



**MINISTERIO DE DEFENSA NACIONAL  
INSTITUTO ANTÁRTICO ECUATORIANO  
GUAYAQUIL**



**FUNDEMAR**  
Fundación Ecuatoriana para el Desarrollo  
Marítimo, Fluvial y Lacustre



**INFORME FINAL DE PROYECTO**

**TRATAMIENTO DE LODOS DE LA PLANTA DE  
TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE LA  
ESTACIÓN CIENTÍFICA PEDRO VICENTE MALDONADO**

**AÑO/PERIODO: 2018**

**NOVIEMBRE 2018**

**INFORME FINAL**

## AÑO 2018

### 1. INFORME TÉCNICO

#### 1.1. Nombre del Proyecto

“Tratamiento de lodos de la Planta de tratamiento de aguas residuales de la estación  
Pedro Vicente Maldonado”

#### 1.2. Institución (es) Responsable (s)

Universidad de Las Américas (UDLA) y DIGEIM-FUNDEMAR.

#### 1.3. Personal Participante e Instituciones Ejecutoras

INVESTIGADOR JEFE: Ing. Paola Posligua Chica, M.Sc. (Universidad de  
Las Américas -UDLA)

INVESTIGADOR SELECCIONADO PARA LA EXPEDICIÓN XXII-EN  
CAMPO: Ing. Carlos Banchón Bajaña, M.Sc. (Universidad Agraria del  
Ecuador)

INVESTIGADOR EN CAMPO EXPEDICION XXII: Dr. Miguel Gualoto.  
(Universidad de Las Américas –UDLA)

#### 1.4. Período de Ejecución / Año(s) / Expedición(es)

## 2018/ Expedición XXII / 2da. Campaña del Proyecto

### 1.5. Resumen Ejecutivo

Dentro de los acuerdos del Plan del Tratado Antártico, del cual Ecuador es signatario, un compromiso a cumplir es la gestión eficiente de los residuos generados en cada expedición para garantizar la seguridad ambiental del ecosistema antártico; y debido al incremento de la cantidad de efluentes que la estación genera, el programa logístico dentro de la campaña Antártica Ecuatoriana XXI -2017, tuvo como objetivo la modernización de la Planta de tratamiento de aguas residuales para atender de manera efectiva el volumen de descargas líquidas; sin embargo, los lodos provenientes de las aguas residuales presentan un reto para su tratamiento debido a la gran cantidad de humedad y el contenido químico que presentan, esto implica la generación de un alternativa in situ de los lodos, por lo cual el objetivo principal de este proyecto es el proponer un tratamiento de lodos de la planta de tratamiento de aguas residuales de la estación científica Pedro Vicente Maldonado ubicada en la Isla Greenwich (S62°26'56,7" – W059°44'22,3"), el cual inicia en la Campaña XXI con el levantamiento de línea base y se desarrolla con el análisis de diferentes propuestas físico -químicas y biológicas durante la Campaña XXII ejecutada a inicios del 2018, cuyos resultados fueron analizados en los laboratorios de la Universidad de Las Américas hasta octubre del 2018.

Dentro de la fase 1 del proyecto ejecutado en el 2017, se logró la caracterización de los lodos residuales de la planta de tratamiento, la selección de un sitio para el emplazamiento del sistema de tratamiento in situ de los lodos residuales, así como pruebas de laboratorio y pilotos para reducir el volumen de lodos generados por la nueva Planta de tratamiento. Dentro de la fase 2 del proyecto, se logró el aislamiento de cultivos microbianos para identificar la biodegradación respectiva y el tratamiento

químico del agua residual mediante coagulación, floculación y oxidación avanzada a escala laboratorio para respectiva proyección y recolección de cantidad óptima de lodos residuales.

#### 1.6. Principales Resultados

##### CAMPAÑA XXI

De los objetivos específicos, se lograron caracterizar los lodos residuales provenientes de la anterior PTAR, así como del sistema sedimentador SS-TG y secuencias de la nueva planta de tratamiento de aguas residuales bajo los parámetros de humedad y %SV. Se recolectaron muestras de diferentes clases de algas para su análisis de contenido de materia orgánica, capacidad de retención de agua y % de sólidos para ser utilizados junto con los lodos residuales como material estructurante dentro del diseño experimental. Se analizaron en laboratorio parámetros de control de nitratos ( $\text{NO}_3$ ), fosfatos ( $\text{PO}_4^{3-}$ ), amoníaco ( $\text{NH}_3$ ), pH, conductividad de todas las secuencias de lodos obtenidas desde la instalación de la planta de tratamiento. Se realizaron pruebas piloto de pre tratamientos térmicos para deshidratación de lodos; con temperatura inducida por medio de una faja térmica de  $180^\circ\text{C}$  y 1100 watts.

Como resultados previos de la hidrólisis térmica mediante el uso de la faja térmica utilizada en el reactor experimental, se fragmentaron los enlaces químicos de las células y las membranas solubilizando los componentes, el vapor obtenido fue eficiente para la ruptura de paredes celulares disminuyendo el volumen inicial de lodos colectados de 113,80 kg a 43, 74 kg con un porcentaje de reducción del 38%, con pH de 6,45 en lodos sometidos bajo tratamiento térmico y pH de 6,98-7 en lodos sin tratamiento.

## CAMPAÑA XXII

Se realizó el Ecobalance con los datos de masa de residuos sólidos (lodos) y volumen de agua residual tratada, así como porcentajes de humedad y sólidos presentes. Se realizó la evaluación de cultivos microbianos que fueron aislados de los lodos residuales de la PTAR a diferentes concentraciones de metales pesados, para identificar su potencial de Biorremediación, finalmente, se estabilizaron los lodos residuales mediante el uso de material estructurante obtenida en la zona intermareal de la estación Maldonado a través de la biodegradación de cuatro especies de algas. ((A1) *Pachymenia dichotoma*, (A2) *Himantothallus grandifolius*, (A3) *Ascoseira mirabilis*, (A4) *Delisea pulchra*) y la mezcla (A5) de las cuatro algas más el musgo *Risodontium aciphyllum*).

## **2. DATOS GENERALES**

### 2.1. Introducción

La Estación Científica Pedro Vicente Maldonado ha experimentado en la última década, una serie de cambios estructurales y operativos, necesarios para el cumplimiento efectivo de su misión, dar soporte a los investigadores ecuatorianos, durante las expediciones anuales antárticas de verano. No solo se ha incrementado la infraestructura operativa, (vivienda, laboratorios y facilidades), también se ha incrementado el número de participantes por expedición, no solo de investigadores nacionales, sino también de investigadores extranjeros de Venezuela, Cuba, España, Alemania, etc. Como consecuencia de esto, se ha incrementado también la cantidad de efluentes sólidos líquidos y gaseosos que la estación genera, por tal motivo en el año 2015 dentro del Plan

Ecuador Antártico 2015-2016, se realizó el programa logístico que tuvo como actividades la modernización de la PTAR y el Plan de Manejo Ambiental (Instituto Antártico Ecuatoriano -INAIE, 2015)

Si bien la gestión de los residuos sólidos se ha solventado en forma parcial por incineración y transporte hasta Chile de los residuos no incinerables, la gestión de las emisiones gaseosas del sistema de incineración, es aún incipiente y requiere de mejoras sustanciales. La gestión de las descargas líquidas, enfrenta una serie de dificultades operativas, motivadas por las bajas temperaturas que congelan las aguas en las tuberías y el sistema de tratamiento, reduciendo la eficiencia de los reactivos de floculación y encapsulado, empleados en el tratamiento químico convencional de las descargas líquidas. Los lodos residuales generados, son altamente hidratados y deben ser almacenados para su transporte al continente, debido a su elevado contenido químico e hidratación que los hacen no adecuados para incineración.

Uno de los limitantes para el tratamiento de lodos provenientes de aguas residuales es el estudio de la fase de digestión anaeróbica de lodos tratados con floculantes, los cuales son considerados más bajos que los lodos primarios particularmente en etapas posteriores a la digestión, este estudio tendría impacto significativo en climas extremos donde las variables dependientes están condicionadas por el comportamiento y su estabilización biológica. con una digestión anaeróbica. (Chu, Tsai, Lee, & Tay, 2005) (Nuñez, 2008)

La generación de una alternativa gestión eficiente in situ de los residuos y lodos generados, permitirá a la Estación Científica Pedro Vicente Maldonado, cumplir con la responsabilidad de garantizar la seguridad ambiental del frágil ecosistema antártico, establecido en el Tratado Antártico, del cual Ecuador es signatario y, permitiría disminuir las erogaciones económicas de gestión y transporte al continente de los lodos,

permitiendo estimular al reciclaje de nutrientes en el ecosistema edáfico de la isla Greenwich y la Ensenada Guayaquil, con participación activa de la microbiota autóctona y el aprovechamiento de los residuos orgánicos empleados en la estación Maldonado.

