

UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA QUÍMICA Y AMBIENTAL

VALPARAÍSO - CHILE



"PROPUESTA DE DISEÑO PARA UN HIGIENIZADOR DE ORINA HUMANA MEDIANTE ALMACENAMIENTO EN UN UDDT"

DANIELA BEATRIZ HERMOSILLA ESPINOZA

*MEMORIA DE TITULACIÓN PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL
AMBIENTAL*

PROFESOR GUÍA: Dra. LORNA GUERRERO SALDÉS

PROFESOR CORREFERENTE: Sr. DIEGO PIZARRO SÁNCHEZ

SEPTIEMBRE - 2016

AGRADECIMIENTOS

A mi familia, que a pesar de mis tropiezos siempre me apoyaron y me dieron su cariño, especialmente a la Cota por ser mi pilar y por enseñarme a hacer la tesina.

A Checho y Pablo, que más que mis jefes son mis hermanos, amigos, confidentes y guías. No terminaría nunca de agradecer todo lo que me han entregado. A Carlitos, que sin su ejemplo y cariño esto nunca se hubiese realizado. Donde quiera que estés, un pedacito de mi corazón también está. A BIS en general, que me enseñó que lo convencional no siempre es la mejor alternativa.

A mis amigos, especialmente a Naty, que ha estado junto a mí desde siempre y me hace enorgullecer por su perseverancia e inocencia. A Iván por llenarme de cariños y comas; a Patricio por apoyarme desde la distancia, a Maikoll por darme su corazón y su cuenta de Netflix, a Lena Andrea que me dejará sola por un tiempo pero no olvidare sus enseñanzas, y a todos los que han estado cerca de mi corazón sin querer. Gracias infinitas!

RESUMEN

El saneamiento sostenible considera las excretas humanas y las aguas servidas no como desechos, sino como un recurso de valor, al contener energía, nutrientes y agua que pueden ser reutilizados. Plantea recolectar por separado fecas, orina y aguas servidas, para facilitar el tratamiento de éstos, ayudando a su vez a la descontaminación del medio ambiente y asegurando higiene en su proceso.

El baño seco con separación de orina o *UDDT (Urine Diversion Dry Toilet)* difiere del baño convencional al tener dos compartimientos para las excretas humanas (considerando fecas y orina); uno frontal para la orina y el otro posterior para las fecas, tratándolas por separado. Este tratamiento sustentable disminuye la contaminación ambiental y permite el ahorro de agua potable por descarga. Bajo este concepto se desarrolla el Baño BIS, el cual consiste en un baño seco (utiliza poca agua de arrastre para las excretas con respecto al saneamiento convencional) con un asiento sanitario, un lavamanos, una ducha y un calentador de agua solar. Funciona reproduciendo los ciclos naturales, y con tecnología apropiada para dar saneamiento a zonas donde no es factible un sistema centralizado.

El proyecto de título a desarrollar considera generar una propuesta de diseño de un reactor de higienización de la orina mediante almacenamiento, como equipo base y de bajo costo, que asegure la inocuidad de ésta al terminar el proceso. Al mantener almacenada la orina, su inocuidad se produce si se almacena a 20°C como promedio, por un mes para asegurar la muerte de las bacterias y por al menos seis meses para asegurar la muerte de los virus. Si se almacena a menor temperatura (hasta 4°C), las referencias mencionan que solo se puede asegurar la muerte de las bacterias, pero no de virus. Por esto se recomienda que el almacenamiento en ese caso, sea de un año.

En el proyecto se analiza qué material permite almacenar de mejor manera la orina para el proceso de higienización, en estanques cerrados durante un mes. La materialidad de los estanques de almacenamiento se someten a distintas condiciones de estudio, como la opacidad del material utilizado en el estanque, la temperatura a la que se somete en el proceso, el volumen del estanque y la dilución en agua de la orina almacenada. Se analiza qué dispositivo permite disminuir al mínimo la cantidad de amoníaco gaseoso que se fuga de los contenedores, y finalmente, para asegurar la higienización de la orina se monitorea la concentración de coliformes fecales. Se propone evaluar la evolución del parámetro de concentración de microorganismos con el método del Número Más Probable o NMP. Se

mide la concentración dos veces por semana, hasta cumplir con las normativas vigentes como la NCh 1333. En cada una de las experiencias se lleva registro del pH y la temperatura.

A partir de los experimentos realizados, es posible generar un diseño de un reactor de higienización de orina humana mediante almacenamiento para la utilización de la orina en un baño UDDT. Este equipo consiste en un contenedor adquirible de plástico del tipo PEAD, de un volumen recomendado de 20 [L] que, según la cantidad aproximada por micción comprobada experimentalmente de 166 [mL], debería llenarse en una semana en un baño de una familia de 4 personas. Se requiere su almacenamiento a la intemperie y que su superficie sea opaca, preferentemente de color negro. Como última característica operacional, se menciona la dilución de la orina con agua de arrastre, la cual se recomienda utilizar en una razón de 2:1 aproximadamente.

Esta configuración asegura el cumplimiento de la normativa NCh 1333 para coliformes fecales, y permite el uso de la orina como fertilizante o hidratador nutritivo de suelos. Esta inocuidad se presenta al mes de almacenada la orina, y menos si el contenedor es opacado, pintándolo de negro. El dispositivo anti-retorno (o anti-fuga) idóneo a implementar en el diseño del contenedor higienizador de orina es la trampa de membrana plástica, ya que tiene el menor costo entre las alternativas presentadas y se acopla al sistema de saneamiento ya implementado en el baño BIS.

En lo respectivo al uso de la orina higienizada se debe considerar que, para evitar que la planta se “queme” por el pH de la orina almacenada y la pérdida de nitrógeno, la orina no debe ser aplicada directamente en la planta, sino que en la tierra adyacente a ésta. Se debe tener en cuenta que la persona que aplica la orina debe seguir buenas prácticas de higiene personal, como lavarse bien las manos después de aplicar la orina y usar guantes, botas y mascarillas para evitar el contacto directo con el líquido.

ÍNDICE

AGRADECIMIENTOS.....	II
RESUMEN.....	III
ÍNDICE	V
Índice de Figuras	VI
Índice de Tablas	VII
Capítulo 1: INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS	1
1.1. Introducción.....	1
1.2. Objetivos	4
Capítulo 2: ANTECEDENTES	5
2.1. Baño seco UDDT.....	5
2.2. Caracterización de la Orina	6
2.3. Métodos de tratamiento de la Orina.....	9
2.4. Almacenamiento de la Orina y uso como fertilizante	13
2.5. Dispositivos Anti-fuga	18
2.6. Materialidad de los estanques de almacenamiento	21
2.7. Normativa	23
Capítulo 3: METODOLOGÍA.....	26
3.1. Propuesta de plan de investigación Pie>A.....	26
3.2. Propuesta Experimental de pruebas de higienización	29
Capítulo 4: RESULTADOS Y DISCUSIÓN	32
4.1. Resultados.....	32
4.2. Diseño	40
Capítulo 5: CONCLUSIONES	44
Capítulo 6: REFERENCIAS	46
ANEXOS.....	50

Índice de Figuras

<i>Figura 1: Uso consuntivo de agua potable en Chile</i>	<i>1</i>
<i>Figura 2: Saneamiento convencional y sus deficiencias</i>	<i>2</i>
<i>Figura 3: Ciclo Sostenible de un BIS</i>	<i>3</i>
<i>Figura 4: Baño BIS con separador de orina.....</i>	<i>5</i>
<i>Figura 5: UDDT de doble cámara con líneas de flujo de ventilación (izquierda), y una cámara simple con contenedores separados de orina y fecas (derecha).....</i>	<i>6</i>
<i>Figura 6: Infiltración directa de orina en un baño seco</i>	<i>10</i>
<i>Figura 7: Esquema explicativo de un reactor de estruvita.....</i>	<i>12</i>
<i>Figura 8: Capacidad de retención de partículas para distintos tratamientos de agua con utilización de membranas.....</i>	<i>13</i>
<i>Figura 9: Técnicas de aplicación para utilizar la orina como fertilizante.</i>	<i>16</i>
<i>Figura 10: Crecimiento de una espinaca fertilizada con orina (izquierda) y una no fertilizada (derecha).....</i>	<i>17</i>
<i>Figura 11: Sistema de líquido sellante para urinarios sin uso de agua.</i>	<i>19</i>
<i>Figura 12: Válvula antirretorno tipo pinza.....</i>	<i>19</i>
<i>Figura 13: Válvula antirretorno tipo sombrilla</i>	<i>20</i>
<i>Figura 14: Válvula antirretorno tipo cortina</i>	<i>20</i>
<i>Figura 15: Esquema de la acumulación de orina para su higienización por almacenamiento</i>	<i>26</i>
<i>Figura 16: Instrumentación utilizada en la toma de muestras de los estanques de orina. ..</i>	<i>30</i>
<i>Figura 17: Tubos con medio LST para el método de NMP.</i>	<i>31</i>
<i>Figura 18: Deformación estructural y formación de estruvita en estanque 1 RPETTI1.5.</i>	<i>35</i>
<i>Figura 19: Deformación estructural en estanque 9 APEADOI5.</i>	<i>35</i>
<i>Figura 20: Temperatura, pH y caracterización biológica del estanque 10 APEADTI20.</i>	<i>37</i>
<i>Figura 21: Tubo de ensayo después del periodo de incubación con resultado negativo en muestra del estanque 11 APEADOI20.</i>	<i>38</i>
<i>Figura 22: Caracterización biológica del estanque 12 APEADTI20.</i>	<i>39</i>
<i>Figura 23: Informe ensayo de aguas residuales por Laboratorio Silob Chile para el estanque 12 APEADTI20 en la muestra número 8.....</i>	<i>39</i>
<i>Figura 24: Estanque de acumulación a utilizar como higienizador de orina.....</i>	<i>43</i>
<i>Figura 25: Esquema de la acumulación de orina para su higienización por almacenamiento incluyendo consideraciones finales obtenidas de los experimentos realizados.</i>	<i>43</i>

