

Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas en la Estación Científica Pedro Vicente Maldonado, Antártida- Verano Austral 2003- 2004

Carmen Palacios Limones
Instituto Oceanográfico de la Armada. INOCAR
Av. 25 de Julio, Base Naval Sur, Casilla 5940.
Guayaquil-Ecuador
cpalacios@inocar.mil.ec.

Resumen

En la IX Expedición a la Antártica, durante el verano austral 2003- 2004, se construyó, instaló y puso en funcionamiento un sistema de tratamiento de aguas residuales domésticas, provenientes de la estación Científica Pedro Vicente Maldonado (PEVIMA), a fin de cumplir con las normas establecidas en el Sistema de Tratado Antártico, que indica la necesidad de proteger este ambiente prácticamente pristino de cualquier tipo de contaminación y preservarlo para las futuras generaciones. El sistema implementado es un tratamiento es de tipo convencional, con procesos físico-químicos que consisten en coagulación, floculación, sedimentación y cloración, lo que permite eliminar sólidos en suspensión, sólidos disueltos, materia orgánica y bacterias patógenas características de un agua residual doméstica, teniendo como meta una eficacia en el tratamiento cercana o superior al 90% de remoción de dichos contaminantes. La descarga final tratada se evacúa directamente en la Ensenada Guayaquil, que bordea la costa de Punta Fort William, donde se localiza PEVIMA y los subproductos del tratamiento (lodos estabilizados) se retiran del territorio antártico como desechos orgánicos.

Abstract

In IX the Expedition to Antarctica, during the austral summer 2003-2004, was constructed, installed and it put into operation a system of domestic residual water treatment, originating of the scientific station Pedro Vicente Maldonado (PEVIMA), in order to fulfill the norms established in the Antarctic Treaty System, that it indicates the necessity to protect this environment pristine of any type of contamination and to preserve it for the future generations. The implemented system is a treatment of conventional type, with processes physical-chemistries that consist of coagulation, flocculation, sedimentation and cloración, what allows to eliminate solids in suspension, dissolved solids, organic matter and pathogenic bacteria characteristic of a domestic residual water, having effectiveness in the treatment, near or superior to 90% of removal of these polluting agents. The treated final unloading is evacuated directly in the Guayaquil Cove, that is around of Punta Fort William, where it is located to PEVIMA and by the sub-products of the treatment (stabilized muds) they retire of the Antarctic territory like organic waste.

1. Introducción

El problema de tratamiento de desechos humanos de toda índole en la Antártida, es un tema de mucho interés entre los países que mantienen estaciones en ese continente, puesto que ya se ha detectado que existe contaminación en algunas áreas, producida por las diversas actividades humanas, tanto logísticas como científicas y turísticas, que se llevan a cabo (Dirección Nacional del Antártico- Argentina. 2004). Por lo tanto, es importante tomar todas las medidas apropiadas, para que los efectos que se generan sobre el ambiente antártico, debido a las actividades que realizan las dotaciones de las expediciones ecuatorianas al Continente Blanco, no ocasionen impactos significativos a su ambiente.

Las aguas negras y grises remanentes de la actividad humana, pueden ser de origen doméstico e industrial. Sin duda, que el mayor volumen de aguas residuales de la estación PEVIMA, corresponden a aquellas que son propias de la vida del ser humano como la limpieza, preparación de alimentos y necesidades fisiológicas. Se calcula que cada persona consume 200 litros de agua diarios para satisfacer estas necesidades (Tejero, et.al. 2001). Parte de estos residuos son la materia fecal, restos de alimentos, aceites y grasas; otros son detergentes, sales, sedimentos, material orgánico no biodegradable y también microorganismos patógenos.

En los veranos de 1995- 1996 y 1997-1998, se detectaron coliformes totales y fecales en las descargas de los efluentes de aguas servidas de la estación y los lugares cercanos a la misma (Valencia

1998). En expediciones anteriores se visualizó este problema y se minimizó el impacto negativo que pudiera ocasionar el efluente residual doméstico, implementando tanques de separación de sólidos y clorando el efluente para su evacuación final hacia la Ensenada Guayaquil, con resultados satisfactorios.

2. Area de Influencia

La estación científica ecuatoriana Pedro Vicente Maldonado se encuentra ubicada en Punta Fort Williams de la Isla Greenwich, Archipiélago de las Shetland del Sur, a $62^{\circ} 27'$ Latitud Sur y $59^{\circ}42'$ de Longitud Oeste; al frente está la Ensenada Guayaquil. En la actualidad la estación consta de 3 módulos, una bodega y un iglú. En el primer módulo se encuentran los dormitorios y los baños, en el segundo está la sala, biblioteca, comedor y en el tercero los laboratorios de química, biología y geología, la cocina y lavandería. El efluente residual doméstico se descarga por medio de tubería, aproximadamente a unos 300 metros desde PEVIMA hasta la Ensenada Guayaquil.