## 2.2. Justificación

La falta de manejo ambiental en diferentes estaciones científicas tuvo como consecuencia la disposición indebida de desechos en rellenos sanitarios, y en lagos de hielo (Camenzuli, Fryirs, Gore, & Freidman, 2015; Corbett, King, Stark, & Mondon, 2014; de Jesus & Peixoto, 2015). Y actualmente, a tres se ha elevado el origen de la contaminación en la Antártida: (i) estaciones abandonadas, las cuales son todavía focos de contaminación, (ii) derrames accidentales de hidrocarburos ó desecho irresponsable de materiales, (iii) desechos residuales domésticos (Gröndahl, Sidenmark, & Thomsen, 2009; K. A. Hughes, Lee, Ware, Kiefer, & Bergstrom, 2010a). En esto último, recién a partir del año 1998 se instalaron plantas de tratamiento en las estaciones científicas, puesto que antes se incineraban los desechos o se los descargaba al mar (Corbett et al., 2014). Sobre el impacto ambiental generado por los asentamientos humanos en la Antártida, se desconoce con exactitud la migración en el ambiente de diferentes contaminantes, como desechos de fármacos (antibióticos), surfactantes (desperdicios de productos cosméticos y detergentes), así como residuos químicos de laboratorios de investigación (p.e. colorantes de tinción) (Wild et al., 2015a). En este sentido, el presente proyecto colaborará con la implementación de tecnologías de remediación y valorización de desechos a pequeña escala, con el propósito de posterior toma de acciones adecuadas para eliminar el impacto ambiental de un asentamiento humano en la Antártida. En

perspectiva, el presente estudio sobre alternativas para la gestión eficiente de desechos, permitirá a la Estación Científica Pedro Vicente Maldonado garantizar la seguridad ambiental del frágil ecosistema antártico. En función de este aporte, la filosofía de trabajo que aquí se propone es análoga a la manejada en la Estación Espacial Internacional (ISS), en donde se considera la valorización y manejo cuidadoso de la biomasa residual generada por los tripulantes.

### 2.3. Objetivo General / Objetivos Parciales

Diseñar un sistema de tratamiento in situ de los lodos residuales provenientes de la planta de tratamiento de aguas residuales de la Estación Pedro Vicente Maldonado.

### 2.4. Objetivos específicos

1. Caracterizar los lodos residuales de la planta de tratamiento.	<ul style="list-style-type: none"><li>• Datos de masa de residuos sólidos (lodos) y volumen de agua tratada para respectivo Ecobalance.</li><li>• Porcentajes de humedad y de sólidos presentes en lodos residuales para Ecobalance.</li></ul>
---	--



<p>2. Identificar organismos asociados a los lodos residuales y materia orgánica empleada en la Estación Maldonado</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Análisis microbiológico de lodos residuales.</li> <li>• Evaluación de cultivos microbianos aislados de lodos residuales a concentraciones elevadas de metales pesados</li> <li>• Aislamiento de cultivos. microbianos a partir de lodos residuales para respectiva biodegradación.</li> </ul>
<p>3. Seleccionar un sitio adecuado para el emplazamiento del sistema de tratamiento <i>in situ</i> de los lodos residuales</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Actividad ya cumplida y ejecutada en Expedición XXI.</li> </ul>
<p>4. Diseñar el sistema de tratamiento y sus operaciones unitarias</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tratamiento químico del agua residual mediante coagulación, floculación y oxidación avanzada a escala laboratorio para respectiva proyección y recolección de cantidad óptima de lodos residuales.</li> </ul>

5. Ejecutar pruebas de laboratorio-piloto (laboratorio de Estación PEVIMA y Universidad)	<ul style="list-style-type: none"> <li>Estabilización de lodos residuales mediante biodegradación con algas recolectadas en la zona intermareal en Isla Greenwich.</li> </ul>
--	---

## 2.5. Cronograma de ejecución – CAMPAÑA XXII

*Tabla . Cronograma de Ejecución- Campaña XXII*

No.	ACTIVIDADES	FECHA INICIO
1	Preparación logística en Punta Arenas (Chile)	22 a 25 de Enero de 2018
2	Preparación de instalaciones, equipos, materiales en laboratorio, bodegas y PTAR	01 a 04 de Febrero de 2018
3	Toma de muestras y monitoreo de lodos y aguas residuales	05 a 09 de Febrero de 2018
4	Tratamiento de aguas y lodos residuales en escala laboratorio y PTAR	10 a 16 de Febrero de 2018
5	Inoculación de lodos residuales con 4 especies de algas marinas y musgo	17 a 18 de Febrero de 2018
6	Monitoreo de dosificación de químicos en PTAR y test de jarras para optimización en la producción de lodos residuales	19 a 23 de Febrero de 2018
7	Tratamientos de oxidación avanzada con	24 a 25 de Febrero de 2018

	efluentes de aguas residuales y monitoreo de biodegradación de lodos residuales.	
<b>8</b>	Aislamiento de microorganismos de lodos residuales	26 de Febrero de 2018
<b>9</b>	Recolección de material geológico en Isla Greenwich	27 de Febrero de 2018
<b>10</b>	Presentación de avances de proyecto y análisis matemático de resultados	28 de Febrero de 2018

### 3. MARCO DE REFERENCIA

#### 3.1. Estado del Arte

El Estado del Arte de este proyecto, se enfoca en el análisis de las descargas de aguas residuales que se generan en las diferentes estaciones antárticas, así como la gestión y disposición final de estos efluentes.

Contaminantes emergentes en la Antártida - Una revisión

Nicholas Lowther. 2015. **Emerging Contaminants in the Antarctic - A Review** . UC Research Repository. University of Canterbury- Certificate in Antarctic Studies, University of Canterbury. Retrieved of <http://hdl.handle.net/10092/14112>.

Los contaminantes emergentes (EC) en el medio ambiente antártico y la biota antártica se han investigado en un número muy limitado de estudios. Las EC han sido estudiadas extensamente en el Ártico y han confirmado su presencia en la Antártida. Lo cual se considera una barrera para las predicciones precisas sobre cómo el entorno y la biota antárticos responderán a la contaminación (Lowther, 2015).

La contaminación de la CE en la Antártida se identifica a través de la investigación de la literatura. El análisis de este informe cubre las CE; Compuestos polibromados (PBDE), compuestos perfluorados (PFC), productos farmacéuticos y de cuidado personal (PPCP), ésteres organofosforados (OPE), parafinas cloradas (CP) y siloxanos que se han detectado en el entorno antártico y en la biota antártica y compara las concentraciones observadas en la Antártida hasta el Ártico (Isaac Rodrigues dos Santos et al., 2006; Lisle, Smith, Edwards, & McFeters, 2004). Un estudio reciente que dio prioridad a los contaminantes emergentes en el ambiente de agua dulce basado en niveles de concentración ha informado que los PPCP deben considerarse contaminantes de muy alta prioridad y que el PFOA y el PFOS deben considerarse contaminantes de alta prioridad (Isaac R. Santos, Silva-Filho, Schaefer, Albuquerque-Filho, & Campos, 2005). Esta clasificación se basa en la ingesta diaria aceptable de la CE, la concentración en agua dulce y la recomendación diaria para la ingesta humana de agua. Las concentraciones de PPCP y PFC en las áreas antropogénicas de la Antártida han mostrado niveles similares a las concentraciones citadas internacionalmente, por lo que es razonable asumir la misma prioridad de la CE en relación con las estaciones de investigación antárticas. El agua para uso humano en las bases de investigación de la Antártida a menudo se extrae del agua de mar utilizando plantas de ósmosis inversa

(Lisle et al., 2004; Isaac R. Santos et al., 2005) , donde el agua de mar también es donde los residuos de las aguas residuales depositan desechos.

### Tratamiento de aguas residuales en la Antártida

M. A. Connor (2008). **Wastewater treatment in Antarctica**. Polar Record 44 (229): 165–171. Department of Chemical and Biomolecular Engineering, The University of Melbourne, Victoria 3010, Australia . Printed in the United Kingdom. doi:10.1017/S003224740700719X 165

La introducción de procesos avanzados de tratamiento de aguas residuales ha sido impulsada por el compromiso de proteger el medio ambiente antártico. La transferencia de tecnologías de tratamiento a la Antártida es limitada debido a la lejanía, el aislamiento, el clima y otras condiciones locales, las cuales imponen una variedad de limitaciones en el diseño de una planta de tratamiento de aguas residuales.

Se examina la evolución de los diseños avanzados de plantas de tratamiento. La mayoría de los países han optado por procesos basados en biopelículas, con contactores giratorios biológicos (RBC), mientras que actualmente se han preferido los sistemas de aireación de contacto. Los lodos ahora son generalmente llevados a continente para su disposición final, con una diversidad de técnicas de deshidratación de lodos. La evolución de los diseños del proceso de tratamiento apuestan por procesos sofisticados como tecnologías de membrana y técnicas de evaporación térmicamente eficientes.

Las plantas de tratamiento deben considerar un bajo consumo de energía, debido a los altos costos derivados de los combustibles de hidrocarburos que se envían en cada expedición. Además de ahorrar dinero, instalar una planta de tratamiento de baja

demanda de energía significa una producción reducida de emisiones de la central eléctrica de la base.