Índice de Tablas

Tabla 1: <i>Propuesta de caracterización química para la orina fresca chilena</i>	8
Tabla 2: <i>Resumen de patógenos en la orina y su importancia para la salud pública</i>	8
Tabla 3: <i>Lineamientos recomendados de tiempos de almacenamiento para la orina mezclada con agua</i>	14
Tabla 4: <i>Rendimiento promedio en gramos de peso fresco al utilizar orina como fertilizante</i>	18
Tabla 5: <i>Resistencias relativas de los plásticos a algunas sustancias químicas</i>	23
Tabla 6: <i>Alternativas de materiales a utilizar en estanques de almacenamiento de orina y algunas propiedades relevantes</i>	24
Tabla 7: <i>Carta Gantt del proyecto Pie>A “Valorización de la orina humana”</i>	29
Tabla 8: <i>Siglas utilizadas en los estanques de almacenamiento y su significado</i>	32
Tabla 9: <i>Volumen de los estanques de almacenamiento de orina por tipo de material</i>	33
Tabla 10: <i>Configuración y fechas de llenado para los estanques de almacenamiento de orina</i>	33
Tabla 11: <i>Número total de micciones por estanque de almacenamiento y estimación de volumen de orina por micción</i>	34
Tabla 12: <i>Comportamiento del plástico al almacenar orina verificado mediante observación</i>	34
Tabla 13: <i>Cuadro comparativo de dispositivos anti-fuga</i>	36
Tabla 14: <i>Temperatura, pH y caracterización biológica del estanque 10 APEADTI20</i>	37
Tabla 15: <i>Temperatura, pH y caracterización biológica del estanque 11 APEADOI20</i>	37
Tabla 16: <i>Resultado ensayo de aguas residuales por Laboratorio Silob Chile para el estanque 12 APEADTI20</i>	38

Capítulo 1: INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS

1.1. Introducción

El agua como recurso se encuentra en crisis a partir del cambio climático y el constante crecimiento económico y desarrollo social de los últimos años. A nivel mundial, solo el 0,9% de agua dulce es accesible para su uso y un 30,1% se encuentra en acuíferos, disponibles para la utilización del ser humano (USGS, 2012).

El recurso hídrico en Chile es privilegiado con respecto al resto del mundo. El promedio de recurso hídrico por habitante es de 6600 [m³/habitante/año] que supera ampliamente la media mundial de 2000 [m³/habitante/año] (MOP, 2012). No obstante, esta disponibilidad puede verse afectada por cambios en los patrones de precipitaciones, aumento de los deshielos en el tiempo e incluso con la ubicación geográfica.

La agricultura y ganadería es la actividad que consume la mayor cantidad de agua dulce, con alrededor de un 70% del uso consuntivo en Chile (MOP, 2012), como se muestra en la figura 1. Ésta podría reintegrarse eventualmente al ciclo hidrogeológico con contaminantes tales como fertilizantes y químicos pesticidas.

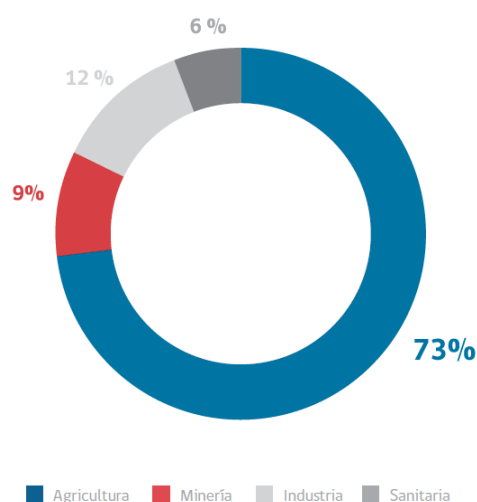


Figura 1: Uso consuntivo de agua potable en Chile (MOP, 2012).

De la mano con esta problemática existe un desbalance en el ciclo de los nutrientes. Algunas de las culturas más antiguas del planeta tradicionalmente han utilizado las excretas animales como fertilizante para devolver a la tierra nutrientes tales

como el carbono (C), hidrógeno (H), oxígeno (O), nitrógeno (N), fósforo (P), potasio (K), calcio (Ca) y magnesio (Mg) (SSWM, 2010). En lugares donde no existe cobertura de saneamiento por alcantarillado (como zonas rurales), muchas veces las aguas son devueltas con químicos pesticidas al subsuelo o, en lugar de ser reciclados de vuelta a la tierra; estos nutrientes son arrastrados y descargados en ambientes acuáticos, provocando el empobrecimiento del suelo y la sobrecarga de nutrientes en cuerpos naturales de agua. Estas problemáticas se resumen en la figura 2.

Adicionalmente, es ampliamente conocido que el fósforo en forma de depósitos de roca, es un recurso no renovable y limitado. Los sedimentos de fósforo de alta calidad se agotarán en el futuro (GIZ, 2011).



Figura 2: Saneamiento convencional y sus deficiencias (Pizarro, 2012).

Adicionalmente a esto, existe otra una situación a considerar con respecto al saneamiento. A pesar de la alta cobertura del saneamiento en zonas urbanas en Chile, aún existen familias que viven sin alcantarillado. Hoy en día, existen alrededor de 36.000 familias en campamentos. El 76% de estas familias no tienen conexión regular al agua potable y un 91% de dichas familias no tiene conexión regular al alcantarillado. El 41.1% utilizan fosa séptica como receptor de desechos orgánicos y el 36,7% en una letrina o pozo negro (Techo, 2015).

Hay que considerar así mismo que en Chile no existe ninguna institución del estado con jurisdicción exclusiva con respecto a los servicios sanitarios en el sector rural. Según el INE (Instituto Nacional de Estadística), existe en Chile una población superior a los 2,2

millones de personas que viven en condiciones de ruralidad (MINVU, 2015). Alrededor del 20% de esta población no tiene sistemas de agua potable rural y aproximadamente el 70% demanda saneamiento rural (SUBDERE, 2009).

Con el fin de solucionar este problema se plantea el saneamiento sostenible, que considera las excretas humanas y las aguas servidas no como desechos, sino como un recurso de alto valor, al contener energía, nutrientes y agua que puede ser reutilizados. El saneamiento sostenible o saneamiento ecológico, plantea recolectar por separado fecas, orina y aguas servidas, para facilitar su aprovechamiento, ayudando a su vez a la descontaminación del medio ambiente y asegurando higiene y salubridad en su proceso, utilizando materiales y tecnología adecuada al usuario.

Bajo esta visión se desarrolla el baño integral sostenible (BIS), el cual consiste en un baño seco (no utiliza agua de arrastre para las excretas) con un asiento sanitario separador de excretas, un lavamanos, ducha y un calentador de agua solar. Funciona reproduciendo los ciclos naturales, tratando aguas y excretas por separado, con tecnología apropiada para dar saneamiento a zonas donde no es factible un sistema centralizado. Se esquematiza su funcionamiento en la figura 3.