3. Metodología

Para el diseño, construcción, instalación y operación de la unidad de tratamiento, se aplicó los resultados de experiencias anteriores, que aportaron soluciones inmediatas y mediatas a la realidad actual de las necesidades de PEVIMA.

El proyecto se realizó mediante las siguientes fases:

3.1 Fase de recopilación de información, pre-diseño y diseño.

No se tiene suficiente información sobre las características físicas, químicas y bacteriológicas del agua residual doméstica producto de las diferentes actividades en la estación PEVIMA, por lo que para el cálculo de los parámetros de diseño se tomó datos teóricos de la composición típica del agua residual doméstica bruta y datos registrados de la cantidad de agua usada en expediciones anteriores.

La carga contaminante se estimó en base a parámetros tales como sólidos totales disueltos STD y suspendidos STS (mg/l), sólidos sedimentables (mg/l), demanda biológica de oxígeno DBO (mg/l), demanda química de oxígeno DQO (mg/l) y coliformes (NMP/100ml). Tabla No.1.

Tabla No. 1.- Composición típica de un agua residual bruta.

Fuente: Metcalf-Eddy 1985.

Constituyente	Unidades	Fuerte	Media	Débil
Sólidos Totales	mg/l	1200	720	350
Disueltos (SD)		850	500	250
Suspendidos (SS)		350	220	100
Sólidos sedimentables	ml/l	20	10	5
DBO5	mg/l	400	220	110
DQO	mg/l	1000	500	250
Coliformes totales	NMP/100ml	$10^7 - 10^9$	$10^7 - 10^8$	$10^6 - 10^7$

El caudal promedio de consumo de agua dulce en la estación se estimó en $2.56\text{m}^3/\text{d}$, datos obtenidos del agua consumida del 06 al 16 de febrero de 2001, por medio de un medidor de flujo, lo que nos permitió tener una idea de la cantidad de agua que se

usa en la estación. (Informe de la VIII Expedición. 2001). Esta agua proviene de los deshielos de elevaciones cercanas a la estación y se almacena en tanques plásticos. Figura 1.

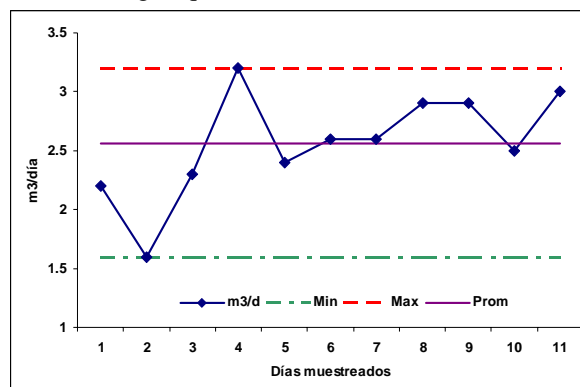


Figura 1. Caudales promedios de agua dulce consumidos en la estación.

Fuente: Informe VIII expedición ecuatoriana. Ene-Feb/2001

Se elaboró una encuesta a un grupo de 15 personas, que en un tiempo determinado, participaron en campañas científicas y logísticas a la Antártida, sobre las principales actividades que se

realizan en la estación y en qué se utiliza el agua. Estos datos promedios se reflejan en las tablas 2, 3 y 4, donde el caudal promedio teórico de agua residual a tratar se estimó en 2 m³/d por 22 habitantes.

Tabla No.2 Estimación teórica de aguas residuales por persona para su aseo personal y necesidades biológicas (estimado para 22 personas por día)

Aseo y necesidades	Lt/d persona	M3/d persona	lt/d 22 personas	m3/d 22 persona	No. de veces	Lt/d*22 por * No.veces	m3/d 22 por * No.veces
Baño – ducha	18	0.018	396	0.396	1	396	0.396
Limpieza de dientes	0.5	0.0005	11	0.011	3	33	0.033
Limpieza de cara	2	0.002	44	0.044	4	176	0.176
Limpieza de manos	2	0.002	44	0.044	5	220	0.22
Baterías sanitarias							
Orina	4	0.004	88	0.088	7	616	0.616
Heces	4	0.004	88	0.088	2	176	0.176
Subtotal			671	0.671		1617	1.617

Tabla No.3 Estimación teórica de aguas residuales de acuerdo a actividades en estación