CONCLUSIONES DE DISEÑO: Cuando la planta se calienta parcialmente por el aire extraído de otros edificios, debe evitarse el reflujo de aire, por ejemplo, haciendo funcionar la planta a una presión ligeramente negativa.

Autores como Hughes y Blenkarn (Kevin A. Hughes, 2004), han demostrado que el reemplazo de la descarga intermitente del tanque de efluentes por el lavado continuo con agua fría puede generar una reducción de alrededor del 90% en las concentraciones de coliformes fecales en torno a las salidas.

Desechos antárticos abandonados sitios de disposición: Monitoreo resultados de  
remediación y limitaciones en la estación de Casey

Jonathan S. Stark, Ian Snape and Martin J. Riddle. 2006. **Physical, chemical, biological and ecotoxicological properties of wastewater discharged from Davis Station, Antarctica.** Ecological Society of Australia. ECOLOGICAL MANAGEMENT & RESTORATION VOL 7 NO 1 APRIL 2006. Ecological Society of Australia. doi: 10.1111/j1442-8903.2006.00243.x

LUGAR: Proyecto de remediación Estación Casey en el Territorio Antártico Australiano.

El enfoque que Australia consideró para el proceso de remediación consistió en (i) la evaluación de los impactos del sitio de eliminación de desechos antes de la limpieza; (ii) evaluación de alternativas de remediación incluyendo costos; (iii) evaluación de los

impactos inmediatos y a corto plazo de las operaciones de remediación; (iv) evaluación de la recuperación ecológica de los ensamblajes marinos locales impactados (Stark, Snape, & Riddle, 2006)

La planta de tratamiento de agua constaba de dos etapas: una unidad de separación de partículas para eliminar los sólidos en suspensión y un componente para eliminar los contaminantes disueltos. La sección del separador de partículas comprendía la dosificación química con coagulante de cloruro férrico para inducir la floculación y la sedimentación en un separador de sólidos de placa inclinada, seguido de una columna de arena para la eliminación de partículas residuales. El agua contaminada en el sitio de eliminación se bombeó desde un estanque de recolección y se almacenó en un recipiente calentado para evitar la congelación (Stark et al., 2006). El pH se controló y ajustó utilizando una solución de sosa cáustica y el caudal fue nominalmente 1000 L / h. La sección para la eliminación de contaminantes metálicos disueltos comprendía dos columnas de intercambio iónico que operaban en serie, cada una de las cuales contenía 50 L de Amberlite IRC748, un ácido iminodiacético (IDA) quelante resina de intercambio iónico. Las muestras se recolectaron de la entrada y salida de las columnas de intercambio iónico (la entrada correspondió a la salida de la sección del separador de partículas) para evaluar su desempeño (Northcott, Snape, Connor, & Stevens, 2003)

Se comisionó un programa de ciencias para determinar la naturaleza y el alcance de los problemas derivados de las descargas de la PTAR, el cual derivó este conocimiento en acciones de remediación la cual incluía un programa de monitoreo a largo plazo totalmente integrado.

El enfoque del trabajo de evaluación y monitoreo en Casey ha sido la combinación de investigación multidisciplinaria complementaria, como la química y la ecología, con muestreo mensurativo en la región en lugares controlados e impactados combinados con experimentos de manipulación, derivados de los efluentes que se descargan en las expediciones. Aquí se identifica la necesidad de un estudio de las relaciones de causa y efecto entre los contaminantes y la biota, en lugar de los enfoques correlativos simples.

El monitoreo de la limpieza en Casey representa un enfoque que es adecuado para el monitoreo de actividades potencialmente impactantes en cualquier lugar . Los experimentos ofrecen un gran potencial como herramienta de monitoreo. Estos experimentos de reconocimiento, ya sea de sedimento o de sustratos duros, son un método altamente práctico para evaluar los efectos de las actividades actuales, en oposición a los efectos continuos de las perturbaciones pasadas, las perturbaciones de la prensa sensorial (Duquesne & Riddle, 2002), particularmente en sedimentarias o entornos donde se acumulan contaminantes

Las ventajas sobre los simples experimentos de medición incluyen el uso de una unidad de muestreo experimental estandarizada (por ejemplo, bandeja de sedimentación o baldosa), su naturaleza no destructiva y comparabilidad en diferentes escalas temporales y espaciales y entre diferentes tipos de impacto (Isaac R. Santos et al., 2005). Uno de los hitos para la evaluación del proceso de remediación en Casey es el compromiso de la Australian Antarctic Division (AAD ) sobre el otorgamiento de los recursos necesarios para completar las etapas a mediano y largo plazo del programa de monitoreo de todas las descargas en diferentes sustratos.



## Bacterias Rizoféricas con potencialidades fisiológicas para eliminar materia orgánica de aguas residuales

Salgado-Bernal, Irina. Durán-Domínguez, Carmen. Cruz-Arias, Mario. Carballo- Valdés, Elena. Martínez-Sardinas, Armando. (2012). **Bacterias Rizoféricas con potencialidades fisiológicas para eliminar materia orgánica de aguas residuales**. Rev. Int. Contam. Ambie. 28 (1) 17-26, 2012. Facultad de Biología. Departamento de Microbiología y Virología, Universidad de La Habana.

En esta investigación, se caracterizan las potencialidades de 58 cepas bacterianas, obtenidas de la rizosfera de plantas hidrófitas de *Typha dominguensis* para la remoción de materia orgánica presente en lodos residuales. Se realizaron ensayos de asimilación. se determinó la remoción de DQO de un agua residual sintética compleja, de forma individual y en consorcios bacterianos. De ellas 13 cepas aisladas mostraron niveles de remoción de DQO por encima de 50 % frente a un efluente complejo en un tiempo de sólo 72 horas, resultado que se comportó de manera semejante al emplear consorcios conformados por estas cepas. Los resultados permiten concluir que las cepas estudiadas podrían ser utilizadas potencialmente para su posterior incorporación en un sistema de tratamiento de aguas y contribuir a la remediación de descargas líquidas (Salgado-Bernal, Durán-Domínguez, Cruz-Arias, & Carballo-Valdés, 2012).

## Concentraciones de mercurio y zinc en organismos terrestres y costeros de Admiralty Bay, Antártida

Isaac Rodrigues dos Santos a, Emmanoel Vieira Silva-Filho a,\*, Carlos Schaefer b, Silvia Maria Sella c, Carlos A. Silva a, Vicente Gomes d, Maria José ´ de A.C.R. Passos

d, Phan Van Ngan. 2006. **Baseline mercury and zinc concentrations in terrestrial and coastal organisms of Admiralty Bay, Antarctica.** Environmental Pollution 140 (2006) 304e311 .

Este documento proporciona la primera información cuantitativa sobre el mercurio en el suelo, los sedimentos costeros y en los organismos característicos de los ecosistemas marinos costeros terrestres y someros de la Bahía Admiralty (Isla Rey Jorge, Antártida). El contenido de mercurio es bajo en los componentes abióticos del ecosistema, y el mercurio también se encuentra en concentraciones muy bajas en la vegetación, invertebrados y peces. Estos niveles bajos de mercurio pueden deberse a la formación de sulfuro en la reducción de los sedimentos de este ambiente. Las concentraciones más altas de mercurio ocurrieron en las plumas de las aves y en el pelo de los mamíferos, lo que indica biomagnificación. Esto no fue encontrado para Zinc. Estos resultados pueden ser útiles como fondo de referencia para detectar entradas futuras de elementos traza en esta área remota de la tierra. La vegetación terrestre y las plumas de las aves se sugieren como biomonitores regionales objetivo.

### **Análisis de Metodología de muestreo**

Las muestras de suelo y sedimentos fueron recolectadas en Admiralty Bay, Isla King George durante la 21ª Expedición Antártica Brasileña, Verano (enero, 2003). Se recolectaron muestras de suelo superficial (n Z 14) en la terraza marina frente a la "Estación Antártica Brasileña" Comandante Ferraz (EACF), ubicada en la península de Keller. Las muestras de sedimentos superficiales (n Z 32) se recolectaron con una captura de Van Veen en cinco transectos (Fig. 1) normales a la costa a profundidades de agua de

20, 30 y 60 m como sigue: CF 1 (frente al combustible de EACF) tanques); CF 2 (frente al área de aterrizaje de helicópteros EACF y un emisario de aguas residuales); CF 3 (delante del módulo químico EACF); MP (en la estación de Machu Pichu); HE (en Henniquen Point). En cada transecto se recogieron dos muestras de sedimentos. Se recogieron dos muestras de sedimento adicionales en el punto de botánica a 18,5 m. Las muestras de sedimentos se recolectaron al principio (noviembre y diciembre de 2002) y al final de la temporada de verano (enero y febrero de 2003) en los mismos puntos. Dado que no se observó una variabilidad temporal y temporal importante de las concentraciones de metales en los sedimentos, los datos presentados son la media de cada transecto.