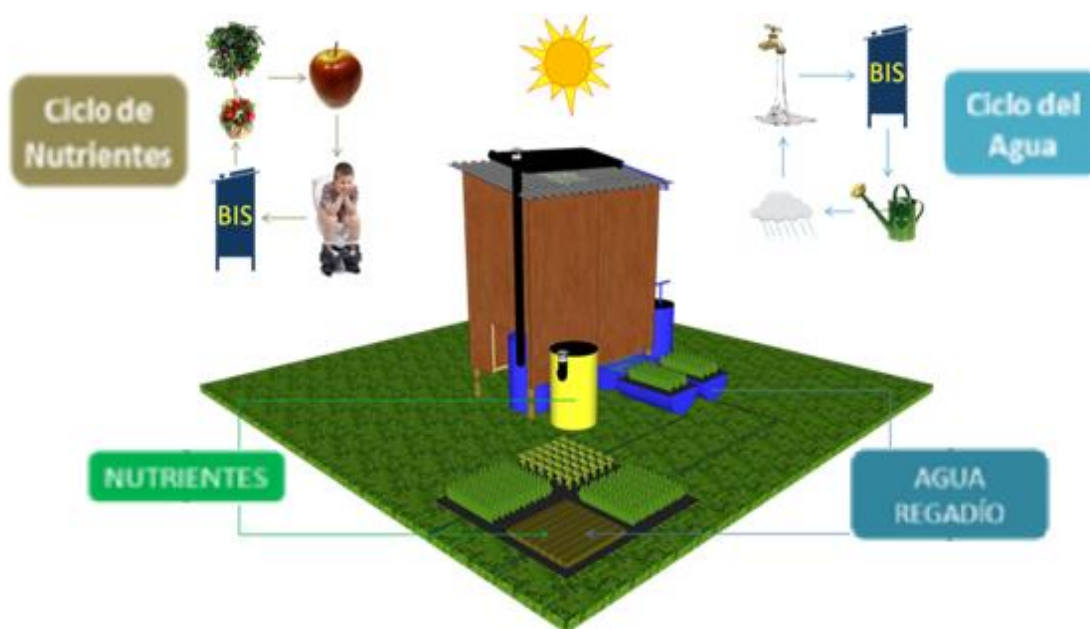


Figura 3: Ciclo Sostenible de un BIS (Pizarro, 2012).

La empresa Ingeniería en Innovaciones Sanitarias (InnSanía S.P.A.), además de idear el baño BIS, apoya el desarrollo de esta memoria de tratamiento de orina en baños con separación de orina en origen o UDDT (*Urine Diverting Dry Toilet*), para así mejorar las

condiciones de uso de dicho baño y ampliar la reutilización de sus efluentes. Esta memoria es también parte del programa de iniciativas estudiantiles académicas (Pie>A), instancia que sustenta a distintos grupos que trabajan en ciencia y tecnología dentro de la universidad.

1.2. Objetivos

El objetivo general de este trabajo de título es generar una propuesta de diseño de un reactor de higienización de la orina mediante almacenamiento, como equipo base y de bajo costo, que asegure la inocuidad de ésta al cabo de su tratamiento.

Por lo tanto, los objetivos específicos son los siguientes:

- Proponer un diseño básico para un reactor que higienice orina humana, mediante su almacenamiento.
- Seleccionar una opción apropiada de la materialidad del reactor, opacidad del mismo, condiciones físicas de almacenamiento y volumen para el reactor de higienización a partir de experimentos.
- Determinar el dispositivo anti-retorno (o anti-fuga) idóneo a implementar en el diseño del reactor.
- Sentar las bases del desarrollo de un equipo que permita depurar la orina y para que ésta sea valorizada como hidratante de suelos con poder nutritivo para cultivos.

Capítulo 2: ANTECEDENTES

2.1. Baño seco UDDT

El baño seco con separación de orina o *UDDT* difiere del baño convencional al tener dos compartimientos para las excretas humanas; uno frontal para la orina y el otro posterior para las fecas, imitando la separación anatómica natural del cuerpo humano y tratándolas por separado. Las fecas caen por gravedad en una cámara aislada, siendo cubiertos con aditivos de origen natural como aserrín o cenizas para disminuir su humedad y aumentar su pH. Se instalan además ductos de ventilación para promover la aireación, ayudar a la deshidratación de las fecas y finalmente obtener materia orgánica seca que sirve como mejorador de suelos. El diseño y sus partes se muestran en la figura 4 y 5.

Dentro del mismo proceso, la orina se canaliza por separado ya sea para infiltrarla en la tierra o acumularla para su tratamiento y utilizarla como fertilizante líquido. Al igual que en un baño convencional, se utiliza agua para arrastrar remanentes que pudiesen quedar en el compartimiento frontal, para evitar malos olores y llevar el líquido diluido a su acumulación (en razón 2:1 de agua/orina).



Figura 4: Baño BIS con separador de orina (Pizarro, 2012).

Los tratamientos convencionales para la disposición de los desechos humanos han mostrado ser eficientes desde la revolución industrial, pero hoy en día se ha mostrado que

tratamientos alternativos como el presentado no solo aseguran la higiene del proceso, si no que disminuyen el impacto medioambiental producido por el manejo de las aguas urbanas.

Este tratamiento, al coleccionar la orina y fecas por separado, disminuye la contaminación ambiental por sobrecarga de nutrientes en los cauces de agua y permite la recuperación eficiente de éstos. Finalmente, el beneficio de mayor importancia es el ahorro de agua potable por descarga, al no utilizar agua de arrastre para las fecas y poca para la orina. Una descarga convencional utiliza de 8 a 12 litros de agua limpia en contraste a unos 0,5 litros utilizados arrastrar la orina en un UDDT, sin mencionar la posible utilización de agua de reciclaje como aguas provenientes del lavamanos, entre otros (WERF, 2011).

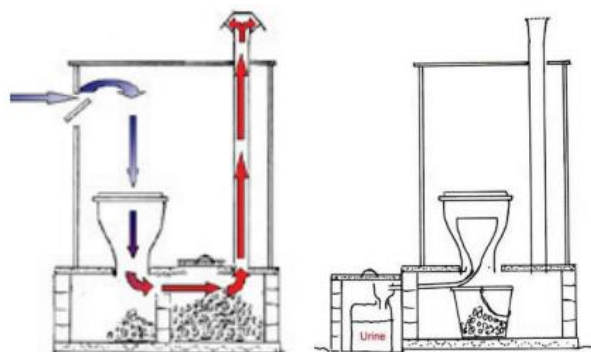


Figura 5: UDDT de doble cámara con líneas de flujo de ventilación (izquierda), y una cámara simple con contenedores separados de orina y fecas (derecha) (Rieck et al., 2012).

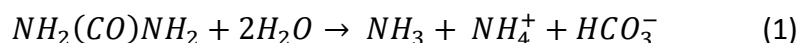
2.2. Caracterización de la Orina

Es necesario caracterizar el afluente del proceso descrito en esta investigación con respecto a su composición química y microbiológica. La orina es una sustancia excretada por el cuerpo humano que contiene los compuestos metabolizados por el cuerpo humano y los compuestos que no fueron absorbidos por este mismo. Las concentraciones de éstos componentes pueden variar con respecto a la dieta, la ubicación geográfica, entre otros factores (Niwigaba, 2009).

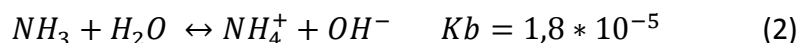
Primero se caracteriza la orina con respecto a la cantidad generada. Un adulto excreta en promedio 1,5 [L] de orina por día, mientras que un niño 0,75 [L] de orina por

día, orinando en promedio 5 veces al día, de las cuales 3 (el 60%) se realiza en el sanitario de su vivienda (Olivares, 2015).

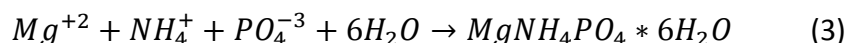
Se menciona a continuación la composición de la orina y comportamiento de sus componentes principales llevadas a la cultura y dieta de Chile según el estudio realizado por Olivares (2015). El parámetro con más importancia dentro del proceso es el pH. La orina fresca presenta un pH alrededor de 6 (Maurer, 2006). Este parámetro varía con el tiempo por la acción de la enzima bacteriana ureasa (urea aminohidrolasa), catalizando la hidrólisis de la urea ($\text{NH}_2\text{-CO-NH}_2$) a amoníaco (NH_3) según la reacción 1.



Esta reacción produce el aumento del pH hasta alcanzar un valor de 9, junto a la generación de amoníaco que aumenta el poder corrosivo de la orina y genera mal olor (Maurer, 2006). Se establece el equilibrio químico entre el amoníaco y el amonio, en la ecuación 2.



Al mismo tiempo, el incremento del pH induce la precipitación de estruvita (MgNH_4PO_4) (según la reacción 3) y fosfato de calcio ($\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2$) en forma de cristales. Estos cristales pueden formar incrustaciones, también llamados “*urine stones*” o “piedras de orina”.



En cuanto a su composición química, la orina contiene nutrientes en concentraciones bajas debido a que cerca del 98% de la masa de la misma corresponde al agua contenida en ella (Maurer, 2006).

