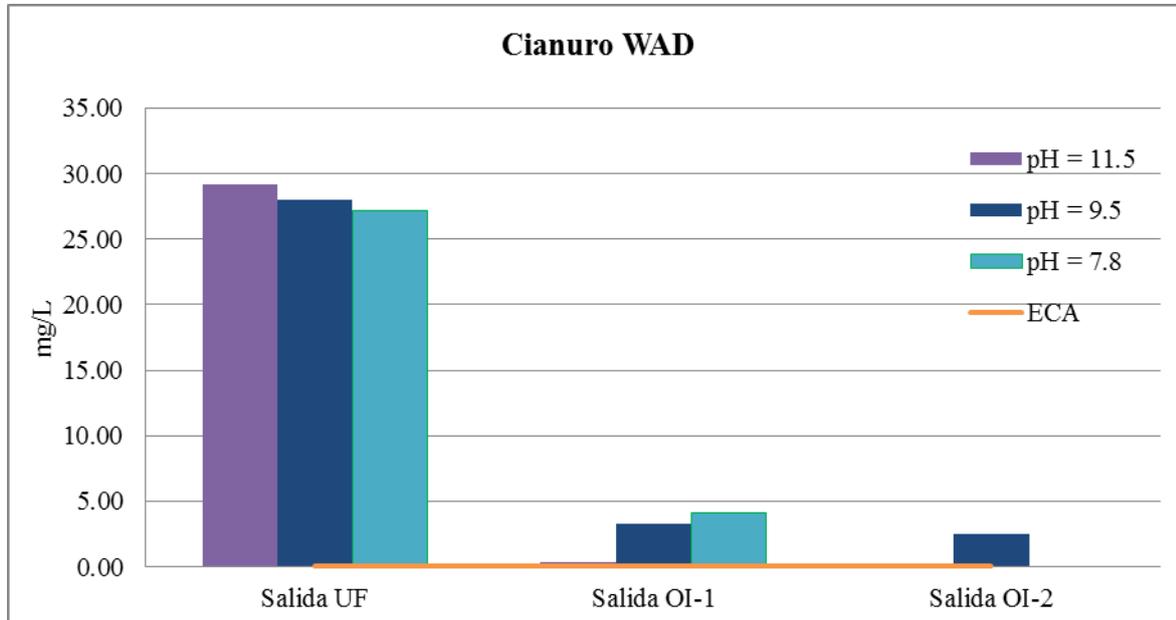


Figura 99 Caso II: contenido de cianuro wad comparado con los ECA

Fuente: elaboración propia

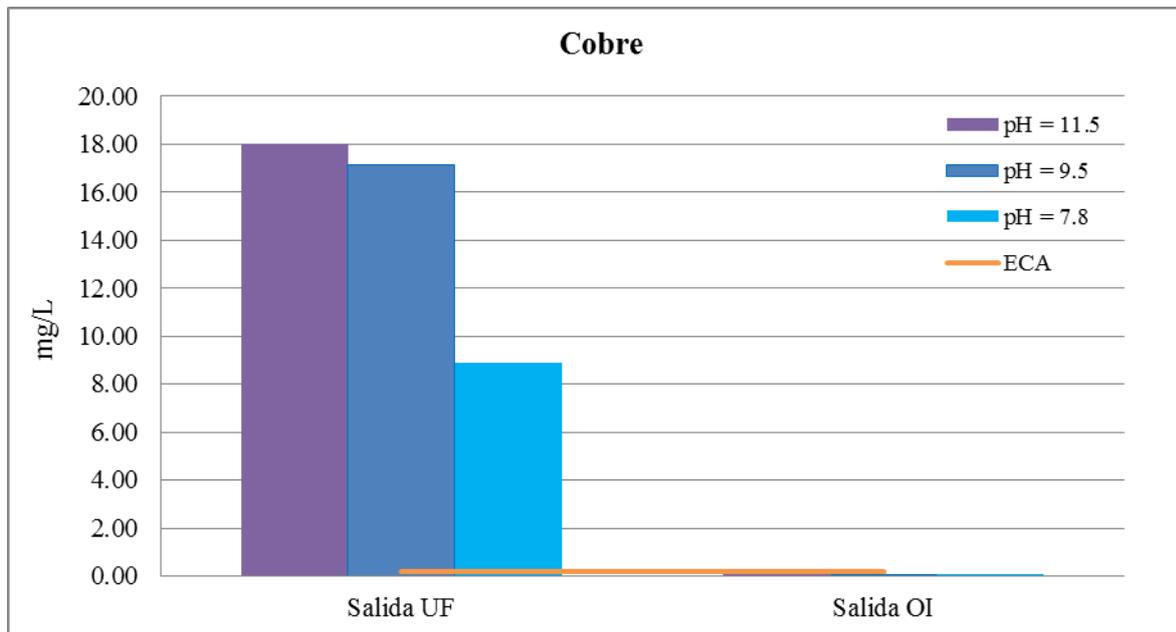


Figura 100 Caso II: contenido de cobre comparado con los ECA

Fuente: elaboración propia

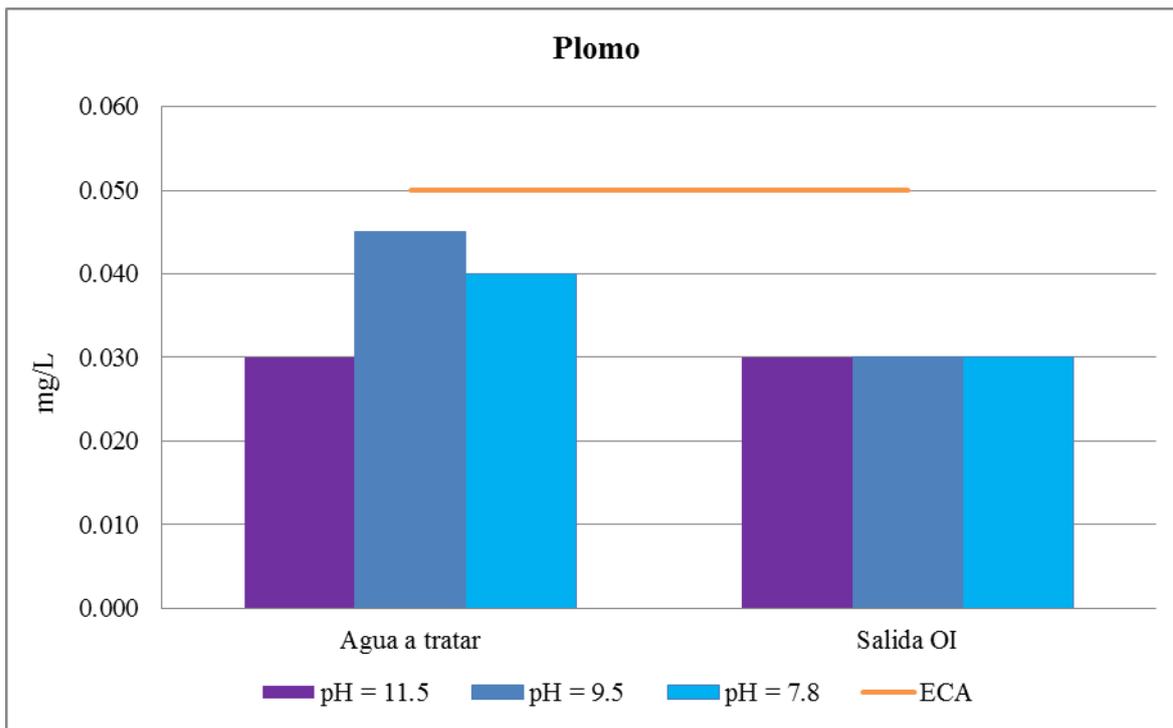


Figura 101 Caso II: contenido de plomo comparado con los ECA
Fuente: elaboración propia

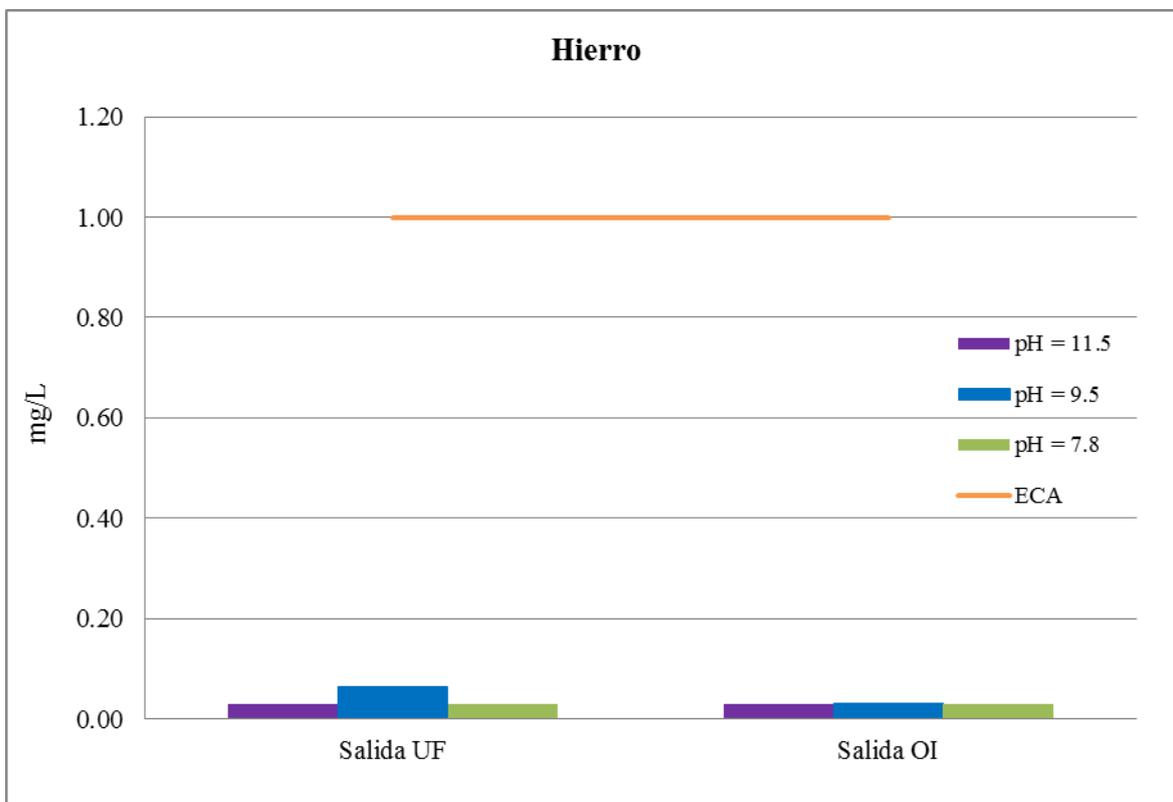


Figura 102 Caso II: contenido de hierro comparado con los ECA
Fuente: elaboración propia

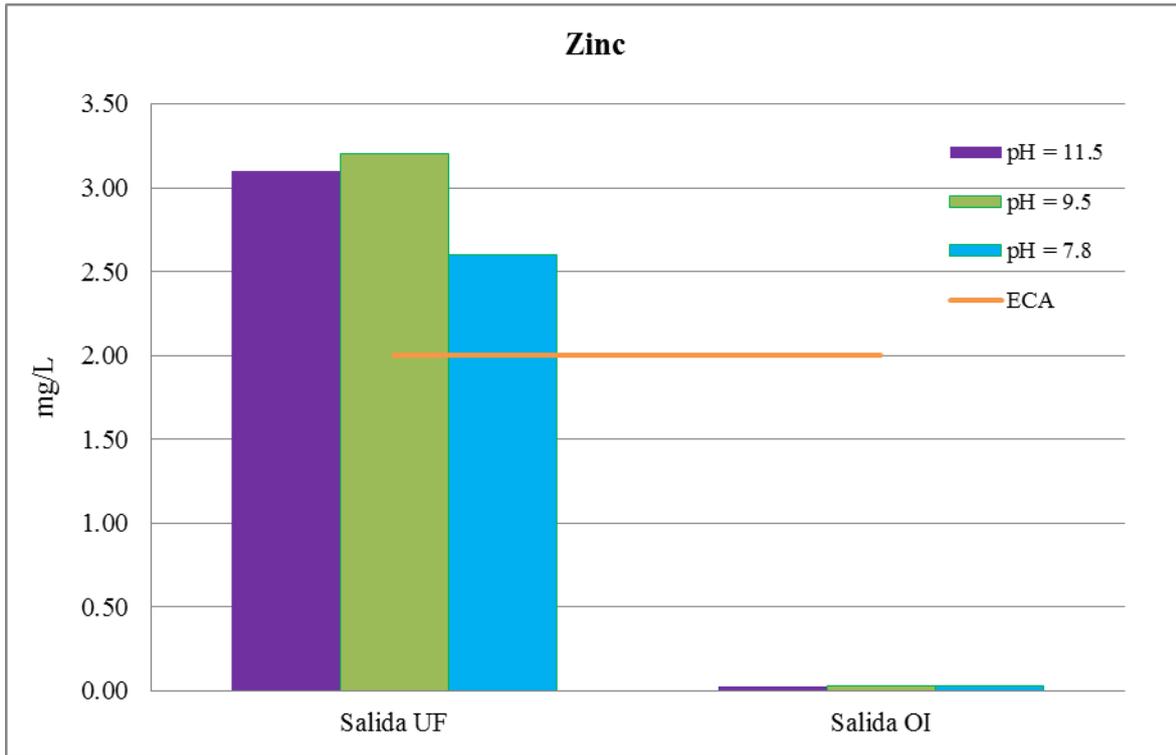


Figura 103 Caso II: contenido de zinc comparado con los ECA
 Fuente: elaboración propia

c) Caso III

En este caso el cobre, arsénico y plomo cumplen con los ECA desde la salida de la ultrafiltración (ver figuras de la 104 a la 106) mientras que para lograr que el hierro, cadmio y zinc cumplan con los ECA es necesario que pase por la ósmosis inversa (ver figuras de la 107 a la 109)