## **Resultados**

La lixiviación de combustible ha sido considerada una fuente importante de metales en la Antártida, principalmente para elementos como Ni y V. En varias investigaciones sobre muestreos de sedimentos, se muestran concentraciones de mercurio más altas que podrían estar relacionadas con la entrada antropogénica debido a pequeños derrames de combustible. La entrada de mercurio relacionada con las actividades de las diferentes estaciones, también se puede evaluar comparando el contenido de mercurio en diferentes transectos de muestreo de sedimentos.

Las concentraciones de mercurio en los suelos y sedimentos de Admiralty Bay se encuentran cerca de las de la corteza inferior (21 ng / g) (Riva, Abelson, Magi, & Soggia, 2004) y las que se encuentran en los sedimentos (12 G 7 ng / g) de la Bahía de Terra Nova cerca de un emisario de aguas residuales, Antártica, que se encontraban entre las más bajas reportadas para los sedimentos marinos costeros (Bargagli, Battisti, Focardi, & Formichi, 1993).

Contaminación de metales pesados en sedimentos costeros y suelos cerca de la Estación  
Antártica Brasileña, Isla Rey Jorge

Isaac R. Santos <sup>a</sup>, Emmanoel V. Silva-Filho <sup>a,\*</sup>, Carlos E.G.R. Schaefer <sup>b</sup>, Manoel R. Albuquerque-Filho <sup>b</sup>, Lucia S. Campos <sup>c</sup> · **Heavy metal contamination in coastal sediments and soils near the Brazilian Antarctic Station, King George Island** . Marine Pollution Bulletin 50 (2005) 185–194. Elsevier.

El objetivo de este trabajo fue investigar los procesos naturales y antropogénicos que controlan la química de los sedimentos en Admiralty Bay (AB), la isla King George (KGI), en la Antártida. El estudio se centra en la contaminación por metales pesados en la región afectada por la investigación brasileña y las actividades logísticas en la península de Keller.

Este artículo investiga los procesos naturales y antropogénicos que controlan la química de los sedimentos en Admiralty Bay, King George Island, Antártida. Las concentraciones totales y biodisponibles de dieciséis elementos se determinaron en 32 muestras de sedimentos y 14 muestras de suelo. Los análisis correspondientes, mostraron que las pinturas, las aguas residuales y la contaminación por petróleo aumentaron las concentraciones de metales en los sedimentos superficiales de Ferraz de la siguiente manera: B, Mo y Pb (> 90%); V y Zn (70–80%); Ni, Cu, Mg y Mn (30–40%) (Isaac R. Santos et al., 2005).

Propiedades físicas, químicas, biológicas y ecotoxicológicas de las aguas residuales  
vertidas desde la Estación Davis, Antártida

Jonathan S. Stark <sup>a,□</sup>, James Smith <sup>b,1</sup>, Catherine K. King <sup>a</sup>, Margaret Lindsay <sup>a</sup>, Scott Stark <sup>a</sup>, Anne S. Palmer <sup>a</sup>, Ian Snape <sup>a</sup>, Phil Bridgen <sup>c</sup>, Martin Riddle <sup>a</sup> · **Physical, chemical, biological and ecotoxicological properties of wastewater discharged from Davis Station, Antarctica.** Cold Regions Science and Technology 113 (2015) 52–62.

Los sólidos suspendidos, los nutrientes (nitrógeno, fósforo), la demanda biológica de oxígeno (DBO), los metales, los contaminantes orgánicos, los surfactantes y la carga microbiológica se midieron en varios lugares a lo largo del sistema de descarga de aguas residuales de la estación Davis, en la Antártida Oriental. La calidad y las propiedades de las aguas residuales variaron enormemente entre los edificios en la estación, cada uno de los cuales tiene tanques de almacenamiento separados. Los niveles de nutrientes, DBO y sólidos sedimentables fueron superiores a las aguas residuales municipales estándar. Las cargas microbiológicas eran típicas de aguas residuales no tratadas. Los contaminantes detectados en las aguas residuales incluían metales y compuestos orgánicos persistentes, principalmente éteres de difenilo polibromados (PBDE) (Stark et al., 2015). Los resultados indican que el ambiente marino receptor local en la Estación Davis está en riesgo debido a las descargas de aguas residuales existentes, y que se requiere un tratamiento avanzado para eliminar los contaminantes que causan toxicidad para la biota, así como para reducir los riesgos ambientales asociados con los microconductos no nativos. -organismos en aguas residuales (Northcott et al., 2003).

### 3.2. Fundamentos Teóricos

En la actualidad, más de 33000 turistas y más de 5000 científicos arriban a la Antártida cada año generando un impacto ambiental de invasión biológica, debido al transporte de semillas y propágulos (gérmes) producto del desecho de alimentos, contaminación en zapatos, equipamiento de carga, y demás accesorios de uso humano (K. A. Hughes, Lee, Ware, Kiefer, & Bergstrom, 2010b). Es en la Antártida, considerada una de las últimas áreas prístinas en el planeta, donde se evidencia contaminación producto de las actividades de apoyo científico, precipitación atmosférica, operaciones de logística entre otros como descarga de efluentes (Leeming, Stark, & Smith, 2015; Risebrough, De Lappe, & Younghans-Haug, 1990).

El agua residual que generan las diferentes estaciones de investigación científica aportan contaminación a las fuentes de agua naturales ya que sus descargas tienen escaso tratamiento (Knox, Gamerdinger, Adriano, Kolka, & Kaplan, 1999). A pesar que la mayoría tiene como denominador común, aguas residuales domésticas provenientes de sanitarios y cocina, se encuentra también mezclas considerables de contaminantes químicos los cuales son utilizados en laboratorios y unidades experimentales, tales como detergentes, antibióticos, colorantes, metales pesados y demás contaminantes persistentes (Wild et al., 2015b).

Se ha contabilizado que, de 41 estaciones, solamente el 63% cuenta con plantas de estabilización y remediación de desechos (Gröndahl, Sidenmark, & Thomsen1, 2009). Es por esto, que se investigan diferentes mecanismos para mitigar estos impactos. Los microorganismos son una excelente biotecnología que trabaja en múltiples campos

debido a su variabilidad y resistencia en diferentes entornos. Entre sus filas ciertos organismos extremófilos se han registrado capaces de degradar de forma natural metales pesados en bajas y altas concentraciones, los cuales responden positivamente ante diferentes estímulos de su entorno. Agregando su distribución en todo el planeta es posible encontrarlos en los mismos sitios de tratamiento y facilitar los procesos de adsorción y reacciones de intercambio iónico (Cañizares-Villanueva, 2000; El-Bestawy, Al-Fassi, Amer, & Aburokba, 2013; Gamache, Blais, Tyagi, & Meunier, 2001; Koenig & Pierson, 1997), por lo cual, se marca un referente dentro de las tecnologías de tratamiento de efluentes, y su subproducto conocido como lodo residual.

El lodo biológico o residual es generado como subproducto en la plantas de tratamiento de aguas residuales urbanas e industriales (Faouzhia Achour, 2008; Russo & Vieira, 2006). Su tratamiento y gestión se ha convertido en un problema importante dentro del continente así como en la gestión de residuos en la Antártida (Knox et al., 1999). Debido a un incremento en el volumen de lodo producido asociado a una exigencia de niveles de depuración más altos y debido al aumento del número de depuradoras en servicio (Abraham, Butler, & Sigee, 1997; Casado-Vela et al., 2007; Korboulewsky, Dupouyet, & Bonin, 2002).

### 3.3. Marco Legal

Las operaciones antárticas se llevan a cabo bajo los acuerdos del Tratado Antártico, y todo lo referente a situaciones ambientales se rigen por el Protocolo sobre Protección del Medio Ambiente al Tratado Antártico de 1991 (conocido como el Protocolo de

Madrid). El Anexo III, Eliminación de desechos y gestión de desechos del Protocolo de Madrid requiere que (del Artículo 1). El Anexo crea una obligación general de que todos los desechos producidos o eliminados en el área del Tratado Antártico se reducirán en la medida de lo posible para minimizar los impactos en el medio ambiente. El Protocolo requiere además que todos los desechos líquidos, incluidas las aguas residuales y los desechos líquidos domésticos, se eliminarán, en la medida de lo posible, del área del Tratado Antártico (Anexo III, Artículo 2). Los desechos líquidos que no se eliminan no deben eliminarse en terrenos sin hielo ni en sistemas de agua dulce y, en la medida de lo posible, no deben eliminarse en hielo marino, plataformas de hielo o capa de hielo conectado a tierra (anexo III, artículo 4). El Protocolo permite que las aguas residuales y los desechos líquidos domésticos se descarguen directamente en el mar (Anexo III, Artículo 5), siempre que, las condiciones en el entorno receptor conduzcan a una dilución inicial y una rápida dispersión. Para estaciones donde la población de verano es de 30 o más, las aguas residuales deben tratarse antes de descargarlas en el mar.