Los nutrientes necesarios para el crecimiento de las plantas se clasifican en macronutrientes y micronutrientes según la cantidad requerida para esto. Los macronutrientes son aquellos elementos indispensables para el crecimiento adecuado de las plantas, utilizándolos en forma de iones en sus procesos metabólicos. Se consideran macronutrientes al nitrógeno (N), fósforo (P), potasio (K), que, contenidos en la orina, representan entre un 50% y un 80% de los nutrientes contenidos en las aguas residuales, aunque se consideran dentro de estas como elementos contaminantes (principalmente porque al acumularse podrían producir eutrofización en cauces de agua). A su vez se

pueden encontrar micronutrientes como el boro (B), cobre (Cu), hierro (Fe), cloro (Cl), zinc (Zn) y metales pesados en muy baja concentración, como cadmio (Cd), níquel (Ni), plomo (Pb), mercurio (Mg), etc. (WERF, 2011). Sus respectivas concentraciones en la orina se presentan en la tabla 1.

Tabla 1: Propuesta de caracterización química para la orina fresca chilena (Olivares, 2015).

Parámetro	Concentración [mg/L]
Nitrógeno total (N_{tot})	6533,4
Amonio y amoniaco ($NH_4^+ + NH_3$)	355,7
Fósforo total (P_{tot})	690,6
Potasio (K)	1761,0
Azufre (S)	1592,9
Sodio (Na)	1923,8
Cloro (Cl)	4198,1
Calcio (Ca)	163,5
Magnesio (Mg)	95,8

Con respecto a su composición microbiológica, se considera que la orina es estéril mientras se encuentra en los riñones, pero puede adquirir microorganismos patógenos por contaminación cruzada con patógenos contenidos en las fecas ($9,1 \pm 5,6$ [mg de fecas/L de orina] en baños UDDT (Olivares, 2015)) o cuando existen infecciones en el tracto urinario, las que son producidas, en un 80% de los casos, por la bacteria *Escherichia Coli* (Höglund, 2001). Sin embargo, existe la posibilidad de que se encuentren distintos patógenos en la orina, los que se resumen en la tabla 2.

Tabla 2: Resumen de patógenos en la orina y su importancia para la salud pública (Olivares, 2015).

Patógeno	Orina como vía de transmisión según WHO* (2006)	Importancia según WHO* (2006)	Importancia en Chile según Olivares (2015)
<i>Leptospira interrogans</i>	Usualmente a través de orina animal	Probablemente baja	Nula
<i>Salmonella typhi</i> y <i>Salmonella paratyphi</i>	Inusual en zonas no hiper-endémicas	Baja comparada con otras vías de transmisión	Baja
<i>Mycobacterium tuberculosis</i> y <i>Mycobacterium bovis</i>	Inusual, frecuentemente transmitida por vía aérea	Baja	Nula
<i>Microsporidium</i>	Propuesta, no probada	Baja	Baja
<i>Virus</i>	No usual, sólo casos aislados de transmisión de hepatitis A	Probablemente baja	Baja

*Organización Mundial de la Salud (WHO por sus siglas en inglés).

Tabla 2 (continuación).

Patógeno	Orina como vía de transmisión según WHO* (2006)	Importancia según WHO* (2006)	Importancia en Chile según Olivares (2015)
<i>Schistosoma haematobium</i>	Indirecta a través de la infección a humanos de la larva del parásito en medios acuáticos	Se necesita considerar las áreas en donde el caracol huésped es endémico	Nula
Patógenos de transmisión sexual	Inexistente, no sobreviven fuera del cuerpo humano por períodos significativos	Insignificante	Nula
Infecciones de tracto urinario	Inexistente, no hay posibilidades de transmisión a través del medio ambiente.	Baja a insignificante	Nula

*Organización Mundial de la Salud (WHO por sus siglas en inglés).

Finalmente, se debe mencionar la incidencia de la excreción de hormonas y productos farmacéuticos en la orina y que, por ende, se encuentran en las aguas residuales domiciliarias. Existen investigaciones que sugieren el peligro de éstos dentro del ciclo del agua, éstas determinan que este tipo de sustancias pueden ser eliminadas aumentando los tiempos de residencia en los tratamientos biológicos a los que son sometidas las aguas residuales (Jönsson, 2004).

2.3. Métodos de tratamiento de la Orina

Existen variados tratamientos para la higienización de la orina, los cuales difieren principalmente por su objetivo principal o el nutriente que recuperan en mayor proporción. Estos se describen a continuación.

2.3.1. Infiltración directa

Es el método más simple de tratar la orina ya que se espera que al infiltrarse al suelo adyacente al baño, este sea capaz de tratarlo naturalmente, devolviendo directamente los nutrientes al medio. Se dirige entonces la orina mezclada con agua de lavado o de arrastre y se direcciona a una zanja de infiltración, y se agrega gravilla a la zanja para asegurar la distribución uniforme de la orina, como muestra la figura 6. A pesar de la ventaja económica y operativa, la correcta dispersión del afluente depende del tipo de suelo y su permeabilidad.

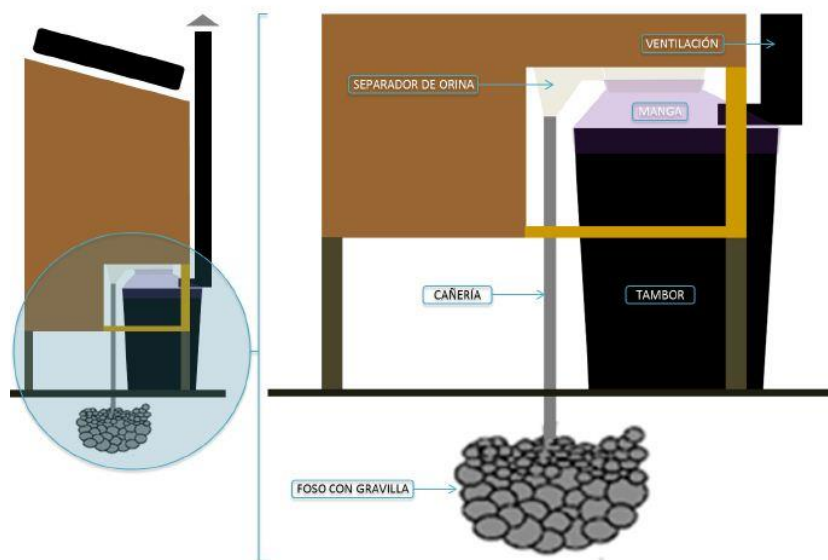


Figura 6: Infiltración directa de orina en un baño seco (Pizarro, 2012).

2.3.2. Higienización por almacenamiento

Al separar la orina en su fuente, se reduce el riesgo de contaminación por patógenos fecales. En principio el tratamiento se basa en tres parámetros que son, el tiempo de almacenaje, la temperatura y el pH. Según estudios de decaimiento bacterial y viral, si se almacena a 20°C por al menos 6 meses, la orina puede ser considerada como un fertilizante seguro para cualquier cultivo. Los efectos secundarios que presenta el almacenar la orina es la precipitación de compuestos fosforados y la posible fuga de amoníaco (Maurer, 2006).

2.3.3. Reducción del volumen

En cuanto a volumen, el contenido de nitrógeno en la orina corresponde al 9%, el fósforo un 0,06% y el potasio al 0,3%. Por lo que es apropiado considerar que la reducción de su volumen, concentraría los nutrientes beneficiando su transporte.

Una técnica para reducir el volumen de la orina es la evaporación de esta, removiendo directamente el agua de la orina y permitiendo eventualmente el reciclaje de esta misma, reduciendo hasta el 96% del contenido de agua en la orina gracias a compresores de vapor u otros. Las desventajas de este proceso son la pérdida de amonio (NH_4^+) y el alto consumo de energía. Para subsanar estas desventajas es necesaria una acidificación previa para recuperar el amonio y recuperación energética.

Luego, la osmosis inversa se presenta como otra alternativa para la reducción del volumen de la orina. En ésta, membranas semipermeables retienen fácilmente moléculas cargadas como el amonio, a diferencia del amoniaco, por lo que la eficiencia del proceso depende directamente del pH de la orina. Con pH de 7.1 y a 50 [bar] se retienen alrededor del 70% de los nutrientes (Maurer, 2006). La desventaja se presenta al retenerse también microcontaminantes junto con los nutrientes concentrados y la precipitación de sales en las membranas, sin mencionar la energía que se requiere en el proceso (Maurer, 2006).

2.3.4. Estabilización

Usualmente se aplica como pretratamiento con la finalidad de evitar la hidrólisis de la urea y sus resultados como la precipitación de componentes, malos olores y la volatilización del amoniaco. Es por esto que se adiciona ácidos fuertes para estabilizar la orina fresca como ácido sulfúrico o ácido acético, generando además la inhibición de patógenos por la acidez del medio.