Actividad	Lt/d	m3/d
Limpieza de estación (pisos, baños)	40	0.04
Cocina-lavado de platos	120	0.12
Lavado de ropa	200	0.2
Subtotal	360	0.36

Tabla No.4 Total de estimaciones teóricas

	Lt/d	m3/d
Subtotal de Tabla No. 2	1617	1.617
Subtotal de tabla No. 3	360	0.36
Total	1977	1.977

3.2 Fase de instalación y funcionamiento

Las pruebas de materiales y equipos del sistema de tratamiento, se realizaron antes del viaje a la Antártida en las instalaciones del Instituto Oceanográfico de la Armada (INOCAR), obteniéndose tiempos de reacción y dosis de reactivos óptimo. Una vez instalado en la estación PEVIMA, se verificó el correcto funcionamiento de bombas, válvulas y panel de control automático.

El proceso fisicoquímico consiste en remover con ayuda de coagulantes, principalmente sales metálicas y/o polielectrolitos, los sólidos suspendidos o disueltos que poseen y de esta manera, la carga orgánica potencialmente peligrosa para la salud. Los productos de este tipo de tratamiento son aguas relativamente libres de materia orgánica y lodos no estabilizados que son la suma de la materia orgánica, suspendida y disuelta, removida del agua y los coagulantes añadidos.

El sistema implementado, consta de un pretratamiento por medios físicos (tamices) que elimina la materia gruesa suspendida para luego en

un tanque equalizador obtener un agua cruda homogénea. Posteriormente para su tratamiento químico se somete a una agitación violenta o mezcla rápida, en la que con ayuda de sulfato de aluminio se propicia la desestabilización de la materia suspendida y/o la acción de puentes químicos que permiten la formación de pequeños microfloculos (coagulación), los cuales son aglutinados en partículas de mayor tamaño por medio de una mezcla lenta (floculación). Luego las partículas ya desestabilizadas y aglutinadas, poseen el tamaño y densidades suficientes para poder removerse por acción de la gravedad (sedimentación). Las partículas de pequeño tamaño que no alcanzaron a ser removidas en el anterior proceso, son removidas en un filtro de arena, carbón activado y grava.

Los efluentes de este tratamiento, son aguas a las que se les han removido casi la totalidad de los sólidos que poseía el agua cruda. Previo a su descarga, se desinfecta con cloro para eliminar cualquier microorganismo patógeno y brindarle una protección residual óptima.

3.3 Fase de mediciones para control de calidad de agua y eficiencia de la planta

Los parámetros de control fueron: temperatura, pH, sólidos totales disueltos, turbidez, color, demanda biológica de oxígeno (DBO5), demanda

química de oxígeno(DQO), coliformes totales y fecales. El control de calidad del agua cruda, tratada y receptor final fueron analizados in situ, con un total de 8 muestreos (uno por semana) entre los meses de enero y febrero del 2004.