Todas las Partes del Tratado Antártico deben garantizar el cumplimiento dentro de su jurisdicción del Protocolo, generalmente mediante el establecimiento de una legislación nacional que refleje las obligaciones del Protocolo, para el caso de Ecuador, la legislación vigente se encuentra enmarcada dentro del Anexo 1 del Libro VI del Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente (TULSMA), Norma de Calidad Ambiental y de Descarga de Efluentes al recurso Agua.



### 3.4. Variables

Independientes:

- Dosis de coagulantes-floculantes (Tratamiento aguas)
- Adición de 4 tipos de algas (Tratamiento lodos)

Dependientes:

- Relación SV/ ST de lodos
- Concentración de Metales pesados presentes en lodos orgánicos

### 3.5. Hipótesis

El impacto ambiental generado por la Estación Científica Pedro Vicente Maldonado se reducirá mediante procesos de valorización de desechos orgánicos e inorgánicos con enfoque a la interacción de parámetros físicos-químicos y microbiológicos.

## 4. METODOLOGÍA

### 4.1. Población y muestra

Al ser una investigación experimental y descriptiva, se trabajó con muestras representativas del volumen de aguas residuales generadas en la PTAR de la estación científica Maldonado, a partir de estas muestras, se desarrollaron los análisis en laboratorio para posterior réplica en todo el sistema de tratamiento (población) a través de las dosis óptimas de coagulantes y floculantes.

Las muestras fueron sistemáticas para el análisis de aguas residuales y aleatorias para el volumen de lodos generados.

#### 4.2. Ubicación del área de estudio

El área de estudio para cumplir los objetivos de la primera y segunda fase de este proyecto comprenden los sectores donde se encuentran los lodos y sedimentos generados por la XXI y XXII Expedición Antártica Ecuatoriana, el sistema sedimentador –trampa de grasa SS-TG (28m S62°26'56,7" – W059°44'22,3") , el emplazamiento de la nueva planta de tratamiento de aguas residuales (26m S62°26'57,2" – W059°44'30,7"), el laboratorio de la estación Pedro Vicente Maldonado así como la zona intermareal de la estación PEVIMA frente a la nueva casa de Botes (8m S62°26'51,74" – W059°44'34,1"). Planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR) de la Estación Científica Pedro Vicente Maldonado y laboratorio de investigación.

*Tabla . Coordenadas de Trabajo de investigación -Proyecto Tratamiento de Lodos*

LUGAR	COORDENADAS		
PTAR	LOCALIZADA DIAGONAL AL MÓDULO 1	S62°26'57,2"	059°44'30,7"
LABORATORIO	MÓDULO 4	S62°26'56,2"	059°44'22,5"

#### 4.3. Técnicas e instrumentos de recolección de información

##### a. EQUIPOS UTILIZADOS DE MEDICIÓN PORTÁTIL:

- Termómetro portátil
- Termómetro láser

## **b. EQUIPOS UTILIZADOS DE MEDICIÓN EN LABORATORIO:**

- Para conductividad y ph: Phmetro y conductivímetro
- Para análisis de fosfatos ( $\text{PO}_4^{3-}$ ): Fotómetro, reactivos (Phosver)
- Para análisis de nitratos  $\text{NO}_3^-$ ): Fotómetro, reactivos (Nitraver)
- Para análisis de amoníaco ( $\text{NH}_3^+$ ): Fotómetro, reactivos (1. Ammonia Salicylate reagent y 2. Ammonia cyanurate)
- Para análisis de contenido de humedad: Estufa
- Para análisis de sólidos volátiles: Mufla
- Para análisis microbiológico: medios de cultivo agar, cámara de flujo laminar, microscopio, incubadora, cajas Petri, placas porta y cubre objetos

### 4.4. Metodología

#### **4.4.1 Tratamiento de aguas residuales mediante test de jarras**

Para el test de jarras, a un volumen de 700 mL de agua residual se midió su pH inicial y se determinó su absorción de energía ultravioleta entre 200 y 1000 nm de longitud de onda. Concentraciones entre 0.03% y 15% de sulfato de aluminio (SA) durante 15 min a 160 rpm y policloruro de aluminio (PAC) durante 8 min también a 160 rpm fueron experimentadas. Por cada litro de agua residual, se agregó 0.35 mL de coagulante y floculante. La relación volumétrica de adición fue la misma que se utiliza en las bombas peristálticas de la planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR), llegando hasta 10 mL/ciclo (70 mL/min). La sedimentación para las pruebas realizadas fue de 30 min, pero

sin embargo, la PTAR está calibrada para 90 min. La calidad del agua tratada fue medida según barrido espectrofotométrico en rango 200 – 1000 nm UV-VIS.

Posterior a la coagulación-floculación, se agregó 100 g de granito (lavado previamente con ácido nítrico y activado a 400°C) por cada litro de agua residual. Luego, se agregó 40 mL de agua oxigenada (Peróxido de hidrógeno al 3%) para iniciar oxidación. La degradación de materia orgánica puede tomar hasta un máximo de 24 h, en función de la concentración de peróxido de hidrógeno.

#### **4.4.2 Tratamiento de lodos residuales mediante biodegradación**

En celdas experimentales de 500 g, se adicionó en relación másica 1:1 de lodo residual y cuatro especies de algas marinas (Tratamientos A1 – A4). Adicionalmente, se mezclaron los cuatro tipos de algas y musgo de la zona junto con lodo residual (Tratamiento A5). Se adicionaron cultivos microbianos aislados de lodos residuales para aumentar la biodegradación. Como técnica de control de calidad, se determinaron sólidos volátiles, sólidos totales, pH y temperatura durante dos semanas. El monitoreo gravimétrico de sólidos y de pH fue realizado de acuerdo a normativas ASTM estándares. Finalmente, a partir de los resultados experimentales que determinaron el mejor tratamiento, se mezclaron cuatro tipos de algas y musgos (en total aprox. 8 Kg) con lodos residuales (aprox. 8 Kg) en una gaveta y se la almacenó en Módulo denominado “Casa de Botes” para su próxima evaluación en siguiente expedición.

## 5. ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

### 5.1. Presentación de resultados

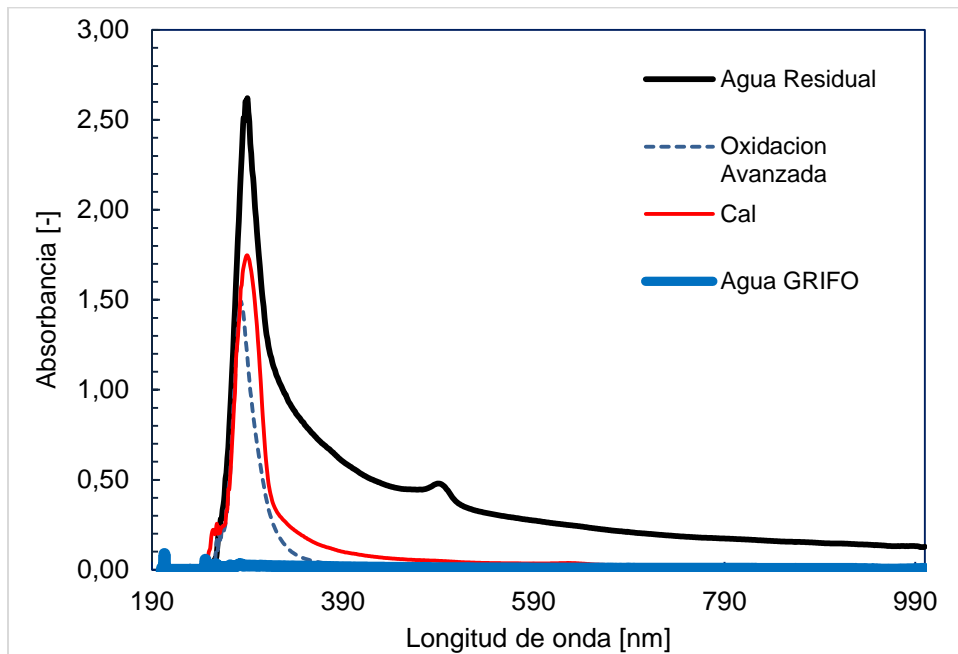
A continuación, se presenta el resumen del test de jarras que remarca la mejor dosis de coagulación.

*Tabla . Dosificación de coagulante y floculantes en tratamiento de aguas según Test de Jarras*

<b>Dosificación de coagulante y floculante según Test de Jarras 2018</b>					
<b>SULFATO DE ALUMINIO</b>					
<b>Item</b>	<b>% m/v, Sulfato de Aluminio (SA)</b>	<b>Dosis (mL) SA en 15 min</b>	<b>% m/v, Polímero floculante</b>	<b>Dosis (mL) Polim. en 8 min</b>	<b>Observaciones</b>
1	0.03 - 4%	1050	0.05	560	Dosis y concentraciones que no produjeron ningún efecto de coagulación ni sedimentación según Test de Jarras en laboratorio. Dosis calculadas según datos de bombas peristálticas. Bombas de coagulante y floculante están calibradas a 10 mL/pulso (70 mL/min).