De la misma manera se puede estabilizar la orina usando tratamientos biológicos como la nitrificación, proceso en el cual bacterias anaerobias convierten el amoniaco a nitrato o nitrito, reduciendo el pH y evitando la volatilización amoniacal. Biorreactores han presentado rangos de 60 a 80% de recuperación de nitrógeno, produciendo una solución de nitratos que funciona como fertilizante de rápida acción (EAWAG, 2007).

Además, es posible procesar la orina a través de un proceso llamado “anammox”, consistente en un reactor anaerobio de oxidación de amonio que lo transforma directamente en gas de nitrógeno. Sin embargo este proceso ha demostrado ser inestable, necesitando rigurosos controles que encarecen el reactor (WERF, 2011).

2.3.5. Recuperación de nutrientes

Como se mencionó anteriormente, en la orina almacenada se generan las condiciones que permiten la precipitación natural del fosfato de amonio magnesio o estruvita ($\text{MgNH}_4\text{PO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$), el cual resulta en un fertilizante solido que se disuelve en fosfato de amonio lentamente al ser aplicado. Al adicionar magnesio en la forma de óxido de magnesio (MgO) o hidróxido de magnesio ($\text{Mg}(\text{OH})_2$), se optimiza el proceso de precipitación (debido a que el magnesio es el reactivo limitante de la reacción) y se reduce sólo un 3% del nitrógeno en la orina almacenada, por lo que no incide en la variación del pH para la correcta hidrólisis de ésta. En el reactor tipo batch, se filtra el líquido para aislar y finalmente secar el precipitado usando energía solar, como muestra la figura 7.

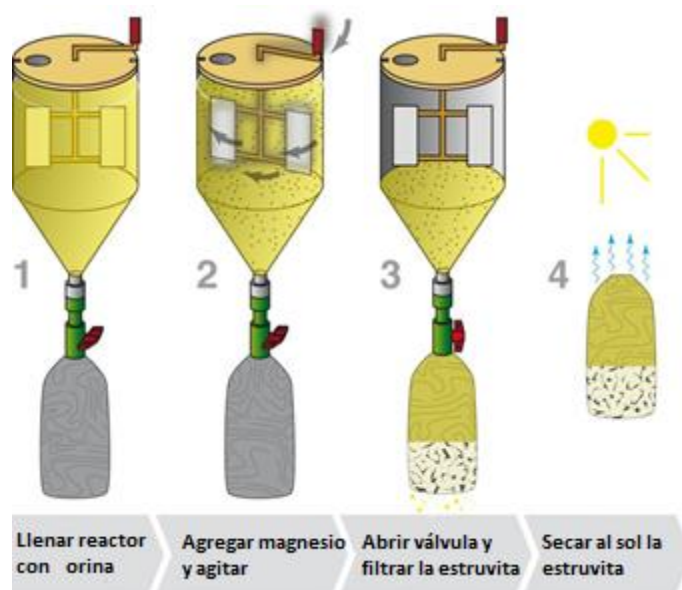


Figura 7: Esquema explicativo de un reactor de estruvita (Etter, 2010).

Para la recuperación del nitrógeno es necesario un intercambio iónico, con alta afinidad con el ion amonio como la zeolita o intercambiadores poliméricos. Es posible aplicar intercambio iónico y precipitación de estruvita adicionando MgO , con lo que se recupera fósforo y nitrógeno al mismo tiempo. Se alcanzan rangos de recuperación de entre un 60 a un 80% de nitrógeno con este tratamiento (Maurer, 2006).

Por último, se menciona el proceso de *stripping* para el amoniaco, en el cual se aplica burbujeo de aire aumentando la volatilización de contaminantes en las aguas contaminadas. Funciona optimizando el pH y la temperatura a la cual se hace eficiente este proceso físico-químico. Se estima un 97% de recuperación del amoniaco en reactores *batch*, siendo absorbido por ácido sulfúrico y la solución resultante puede ser aplicada directamente como fertilizante (WERF, 2011).

2.3.6. Remoción de microcontaminantes

Con la finalidad de remover componentes tales como químicos farmacéuticos u hormonas excretadas en la orina, se utiliza la electrodialisis en la cual se hace pasar la orina por membranas de polímero, de estructura densa o porosa. Dichas membranas funcionan bajo el principio del intercambio iónico, reteniendo estos microcontaminantes, separándolos. Con este tratamiento es posible concentrar nutrientes como el potasio precipitado en estruvita.

Para una eliminación efectiva de estas sustancias se aplica ozono acoplado a la electrodiálisis, ya que éste puede oxidar directamente las moléculas remanentes. Para que el tratamiento sea eficiente se aplica en procesos *semi-batch*, y aunque este tratamiento es el más efectivo en remoción de microcontaminantes, está asociado a altos costos de operación.

Finalmente, la nanofiltración funciona como tratamiento de microcontaminantes con un diferencial de presión hidrostática que disuelve los iones en la orina. Las membranas presentan selectividad por tamaño y forma de las partículas. Con este tratamiento se pudo remover un 92% de los compuestos farmacéuticos y hasta un 80% del amoníaco, y se esquematiza en la figura 8 (Maurer, 2006).



Figura 8: Capacidad de retención de partículas para distintos tratamientos de agua con utilización de membranas (SSBI USA, 2015)

A continuación se profundizará sobre el método de higienización por almacenamiento, debido a que éste fue el seleccionado para realizar las pruebas de laboratorio para el decaimiento bacteriológico de esta memoria. Esta selección se debe principalmente a la facilidad de operación como método de tratamiento, siendo adecuado para los objetivos de la empresa bajo la cual se desarrolla esta memoria.

2.4. Almacenamiento de la Orina y uso como fertilizante

La manera más simple, de bajo costo y la más común de tratar la orina con el fin de eliminar patógenos, es el almacenaje de la orina durante largos periodos de tiempo (SSWM, 2010). Como se menciona anteriormente, el almacenamiento de orina en un tanque cerrado es un método eficiente de reducir patógenos en la orina debiéndose esto a la descomposición o hidrólisis de urea en amoníaco. Al ser facilitada por la enzima ureasa, la hidrólisis lleva a un incremento del valor del pH (al alcanzar pH 9), por lo que

bacterias, parásitos y virus mueren con el tiempo, en adición a un ambiente con altas temperaturas y baja dilución (GIZ, 2011).

Es por estas razones que se utiliza este tipo de tratamiento en un baño BIS, en el cual existen dos fuentes de orina: el urinario, y la parte delantera del separador de orina, en el asiento sanitario. Ambas fuentes de orina se canalizan a través de un sistema de cañerías de PVC (policloruro de vinilo), existiendo una válvula manual que permite el paso de orina al estanque de forma hermética y evitando la fuga de los olores que puedan emanar del estanque de almacenamiento.

La reutilización de la orina en agricultura puede ser asegurada si ciertos tiempos de almacenamiento son aplicados. Estos tiempos de residencia de la orina dependen del uso que se le dará a los vegetales fertilizados con la orina higienizada y del tipo de vegetal fertilizado. Se presentan en la tabla 3.

Tabla 3: *Lineamientos recomendados de tiempos de almacenamiento para la orina mezclada con agua (SSWM, 2010).*

Temperatura de almacenamiento	Tiempo de almacenamiento	Patógenos probables luego del almacenamiento	Cultivos recomendados
4°C	≥ 1 mes	Virus, protozoos	Cultivos alimenticios y cultivos de forraje que serán procesados
4°C	≥ 6 meses	Virus	Cultivos alimenticios que serán procesados, cultivos de forraje
20°C	≥ 1 mes	Virus	Cultivos alimenticios que serán procesados, cultivos de forraje
20°C	≥ 6 meses	Probablemente ninguno	Todos los cultivos

Algunas recomendaciones de la organización Mundial de la Salud (*WHO* por sus siglas en inglés *World Health Organization*) para la aplicación de la orina en cultivos indican que la orina originaria de sistemas sanitarios a nivel de comunidad, donde existe probabilidad de contaminación cruzada con fecas, debería ser almacenada por al menos un mes si es usado en cultivos de alimentos o forraje que serán procesados (SSWM, 2010). Si se somete a un almacenamiento de 6 meses, la orina puede ser aplicada sólo si el nivel de amoníaco en la orina es mayor a 2 [mgN/L], lo cual podría presentarse en orina sin diluir (Winker, 2008).

Por último, se indica que no se necesita almacenamiento cuando la orina es de producción propia, es decir, cuando es usada en cultivos consumidos por la misma familia que produce la orina. Esto se debe a que la transmisión de enfermedades dentro del hogar a través de la ruta de la orina - oral es mucho menos probable en comparación con el contacto del día a día de los miembros del hogar (GIZ, 2011).