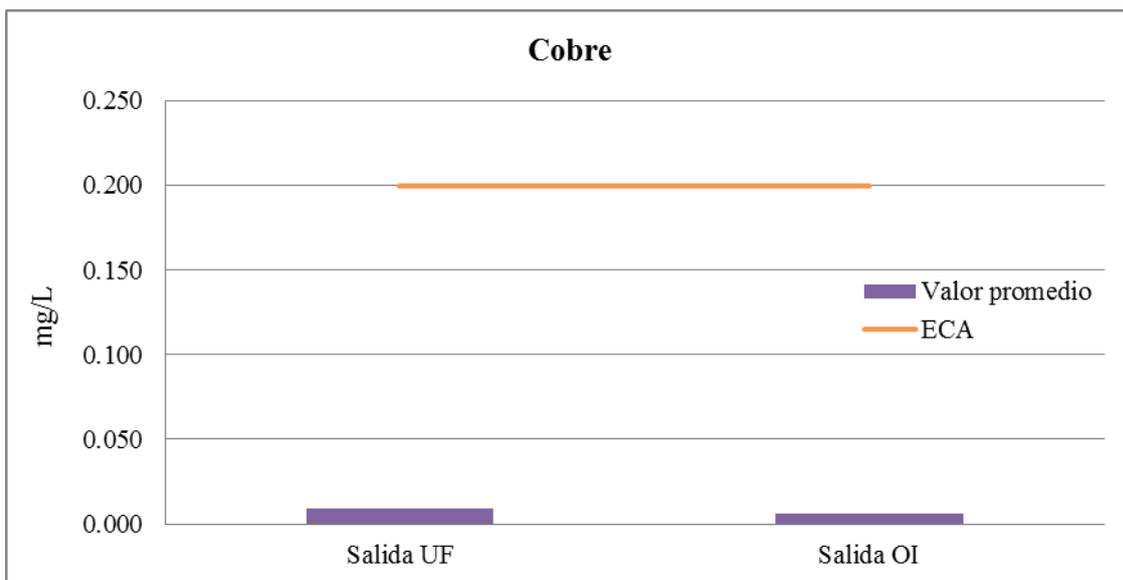


Figura 104 Caso III: contenido de cobre total comparado con los ECA
 Fuente: elaboración propia

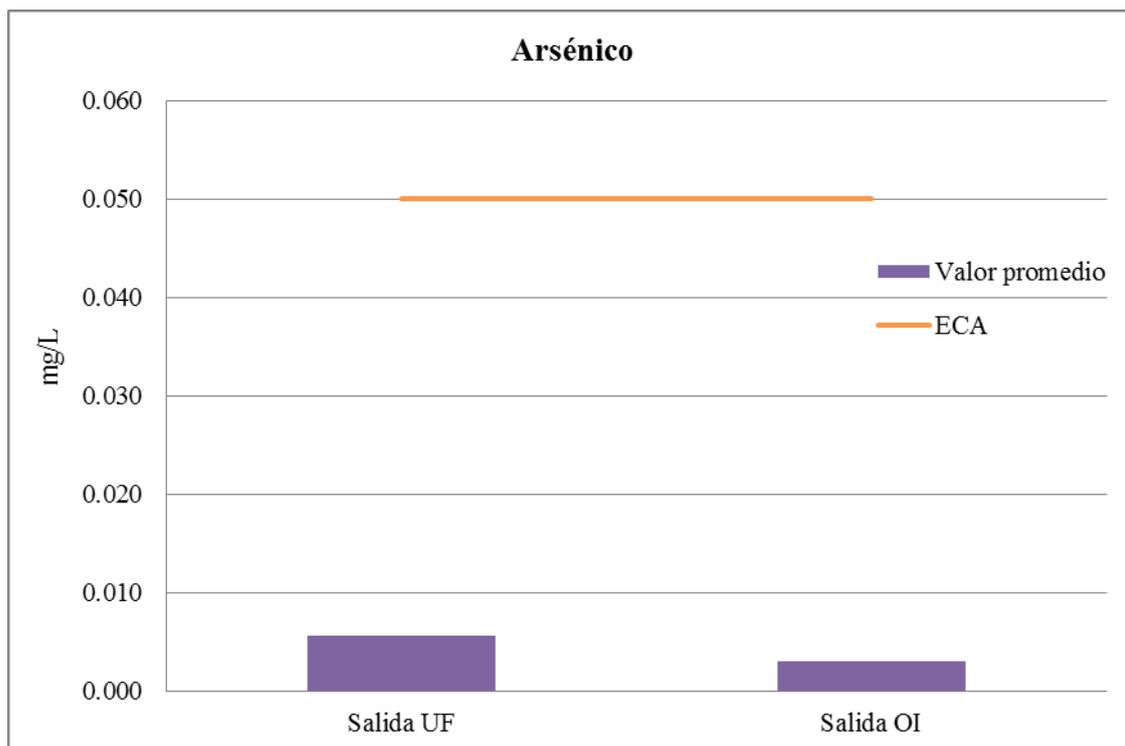


Figura 105 Caso III: contenido de arsénico total comparado con los ECA
Fuente: elaboración propia

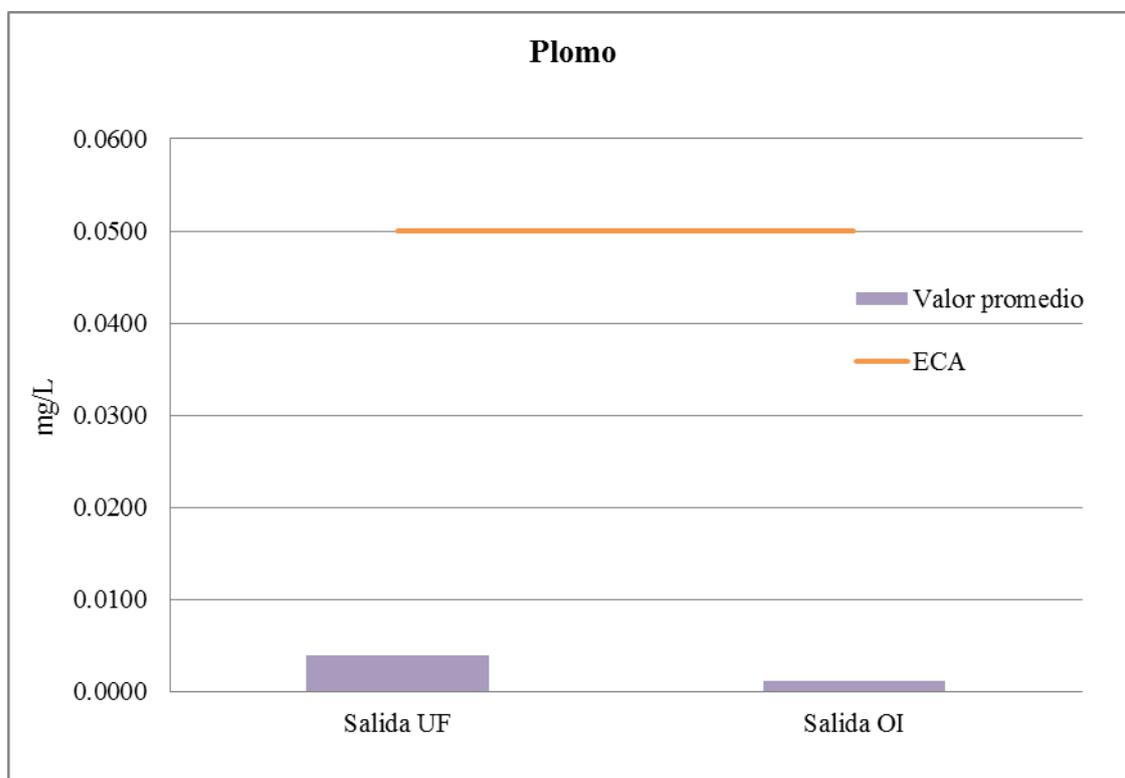


Figura 106 Caso III: contenido de plomo total comparado con los ECA
Fuente: elaboración propia

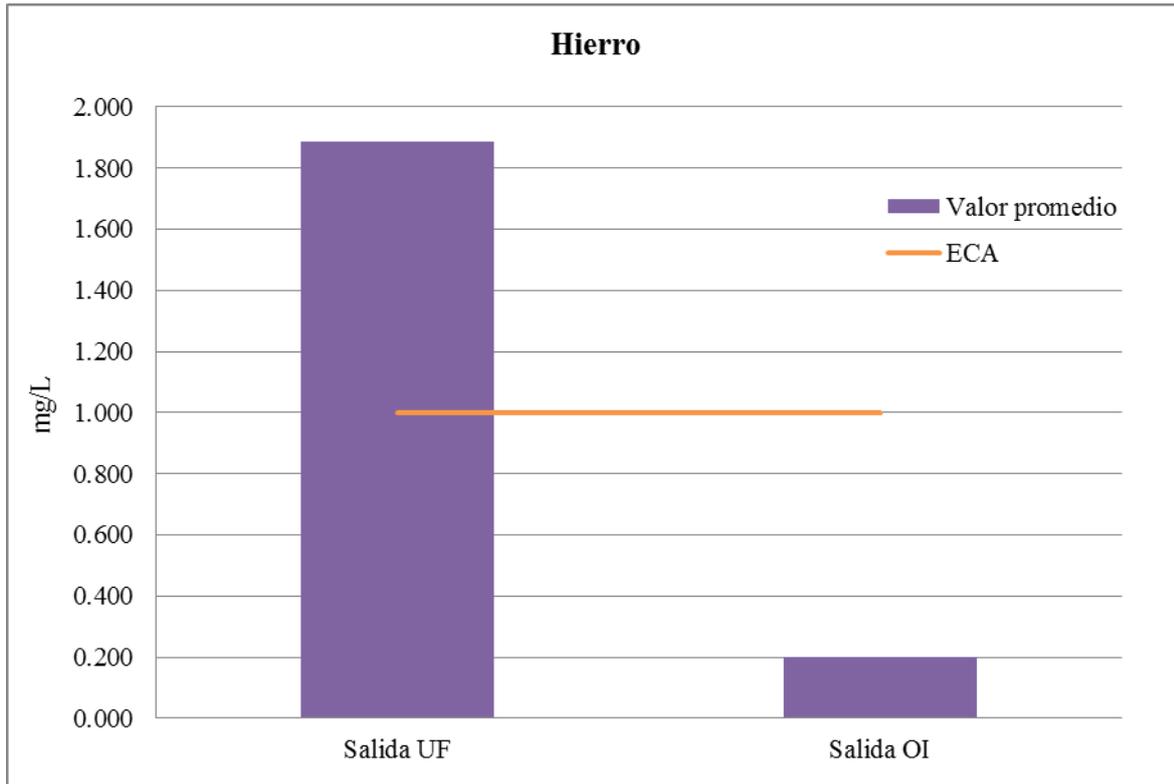


Figura 107 Caso III: contenido de hierro total comparado con los ECA

Fuente: elaboración propia

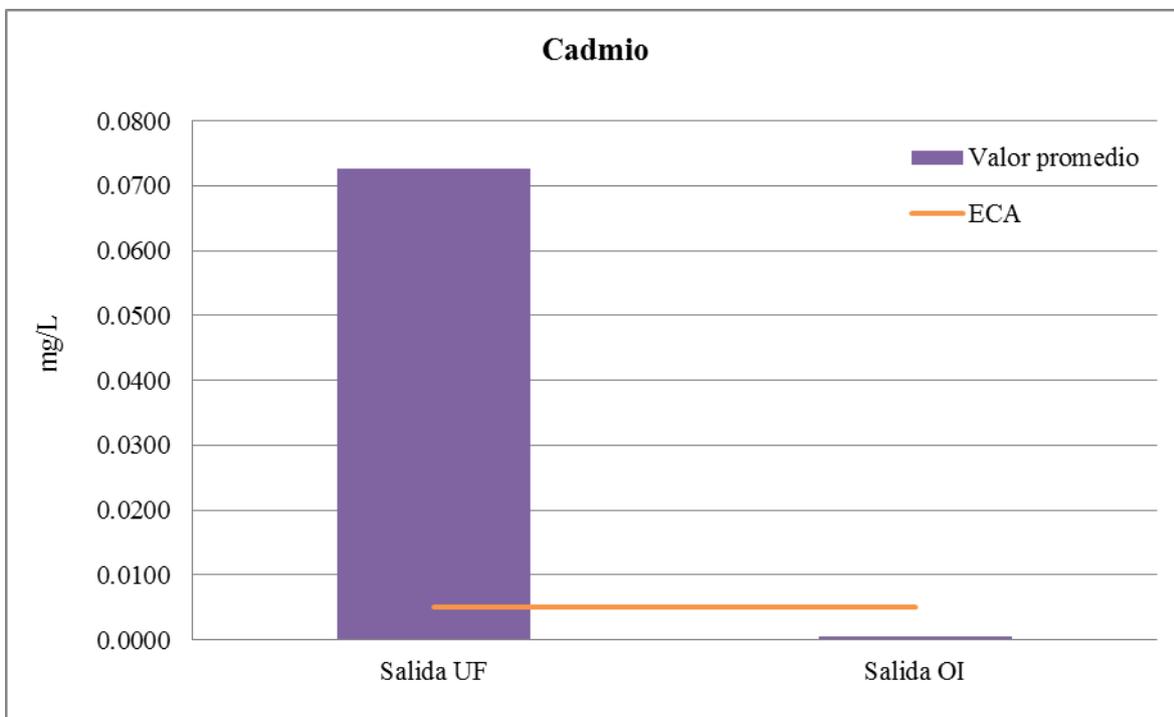


Figura 108 Caso III: contenido de cadmio total comparado con los ECA

Fuente: elaboración propia

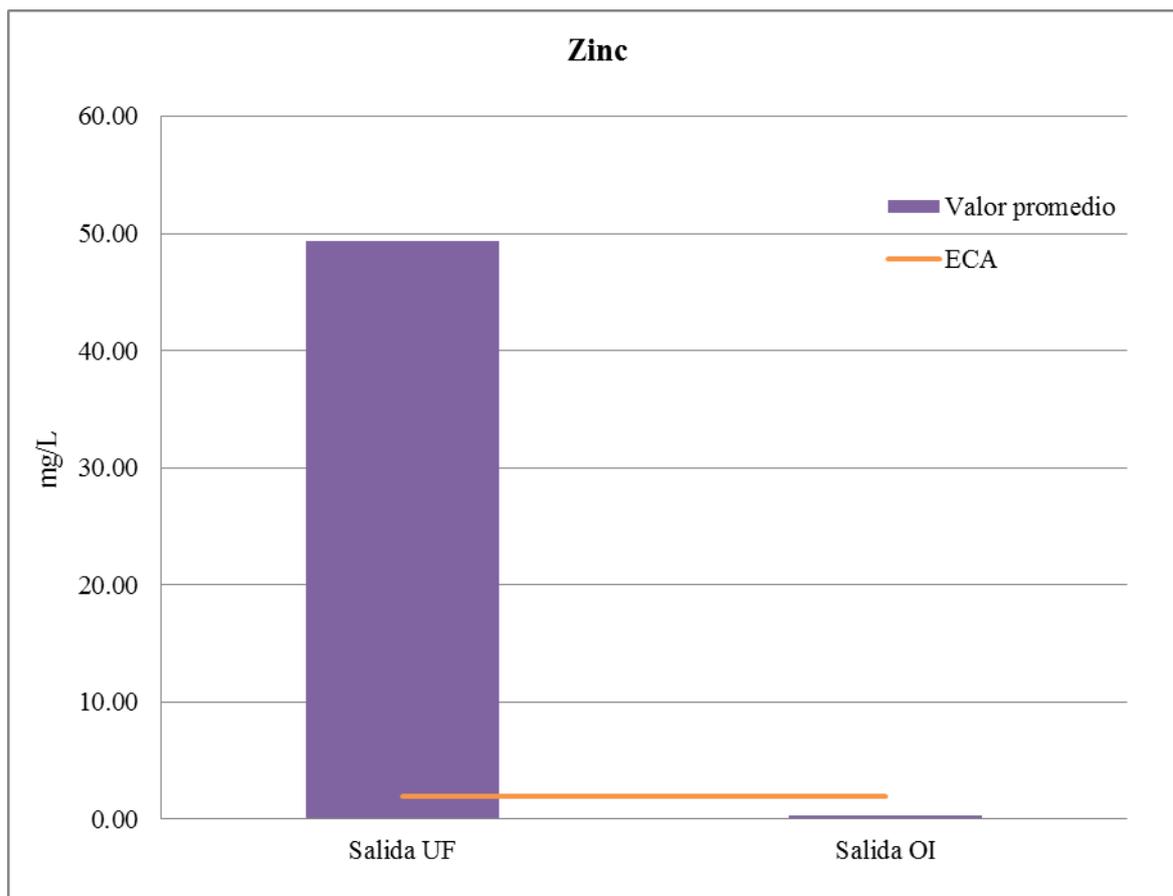


Figura 109 Caso III: contenido de zinc total comparado con los ECA
Fuente: elaboración propia