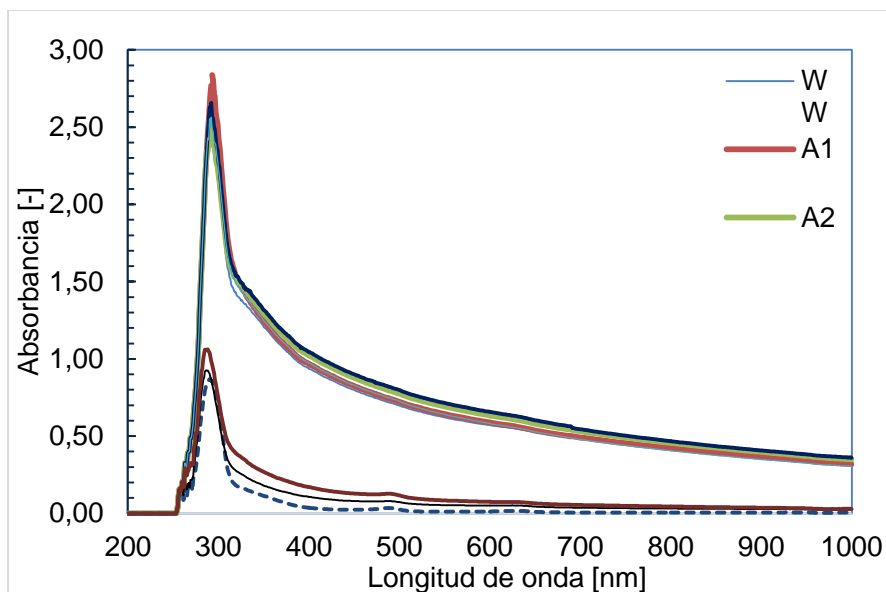
2	5%	1050	0.05	560	Dosis y concentraciones <b>óptimas</b> según Test de Jarras en laboratorio. Dosis calculadas según datos de bombas peristálticas de coagulante y floculante. Bombas están calibradas a 10 mL/pulso (70 mL/min) pero esta dosis se puede optimizar según test de jarras.
3	5 - 10%	1050	0.05	1050	Dosis y concentraciones óptimas según Test de Jarras, cuando las dos bombas peristálticas de coagulante y floculante están calibradas a 10 mL/pulso. Excesos de coagulante disminuyen pH por debajo de 6 y efecto de coagulación no se produce. Entonces, adicionar solución de cal al 5% para regular pH y recuperar coagulación.

En las siguientes figuras, se presentan las absorbancias de tratamientos con mejores resultados de remoción de contaminantes.



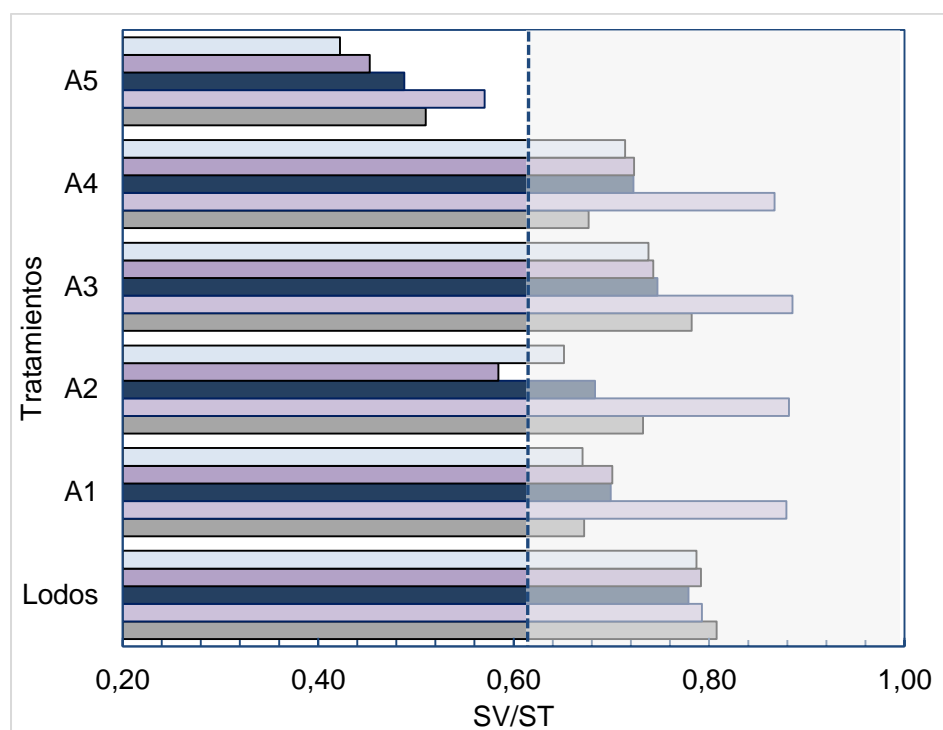
*Gráfica . Remoción de contaminantes mediante diferentes tratamientos de agua residual (Absorbancia)*

Tratamientos A1-A4 son concentraciones entre 0.03 y 1% de sulfato de aluminio. En donde, A5 es 5%; y A6-A7, 10 y 15% respectivamente.



*Gráfica . Diferentes tratamientos de remoción de contaminantes con Sulfato de aluminio*

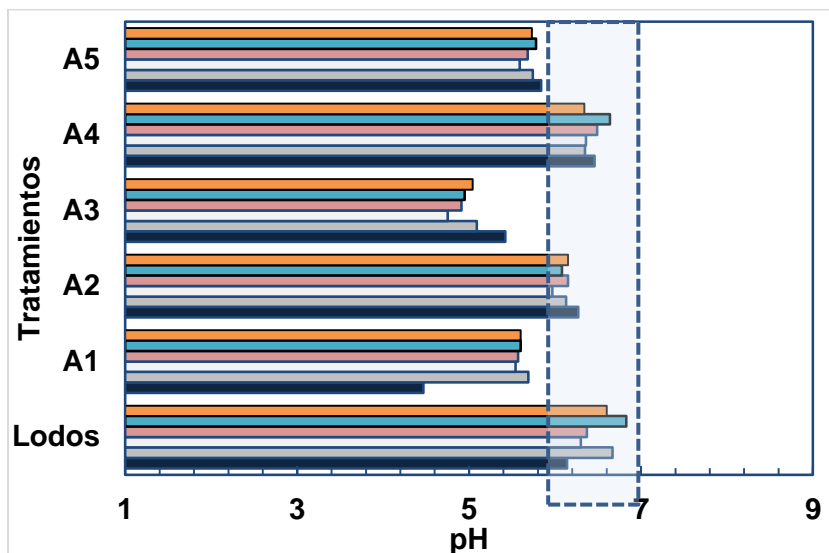
En la siguiente figura, se resume la evolución gravimétrica de sólidos volátiles y sólidos totales para los tratamientos con diferentes especies de algas marinas.



*Gráfica . Evolución gravimétrica de SV/ST de tratamientos con algas marinas.*

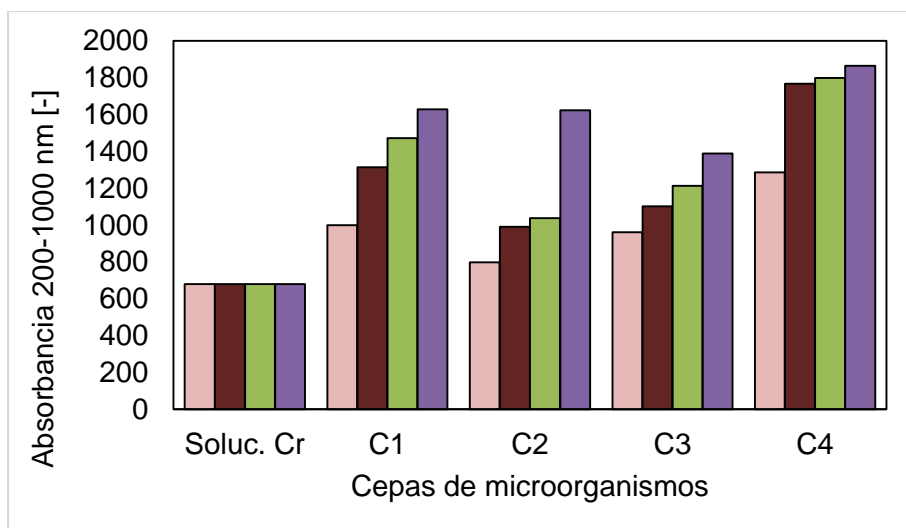
El cambio de pH en la región ácida indica la descomposición de material celulósico en ácidos orgánicos durante dos semanas de monitoreo.