La orina contiene muchos más nutrientes que las heces, incluso se compara el contenido de nutrientes presentes en la comida consumida. Si toda la orina de una persona es colectada, sería suficiente para fertilizar 300 a 400 [m²] de cultivo por persona al año, lo que equivale a producir por ejemplo 250 [kg] de maíz, aproximadamente igual a la ingesta de alimentos de una persona al año (GIZ, 2011). Es por esto que la orina puede ser una alternativa al desbalance de nutrientes que se produce cuando los vegetales son removidos del suelo en la cosecha.

Los nutrientes en la orina están en forma tal que ya se encuentran disponibles para la absorción de las plantas. El nitrógeno se presenta naturalmente en la forma de urea, transformada a amonio y nitrato a través de la reacción de hidrólisis estudiada anteriormente. Esta misma situación el fósforo, el potasio y el azufre, que se encuentran mayormente en la forma de iones. Es por lo cual también el efecto del pH básico en la orina almacenada no afecta en mayor grado al suelo, al ser inmediatamente absorbidos por la vegetación.

Los nutrientes están entonces disponibles biológicamente, al contrario de lo que sucede con la mayoría de los fertilizantes biológicos, como el compost, en el cual los nutrientes están mayormente en su forma orgánica y deben mineralizarse antes de estar disponibles para las plantas. El amoníaco y el nitrito en altas concentraciones son tóxicos para las células vivientes, es por eso que la fertilización debe realizarse unos días antes de la siembra. No obstante, las plantas pueden ser fertilizadas después de germinar, siempre y cuando la orina no se aplique directamente a la planta. Esto se debe a que el amoníaco en la orina podría presentar quemadura foliar por su alto valor de pH. La orina debe ser aplicada a corta distancia de la planta, para que a la vez los nutrientes puedan ser alcanzados por las raíces de la planta.

A continuación se mencionan otras recomendaciones al aplicar la orina como fertilizante (GIZ, 2011):

- La orina es un completo fertilizante que contiene nitrógeno, sodio y cloruro. La respuesta a este tipo de fertilizante es buena en plantaciones que se ven limitadas por la cantidad de nitrógeno. Algunos ejemplos son cereales como maíz, arroz, y trigo; también, vegetales y frutas como acelga, zanahorias, plátano, naranjas, té y café. Para plantas sensibles al amoníaco como las legumbres u otros tipos de plantas se recomienda no utilizar este fertilizante.
- Para evitar que la planta presente quemadura foliar y la pérdida de nitrógeno, la orina debe ser aplicada directamente en la tierra. Preferentemente se aplica en pequeños hoyos, ya sea antes de plantar o a cierta distancia (20 [cm] aproximadamente) de la planta. A continuación, estos hoyos son cubiertos con tierra y agua para mejorar la absorción de nutrientes, aumentar la dilución y evitar las pérdidas de amoníaco. Se esquematiza la correcta aplicación de la orina en la figura 9.
- El equipo utilizado para fertilizar con orina consiste en un recipiente más pequeño que el estanque de almacenamiento para ser administrada en el suelo con mayor comodidad, o puede ser administrada desde el estanque directamente. Sin embargo, para evitar salpicaduras y aumentar la precisión al aplicarla, se puede conectar una manguera flexible en la entrada del estanque o incluso es posible mecanizar la aplicación con difusores. La persona que aplica la orina debe seguir buenas prácticas de higiene personal, como lavarse bien las manos después de aplicar la orina y usar guantes, botas y mascarillas para evitar molestias por olores.



Figura 9: Técnicas de aplicación para utilizar la orina como fertilizante (Olivares, 2015).

- La orina puede ser aplicada diluida o sin diluir, dependiendo de la tierra en la que se aplica y la preferencia del agricultor. Es posible diluirlo en agua a una razón de 1:3, 1:5 hasta 1:15, con la finalidad de reducir olores durante la aplicación y evitar la fertilización excesiva.

En cuanto al uso de la orina almacenada como fertilizante, cabe mencionar que existen dos grupos de investigación reconocidos en el campo del saneamiento ecológico que realizan investigación acerca de ésta, y estos son: el Instituto Federal Suizo de Tecnología y Ciencias Acuáticas (Eawag), la cual lleva a cabo una investigación que incorpora aspectos sociales, económicos, y técnicos de la separación de orina, además de investigaciones acerca de los métodos de tratamiento físicos, químicos y biológicos sobre los efluentes de un baño seco; y el programa ECOSAN (reciclaje orientado al manejo de aguas y sistemas de saneamiento), el cual es operado por GIZ (*Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit* o Asociación Alemana de Cooperación) en Alemania, desarrolla investigaciones en el área del saneamiento ecológico.

Adicionalmente existe una red informal de organizaciones llamada Alianza de Saneamiento Sustentable o SuSanA por sus siglas en inglés. Las organizaciones que participan de esta alianza desarrollan proyectos o investigaciones que involucran este tipo de saneamiento y el uso de la orina como fertilizante.

Llevando estas investigaciones a ejemplos específicos se menciona el estudio realizado en Zimbabue, donde se cultivaron distintos tipos de hortalizas. Las plantas fueron cultivadas en recipientes de 10 [L] y se les aplicó 0,5 [L] de una mezcla de agua y orina en razón 3:1, tres veces por semana. Para contrastar los resultados de la fertilización se plantaron hortalizas del mismo tipo pero sin fertilizar con el fin de comparar su crecimiento (Richert, 2011). Dichos resultados se presentan en la figura 10 y tabla 4.



Figura 10: Crecimiento de una espinaca fertilizada con orina (izquierda) y una no fertilizada (derecha) (Richert, 2011)

Tabla 4: Rendimiento promedio en gramos de peso fresco al utilizar orina como fertilizante (Richert, 2011)

Planta fertilizada	Período de crecimiento	Masa Plantas sin fertilizar [g]	Masa plantas fertilizadas [g]
Lechuga	30 días	230	500
	33 días	120	345
Espinaca	30 días	52	350
Covo	8 semanas	135	545
Tomate	4 meses	1680	6084

2.5. Dispositivos Anti-fuga

El control de los olores en urinarios sin agua es crucial para la aceptación del usuario, por lo que es necesario un dispositivo que permita bloquear el olor debido a la fuga de amoníaco. Además debe presentar un diseño simple y cumplir efectivamente con el propósito de no generar molestias en el usuario con respecto a la limpieza del urinario por la generación de residuos de orina acumulados en el dispositivo. Se presentan entonces los siguientes tipos de dispositivos anti-fuga:

- 2.5.1. Trampas de líquidos sellantes:** existen sistemas con sello de agua por succión al vacío, lo que emula la función del sifón en el sistema convencional de saneamiento pero utilizando una cantidad menor de agua por descarga.

Para evitar el regreso de los olores, alternativamente se utilizan líquidos sellantes que bloquean por diferencia de densidad el paso de gas. Estos dispositivos utilizan aceites vegetales o alcoholes alifáticos para este propósito. De esta forma, la orina atraviesa el líquido que se encuentra en la parte superior de la trampa, por flotación (ya que su peso específico que es menor al de la orina), permitiendo el paso de la orina solo en un sentido del mecanismo, como lo muestra la figura 11.

- 2.5.2. Trampas de membrana:** también llamadas válvulas de una vía, consisten en un tubo plano, que se abre cuando la orina pasa a través de ella por gravedad, evitando así la salida de gases y los malos olores. El precipitado de la orina debe ser limpiado regularmente con agua para mantener la correcta operación de la trampa.

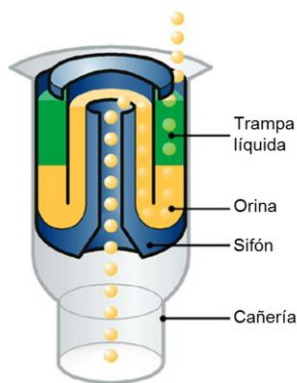


Figura 11: Sistema de líquido sellante para urinarios sin uso de agua (Oekonal, 2012).

Algunos ejemplos de este tipo de válvulas son las válvulas tipo pinza o pico de pato (*duckbill valves* en inglés), que son completamente pasivas al paso del flujo a través de la válvula, y no requieren de energía, mantenimiento ni asistencia manual para su funcionamiento. Cuando el flujo intenta pasar a favor de la válvula, dicha presión actúa separando los labios con forma de pico, aumentando la separación entre los mismos a medida que aumenta el caudal. Se presenta la válvula en la figura 12.



Figura 12: Válvula antirretorno tipo pinza (Hidrostant, 2016)

De la misma forma las válvulas tipo sombrilla son aquellas que tienen un disco de sellado en forma de diagrama o de paraguas. El diafragma convexo se aplana contra el asiento de la válvula para crear un sello, permitiendo el paso del flujo una vez que la presión sea suficiente para deformarlo (Minivalve, 2016). Se explica el funcionamiento de la válvula en la figura 13.