d) Caso IV

Para este caso además de comparar los resultados con los valores establecidos para la categoría 3: riego de vegetales de tallo alto y tallo bajo: ECA-3 (ver página 114 del anexo A-2), también se han comparado con los ECA de la categoría 1: poblacional y recreacional en su clasificación A1: ECA-1 (ver página 112 del anexo A-2), esto significa que de cumplirse el agua obtenida puede ser utilizada para consumo humano. Esto se ha realizado así porque la compañía con la que se trabajó este proyecto deseaba usar el agua tratada para el consumo dentro de sus campamentos.

En las diferentes pruebas realizadas el arsénico cumple con ambos ECA a la salida de la ósmosis inversa pero no a la salida de la ultrafiltración (ver figuras de la 110 a la 112) Para el hierro se cumplen ambos estándares de calidad, incluso a la salida de la ultrafiltración (ver figuras de la 113 a la 115) Para poder decir que esta agua luego de la ósmosis inversa puede ser de consumo humano deben hacerse algunos análisis complementarios no considerados en este informe.

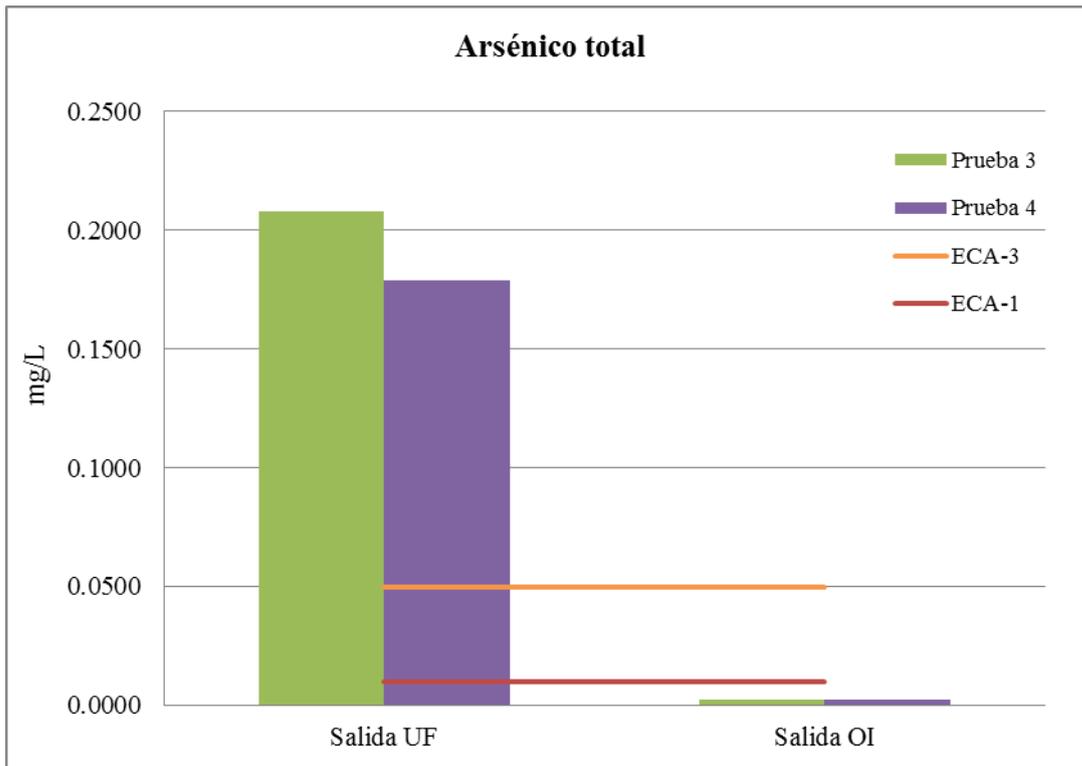


Figura 110 Caso IV: contenido de arsénico total comparado con los ECA para las pruebas 3 y 4
Fuente: elaboración propia

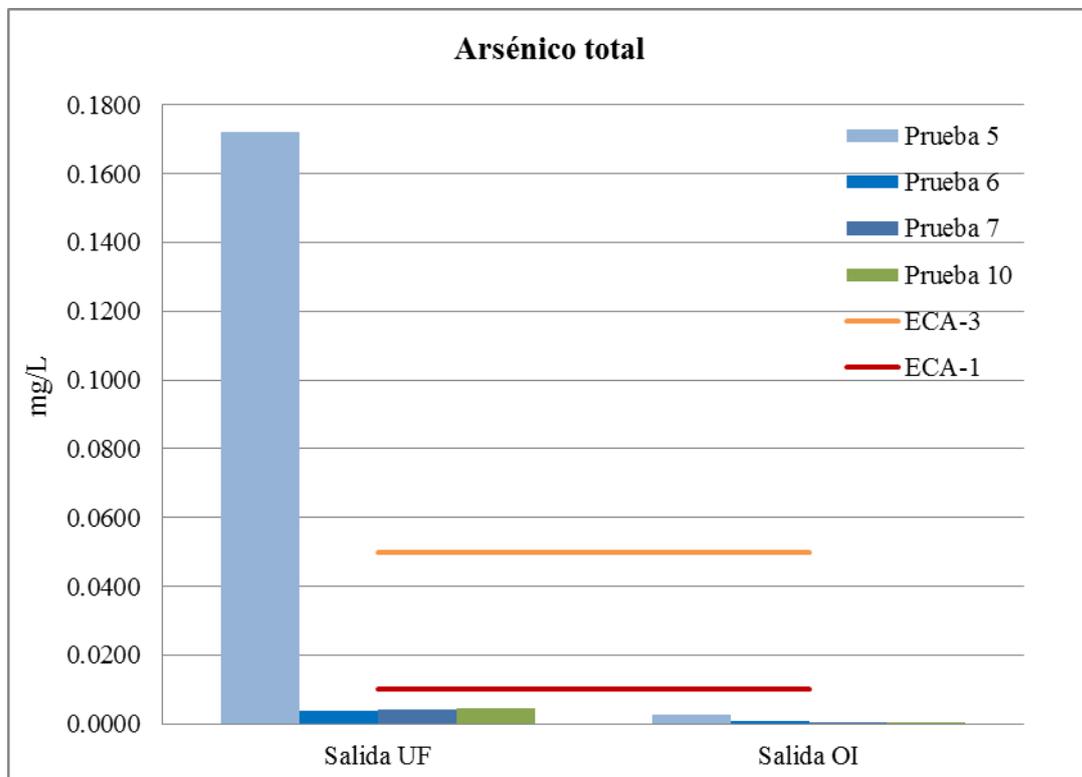


Figura 111 Caso IV: contenido de arsénico total comparado con los ECA para las pruebas 5, 6, 7 y 10
Fuente: elaboración propia

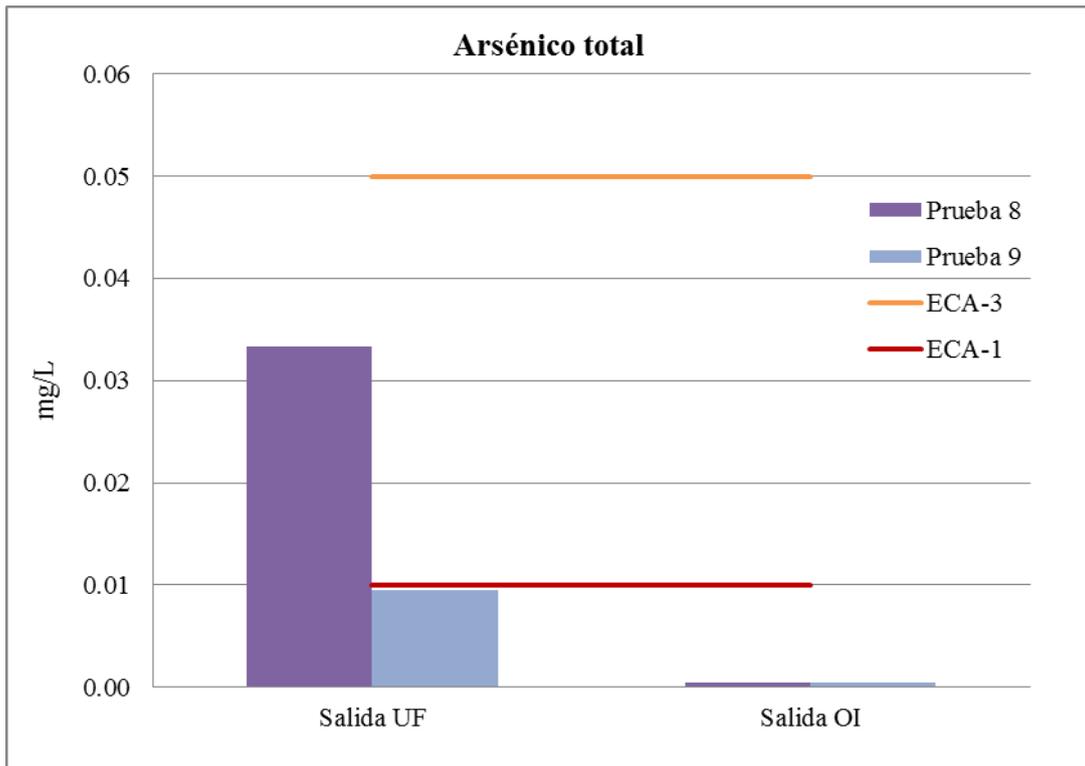


Figura 112 Caso IV: contenido de arsénico total comparado con los ECA para las pruebas 8 y 9
Fuente: elaboración propia

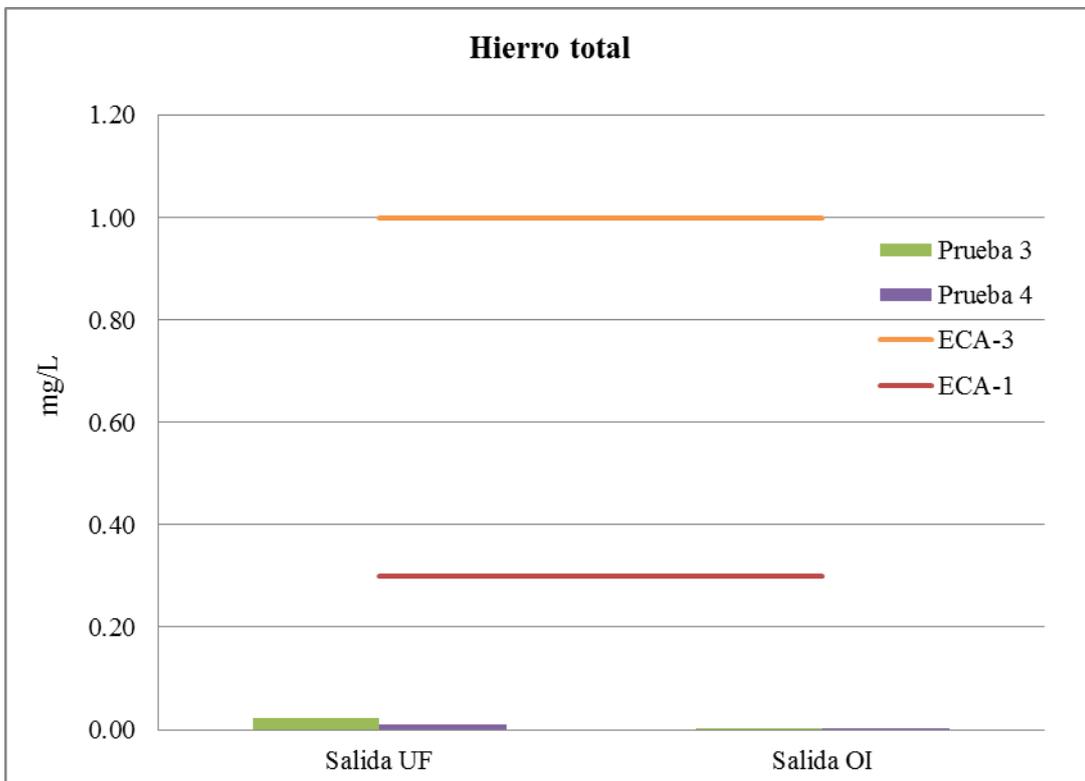


Figura 113 Caso IV: contenido de hierro total comparado con los ECA para las pruebas 3 y 4
Fuente: elaboración propia