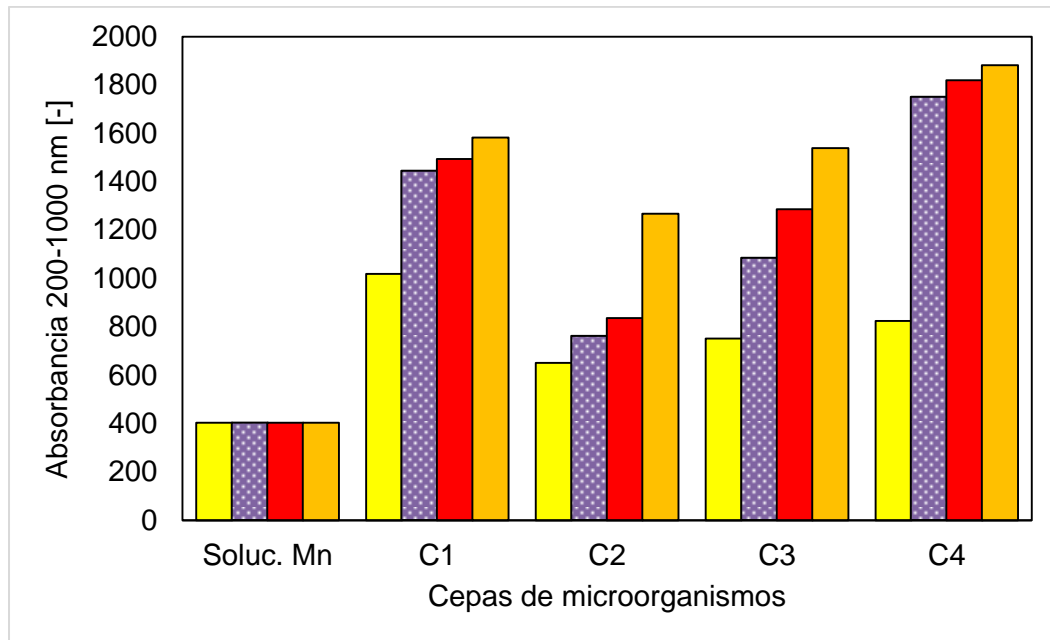
Gráfica . Análisis del cambio de pH en los diferentes tratamientos con algas marinas.

A partir de muestras de lodos residuales fueron aisladas cuatro cepas de bacterias, las cuales fueron sometidas a una concentración de 1000 mg/L de cromo (VI) y manganeso. A continuación, se presentan los resultados de crecimiento durante cuatro días de monitoreo.



Gráfica . Crecimiento microbiano bajo concentraciones de Cr

La siguiente figura, resume así también la tolerancia al manganeso de las cuatro cepas aisladas de lodos residuales. Estas cepas serán sometidas a caracterización molecular para su respectiva identificación. Así mismo, serán evaluadas frente a altas dosis de metales pesados como plomo, mercurio, plata y cadmio.



Gráfica . Crecimiento microbiano bajo concentraciones de Mn.

Tabla . Coordenadas sitios de muestreo de algas marinas.

SITIOS	COORDENADAS UTM		ALTITUD
<b>LEON DORMIDO</b>			
1	21E0358755	3073306	8 msnm
2	21E0358664	3072749	8 msnm
3	21E0358870	3073237	8 msnm

## 6. IMPACTO DEL PROYECTO

### 6.1. Aplicación de la investigación desarrollada a la solución de los problemas del país.

El impacto ambiental de los lodos de aguas residuales domésticas es de gran interés para la estación ecuatoriana debido a la alta inversión económica y logística que genera la transferencia de lodos residuales al continente, después de cada expedición a la Antártida. En perspectiva, los resultados actuales permitirán pruebas de mayor escala en la bioestabilización de lodos de la PTAR con el debido control sanitario para evitar impactos ambientales en la Antártida con su posible tratamiento in-situ.

### 6.2. Transferencia del conocimiento o de la tecnología aplicada a partir de la investigación efectuada durante el periodo que se informa.

De acuerdo con la normativa ambiental para biosólidos, la proporción de sólidos volátiles (VS) y sólidos totales (TS) por debajo de 0.60 es un indicador de que un lodo se está bioestabilizando. En el tratamiento térmico, la relación VS / TS no varió significativamente, así como el pH, lo que significa que los lodos de tratamiento no alcanzan los estándares de biosólidos. Como contribución a los nuevos proyectos, se aislaron cuatro cepas microbianas diferentes del lodo residual que toleran metales pesados. Las cuatro cepas toleraron hasta 1000 mg / l de cromo (VI) y manganeso (VII).

Estas cepas fueron sometidas a diferentes ensayos en los laboratorios de la Universidad de Las Américas, en conjunto con cepas extraídas de los sedimentos del Río Machángara en la ciudad de Quito, para determinar la tolerancia de estas bacterias diferentes

concentraciones de metales pesados y, analizar la factibilidad de su uso en el tratamiento de lodos de las diferentes plantas de tratamientos de aguas residuales.

## 7. CONCLUSIONES

- Dos tratamientos de estabilización se aplicaron por separado: un tratamiento térmico en el que el lodo se secó hasta 128 ° C durante 14 horas en un tambor de calefacción de 50 l; y un tratamiento biológico donde cuatro residuos de algas ((A1) *Pachymenia dichotoma*, (A2) *Himantothallus grandifolius*, (A3) *Ascoseira mirabilis*, (A4) *Delisea pulchra*) y la Mezcla (A5) de las cuatro algas más el musgo *Risodontium aciphyllum* se mezclaron con lodo en una proporción en peso 1: 1.
- Se determinaron concentraciones y dosis óptimas de coagulantes para tratamiento de aguas residuales (escala laboratorio).
- El potencial del granito como catalizador de oxidación de detergentes fue comprobado. Esta reacción química permite alcanzar niveles de calidad de agua inherentes a normativa ecuatoriana.
- Se evaluó el potencial de valorización de lodos residuales en productos como biosólidos, en función de su biodegradación en apenas dos semanas de monitoreo se obtuvo una relación SV / ST de 0.45, con un pH final de 5.7. El contenido de materia orgánica representada por SV, fue degradado hasta un 70.8% debido la mineralización microbiana.

- Se aislaron cepas microbianas con alta tolerancia a cromo (VI) y manganeso.

## 8. RECOMENDACIONES

- Implementar dosis y concentraciones del test de jarras en planta de tratamiento de aguas residuales, con la debida dosificación y concentración experimentada en laboratorio.
- Implementar tratamientos de estabilización de lodos residuales a mayor escala, según pruebas experimentales en laboratorio.

## 9. BIBLIOGRAFÍA

- Abraham, J. V., Butler, R. D., & Sigee, D. C. (1997). Ciliate populations and metals in an activated-sludge plant. *Water Research*, 31(5), 1103–1111. [https://doi.org/10.1016/S0043-1354\(96\)00334-X](https://doi.org/10.1016/S0043-1354(96)00334-X)
- Bargagli, R., Battisti, E., Focardi, S., & Formichi, P. (1993). Preliminary data on environmental distribution of mercury in northern Victoria Land, Antarctica. *Antarctic Science*, 5(1), 3–8. <https://doi.org/10.1017/S0954102093000021>
- Camenzuli, D., Fryirs, K. A., Gore, D. B., & Freidman, B. L. (2015). Managing legacy waste in the presence of cultural heritage at Wilkes Station, East Antarctica. *Polar Record*, 51(02), 151–159. <https://doi.org/10.1017/S0032247413000740>
- Cañizares-Villanueva, R. O. (2000). Biosorción de metales pesados mediante el uso de biomasa microbiana. *Revista Latinoamericana de Microbiología*, 13.
- Casado-Vela, J., Sellés, S., Díaz-Crespo, C., Navarro-Pedreño, J., Mataix-Beneyto, J., & Gómez, I. (2007). Effect of composted sewage sludge application to soil on sweet pepper crop (*Capsicum annuum* var. *annuum*) grown under two exploitation regimes.

*Waste Management*, 27(11), 1509–1518.

<https://doi.org/10.1016/j.wasman.2006.07.016>

Corbett, P. A., King, C. K., Stark, J. S., & Mondon, J. A. (2014). Direct evidence of histopathological impacts of wastewater discharge on resident Antarctic fish (*Trematomus bernacchii*) at Davis Station, East Antarctica. *Marine Pollution Bulletin*, 87(1–2), 48–56. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2014.08.012>

de Jesus, H. E., & Peixoto, R. S. (2015). Bioremediation in Antarctic Soils. *Journal of Petroleum & Environmental Biotechnology*, 06(06). <https://doi.org/10.4172/2157-7463.1000248>

dos Santos, Isaac Rodrigues, Silva-Filho, E. V., Schaefer, C., Maria Sella, S., Silva, C. A., Gomes, V., ... Van Ngan, P. (2006). Baseline mercury and zinc concentrations in terrestrial and coastal organisms of Admiralty Bay, Antarctica. *Environmental Pollution*, 140(2), 304–311. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2005.07.007>

Duquesne, S., & Riddle, M. (2002). Biological monitoring of heavy-metal contamination in coastal waters off Casey Station, Windmill Islands, East Antarctica. *Polar Biology*, 25(3), 206–215. <https://doi.org/10.1007/s00300-001-0328-9>

El-Bestawy, E., Al-Fassi, F., Amer, R., & Aburokba, R. (2013). Biological Treatment of Leather-Tanning Industrial Wastewater Using Free Living Bacteria, 20.