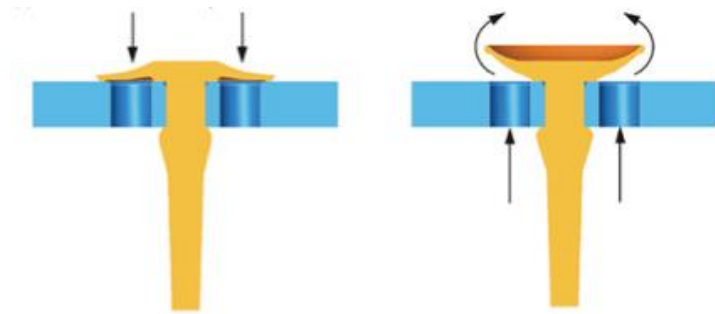


Figura 13: Válvula antirretorno tipo sombrilla (Minivalve, 2016)

2.5.3. Bloques biológicos: los bloques bacterianos son bloques que en contacto con la orina se descomponen y liberan bacterias que metabolizan los componentes de la orina. Como desventaja se menciona que requieren reemplazo continuo, debido a su corto tiempo de operación y requieren un mínimo de agua diario para mantener a los microorganismos (Chariar y Sakthivel, 2013).

2.5.4. Otros métodos: en 2002, Peter Dahm un ingeniero suizo residente en Sudáfrica, patenta una válvula de una vía similar al diseño de pinzas pero usando un mecanismo de “cortina” con el fin de reducir el mantenimiento del dispositivo. Esta unidad, la cual es actualmente usada ampliamente en urinarios secos, es vendida bajo el nombre de *EcoSmellstop* (ESS). Se diferencia al tener un elemento de silicona en su interior que, al pasar la orina por la válvula, fuerza la auto-limpieza del espacio entre el cuerpo de la válvula y la cortina del dispositivo (GIZ, 2011). La figura 14 muestra la válvula tipo cortina y sus partes.



Figura 14: Válvula antirretorno tipo cortina (GIZ, 2011)

Para finalizar se menciona una opción simple y de bajo costo, de tipo artesanal que cumple la misma función que las presentadas anteriormente.

Ésta consiste en un embudo plástico el cual es insertado en las cañerías que llevan la orina al estanque de almacenamiento. A esto se adiciona una pelota de ping pong sobre el embudo, el líquido al entrar hace flotar la pelota y al disminuir el flujo la pelota cierra la entrada del embudo trabajando como un sellante (Chariar y Sakthivel, 2013).

2.6. Materialidad de los estanques de almacenamiento

El plástico es un material usado ampliamente en la actualidad, tanto en la vida cotidiana como en la industria debido a su maleabilidad, resistencia y versatilidad. Es por esto que se utiliza como material base para el contenedor o reactor en los experimentos de este trabajo, y para comprender su usabilidad y comportamiento es que se describe a continuación.

El plástico es un material orgánico compuesto fundamentalmente de cadenas de carbono. La mayoría de los plásticos de mayor uso provienen de la destilación del petróleo y gas natural. Como generalidad, los plásticos son transparentes, incoloros y frágiles pero al añadir otras sustancias a su fabricación pueden adquirir otras propiedades como ser coloreados, aislantes o flexibles.

La clasificación que abarca de forma global las características de estos materiales es la que los organiza según su macroestructura molecular. A partir de esta clasificación se encuentran tres tipos de plásticos los cuales son:

2.6.1. Termoplásticos: son los plásticos utilizados más frecuentemente y sus macromoléculas están dispuestas libremente en el espacio sin entrelazarse. Debido a ésta disposición son capaces de reordenarse al aplicar calor, adquiriendo cualquier forma deseada con la capacidad de conservarla al enfriarse. Se subclasifican según su derivación:

- *Resinas celulósicas:* se obtienen de la celulosa se presentan como ejemplos el rayón y el celofán. El celofán se utiliza principalmente como envoltorio de alimentos.
- *Derivados de Polietilenos:* se obtienen de la polimerización del etileno y representan los plásticos más comunes dentro de esta categoría por su simplicidad y bajo costo. En esta clasificación encontramos el Policloruro de vinilo o PVC, el poliestireno (duro o expandido), el polietileno de alta o baja densidad, el polipropileno, el teflón y el

metacrilato. El PVC es utilizado en el transporte de fluidos y estanques. El poliestireno de alta densidad (PEAD o HDPE) es utilizado mayormente en la industria de fabricación de envases y aislantes térmicos. El polietileno de alta densidad es utilizado en revestimiento y aislantes acústicos. El polipropileno es usado en estanques, tuberías, *fittings* y engranajes. El teflón es comúnmente utilizado en la industria química, a altas temperaturas (hasta 260°C (Goodfellow, 2016)).

- *Derivados de Proteínas:* en este grupo se encuentran el nylon y el perlón, ambos obtenidos a partir de la síntesis artificial de poliamidas. El nylon tiene usos diversos como en vestuario y accesorios para pescar.
- *Derivados de Caucho:* el caucho es un material natural proveniente de la resina de árboles tropicales, aunque también se fabrica de forma artificial. Del caucho surge una emulsión lechosa llamada látex.

2.6.2. Termoestables: en esta clasificación las macromoléculas se entrecruzan formando una red, ésta no permite nuevos cambios en la disposición de las macromoléculas al aplicar calor por lo que no se deforman y se vuelven resistentes. Sin embargo, tienden a ser más frágiles que los termoplásticos. Existen distintos tipos, los cuales son:

- *Polímeros de fenol:* el material más utilizado es la baquelita o fenol-formaldehído, y es el primer plástico totalmente sintético.
- *Resinas Epoxi:* en este grupo se encuentran el poliuretano, el acrílico y el cianoacrilato. Se endurecen al mezclarse con un agente catalizador o “endurecedor”. El poliuretano es el plástico más utilizado en esta categoría y se utiliza en espumas, aislantes térmicos y pegamentos.
- *Resinas Melamínicas:* son generalmente incoloras, cristalinas y con alto contenido de sólidos. Se utilizan principalmente como aislante térmico.
- *Poliésteres:* se forman a partir del grupo funcional éster y provienen de fracciones pesadas del petróleo. La forma de poliéster más conocida es el PET o tereftalato de polietileno, que es comúnmente utilizado en las botellas. Son resistentes a la humedad, a productos químicos y a las fuerzas mecánicas.

2.6.3. Elastómeros: esta configuración forma una red con pocos enlaces y de forma ordenada lo que permite la confección de materiales de alta elasticidad y que recuperan su forma y dimensiones al aplicar una fuerza sobre ellos. Como por ejemplo el neopreno (caucho sintético basado en el policloropeno) y el caucho natural cuyos derivados son termoplásticos.

Existen investigaciones que comparan los distintos tipos de plásticos y sus resistencias relativas a distintas sustancias, como las que se resumen en la tabla 5.

Tabla 5: Resistencias relativas de los plásticos a algunas sustancias químicas (Sevenster, 2015).

Plásticos	Resistencia Relativa*				
	Solventes Orgánicos	Sales	Alcalinos	Ácidos	Agentes Oxidantes
Nylon	7	10	7	3	2
Policarbonato	6	10	1	7	6
Poliéster	6	10	4	7	6
Poliétileno	5	10	10	10	8
Polipropileno	5	10	10	10	8
Poliestireno	2	10	10	10	4
Poliuretano	8	10	6	6	4
PVC	6	10	10	10	9

*La escala del 1 al 10 se ha relacionado empíricamente mostrando mayor resistencia el número más alto (Sevenster, 2015).

Por lo tanto se puede considerar que, en cuanto a conformación química y usos a nivel industrial, los materiales más adecuados para esta investigación son los que se resumen en la tabla 6. Finalmente se seleccionan el PET y el PEAD por su disponibilidad en el mercado.

2.7. Normativa

Es relevante considerar que no existe ninguna normativa en Chile que haga mención directa a la disposición, el manejo y en general a la gestión de la orina. Se presentan a continuación algunas normativas atinentes.

Tabla 6: *Alternativas de materiales a utilizar en estanques de almacenamiento de orina y algunas propiedades relevantes (Adaptado diversas fuentes).*

Nombre	Temperatura de Operación [°C]	Densidad [g/cm ³]	Resistencia tracción [MPa]	Referencia*
Tereftalato de polietileno (PET)	Hasta 230	1,4	55-75	ST Group, 2016
Polietileno de Alta Densidad (PEAD)	Hasta 120	0,95	22	Goodfellow, 2016
Policloruro de Vinilo (PVC)	-20 a 79	1,4	57	Plasticbages Industrial, 2016
Polipropileno (PP)	-30 a 120	0,9	57	Plastigen, 2016

*Ver capítulo 6: Referencias.