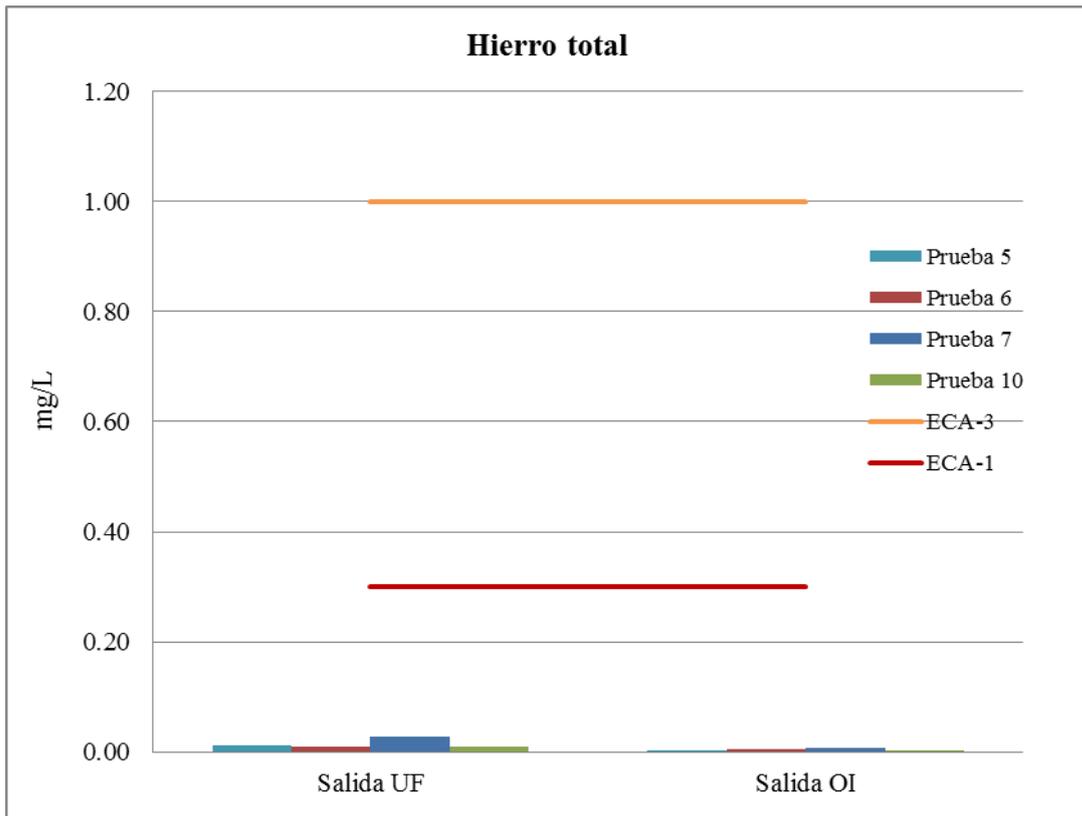


Figura 114 Caso IV: contenido de hierro total comparado con los ECA para las pruebas 5, 6, 7 y 10
 Fuente: elaboración propia

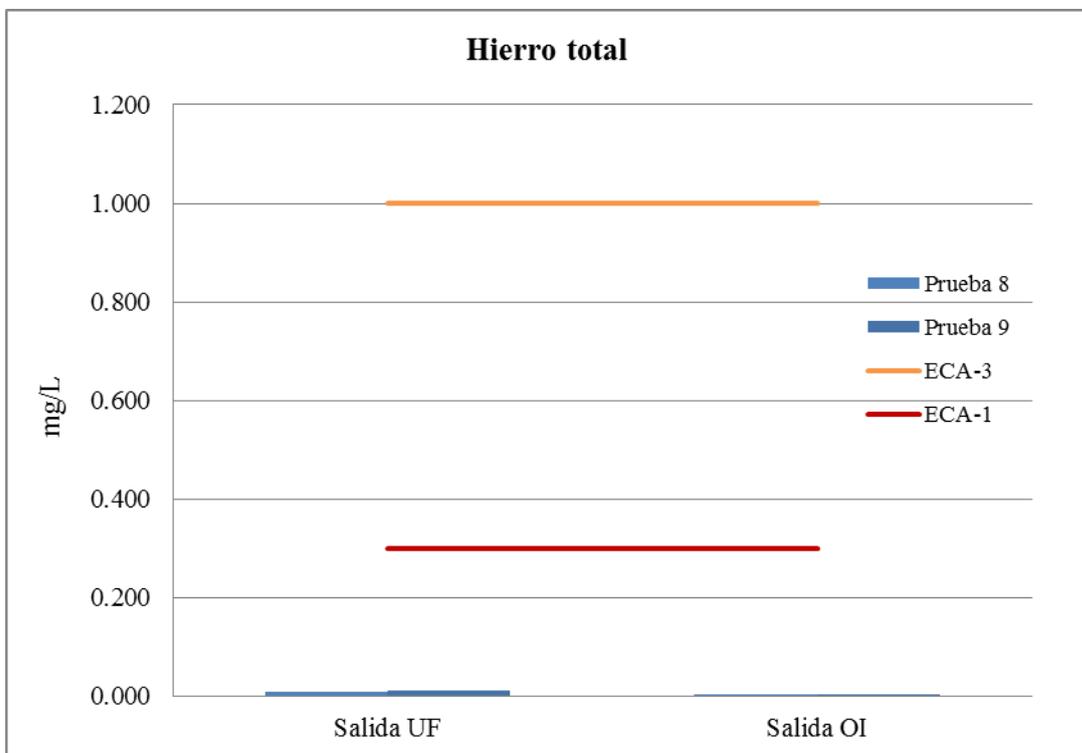


Figura 115 Caso IV: contenido de hierro total comparado con los ECA para las pruebas 8 y 9
 Fuente: elaboración propia

4.3.- Costo operativo del sistema de membranas

A continuación se presenta el cálculo estimado operativo por metro cúbico de agua tratada, basado en un sistema conformado por ultrafiltración y ósmosis inversa. El sistema de ultrafiltración funciona como un pre tratamiento de la ósmosis inversa. Los valores mencionados están basados en la información brindada por Unitek.

Costos operativos de la ultrafiltración

Parámetros equipo

Q Permeado	100 m ³ /h
Recuperación	92%
Utilización	100%
Cant. membranas	26

1. Inyección de coagulante en alimentación

Coagulante	PAC
Costo	0,700 U\$S/kg
Concentración	18%
Dosis	1 ppm
Costo específico	0,004 U\$S/m ³ de agua ultrafiltrada
Costo mensual	304 U\$S @24 h/día; 30 días/mes

2. Energía eléctrica

Bombas	2,700 kW
Costo energía	0,040 U\$S/kW
Costo específico	0,009 U\$S/m ³ de agua ultrafiltrada
Costo mensual	625 U\$S

3. Consumo de ácido para CEB

Ácido	HCl
Período	24 h
Costo	0,15 U\$S/kg
Concentración	35% %p/p
Consumo	5 kg/día
Costo específico	0,000 U\$S/m ³ de agua ultrafiltrada
Costo mensual	24 U\$S

4. Consumo de base para CEB

Base	NaOH
Período	24 h
Costo	0,45 U\$S/kg
Concentración	50% %p/p
Consumo	5 kg/día
Costo específico	0,001 U\$S/m ³ de agua ultrafiltrada
Costo mensual	223 U\$S

5. Consumo de desinfectante para CEB

Desinfectante	NaClO
---------------	-------

Período	24 h
Costo	0,50 U\$\$/l
Concentración	115 gr/l
Consumo	4 l/día
Costo específico	0,001 U\$\$/m ³ de agua ultrafiltrada
Costo mensual	65 U\$\$

6. Recambio de membranas

Período	5 años
Marca y modelo	Norit Aquaflex 55 m ²
Costo	3300 U\$\$/unidad
Costo específico	0,020 U\$\$/m ³ de agua ultrafiltrada
Costo mensual	1430 U\$\$

7. Total

Costo específico	0,035 U\$\$/m ³ de agua ultrafiltrada
Costo mensual	2672 U\$\$

Costos operativos de la ósmosis inversa

Parámetros equipo

Q Permeado	75 m ³ /h
Recuperación	75%
Utilización	100%
Cant. membranas	84

1. Inyección de antincrustante

Antincrustante	A definir por Nalco
Costo	9 U\$\$/kg
Dosis	5 ppm
Costo específico	0,060 U\$\$/m ³ de agua permeada
Costo mensual	3 240 U\$\$ @24 h/día; 30 días/mes

2. Microfiltro

Marca y modelo	DOE 2,5" x 40" - 5 µm
Cantidad	22
Costo	15 U\$\$/unidad
Frecuencia cambio	45 días
Costo específico	0,004 U\$\$/m ³ de agua permeada
Costo mensual	220 U\$\$

3. Energía eléctrica

Bombas y otros	76 kW
Costo energía	0,040 U\$\$/kW
Costo específico	0,041 U\$\$/m ³ de agua permeada
Costo mensual	2189 U\$\$

4. Limpieza química

Período	6 meses
Costo	4000 U\$\$
Costo específico	0,012 U\$\$/m ³ de agua permeada
Costo mensual	667 U\$\$

5. Recambio de membranas

Período	3 años
Marca y modelo	Toray TM720-400
Costo	600 U\$\$/unidad
Costo específico	0,026 U\$\$/m ³ de agua permeada
Costo mensual	1400 U\$\$

6. Total

Costo específico	0,143 U\$\$/m ³ de agua permeada
Costo mensual	7715 U\$\$

Costo operativo de la planta de agua

Caudal agua UF	100 m ³ /h
Caudal agua OI	75 m ³ /h

1. Ultrafiltración

Costo específico	0,035 U\$\$/m ³ de agua UF
Consumo agua UF	1,493 m ³ agua UF / m ³ agua demi
Costo específico	0,052 U\$\$/m ³ de agua demi
Costo mensual	2503 U\$\$

2. Ósmosis Inversa

Costo específico	0,143 U\$\$/m ³ de agua OI
Consumo agua UF	1,119 m ³ agua OI / m ³ agua demi
Costo específico	0,160 U\$\$/m ³ de agua demi
Costo mensual	7696 U\$\$

3. Total

Costo específico	0,211 U\$\$/m ³ de agua demi
Costo mensual	10 199 U\$\$

Conclusiones y recomendaciones

- La ultrafiltración realiza una adecuada remoción de los sólidos suspendidos totales y de la turbidez y garantiza un pre tratamiento muy eficaz para la etapa de ósmosis inversa, debido a que el tamaño de poro de la membrana es de 25 nanómetros, protegiendo a las membranas osmóticas de ensuciamiento prematuro.
- En las distintas pruebas piloto realizadas para el presente trabajo, se observa que el sistema tiene una gran versatilidad y adaptación a los cambios, paradas y arranques del sistema, sin que ello afecte la performance y rendimiento de las membranas.
- De lo observado en los capítulos 3 y 4, respecto a las pruebas piloto realizadas, se obtienen resultados sobresalientes. En los casos I, II y III se cumple con los estándares de calidad de agua requeridos por el MINAM para la categoría 3: riego de vegetales de tallo alto y tallo bajo y en el caso IV también se cumple con la categoría 1: poblacional y recreacional en su clasificación A1. En la mayoría de los casos se alcanzan valores muy por debajo de éstos. Asimismo, disminuye de manera eficiente las concentraciones de otros parámetros como nitratos, nitritos y otros metales, que no son regulados por estas entidades.
- Incrementa la recuperación de oro y plata provenientes de la solución de alimentación.
- Permite la recuperación y recirculación de cianuro de la solución de alimentación.
- El sistema de membranas no usa reactivos químicos, y el consumo de cloro es el 25% de una planta convencional.
- Los sistemas de membranas, aquí estudiados, son confiables, versátiles, de fácil operación y bajo costo operativo. Trabajan de manera automática y con personal mínimo. Tienen un menor costo operativo con respecto a una planta convencional (70%).
- Es importante tener en cuenta que el pH influye notable y directamente en los porcentajes de remoción de cianuro total, y cianuro wad. Las pruebas piloto realizadas permiten determinar el balance óptimo entre lo indicado, el punto de operación y el porcentaje de recuperación del sistema, de manera que se brinde al usuario el mejor punto de operación en términos de costo-beneficio.

- En el caso de estudio I, se redujo la presencia del cianuro total de 35,5 mg/L a 4,95 mg/L a la salida del tren de tratamiento de ultrafiltración y ósmosis inversa en un solo paso; con un pH promedio de 10 y un 50 % de recuperación del equipo de ósmosis inversa. Se puede complementar el tratamiento por vía química o biológica hasta lograr que el cianuro total llegue a valores para su descarga al medio ambiente cumpliendo las normas y estándares ambientales fijados por la autoridad (cianuro total menor a 1 mg/L)
- En los casos II y III, los resultados demuestran que la tecnología de membranas es la adecuada para el objetivo del proyecto, es decir, cumplir los estándares nacionales de calidad de agua, clase de agua A3: agua para riego de vegetales.
- En el caso III se recomienda trabajar con el efluente de acuerdo a la calidad establecida en la prueba 3
- En el caso IV, el efluente de interior mina que alimenta el sistema de membranas presenta gran variabilidad en cuanto turbidez, sólidos suspendidos, arsénico total y arsénico disuelto en el transcurso de las horas del día y los días. Esto depende, entre otras cosas, de las horas de bombeo, perforación con diamantinas, aportes de filtraciones diversas, trabajos interior mina, etc. A pesar de esta variabilidad se han logrado alcanzar los requerimientos de la mina, con el tren de tratamiento propuesto: coagulación/ultrafiltración/ósmosis inversa, en cuanto:
 - a. Descarga al cuerpo receptor: arsénico total menor a 0.1 mg/L
 - b. Agua potable: arsénico total menor a 0.01 mg/L
- El sistema propuesto es compatible con un sistema de coagulación / floculación / sedimentación, que se puede implementar interior mina, a fin de disminuir y controlar los sólidos suspendidos y turbidez del efluente.
- Como se puede observar en los resultados tabulados en el capítulo 3 para los distintos casos, los sistemas se adecuan a las distintas calidades de agua del efluente a tratar, permitiendo que se trabaje un mismo tren de tratamiento a pesar de estas variaciones, se recomienda que antes de la ósmosis inversa siempre haya ultrafiltración con el fin de lograr que por la ósmosis pase un efluente uniforme. Antes de la ultrafiltración y dependiendo de las características del efluente se puede considerar un pretratamiento con coagulación / sedimentación.
- Está tecnología ya se aplica con éxito en muchos sectores diferentes a la minería, como por ejemplo para desalinizar agua u obtener agua extra pura para la industria de bebidas gaseosas. En el Perú, el sector minero ha iniciado su uso hace poco tiempo, pero ya se cuentan casos exitosos.