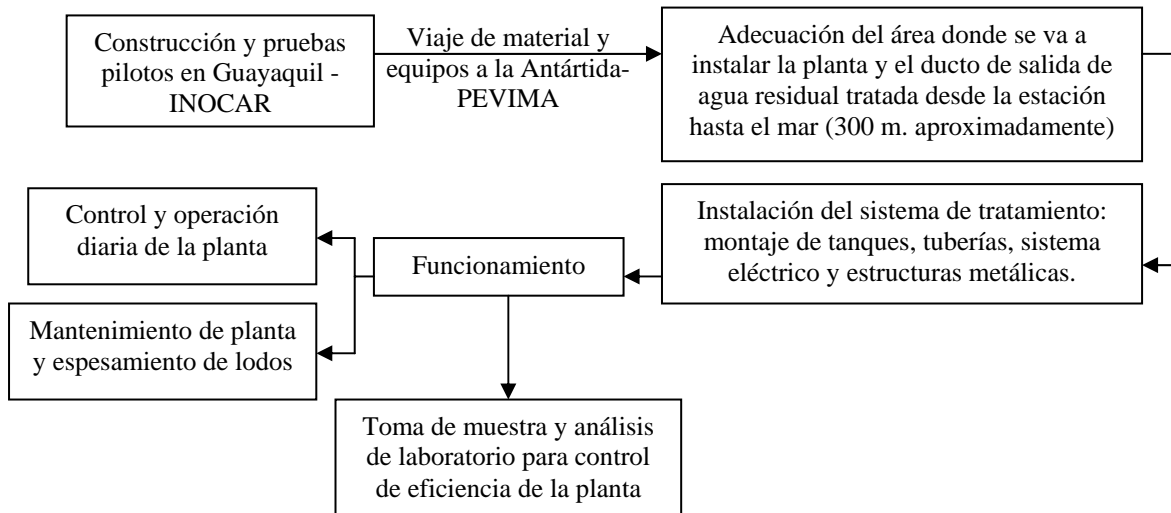


Figura 2.- Esquematación del sistema de tratamiento desarrollado en PEVIMA

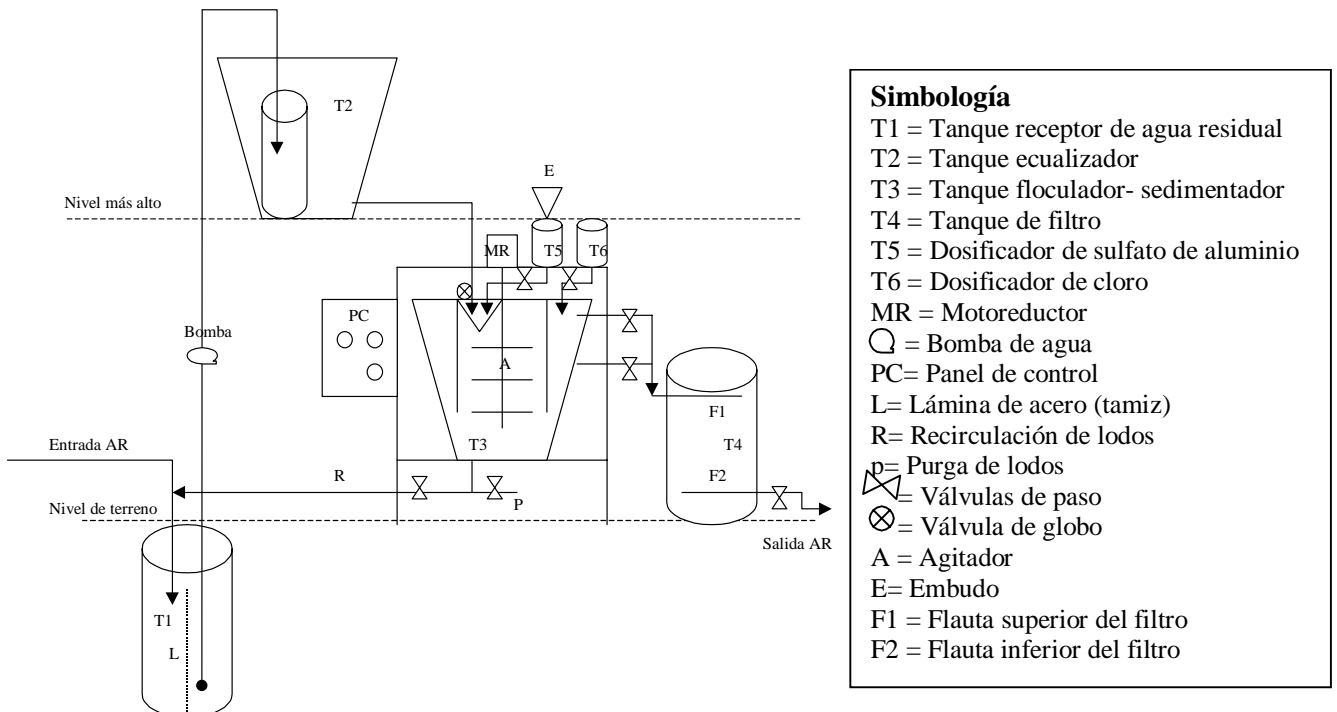


Figura 3.- Diagrama del sistema de tratamiento

4. Discusión de Resultados

Del sistema de tratamiento implementado en PEVIMA, se obtuvieron parámetros de diseño a temperaturas entre 6 a 10°C y pH de 6 a 7.5, como: dosis de coagulante de 250 mg/l de sulfato de aluminio; tiempo de mezcla rápida entre 30 a 40 segundos dados en la coagulación; tiempo de mezcla lenta entre 20 a 30 minutos para la formación de los floc; tiempo de sedimentación de 35 minutos. Así mismo se determinó la cantidad de hipoclorito de

sodio al 6% de 150 ml/250 lt agua residual con el fin de eliminar organismos patógenos.

El agua residual proveniente de PEVIMA tiene tabla No. 1 de concentraciones típicas de un agua residual. Se realizaron en total 8 muestreos para control de eficiencia de la unidad durante los meses de enero y febrero del 2004, obteniéndose concentraciones promedios del agua cruda y del agua tratada como se indica en la tabla No. 5. Además se estableció el porcentaje de remoción por contaminante, teniendo como resultado final una eficacia del tratamiento de 91,91%.