Faouzhia Achour. (2008). *Analyse et modélisation des réactions biologiques aérobies au cours de la phase de remplissage d'un casier d'un centre d'enfouissement technique*. L'Institut National des Sciences Appliquées de Lyon, Ecole Doctorale de Chimie de Lyon.

Gamache, M., Blais, J. F., Tyagi, R. D., & Meunier, N. (2001). Microflore hétérotrophe impliquée dans le procédé simultané de biolixiviation des métaux et de digestion des

- boues d'épuration. *Canadian Journal of Civil Engineering*, 28(1), 158–174.  
<https://doi.org/10.1139/cjce-28-1-158>
- Gröndahl, F., Sidenmark, J., & Thomsen, A. (2009). Survey of waste water disposal practices at Antarctic research stations. *Polar Research*, 28(2), 298–306.  
<https://doi.org/10.1111/j.1751-8369.2008.00056.x>
- Gröndahl, F., Sidenmark, J., & Thomsen1, A. (2009). Survey of waste water disposal practices at Antarctic research stations. *Polar Research*, 28(2), 298–306.  
<https://doi.org/10.1111/j.1751-8369.2008.00056.x>
- Hughes, K. A., Lee, J. E., Ware, C., Kiefer, K., & Bergstrom, D. M. (2010a). Impact of anthropogenic transportation to Antarctica on alien seed viability. *Polar Biology*, 33(8), 1125–1130. <https://doi.org/10.1007/s00300-010-0801-4>
- Hughes, K. A., Lee, J. E., Ware, C., Kiefer, K., & Bergstrom, D. M. (2010b). Impact of anthropogenic transportation to Antarctica on alien seed viability. *Polar Biology*, 33(8), 1125–1130. <https://doi.org/10.1007/s00300-010-0801-4>
- Hughes, Kevin A. (2004). Reducing sewage pollution in the Antarctic marine environment using a sewage treatment plant. *Marine Pollution Bulletin*, 49(9–10), 850–853.  
<https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2004.05.012>
- Knox, A. S., Gamerdinger, A. P., Adriano, D. C., Kolka, R. K., & Kaplan, D. I. (1999). Sources and practices contributing to soil contamination. In: *Bioremediation of Contaminated Soils*, DC Adriano, J.-M. Bollag, WT Frankenberger, Jr., and RC Sims Eds. No. 37, Ch. 4.
- Koenig, D. W., & Pierson, D. L. (1997). Microbiology of the space shuttle water system. *Water Science and Technology*, 35(11–12), 59. Recuperado de <http://wst.iwaponline.com/content/35/11-12/59.abstract>

- Korboulewsky, N., Dupouyet, S., & Bonin, G. (2002). Environmental risks of applying sewage sludge compost to vineyards. *Journal of Environmental Quality*, 31(5), 1522–1527.
- Leeming, R., Stark, J. S., & Smith, J. J. (2015). Novel use of faecal sterols to assess human faecal contamination in Antarctica: a likelihood assessment matrix for environmental monitoring. *Antarctic Science*, 27(01), 31–43.  
<https://doi.org/10.1017/S0954102014000273>
- Lisle, J. T., Smith, J. J., Edwards, D. D., & McFeters, G. A. (2004). Occurrence of Microbial Indicators and *Clostridium perfringens* in Wastewater, Water Column Samples, Sediments, Drinking Water, and Weddell Seal Feces Collected at McMurdo Station, Antarctica. *Applied and Environmental Microbiology*, 70(12), 7269–7276.  
<https://doi.org/10.1128/AEM.70.12.7269-7276.2004>
- Lowther, N. (2015). *Emerging Contaminants in the Antarctic - A Review*. University of Canterbury, New Zealand. Recuperado de <http://hdl.handle.net/10092/14112>
- Northcott, K. A., Snape, I., Connor, M. A., & Stevens, G. W. (2003). Water treatment design for site remediation at Casey Station, Antarctica: site characterisation and particle separation. *Cold Regions Science and Technology*, 37(2), 169–185.  
[https://doi.org/10.1016/S0165-232X\(03\)00039-9](https://doi.org/10.1016/S0165-232X(03)00039-9)
- Risebrough, R. W., De Lappe, B. W., & Younghans-Haug, C. (1990). PCB and PCT contamination in Winter Quarters Bay, Antarctica. *Marine Pollution Bulletin*, 21(11), 523–529.
- Riva, S. D., Abemoschi, M. L., Magi, E., & Soggia, F. (2004). The utilization of the Antarctic environmental specimen bank (BCAA) in monitoring Cd and Hg in an Antarctic coastal area in Terra Nova Bay (Ross Sea—Northern Victoria Land). *Chemosphere*, 56(1), 59–69. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2003.12.026>

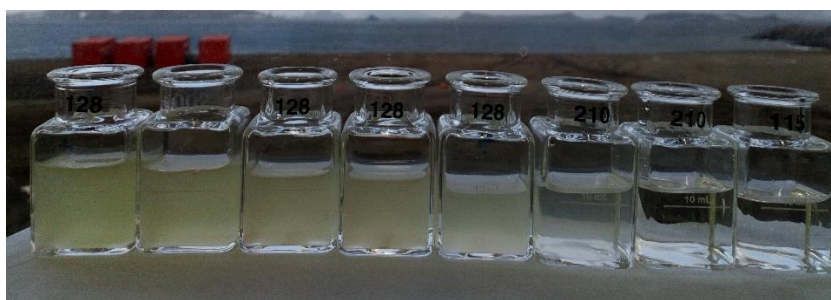


- Russo, M. A. T., & Vieira, J. M. (2006). Avaliação da estabilização de RSU em aterro através da evolução da degradabilidade da sua facção orgânica.
- Salgado-Bernal, I., Durán-Domínguez, C., Cruz-Arias, M., & Carballo-Valdés, M. E. (2012). Bacterias rizosféricas con potencialidades fisiológicas para eliminar materia orgánica de aguas residuales. *Rev. Int. Contam. Ambie.*, 28(1), 10, 17–26. Recuperado de [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0188-49992012000100002&lng=es&tlng=pt](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0188-49992012000100002&lng=es&tlng=pt).
- Santos, Isaac R., Silva-Filho, E. V., Schaefer, C. E. G. R., Albuquerque-Filho, M. R., & Campos, L. S. (2005). Heavy metal contamination in coastal sediments and soils near the Brazilian Antarctic Station, King George Island. *Marine Pollution Bulletin*, 50(2), 185–194. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2004.10.009>
- Stark, J. S., Smith, J., King, C. K., Lindsay, M., Stark, S., Palmer, A. S., ... Riddle, M. (2015). Physical, chemical, biological and ecotoxicological properties of wastewater discharged from Davis Station, Antarctica. *Cold Regions Science and Technology*, 113, 52–62. <https://doi.org/10.1016/j.coldregions.2015.02.006>
- Stark, J. S., Snape, I., & Riddle, M. J. (2006). Abandoned Antarctic waste disposal sites: Monitoring remediation outcomes and limitations at Casey Station. *Ecological Management and Restoration*, 7(1), 21–31. <https://doi.org/10.1111/j.1442-8903.2006.00243.x>
- Wild, S., McLagan, D., Schlabach, M., Bossi, R., Hawker, D., Cropp, R., ... Nash, S. B. (2015a). An Antarctic Research Station as a Source of Brominated and Perfluorinated Persistent Organic Pollutants to the Local Environment. *Environmental Science & Technology*, 49(1), 103–112. <https://doi.org/10.1021/es5048232>
- Wild, S., McLagan, D., Schlabach, M., Bossi, R., Hawker, D., Cropp, R., ... Nash, S. B. (2015b). An Antarctic Research Station as a Source of Brominated and Perfluorinated

Persistent Organic Pollutants to the Local Environment. *Environmental Science & Technology*, 49(1), 103–112. <https://doi.org/10.1021/es5048232>

## ANEXOS

### REGISTRO FOTOGRÁFICO



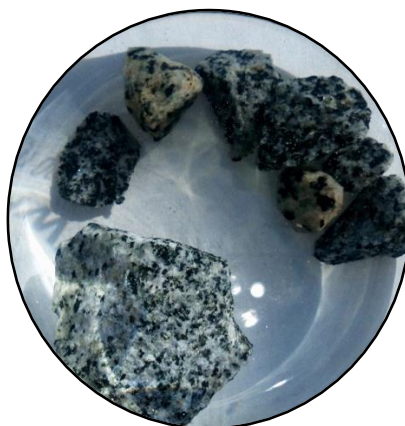
*Tratamientos del test de jarras*



*Agua residual, agua tratada mediante coagulación, y agua tratada mediante oxidación avanzada.*



*Tratamientos del test de jarras con sulfato de aluminio*



*Tratamientos de oxidación avanza con granito*



A.



B.



C.



D.



E.

Especies de algas marinas y musgo adicionadas a lodos residuales para  
bioestabilización.