Bibliografía

- 1) Baker, R. (2004). *Membrane Technology and Applications*. Menlo Park, California: John Wiley & Sons Ltd.
- 2) De la Sota, J. (Dir.), Fundación para el conocimiento Madrid (Coord.), Rodríguez, A., Letón, P., Rosal, R., Dorado, M., Villar, S. y Sanz, J. (2006). *Tratamientos avanzados de aguas residuales industriales*. Madrid: CEIM.
- 3) Fundación Iberoamericana Universitaria. Maestría en Gestión y Auditorías Ambientales. *Asignatura Minería y Medio Ambiente*. España.
- 4) Higuera, P. y Oyarzun, R. [en línea]. *Mineralogía y geoquímica ambiental: Introducción al curso*. <http://www.uclm.es/users/higuera/mga/Tema05/Tema05_Res_Min_2.htm> [Consulta: 03 de diciembre del 2012].
- 5) Ministerio del Ambiente. (2008). *Aprueban los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Agua*. Lima: El Peruano [en línea]. <http://www.minam.gob.pe/dmdocuments/ds_002_2008_eca_agua.pdf> [Consulta: 16 de noviembre del 2012]
- 6) Ministerio del Ambiente. (2010). *Aprueban Límites Máximos Permisibles para la descarga de efluentes líquidos de Actividades Minero - Metalúrgicas*. Lima: El Peruano. [en línea] <http://www.minam.gob.pe/index.php?option=com_content&view=article&id=103:estandares-ambientales> [Consulta: 16 de noviembre del 2012]
- 7) Ósmosis inversa. (s.f.) [en línea] <<http://www.unitek.com.pe/productos-osmosis-inversa.php>> [Consulta: 15 de diciembre del 2012]
- 8) Palacio, L. (2002). *Caracterización estructural y superficial de membranas microporosas*. L. Palacio. Membranas de Ultrafiltración (pp. 253-329) [en línea] Tesis doctoral. Alicante: Biblioteca Virtual Miguel de Cervantes. (2002). <http://www.cervantesvirtual.com/servlet/SirveObras/12690522024584839321435/007323_5.pdf> [Consulta: 20 de diciembre del 2012]

- 9) Pimentel, M. y Sánchez, W. (2011). *Proceso de ósmosis inversa en MYSRL como una nueva alternativa en el tratamiento de efluentes*. Arequipa: XXVII Convención Minera / Trabajos Técnicos.
- 10) Textos científicos. (2007). *Ósmosis inversa* [en línea] <<http://www.textoscientificos.com/quimica/osmosis/inversa>> [Consulta: 12 de diciembre del 2012]

Anexo A

Decretos Supremos

A-1: Decreto Supremo N° 10-2010-MINAM. Límites máximos permisibles para la descarga de efluentes líquidos de actividades Minero – Metalúrgicas.

424114


NORMAS LEGALES
El Peruano
Lima, sábado 21 de agosto de 2010

la Ministra de Economía y Finanzas y por el Ministro de Transportes y Comunicaciones.

Regístrese, comuníquese y publíquese.

ALAN GARCÍA PÉREZ
Presidente Constitucional de la República

JAVIER VELASQUEZ QUESQUÉN
Presidente del Consejo de Ministros

MERCEDES ARAÓZ FERNÁNDEZ
Ministra de Economía y Finanzas

ENRIQUE CORNEJO RAMÍREZ
Ministro de Transportes y Comunicaciones

533964-6

Autorizan viaje de funcionario de OSIPTEL a Colombia para participar en eventos organizados por el Centro de Excelencia de las Américas de la Unión Internacional de Telecomunicaciones

**RESOLUCIÓN SUPREMA
N° 194-2010-PCM**

Lima, 20 de agosto de 2010

Vista, la Carta N° 816-GG.RI/2010 del Gerente General del Consejo Directivo del Organismo Supervisor de la Inversión Privada en Telecomunicaciones - OSIPTEL; y,

CONSIDERANDO:

Que, por comunicación de fecha 27 de julio de 2010 la Asesora en Gestión y Desarrollo de Recursos Humanos del Centro de Excelencia para la Región Américas de la Oficina Regional de la Unión Internacional de Telecomunicaciones - UIT para las Américas ha invitado al Gerente General del Organismo Supervisor de la Inversión Privada en Telecomunicaciones - OSIPTEL a participar en la "I Reunión del Comité Estratégico y de Calidad del Centro de Excelencia de las Américas de la Unión Internacional de Telecomunicaciones - UIT", así como en el "IV Foro Internacional Futuro de las Tecnologías de la Información en Telecomunicación - TIC en la Región Américas", a llevarse a cabo en la ciudad de Bogotá, República de Colombia, del 30 de agosto al 3 de setiembre de 2010;

Que, los mencionados eventos son organizados por el Centro de Excelencia de las Américas de la Unión Internacional de Telecomunicaciones y cuentan con la colaboración de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas de Colombia;

Que, las citadas reuniones congregarán a los expertos de la región de los organismos reguladores de telecomunicaciones y de las instituciones que forman parte de la Red de Nodos del Centro de Excelencia de las Américas de la UIT;

Que, en atención al prestigio internacional del OSIPTEL, este organismo ha sido reconocido e incorporado a la Red de Nodos del Centro de Excelencia de las Américas, habiéndose firmado para ello, el 3 de octubre de 2008, el Acuerdo de Participación de dicha Red de Nodos entre el OSIPTEL y la UIT;

Que, en el marco de este Acuerdo, el OSIPTEL y la UIT realizan actividades conjuntas con la finalidad de fortalecer las capacidades de los funcionarios del OSIPTEL, siendo la línea de contar con un mecanismo regional que fortalezca la capacidad de generar conocimiento y experiencia para el talento humano de más alto nivel de la Región Américas y contribuir a su capacitación y desarrollo;

Que, en el IV Foro Internacional Futuro de las Tecnologías de la Información y Comunicación (TIC) en la Región Américas se tratarán importantes temas del sector, tales como la participación empresarial necesaria para el aporte de las TIC al desarrollo social, las redes de bajo costo en la inclusión digital, las aplicaciones TIC en las Américas, la regulación de aplicaciones, contenidos y televisión digital;

Que, en este sentido, la participación en estos eventos permitirá obtener recursos y generar la posibilidad de capacitación a los funcionarios del OSIPTEL en políticas de telecomunicaciones, gestión o gerencia de telecomunicaciones, nuevas tecnologías, servicios de telecomunicaciones y regulación de las telecomunicaciones;

Que, el señor Alejandro Gustavo Jiménez Morales además de ser el Gerente General del OSIPTEL es responsable de las coordinaciones con el Centro de Excelencia de las Américas de la UIT, por lo cual su participación permitirá un adecuado intercambio de experiencias e información sobre temas muy importantes para la regulación de los servicios públicos de telecomunicaciones y las políticas de capacitación y fortalecimiento de las capacidades de los recursos humanos del sector;

Que, la UIT asumirá los costos del pasaje aéreo del citado funcionario, correspondiendo asumir al OSIPTEL, con cargo a su presupuesto, los gastos por concepto de viáticos y tarifa única por uso de aeropuerto;

De conformidad con lo establecido por la Ley N° 27619, Ley que regula la autorización de viajes al exterior de funcionarios y servidores públicos del Poder Ejecutivo; su Reglamento, aprobado mediante Decreto Supremo N° 047-2002-PCM; la Ley N° 29289, la Ley N° 29465, Ley de Presupuesto del Sector Público para el Año Fiscal 2010; y el Reglamento de Organización y Funciones de la Presidencia del Consejo de Ministros, aprobado por el Decreto Supremo N° 063-2007-PCM; y,

Estando a lo acordado;

SE RESUELVE:

Artículo 1°.- Autorizar el viaje del señor Alejandro Gustavo Jiménez Morales, Gerente General del Organismo Supervisor de la Inversión Privada en Telecomunicaciones - OSIPTEL, a la ciudad de Bogotá, República de Colombia, del 29 de agosto al 4 de setiembre de 2010, para los fines expuestos en la parte considerativa de la presente resolución.

Artículo 2°.- Los gastos que irrogue el cumplimiento de la presente resolución se efectuarán con cargo al presupuesto del OSIPTEL, de acuerdo al siguiente detalle:

Tarifa Única por Uso de Aeropuerto	US\$	31,00
Viáticos	US\$	1 200,00

Artículo 3°.- Dentro de los quince (15) días calendario siguientes de efectuado el viaje, el referido funcionario deberá presentar a su institución un informe detallado describiendo las acciones realizadas, los resultados obtenidos y la rendición de cuentas por los viáticos entregados.

Artículo 4°.- La presente Resolución no otorga derecho a exoneración o liberación de impuestos aduaneros de ninguna clase o denominación.

Artículo 5°.- La presente Resolución Suprema será refrendada por el Presidente del Consejo de Ministros.

Regístrese, comuníquese y publíquese.

ALAN GARCÍA PÉREZ
Presidente Constitucional de la República

JAVIER VELASQUEZ QUESQUÉN
Presidente del Consejo de Ministros

533964-7


AMBIENTE

Aprueban Límites Máximos Permisibles para la descarga de efluentes líquidos de Actividades Minero - Metalúrgicas

**DECRETO SUPREMO
N° 010-2010-MINAM**

EL PRESIDENTE DE LA REPÚBLICA:

CONSIDERANDO:

Que, el artículo 3° de la Ley N° 28611, Ley General del Ambiente, dispone que el Estado, a través de sus entidades y órganos correspondientes, diseña y aplica, las políticas, normas, instrumentos, incentivos y sanciones que sean necesarias para garantizar el efectivo ejercicio de los derechos y el cumplimiento de las obligaciones y responsabilidades contenidas en dicha ley;

Que, el artículo 32° de la Ley N° 28611 modificado por el Decreto Legislativo N° 1055, establece que la determinación del Límite Máximo Permissible - LMP, corresponde al Ministerio del Ambiente y su cumplimiento es exigible legalmente por éste y los organismos que conforman el Sistema Nacional de Gestión Ambiental;

Que, el numeral 33.4 del artículo 33° de la Ley N° 28611 en mención dispone que, en el proceso de revisión de los parámetros de contaminación ambiental, con la finalidad de determinar nuevos niveles de calidad, se aplica el principio de la gradualidad, permitiendo ajustes progresivos a dichos niveles para las actividades en curso;

Que, el literal d) del artículo 7° del Decreto Legislativo N° 1013, Ley de Creación, Organización y Funciones del Ministerio del Ambiente - MINAM, modificado por el Decreto Legislativo N° 1039, establece como función específica de dicho Ministerio elaborar los ECA y LMP, de acuerdo con los planes respectivos. Deben contar con la opinión del sector correspondiente, debiendo ser aprobados mediante Decreto Supremo;

Que, mediante Resolución Ministerial N° 011-96-EM-VMM, se aprobaron los niveles máximos permisibles para efluentes líquidos minero-metalúrgicos;

Que, el conocimiento actual de las condiciones de biodisponibilidad y biotoxicidad de los elementos que contiene los efluentes líquidos descargados al ambiente por acción antrópica y la forma en la que éstos pueden afectar los ecosistemas y la salud humana, concluyen que es necesario que los LMP se actualicen para las Actividades Minero-Metalúrgicas, a efecto que cumplan con los objetivos de protección ambiental;

Que, el Ministerio de Energía y Minas ha remitido una propuesta de actualización de LMP para la descarga de efluentes líquidos de Actividades Minero-Metalúrgicas, la misma que fue publicada para consulta y discusión pública en el Diario Oficial El Peruano habiéndose recibido comentarios y observaciones que han sido debidamente mentuados;

De conformidad con lo dispuesto en el numeral 8 del artículo 118° de la Constitución Política del Perú, y el numeral 3 del artículo 11° de la Ley N° 29158, Ley Orgánica del Poder Ejecutivo;

DECRETA:**Artículo 1°.- Objeto**

Aprobar los Límites Máximos Permisibles - LMP, para la descarga de efluentes líquidos de Actividades Minero - Metalúrgicas de acuerdo a los valores que se indica en el Anexo 01 que forma parte integrante del presente Decreto Supremo.

Artículo 2°.- Ámbito de Aplicación

El presente Decreto Supremo es aplicable a todas las actividades minero-metalúrgicas que se desarrollen dentro del territorio nacional.

Artículo 3°.- Definiciones

Para la aplicación del presente Decreto Supremo se utilizarán los siguientes términos y definiciones:

³ **3.1 Autoridad Competente.-** Autoridad que ejerce las funciones de evaluación y aprobación de los instrumentos de gestión ambiental de la actividad minero-metalúrgica. En el caso de la gran y mediana minería dicha Autoridad Competente es el Ministerio de Energía y Minas, mientras que para la pequeña minería y minería artesanal son los Gobiernos Regionales.

3.2 Efluente Líquido de Actividades Minero - Metalúrgicas.- Es cualquier flujo regular o estacional de sustancia líquida descargada a los cuerpos receptores, que proviene de:

a) Cualquier labor, excavación o movimiento de tierras efectuado en el terreno cuyo propósito es el

desarrollo de actividades mineras o actividades conexas, incluyendo exploración, explotación, beneficio, transporte y cierre de minas, así como campamentos, sistemas de abastecimiento de agua o energía, talleres, almacenes, vías de acceso de uso industrial (excepto de uso público), y otros;

b) Cualquier planta de procesamiento de minerales, incluyendo procesos de trituración, molienda, flotación, separación gravimétrica, separación magnética, amalgamación, reducción, tostación, sinterización, fundición, refinación, lixiviación, extracción por solventes, electrodeposición y otros;

c) Cualquier sistema de tratamiento de aguas residuales asociado con actividades mineras o conexas, incluyendo plantas de tratamiento de efluentes mineros, efluentes industriales y efluentes domésticos;

d) Cualquier depósito de residuos mineros, incluyendo depósitos de relaves, desmontes, escorias y otros;

e) Cualquier infraestructura auxiliar relacionada con el desarrollo de actividades mineras; y,

f) Cualquier combinación de los antes mencionados.

3.3 Ente Fiscalizador.- Autoridad que ejerce las funciones de fiscalización y sanción de la actividad minera-metalúrgica; para la gran y mediana minería será el Organismo Supervisor de la Inversión en Energía y Minería - OSINERGMIN, hasta que el Organismo de Evaluación y Fiscalización del Ambiente - OEFA asuma dichas funciones, y para la pequeña minería y minería artesanal de los Gobiernos Regionales.