El porcentaje de remoción se calculó con la siguiente fórmula:

$$\% \text{ Remoción} = \frac{(\text{Concentración A.cruda} - \text{Concentración A.tratada})}{\text{Concentración A.cruda}} \times 100$$

Tabla No.5 Concentraciones promedios obtenidos in situ.
Control de eficiencia de la planta. Enero-Febrero 2004

Parámetros	Unidades	Agua Cruda	Agua tratada	% remoción
Color	1/m	62,14	3,26	94,76
Turbidez	UNF	302,75	19,88	93,44
STD	mg/l	167,88	38,13	77,29
DBO5	mg/l	245	33	86,53
DQO	mg/l	769	65	91,55
Coliformes totales	NMP/100ml.	2000000	2000	99,90
Coliformes fecales	NMP/100ml.	200000	200	99,90
Cloro residual	mg/l	0	0,4	
Eficiencia planta				91,91

Subproductos.- Los coloides que se forman en el tanque floculador se sedimentan en el fondo y por medio de purgas se desalojan para formar los subproductos que son los lodos no estabilizados de la unión de los sólidos en suspensión y reactivo utilizado. Estos lodos son barros semisólidos que contienen de 0,5 a 5% de sólidos, por lo que no tienen valor económico pero si representan un perjuicio ambiental. Para convertir su materia orgánica en sólidos estables, reducir la masa y volumen de agua y destruir las bacterias dañinas, se los espesa. Una vez espesados estos lodos, se los estabiliza con cal para llegar a un pH mayor de 12 quedando así inhibido el crecimiento bacteriano del mismo y eliminando los malos olores. Se disponen estos lodos fuera del área antártica, como material de desecho orgánico, hacia el botadero de basura de Punta Arenas- Chile.

Se estimó un promedio de 9 Kg. de lodos por 15 días.

5. Conclusiones

La eficiencia obtenida superior al 90% cumple con las expectativas planteadas de tener una descarga de agua residual libre de contaminación que no ocasione daño al medio circundante a la estación, enmarcándonos dentro de las normas internacionales establecidas por el Tratado Antártico.

El control en la operación y mantenimiento diario de la planta, la caracterización física, química y bacteriológica del agua cruda, floculada y tratada, permite que esta eficiencia no decaiga durante el tiempo de permanencia en PEVIMA.

El tratamiento que se da a los lodos derivados como subproductos de la planta, facilita el traslado a Punta Arenas para ser dispuestos en el botadero.

6. Agradecimiento

Mi agradecimiento a los directores del Instituto Oceanográfico de la Armada y del instituto Antártico Ecuatoriano, por el apoyo brindado a este proyecto. De especial manera al CPMG-EM Rafael Cabello Peñafiel, Comandante de la IX Expedición a la Antártida y a todos los integrantes de la misma, que de una u otra forma colaboraron con la construcción, instalación y puesta en funcionamiento de este sistema de tratamiento. Extiendo mi agradecimiento a la Dra. Julia Saad y al Dr. Manuel Valencia por la revisión de este artículo y las sugerencias al mismo.

7. Bibliografía

- (1) **Arboleda V., Jorge 2001.** “Teoría y Práctica de la Purificación del Agua”. Tercera edición, Tomo 1 Capítulo 4.
- (2) **Castillo Borges, et al. 1996.**- Determinación de parámetros de diseño de un tratamiento físico químico de aguas residuales. México
- (3) **Guía de Guía a la Antártida.**- Protocolo al Tratado Antártico sobre protección del medio ambiente. Madrid 1991. Anexo III. Eliminación y tratamiento de residuos. Artículo 1.
- (4) **Informe de la VIII Expedición- 2001.**- Datos de consumos de agua dulce en la estación científica Pedro Vicente Maldonado.
- (5) **Metcalf-Eddy 1985.**- Ingeniería Sanitaria. Tratamiento, evacuación y reutilización de aguas residuales. Barcelona.
- (6) **Saad Julia, 2004.**- Metodología de la Investigación. Curso dictado en INOCAR.
- (7) **Tejero I., Suárez J., Jácome A., Temprano J. 2001.**- Introducción a la Ingeniería Sanitaria y Ambiental. Volumen I, Capítulo 8.
- (8) **Valencia Manuel, 1998.**- Estudio de Impacto Ambiental en Punta Fort William Verano Austral 1995-1996, 1997- 1998. Acta Antártica Ecuatoriana. Año 4 Volumen 1.