3.4 Límite Máximo Permissible (LMP).- Medida de la concentración o del grado de elementos, sustancias o parámetros físicos, químicos y biológicos, que caracterizan al efluente líquido de actividades minero-metalúrgicas, y que al ser excedida causa o puede causar daños a la salud, al bienestar humano y al ambiente. Su cumplimiento es exigible legalmente por el Ministerio del Ambiente y los organismos que conforman el sistema de gestión ambiental.

3.5 Límite en cualquier momento.- Valor del parámetro que no debe ser excedido en ningún momento. Para la aplicación de sanciones por incumplimiento del límite en cualquier momento, éste deberá ser verificado por el fiscalizador o la Autoridad Competente mediante un monitoreo realizado de conformidad con el Protocolo de Monitoreo de Aguas y Efluentes.

3.6 Límite promedio anual.- Valor del parámetro que no debe ser excedido por el promedio aritmético de todos los resultados de los monitoreos realizados durante los últimos doce meses previos a la fecha de referencia, de conformidad con el Protocolo de Monitoreo de Aguas y Efluentes y el Programa de Monitoreo.

3.7 Monitoreo de Efluentes Líquidos.- Evaluación sistemática y periódica de la calidad de un efluente en un Punto de Control determinado, mediante la medición de parámetros de campo, toma de muestras y análisis de las propiedades físicas, químicas y fisicoquímicas de las mismas, de conformidad con el Protocolo de Monitoreo de Aguas y Efluentes.

3.8 Parámetro.- Cualquier elemento, sustancia o propiedad física, química o biológica del efluente líquido de actividades minero-metalúrgicas que define su calidad y que se encuentra regulado por el presente Decreto Supremo.

3.9 Punto de Control de Efluentes Líquidos.- Ubicación aprobada por la Autoridad Competente en la cual es obligatorio el cumplimiento de los Límites Máximos Permisibles.

3.10 Programa de Monitoreo.- Documento de cumplimiento obligatorio por el titular minero, contiene la ubicación de los puntos de control de efluentes y cuerpo receptor, los parámetros y frecuencias de monitoreo de cada punto para un determinado centro de actividades minero - metalúrgicas.

Es aprobado por la Autoridad Competente como parte de la Certificación Ambiental y puede ser modificado por ésta de oficio o a pedido de parte, a efectos de eliminar, agregar o modificar puntos de control del efluente y cuerpo

receptor, parámetros o frecuencias, siempre que exista el sustento técnico apropiado. El Ente Fiscalizador podrá recomendar las modificaciones que considere apropiadas a consecuencia de las acciones de fiscalización.

El Programa de Monitoreo considerará, además de los parámetros indicados en el presente anexo, los parámetros siguientes:

- a) Caudal
- b) Conductividad eléctrica
- c) Temperatura del efluente
- d) Turbiedad

La autoridad Competente podrá disponer el monitoreo de otros parámetros que no estén regulados en el presente Decreto Supremo, cuando existan indicios razonables de riesgo a la salud humana o al ambiente.

3.11 Protocolo de Monitoreo.- Norma aprobada por el Ministerio de Energía y Minas en coordinación con el Ministerio del Ambiente, en la que se indican los procedimientos que se deben seguir para el monitoreo del cuerpo receptor y de efluentes líquidos de actividades minero - metalúrgicas. Sólo será considerado válido el monitoreo realizado de conformidad con este Protocolo, su cumplimiento es materia de fiscalización.

3.12 Plan de Implementación para el Cumplimiento de los LMP.- Documento mediante el cual el Titular Minero justifica técnicamente la necesidad de un plazo de adecuación mayor al indicado, de acuerdo al artículo 4° numeral 4.2. del presente Decreto Supremo, el cual describe las acciones e inversiones que ejecutará para garantizar el cumplimiento de los LMP. Este Plan se incorporará al correspondiente estudio ambiental y de ser el caso será parte de la actualización del plan de manejo ambiental señalada en el artículo 30° del Reglamento de la Ley N° 27446, aprobado por Decreto Supremo N° 019-2009-MINAM.

3.13 Titular Minero.- Es la persona natural o jurídica que ejerce la actividad minera.

Artículo 4°.- Cumplimiento de los LMP y plazo de adecuación

4.1 El cumplimiento de los LMP que se aprueban por el presente dispositivo es de exigencia inmediata para las actividades minero - metalúrgicas en el territorio nacional cuyos estudios ambientales sean presentados con posterioridad a la fecha de la vigencia del presente Decreto Supremo.

4.2 Los titulares mineros que a la entrada en vigencia del presente Decreto Supremo cuenten con estudios ambientales aprobados, o se encuentren desarrollando actividades minero - metalúrgicas, deberán adecuar sus procesos, en el plazo máximo de veinte (20) meses contados a partir de la entrada en vigencia de este dispositivo, a efectos de cumplir con los LMP que se establecen.

Los titulares mineros que hayan presentado sus estudios ambientales con anterioridad a la entrada en vigencia del presente Decreto Supremo y son aprobados con posterioridad a éste, computarán el plazo de adecuación a partir de la fecha de expedición de la Resolución que apruebe el Estudio Ambiental.

4.3 Sólo en los casos que requieran el diseño y puesta en operación de nueva infraestructura de tratamiento para el cumplimiento de los LMP, la Autoridad Competente podrá otorgar un plazo máximo de treinta y seis (36) meses contados a partir de la vigencia del presente Decreto Supremo, para lo cual el Titular Minero deberá presentar un Plan de Implementación para el Cumplimiento de los LMP, que describa las acciones e inversiones que se ejecutará para garantizar el cumplimiento de los LMP y justifique técnicamente la necesidad del mayor plazo.

El Plan en mención deberá ser presentado dentro de los seis (06) meses contados a partir de la entrada en vigencia del presente dispositivo.

Mediante Resolución Ministerial, el Ministerio de Energía y Minas aprobará los criterios y procedimientos para la evaluación de los Planes de Implementación para el Cumplimiento de los LMP, así como los Términos de Referencia que determinen su contenido mínimo.

Artículo 5°.- Prohibición de dilución o mezcla de Efluentes

De acuerdo con lo previsto en el artículo 113° de la Ley N° 28611, Ley General del Ambiente, todo Titular Minero tiene el deber de minimizar sus impactos sobre las aguas naturales, para lo cual debe limitar su consumo de agua fresca a lo mínimo necesario.

No está permitido diluir el efluente líquido con agua fresca antes de su descarga a los cuerpos receptores con la finalidad de cumplir con los LMP establecidos en el artículo 1° del presente Decreto Supremo.

Asimismo, no está permitida la mezcla de efluentes líquidos domésticos e industriales, a menos que la ingeniería propuesta para el tratamiento o manejo de aguas, así lo exija, lo cual deberá ser justificado técnicamente por el Titular Minero y aprobado por la autoridad Competente.

Artículo 6°.- Resultados del monitoreo

La Dirección General de Asuntos Ambientales Mineros del Ministerio de Energía y Minas, es responsable de la administración de la base de datos de monitoreo de efluentes líquidos y calidad de agua de todas las actividades minero - metalúrgicas; los titulares mineros están obligados a reportar a dicha Dirección General los resultados del monitoreo realizado. Asimismo, el Ente Fiscalizador deberá remitir a la citada Dirección General los resultados del monitoreo realizado como parte de sus actividades de fiscalización.

La Dirección General de Asuntos Ambientales Mineros garantizará el acceso oportuno y eficiente a la base de datos al Ente Fiscalizador. Asimismo, deberá elaborar dentro de los primeros sesenta (60) días calendario de cada año, un informe estadístico a partir de los datos de monitoreo reportados por los titulares mineros durante el año anterior, el cual será remitido al Ministerio del Ambiente.

Artículo 7°.- Fiscalización y Sanción

La fiscalización y sanción por el incumplimiento de los LMP aprobados en el presente Decreto Supremo, así como de la ejecución del Plan de Implementación para el Cumplimiento de los LMP está a cargo del Ente Fiscalizador; quien en el desarrollo de sus funciones, recurrirá, entre otros, a la base de datos de monitoreo ambiental administrada por la Dirección General de Asuntos Ambientales Mineros del Ministerio de Energía y Minas.

Artículo 8°.- Coordinación interinstitucional

Si en el ejercicio de su función de fiscalización, supervisión y/o vigilancia, alguna autoridad toma conocimiento de la ocurrencia de alguna infracción ambiental relacionada al incumplimiento de los LMP aprobados por el presente dispositivo, y cuya sanción no es de su competencia, deberá informar al Ente Fiscalizador correspondiente o a la autoridad competente, adjuntando la documentación correspondiente.

Artículo 9°.- Regímenes de Excepción

De manera excepcional, la Autoridad Competente podrá exigir el cumplimiento de límites de descarga más rigurosos a los aprobados por el presente Decreto Supremo, cuando de la evaluación del correspondiente instrumento de gestión ambiental se concluya que la implementación de la actividad implicaría el incumplimiento del respectivo Estándar de Calidad Ambiental - ECA.

Artículo 10°.- Refrendo

El presente Decreto Supremo será refrendado por el Ministro del Ambiente y por el Ministro de Energía y Minas.

DISPOSICIONES COMPLEMENTARIAS FINALES

Primera.- El Ministerio de Energía y Minas, en coordinación con el Ministerio del Ambiente aprobará el Protocolo de Monitoreo de Aguas y Efluentes Líquidos en un plazo no mayor de doscientos cincuenta (250) días calendario contados a partir de su entrada en vigencia del presente Decreto Supremo.

Segunda.- En el plazo máximo de sesenta (60) días calendario contados a partir de la entrada en vigencia del presente Decreto Supremo, el Ministerio de Energía y

Minas aprobará los Términos de Referencia conforme a los cuales deba elaborarse el Plan de Implementación para el Cumplimiento de los LMP, así como el procedimiento de evaluación de dichos planes.

Tercera.- En el plazo de dos (02) años contados a partir de la entrada en vigencia del presente Decreto Supremo, el Ministerio del Ambiente en coordinación con el Ministerio de Energía y Minas evaluará la necesidad de establecer nuevos LMP para los siguientes parámetros:

- Nitrógeno amoniacal
- Nitrógeno como nitratos
- Demanda Química de Oxígeno
- Aluminio
- Antimonio
- Manganeso
- Molibdeno
- Níquel
- Fenol
- Radio 226
- Selenio
- Sulfatos

Para tal efecto, el Ministerio de Energía y Minas dispondrá la modificación de los Programas de Monitoreo de las actividades mineras en curso de modo que se incluyan los parámetros aquí mencionados.

DISPOSICIÓN COMPLEMENTARIA TRANSITORIA

Única.- Hasta la aprobación del Protocolo de Monitoreo de Aguas y Efluentes Líquidos se aplicará supletoriamente, el Protocolo de Monitoreo de Calidad de Agua, aprobado por Resolución Directoral N° 004-94-EM/DGAA.

DISPOSICIÓN COMPLEMENTARIA DEROGATORIA

Única.- Deróguese la Resolución Ministerial N° 011-96-EM/VMM, salvo los artículos 7°, 9°, 10°, 11° y 12°, así como los Anexos 03, 04, 05 y 06, los cuales mantienen su vigencia hasta la aprobación y entrada en vigencia del Protocolo de Monitoreo de Aguas y Efluentes Líquidos.

Dado en la Casa de Gobierno, en Lima, a los veinte días del mes de agosto del año dos mil diez.

ALAN GARCÍA PÉREZ
Presidente Constitucional de la República

ANTONIO JOSÉ BRACK EGG
Ministro del Ambiente

PEDRO SÁNCHEZ GAMARRA
Ministro de Energía y Minas

ANEXO 01

LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES PARA LA DESCARGA DE EFLUENTES LÍQUIDOS DE ACTIVIDADES MINERO - METALÚRGICAS

Parámetro	Unidad	Límite en cualquier momento	Límite para el Promedio anual
pH		6 - 9	6 - 9
Sólidos Totales en Suspensión	mg/L	50	25
Aceites y Grasas	mg/L	20	16
Cianuro Total	mg/L	1	0,8
Arsénico Total	mg/L	0,1	0,08
Cadmio Total	mg/L	0,05	0,04
Cromo Hexavalente(*)	mg/L	0,1	0,08
Cobre Total	mg/L	0,5	0,4
Hierro (Disuelto)	mg/L	2	1,6
Plomo Total	mg/L	0,2	0,16
Mercurio Total	mg/L	0,002	0,0016
Zinc Total	mg/L	1,5	1,2

(*) En muestra no filtrada

- Los valores indicados en la columna "Límite en cualquier momento" son aplicables a cualquier muestra colectada por el Titular Minero, el Ente Fiscalizador o la Autoridad Competente, siempre que el muestreo y análisis hayan sido realizados de conformidad con el Protocolo de Monitoreo de Aguas y Efluentes del Ministerio de Energía y Minas; en este Protocolo se establecerán entre otros aspectos, los niveles de precisión, exactitud y límites de detección del método utilizado.

- Los valores indicados en la columna "Promedio anual" se aplican al promedio aritmético de todas las muestras colectadas durante el último año calendario previo a la fecha de referencia, incluyendo las muestras recolectadas por el Titular Minero y por el Ente Fiscalizador siempre que éstas hayan sido recolectadas y analizadas de conformidad con el Protocolo de Monitoreo de Aguas y Efluentes del Ministerio de Energía y Minas

533964-1

COMERCIO EXTERIOR Y TURISMO

Autorizan viaje de representante de PROMPERÚ a la República Popular China para participar en la Feria "Asia Fruit Logística 2010"

RESOLUCIÓN SUPREMA
N° 103-2010-MINCETUR

Lima, 20 de agosto de 2010

Visto el Oficio N° 301-2010-PROMPERU/SG, de la Secretaría General de la Comisión de Promoción del Perú para la Exportación y el Turismo - PROMPERÚ.

CONSIDERANDO:

Que, la Comisión de Promoción del Perú para la Exportación y el Turismo - PROMPERÚ, es un organismo público técnico especializado adscrito al Ministerio de Comercio Exterior y Turismo, competente para proponer y ejecutar los planes y estrategias de promoción de bienes y servicios exportables, así como de turismo interno y receptivo, promoviendo y difundiendo la imagen del Perú en materia turística y de exportaciones;

Que, PROMPERÚ, conjuntamente con cuatro empresas agroexportadoras y cinco gremios exportadores nacionales, han programado su participación en la Feria "ASIA FRUIT LOGÍSTICA 2010", organizado por la empresa Messe Berlín GMBH, a realizarse en la ciudad de Hong Kong, República Popular China, del 8 al 10 de setiembre del 2010, con el objetivo de promover las exportaciones de frutas y hortalizas frescas en el mercado asiático, a fin de consolidar nuestra presencia como país abastecedor de frutas y hortalizas de calidad;

Que, la participación de PROMPERÚ en este evento permitirá evaluar la participación de las empresas peruanas exportadoras en dicho mercado, así como conocer los aspectos de la cadena de comercialización y distribución de frutas y hortalizas entre las ciudades chinas de Hong Kong y Guangzhou;

Que, la Secretaría General de PROMPERÚ ha solicitado que se autorice el viaje del señor Víctor Germán Sarabia Molina, quien presta servicios en dicha entidad, para que en representación de PROMPERÚ, participe en la referida feria, realizando acciones de promoción de las exportaciones de importancia para el país y coordinando cuanto se refiere a la instalación del stand peruano;

Que, la Ley N° 29465, Ley de Presupuesto del Sector Público para el Año Fiscal 2010, prohíbe los viajes al exterior con cargo a recursos públicos, salvo los casos excepcionales que la misma Ley señala, entre ellos, los viajes que se efectúen en el marco de las acciones de promoción de importancia para el Perú, los que deben realizarse en categoría económica y ser autorizados por Resolución Suprema;

De conformidad con el Decreto de Urgencia N° 001-2010, la Ley N° 27790, de Organización y Funciones del

377222


NORMAS LEGALES
El Peruano
Lima, Jueves 31 de julio de 2008

Diagnóstico y el usuario esté dispuesto a proporcionarlos, el valor de dichos insumos será descontado del precio del servicio, previa presentación de la copia del comprobante de pago. Los insumos requeridos deberán ceñirse a las especificaciones técnicas exigidas por el SENASA.

Regístrese, comuníquese y publíquese.

OSCAR M. DOMINGUEZ FALCON
Jefe (e)
Servicio Nacional de Sanidad Agraria

232229-1

AMBIENTE

Aprueban los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Agua

DECRETO SUPREMO
N° 002-2008-MINAM

EL PRESIDENTE DE LA REPÚBLICA

CONSIDERANDO:

Que, en el inciso 22 del artículo 2° de la Constitución Política del Perú establece que toda persona tiene derecho a gozar de un ambiente equilibrado y adecuado al desarrollo de su vida; señalando en su artículo 67° que el Estado determina la Política Nacional del Ambiente;

Que, el artículo I del Título Preliminar de la Ley N° 28611-Ley General del Ambiente, establece que toda persona tiene el derecho irrenunciable a vivir en un ambiente saludable, equilibrado y adecuado para el pleno desarrollo de la vida, y el deber de contribuir a una efectiva gestión ambiental y de proteger el ambiente, así como sus componentes, asegurando particularmente la salud de las personas en forma individual y colectiva, la conservación de la diversidad biológica, el aprovechamiento sostenible de los recursos naturales y el desarrollo sostenible del país;

Que, el artículo 1° de la Ley N° 28817-Ley que establece los plazos para la elaboración y aprobación de los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) y de Límites Máximos Permisibles (LMP) de Contaminación Ambiental, dispuso que la Autoridad Ambiental Nacional culminaría la elaboración y revisión de los ECA y LMP en un plazo no mayor de dos (02) años, contados a partir de la vigencia de dicha Ley;

Que con fecha 16 de junio de 1999 se instaló el GESTA AGUA, cuya finalidad fue elaborar los Estándares de Calidad Ambiental para Agua - ECA para Agua, estando conformado dicho Grupo de Trabajo por 21 instituciones del sector público, privado y académico, actuando la Dirección General de Salud Ambiental – DIGESA como Secretaría Técnica;

Que, mediante Oficio N° 8262-2006/DG/DIGESA de fecha 28 de diciembre de 2006, la Dirección General de Salud Ambiental –DIGESA, en coordinación con el Instituto Nacional de Recursos Naturales -INRENA, en calidad de Secretaría Técnica Colegiada del GESTA

AGUA, remitió al CONAM, la propuesta de Estándares de Calidad Ambiental-ECA para Agua con la finalidad de tramitar su aprobación formal;

Que, por Acta del Grupo de Trabajo GESTA AGUA, de fecha 24 de octubre de 2007, se aprobó la propuesta de Estándares Nacionales de Calidad Ambiental (ECA) para Agua;

Que, mediante Decreto Legislativo N° 1013 se aprobó la Ley de Creación, Organización y Funciones del Ministerio del Ambiente, señalándose su ámbito de competencia sectorial y regulándose su estructura orgánica y funciones, siendo una de sus funciones específicas la de elaborar los Estándares de Calidad Ambiental y Límites Máximos Permisibles;

Que, contando con la propuesta de Estándares Nacionales de Calidad Ambiental (ECA) para agua, corresponde aprobarlos mediante Decreto Supremo, conforme a lo establecido en el artículo 7° del Decreto Legislativo N° 1013;

De conformidad con lo dispuesto en la Ley General del Ambiente, Ley N° 28611 y el Decreto Legislativo N° 1013;

En uso de las facultades conferidas por el artículo 118° de la Constitución Política del Perú;

DECRETA:

Artículo 1°.- Aprobación de los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Agua

Aprobar los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Agua, contenidos en el Anexo I del presente Decreto Supremo, con el objetivo de establecer el nivel de concentración o el grado de elementos, sustancias o parámetros físicos, químicos y biológicos presentes en el agua, en su condición de cuerpo receptor y componente básico de los ecosistemas acuáticos, que no representa riesgo significativo para la salud de las personas ni para el ambiente. Los Estándares aprobados son aplicables a los cuerpos de agua del territorio nacional en su estado natural y son obligatorios en el diseño de las normas legales y las políticas públicas siendo un referente obligatorio en el diseño y aplicación de todos los instrumentos de gestión ambiental.

Artículo 2°.- Refrendo

El presente Decreto Supremo será refrendado por el Ministro del Ambiente.

DISPOSICIÓN COMPLEMENTARIA TRANSITORIA

Única.- El Ministerio del Ambiente dictará las normas para la implementación de los Estándares de Calidad Ambiental para Agua, como instrumentos para la gestión ambiental por los sectores y niveles de gobierno involucrados en la conservación y aprovechamiento sostenible del recurso agua.

Dado en la Casa de Gobierno, en Lima, a los treinta días del mes de julio del año dos mil ocho.

ALAN GARCÍA PÉREZ
Presidente Constitucional de la República

ANTONIO JOSÉ BRACK EGG
Ministro del Ambiente

El Peruano

DIARIO OFICIAL

REQUISITO PARA PUBLICACIÓN DE NORMAS LEGALES Y SENTENCIAS

Se comunica al Congreso de la República, Poder Judicial, Ministerios, Organismos Autónomos y Descentralizados, Gobiernos Regionales y Municipalidades que, para efecto de publicar sus dispositivos y sentencias en la Separata de Normas Legales y Separatas Especiales respectivamente, deberán además remitir estos documentos en disquete o al siguiente correo electrónico. normaslegales@editoraperu.com.pe

LA DIRECCIÓN



ANEXO I

ESTÁNDARES NACIONALES DE CALIDAD AMBIENTAL PARA AGUA

CATEGORÍA 1: POBLACIONAL Y RECREACIONAL

PARÁMETRO	UNIDAD	Aguas superficiales destinadas a la producción de agua potable			Aguas superficiales destinadas para recreación	
		A1	A2	A3	B1	B2
		Aguas que pueden ser potabilizadas con desinfección	Aguas que pueden ser potabilizadas con tratamiento convencional	Aguas que pueden ser potabilizadas con tratamiento avanzado	Contacto Primario	Contacto Secundario
		VALOR	VALOR	VALOR	VALOR	VALOR
FÍSICOS Y QUÍMICOS						
Aceites y grasas (MEH)	mg/L	1	1,00	1,00	Ausencia de película visible	**
Cianuro Libre	mg/L	0,005	0,022	0,022	0,022	0,022
Cianuro Wad	mg/L	0,08	0,08	0,08	0,08	**
Cloruros	mg/L	250	250	250	**	**
Color	Color verdadero escala Pt/Co	15	100	200	sin cambio normal	sin cambio normal
Conductividad	us/cm ²⁵	1 500	1 600	**	**	**
D.B.O. ₅	mg/L	3	5	10	5	10
D.Q.O.	mg/L	10	20	30	30	50
Dureza	mg/L	500	**	**	**	**
Detergentes (SAAM)	mg/L	0,5	0,5	na	0,5	Ausencia de espuma persistente
Fenoles	mg/L	0,003	0,01	0,1	**	**
Fluoruros	mg/L	1	**	**	**	**
Fósforo Total	mg/L P	0,1	0,15	0,15	**	**
Materiales Flotantes		Ausencia de material flotante	**	**	Ausencia de material flotante	Ausencia de material flotante
Nitratos	mg/L N	10	10	10	10	**
Nitritos	mg/L N	1	1	1	1(5)	**
Nitrógeno amoniacal	mg/L N	1,5	2	3,7	**	**
Olor		Aceptable	**	**	Aceptable	**
Oxígeno Disuelto	mg/L	>= 6	>= 5	>= 4	>= 5	>= 4
pH	Unidad de pH	6,5 – 8,5	5,5 – 9,0	5,5 – 9,0	6-9 (2,5)	**
Sólidos Disueltos Totales	mg/L	1 000	1 000	1 500	**	**
Sulfatos	mg/L	250	**	**	**	**
Sulfuros	mg/L	0,05	**	**	0,05	**
Turbiedad	UNT ⁹⁰	5	100	**	100	**
INORGÁNICOS						
Aluminio	mg/L	0,2	0,2	0,2	0,2	**
Antimonio	mg/L	0,006	0,006	0,006	0,006	**
Arsénico	mg/L	0,01	0,01	0,05	0,01	**
Bario	mg/L	0,7	0,7	1	0,7	**
Berilio	mg/L	0,004	0,04	0,04	0,04	**
Boro	mg/L	0,5	0,5	0,75	0,5	**
Cadmio	mg/L	0,003	0,003	0,01	0,01	**
Cobre	mg/L	2	2	2	2	**
Cromo Total	mg/L	0,05	0,05	0,05	0,05	**
Cromo VI	mg/L	0,05	0,05	0,05	0,05	**
Hierro	mg/L	0,3	1	1	0,3	**
Manganeso	mg/L	0,1	0,4	0,5	0,1	**
Mercurio	mg/L	0,001	0,002	0,002	0,001	**
Níquel	mg/L	0,02	0,025	0,025	0,02	**
Plata	mg/L	0,01	0,05	0,05	0,01	0,05
Plomo	mg/L	0,01	0,05	0,05	0,01	**
Selenio	mg/L	0,01	0,05	0,05	0,01	**
Uranio	mg/L	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
Vanadio	mg/L	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
Zinc	mg/L	3	5	5	3	**
ORGÁNICOS						
I. COMPUESTOS ORGÁNICOS VOLÁTILES						
Hidrocarburos totales de petróleo, HTPP	mg/L	0,05	0,2	0,2		
Trihalometanos	mg/L	0,1	0,1	0,1	**	**
Compuestos Orgánicos Volátiles, COVs						
1,1,1-Tricloroetano -- 71-55-6	mg/L	2	2	**	**	**
1,1-Dicloroetano -- 75-35-4	mg/L	0,03	0,03	**	**	**
1,2-Dicloroetano -- 107-06-2	mg/L	0,03	0,03	**	**	**
1,2-Diclorobenceno -- 95-50-1	mg/L	1	1	**	**	**
Hexaclorobutadieno -- 87-68-3	mg/L	0,0006	0,0006	**	**	**
Tetracloroetano -- 127-18-4	mg/L	0,04	0,04	**	**	**
Tetracloruro de Carbono -- 56-23-5	mg/L	0,002	0,002	**	**	**
Tricloroetano -- 79-01-6	mg/L	0,07	0,07	**	**	**
BETX						

377224


NORMAS LEGALES

 El Peruano
 Lima, jueves 31 de julio de 2008

PARÁMETRO	UNIDAD	Aguas superficiales destinadas a la producción de agua potable			Aguas superficiales destinadas para recreación	
		A1	A2	A3	B1	B2
		Aguas que pueden ser potabilizadas con desinfección	Aguas que pueden ser potabilizadas con tratamiento convencional	Aguas que pueden ser potabilizadas con tratamiento avanzado	Contacto Primario	Contacto Secundario
		VALOR	VALOR	VALOR	VALOR	VALOR
Benceno -- 71-43-2	mg/L	0,01	0,01	**	**	**
Etilbenceno -- 100-41-4	mg/L	0,3	0,3	**	**	**
Tolueno -- 108-88-3	mg/L	0,7	0,7	**	**	**
Xilenos -- 1330-20-7	mg/L	0,5	0,5	**	**	**
Hidrocarburos Aromáticos						
Benzo(a)pireno -- 50-32-8	mg/L	0,0007	0,0007	**	**	**
Pentaclorofenol (PCP)	mg/L	0,009	0,009	**	**	**
Triclorobencenos (Totales)	mg/L	0,02	0,02	**	**	**
Plaguicidas						
Organofosforados:						
Malatión	mg/L	0,0001	0,0001	**	**	**
Metamidofós (restringido)	mg/L	Ausencia	Ausencia	Ausencia	**	**
Paraquat (restringido)	mg/L	Ausencia	Ausencia	Ausencia	**	**
Paratión	mg/L	Ausencia	Ausencia	Ausencia	**	**
Organoclorados (COP)*:						
Aldrin -- 309-00-2	mg/L	Ausencia	Ausencia	Ausencia	**	**
Clordano	mg/L	Ausencia	Ausencia	Ausencia	**	**
DDT	mg/L	Ausencia	Ausencia	Ausencia	**	**
Dieldrin -- 60-57-1	mg/L	Ausencia	Ausencia	Ausencia	**	**
Endosulfán	mg/L	0,000056	0,000056	*	**	**
Endrin -- 72-20-8	mg/L	Ausencia	Ausencia	Ausencia	**	**
Heptacloro -- 76-44-8	mg/L	Ausencia	Ausencia	Ausencia	**	**
Heptacloro epóxido 1024-57-3	mg/L	0,00003	0,00003	*	**	**
Lindano	mg/L	Ausencia	Ausencia	Ausencia	**	**
Carbamatos:						
Aldicarb (restringido)	mg/L	Ausencia	Ausencia	Ausencia	**	**
Policloruros Bifenilos Totales						
(PCBs)	mg/L	0,000001	0,000001	**	**	**
Otros						
Asbesto	Millones de fibras/L	7	**	**	**	**
MICROBIOLÓGICO						
Coliformes Termotolerantes (44,5 °C)	NMP/100 mL	0	2 000	20 000	200	1 000
Coliformes Totales (35 - 37 °C)	NMP/100 mL	50	3 000	50 000	1 000	4 000
Enterococos fecales	NMP/100 mL	0	0		200	**
<i>Escherichia coli</i>	NMP/100 mL	0	0		Ausencia	Ausencia
Formas parasitarias	Organismo/Litro	0	0		0	
<i>Giardia duodenalis</i>	Organismo/Litro	Ausencia	Ausencia	Ausencia	Ausencia	Ausencia
<i>Salmonella</i>	Presencia/100 mL	Ausencia	Ausencia	Ausencia	0	0
<i>Vibrio Cholerae</i>	Presencia/100 mL	Ausencia	Ausencia	Ausencia	Ausencia	Ausencia

UNT Unidad Nefelométrica Turbiedad

NMP/ 100 mL Número más probable en 100 mL

* Contaminantes Orgánicos Persistentes (COP)

** Se entenderá que para esta subcategoría, el parámetro no es relevante, salvo casos específicos que la Autoridad competente determine.

CATEGORÍA 2: ACTIVIDADES MARINO COSTERAS

PARÁMETRO	UNIDADES	AGUA DE MAR		
		Sub Categoría 1	Sub Categoría 2	Sub Categoría 3
		Extracción y Cultivo de Moluscos Bivalvos (C1)	Extracción y cultivo de otras especies hidrobiológicas (C2)	Otras Actividades (C3)
ORGANOLÉPTICOS				
Hidrocarburos de Petróleo		No Visible	No Visible	No Visible
FISICOQUÍMICOS.				
Aceites y grasas	mg/L	1,0	1,0	2,0
DBO ₅	mg/L	**	10,0	10,0
Oxígeno Disuelto	mg/L	>=4	>=3	>=2,5
pH	Unidad de pH	7 - 8,5	6,8 - 8,5	6,8 - 8,5
Sólidos Suspendedos Totales	mg/L	**	50,0	70,0
Sulfuro de Hidrógeno	mg/L	**	0,06	0,08
Temperatura	cebios	**delta 3 °C	**delta 3 °C	**delta 3 °C
INORGÁNICOS				
Amoniaco	mg/L	**	0,08	0,21
Arsénico total	mg/L	0,05	0,05	0,05
Cadmio total	mg/L	0,0093	0,0093	0,0093
Cobre total	mg/L	0,0031	0,05	0,05
Cromo VI	mg/L	0,05	0,05	0,05
Fosfatos (P-PO4)	mg/L	**	0,03 - 0,09	0,1



PARÁMETRO	UNIDADES	AGUA DE MAR		
		Sub Categoría 1	Sub Categoría 2	Sub Categoría 3
		Extracción y Cultivo de Moluscos Bivalvos (C1)	Extracción y cultivo de otras especies hidrobiológicas (C2)	Otras Actividades (C3)
Mercurio total	mg/L	0,0094	0,0001	0,0001
Níquel total	mg/L	0,0082	0,1	0,1
Nitratos (N-NO ₃)	mg/L	**	0,07 - 0,28	0,3
Plomo total	mg/L	0,0081	0,0081	0,0081
Silicatos (Si-Si O ₃)	mg/L	**	0,14 - 0,70	**
Zinc total	mg/L	0,081	0,081	0,081
ORGÁNICOS				
Hidrocarburos de petróleo totales (fracción aromática)	mg/L	0,007	0,007	0,01
MICROBIOLÓGICOS				
Coliformes Termotolerantes	NMP/100mL	* ≤14 (área aprobada)	≤30	1000
Coliformes Termotolerantes	NMP/100mL	* ≤88 (área restringida)		

NMP/ 100 mL Número más probable en 100 mL

* Área Aprobada : Áreas de dónde se extraen ó cultivan moluscos bivalvos seguros para el comercio directo y consumo, libres de contaminación fecal humana ó animal, de organismos patógenos ó cualquier sustancia deletérea ó venenosa y potencialmente peligrosa.

* Área Restringida: Áreas acuáticas impactadas por un grado de contaminación donde se extraen moluscos bivalvos seguros para consumo humano luego de ser depurados

** Se entenderá que para este uso, el parámetro no es relevante, salvo casos específicos que la Autoridad competente lo determine

*** La temperatura corresponde al promedio mensual multianual del área evaluada.

CATEGORÍA 3: RIEGO DE VEGETALES Y BEBIDAS DE ANIMALES

PARÁMETROS PARA RIEGO DE VEGETALES DE TALLO BAJO Y TALLO ALTO		
PARÁMETROS	UNIDAD	VALOR
Fisicoquímicos		
Bicarbonatos	mg/L	370
Calcio	mg/L	200
Carbonatos	mg/L	5
Cloruros	mg/L	100-700
Conductividad	(uS/cm)	<2 000
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/L	15
Demanda Química de Oxígeno	mg/L	40
Fluoruros	mg/L	1
Fosfatos - P	mg/L	1
Nitratos (NO ₃ -N)	mg/L	10
Nitritos (NO ₂ -N)	mg/L	0,06
Oxígeno Disuelto	mg/L	> =4
pH	Unidad de pH	6,5 - 8,5
Sodio	mg/L	200
Sulfatos	mg/L	300
Sulfuros	mg/L	0,05
Inorgánicos		
Aluminio	mg/L	5
Arsénico	mg/L	0,05
Bario total	mg/L	0,7
Boro	mg/L	0,5-6
Cadmio	mg/L	0,005
Cianuro Wad	mg/L	0,1
Cobalto	mg/L	0,05
Cobre	mg/L	0,2
Cromo (6+)	mg/L	0,1
Hierro	mg/L	1
Litio	mg/L	2,5
Magnesio	mg/L	150
Manganeso	mg/L	0,2
Mercurio	mg/L	0,001
Níquel	mg/L	0,2
Plata	mg/L	0,05
Plomo	mg/L	0,05
Selenio	mg/L	0,05
Zinc	mg/L	2
Orgánicos		
Aceites y Grasas	mg/L	1
Fenoles	mg/L	0,001
S.A.A.M. (detergentes)	mg/L	1
Plaguicidas		
Aldicarb	ug/L	1
Aldrin (CAS 309-00-2)	ug/L	0,004
Clordano (CAS 57-74-9)	ug/L	0,3
DDT	ug/L	0,001
Dieldrin (N° CAS 72-20-8)	ug/L	0,7
Endrin	ug/L	0,004

PARÁMETROS PARA RIEGO DE VEGETALES DE TALLO BAJO Y TALLO ALTO		
PARÁMETROS	UNIDAD	VALOR
Endosulfán	ug/L	0,02
Heptacloro (N° CAS 76-44-8) y heptacloropóxido	ug/L	0,1
Lindano	ug/L	4
Paratión	ug/L	7,5

CATEGORÍA 3: RIEGO DE VEGETALES Y BEBIDAS DE ANIMALES

PARÁMETROS PARA RIEGO DE VEGETALES.			
PARÁMETROS	UNIDAD	Vegetales Tallo Bajo	Vegetales Tallo Alto
		Valor	Valor
Biológicos			
Coliformes Termotolerantes	NMP/100mL	1 000	2 000(3)
Coliformes Totales	NMP/100mL	5 000	5 000(3)
Enterococos	NMP/100mL	20	100
<i>Escherichia coli</i>	NMP/100mL	100	100
Huevos de Helmintos	huevo/litro	<1	<1(1)
<i>Salmonella</i> sp.		Ausente	Ausente
<i>Vibrio cholerae</i>		Ausente	Ausente
PARÁMETROS PARA BEBIDAS DE ANIMALES			
PARÁMETROS	UNIDAD	VALOR	
Fisicoquímicos			
Conductividad Eléctrica	(uS/cm)	<=5000	
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/L	<=15	
Demanda Química de Oxígeno	mg/L	40	
Fluoruro	mg/L	2	
Nitratos-(NO3-N)	mg/L	50	
Nitritos (NO2-N)	mg/L	1	
Oxígeno Disuelto	mg/L	> 5	
pH	Unidades de pH	6,5 – 8,4	
Sulfatos	mg/L	500	
Sulfuros	mg/L	0,05	
Inorgánicos			
Aluminio	mg/L	5	
Arsénico	mg/L	0,1	
Berilio	mg/L	0,1	
Boro	mg/L	5	
Cadmio	mg/L	0,01	
Cianuro WAD	mg/L	0,1	
Cobalto	mg/L	1	
Cobre	mg/L	0,5	
Cromo (6+)	mg/L	1	
Hierro	mg/L	1	
Litio	mg/L	2,5	
Magnesio	mg/L	150	
Manganeso	mg/L	0,2	
Mercurio	mg/L	0,001	
Niquel	mg/L	0,2	
Plata	mg/L	0,05	
Plomo	mg/L	0,05	
Selenio	mg/L	0,05	
Zinc	mg/L	24	
Orgánicos			
Aceites y Grasas	mg/L	1	
Fenoles	mg/L	0,001	
S.A.A.M. (detergentes)	mg/L	1	
Plaguicidas			
Aldicarb	ug/L	1	
Aldrin (CAS 309-00-2)	ug/L	0,03	
Clordano (CAS 57-74-9)	ug/L	0,3	
DDT	ug/L	1	
Dieldrin (N° CAS 72-20-8)	ug/L	0,7	
Endosulfán	ug/L	0,02	



Endrín	ug/L	0,004
Heptacloro (N° CAS 76-44-8) y heptacloripóxido	ug/L	0,1
Lindano	ug/L	4
Paratión	ug/L	7,5
Biológicos		
Coliformes Termotolerantes	NMP/100mL	1 000
Coliformes Totales	NMP/100mL	5 000
Enterococos	NMP/100mL	20
<i>Escherichia coli</i>	NMP/100mL	100
Huevos de Helmintos	huevos/litro	<1
<i>Salmonella</i> sp.	Ausente	
<i>Vibrio cholerae</i>	Ausente	

NOTA :

NMP/100: Número más probable en 100 mL.

Vegetales de Tallo alto: Son plantas cultivables o no, de porte arbustivo o arbóreo y tienen una buena longitud de tallo. las especies leñosas y forestales tienen un sistema radicular pivotante profundo (1 a 20 metros). Ejemplo; Forestales, árboles frutales, etc.**Vegetales de Tallo bajo :** Son plantas cultivables o no, frecuentemente porte herbáceo, debido a su poca longitud de tallo alcanzan poca altura. Usualmente, las especies herbáceas de porte bajo tienen un sistema radicular difuso o fibroso, poco profundo (10 a 50 cm). Ejemplo: Hortalizas y verdura de tallo corto, como ajo, lechuga, fresas, col, repollo, apio y arveja, etc.**Animales mayores:** Entiéndase como animales mayores a vacunos, ovinos, porcinos, camélidos y equinos, etc.**Animales menores:** Entiéndase como animales menores a caprinos, cuyes, aves y conejos**SAAM:** Sustancias activas de azul de metileno**CATEGORÍA 4: CONSERVACIÓN DEL AMBIENTE ACUÁTICO**

PARÁMETROS	UNIDADES	LAGUNAS Y LAGOS	RÍOS		ECOSISTEMAS MARINO COSTEROS	
			COSTA Y SIERRA	SELVA	ESTUARIOS	MARINOS
FÍSICOS Y QUÍMICOS						
Aceites y grasas	mg/L	Ausencia de película visible	Ausencia de película visible	Ausencia de película visible	1	1
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5)	mg/L	<5	<10	<10	15	10
Nitrógeno Amoniacal	mg/L	<0,02	0,02	0,05	0,05	0,08
Temperatura	Celsius					delta 3 °C
Oxígeno Disuelto	mg/L	≥5	≥5	≥5	≥4	≥4
pH	unidad	6,5-8,5	6,5-8,5		6,8-8,5	6,8 - 8,5
Sólidos Disueltos Totales	mg/L	500	500	500	500	
Sólidos Suspendedos Totales	mg/L	≤25	≤25 - 100	≤25 - 400	≤25-100	30,00
INORGÁNICOS						
Arsénico	mg/L	0,01	0,05	0,05	0,05	0,05
Bario	mg/L	0,7	0,7	1	1	----
Cadmio	mg/L	0,004	0,004	0,004	0,005	0,005
Cianuro Libre	mg/L	0,022	0,022	0,022	0,022	----
Clorofila A	mg/L	10	----	----	----	----
Cobre	mg/L	0,02	0,02	0,02	0,05	0,05
Cromo VI	mg/L	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
Fenoles	mg/L	0,001	0,001	0,001	0,001	
Fosfatos Total	mg/L	0,4	0,5	0,5	0,5	0,031 - 0,093
Hidrocarburos de Petróleo Aromáticos Totales	Ausente				Ausente	Ausente
Mercurio	mg/L	0,0001	0,0001	0,0001	0,001	0,0001
Nitratos (N-NO3)	mg/L	5	10	10	10	0,07 - 0,28
INORGÁNICOS						
Nitrógeno Total	mg/L	1,6	1,6		----	----
Níquel	mg/L	0,025	0,025	0,025	0,002	0,0082
Plomo	mg/L	0,001	0,001	0,001	0,0081	0,0081
Silicatos	mg/L	----	----	----	----	0,14-0,7
Sulfuro de Hidrógeno (H2S indisociable)	mg/L	0,002	0,002	0,002	0,002	0,06
Zinc	mg/L	0,03	0,03	0,3	0,03	0,081
MICROBIOLÓGICOS						
Coliformes Termotolerantes	(NMP/100mL)	1 000	2 000		1 000	≤30
Coliformes Totales	(NMP/100mL)	2 000	3 000		2 000	

NOTA : Aquellos parámetros que no tienen valor asignado se debe reportar cuando se dispone de análisis**Dureza:** Medir "dureza" del agua muestreada para contribuir en la interpretación de los datos (método/técnica recomendada: APHA-AWWA-WPCF 2340C)**Nitrógeno total:** Equivalente a la suma del nitrógeno Kjeldahl total (Nitrógeno orgánico y amoniacal), nitrógeno en forma de nitrato y nitrógeno en forma de nitrito (NO)**Amonio:** Como NH3 no ionizado**NMP/100 mL:** Número más probable de 100 mL.**Ausente:** No deben estar presentes a concentraciones que sean detectables por olor, que afecten a los organismos acuáticos comestibles, que puedan formar depósitos de sedimentos en las orillas o en el fondo, que puedan ser detectados como películas visibles en la superficie o que sean nocivos a los organismos acuáticos presentes.