- **Ley 19.300 sobre bases del medio ambiente, modificada por la ley 20.417:** crea el Ministerio del Medio Ambiente, el Servicio de evaluación y la Superintendencia del medio ambiente, y fija por tanto su ley orgánica (MMA, 2011).
- **DS 236/1926:** reglamento general de alcantarillados particulares, fosas sépticas, cámaras filtrantes, cámaras de contacto, cámaras absorbentes y letrinas domiciliarias. Este indica en sus artículos del 1 al 4 que: la manera de disponer de las aguas servidas caseras, en las ciudades u otros lugares poblados, en que no exista una red de alcantarillado público, o que no puedan descargar sus aguas residuales a alguna red cloacal pública existente; deberán ser dotados, dentro del plazo de dos años a contar desde esta fecha, del sistema de disposición o tratamiento de aguas servidas.

Además, todo edificio público o particular, urbano o rural, deberá dotarse de un alcantarillado particular destinado a disponer de dichas aguas servidas en tal forma que no constituyan una molestia, incomodidad o un peligro para la salubridad pública. Una vez construido el alcantarillado público, quedan obligados a clausurar los alcantarillados particulares y a conectar los desagües de dichos inmuebles a la red cloacal pública (MINSAL, 1926).

- **NCh 1333/1978:** requisitos de calidad de agua incluyendo el agua destinada a riego. En esta normativa se indican requisitos químicos y bacteriológicos, entre otros. Se menciona como parámetro relevante el contenido de coliformes fecales en agua de riego destinada al cultivo de frutas y verduras crudas, que debe ser menor a 1000 coliformes fecales (c.f.) por cada 100 [mL] (SISS, 1978).

- **DS N° 46/02:** norma de emisión de residuos líquidos a agua subterránea. Aplicable si se infiltra la orina directamente al suelo en caso de que no se considerara como agua de riego y sus respectivos parámetros límite (SISS, 2002).
- **Ley 20.089:** sistema nacional de certificación orgánica. Esta ley indica que al certificar un producto como orgánico, en este caso como fertilizante y acondicionador de suelos, se permite el uso de excrementos líquidos de animales (estiércol semilíquido, orina, etc.). Y cuyas condiciones de utilización indican que se permite su uso tras una fermentación controlada o dilución adecuada. Se debe indicar la especie animal de la que proviene. Además su uso está sujeto a necesidad reconocida por el organismo de certificación o la autoridad competente del Servicio Agrícola y Ganadero (SAG) (SAG, 2011).

A nivel mundial, el saneamiento sustentable ha sido incluido en la legislación, principalmente por países desarrollados. Se mencionan a continuación la normativa francesa y estadounidense, con el fin de ejemplificar la existencia de legislación adecuada pudiéndose eventualmente analogarla en Chile.

Según el marco regulatorio francés, en el reglamento del 7 de septiembre de 2009, se regula el funcionamiento de sistemas descentralizados de saneamiento. El artículo 17 autoriza los baños secos (sin aporte de agua de dilución o de transporte) bajo la condición que no generen ninguna molestia para los vecinos, ni contaminación de las aguas superficiales o subterráneas. Por lo tanto en Francia, los baños secos son aplicados para tratar las orinas y las fecas, mezclando con un material orgánico para producir compost. También es posible tratar las fecas por secado y la orina se trata junto a las aguas grises (*Ministere de l'ecologie de l'energie du developpement durable*, 2009).

En el marco regulatorio estadounidense existe la norma emitida por la fundación nacional de saneamiento y el instituto de estándares nacional americano NSF/ANSI 41, que es una norma de certificación de calidad voluntaria que aplica a baños secos. La agencia de protección ambiental, es la autoridad ambiental encargada de las regulaciones en temas de saneamiento (NSF USA, 2016).

Capítulo 3: METODOLOGÍA

La presente metodología incorpora la planificación realizada para determinar tanto la materialidad del contenedor de orina, como la determinación de la mejor opción en cuanto a los dispositivos anti-fuga para el amoniaco en los contenedores y, por último, las pruebas de higienización para verificar el cumplimiento de la NCh 1333 en la orina, considerándola como agua de riego. Esta planificación se desarrolla con la ayuda del Fondo Pie>A para iniciativas estudiantiles, con el cual se pudo obtener los espacios y materiales para realizar con éxito los experimentos. Este plan de investigación se menciona a continuación.

3.1. Propuesta de plan de investigación Pie>A

Se plantea realizar un proyecto de investigación en el cual se puedan determinar tres parámetros de operación relevantes en el proceso de higienización de la orina humana. El objetivo de esta investigación aplicada será sentar las bases del desarrollo de un contenedor que permita depurar de microorganismos patógenos a la orina. En contextos de saneamiento descentralizado, es decir, con un acceso mínimo a energía y utilizando tecnologías adaptables a este tipo de usuarios, se busca que la orina pueda ser valorizada como un hidratante de suelos con poder nutritivo. Se muestra el proceso de acumulación en la figura 15.

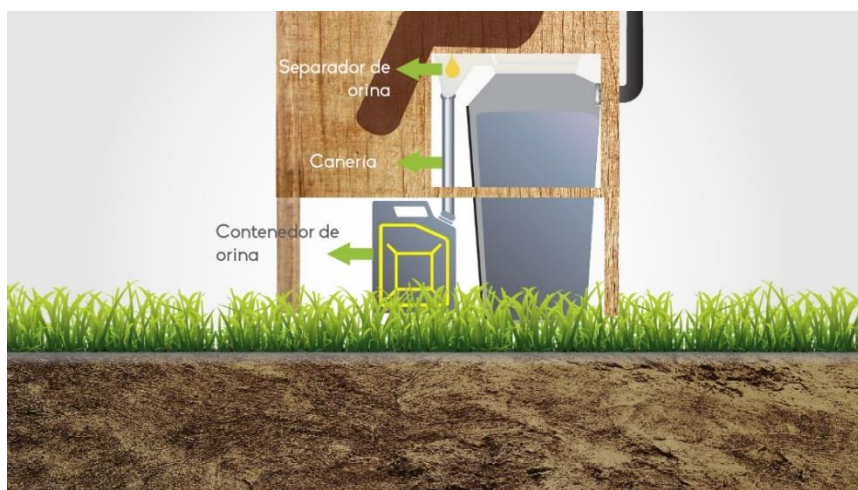


Figura 15: Esquema de la acumulación de orina para su higienización por almacenamiento. (INNSANIA SpA, 2014)

Para cumplir los objetivos del proyecto se desea determinar tres parámetros de operación relevantes en el proceso de higienización. Éstos son:

3.1.1. Materialidad del contenedor: se analiza qué material permite almacenar de mejor manera la orina para el proceso de higienización, por lo cual, se analiza el efecto que esta sustancia tiene sobre estanques de distintos materiales al estar cerrados durante cuatro semanas. Se considerarán para estudio materiales accesibles por los usuarios rurales en términos de reutilización de envases de acceso masivo (botellas de bebidas de distintos tipos, por ejemplo). Los contenedores seleccionados se llenan de orina y se observa el efecto (observación, seguimiento y registro fotográfico semanal) del almacenamiento de la sustancia bajo las siguientes variables de estudio:

- a. Contenedores reutilizables y adquiribles: se considerarán para el estudio, recipientes accesibles por los usuarios (que habitan en zonas rurales, de alta dispersión y sin acceso a saneamiento mejorado) en términos de acceso masivo.
- b. Materialidad: PEAD y PET.
- c. Volumen de almacenamiento: 1,5 [L]; 5 [L]; 6 [L] y 20 [L].
- d. Medio de estudio: a la intemperie y en condiciones de laboratorio (dentro de cualquier lugar donde los recipientes sean resguardados de la intemperie).
- e. Opacidad: transparente u opaco, haciendo una analogía del efecto de calefacción del reactor generado al estar pintado con pintura para plástico negra.
- f. Efecto de la Dilución: se controlará la dilución a la que es sometida la orina en la alimentación al reactor de higienización para determinar el perjuicio que causa el uso de agua por parte de los usuarios para arrastrar la orina en cuanto a la higienización misma. Este parámetro se evaluará en dos niveles de dilución orina/agua: 2:1 y sin dilución.

3.1.2. Dispositivos Anti-fuga: se analiza qué dispositivo permite disminuir al mínimo la cantidad de amoníaco gaseoso que se fuga de los contenedores. Primero, se realizará un estudio del estado del arte para buscar opciones para prevenir la fuga del gas. Luego, se seleccionan y analizan los dispositivos anti-fuga para su comparación (por parámetros económicos y operacionales) y posterior utilización en la siguiente etapa de esta investigación. Los parámetros a considerar son: qué dispositivo permite disminuir al mínimo la cantidad de amoníaco (gaseoso) que se fuga de los contenedores, dado que este contiene nitrógeno, uno de los recursos más valiosos dentro de la orina; y cuál es más adecuado por su simpleza de operación, costo y aceptación del usuario.

Por problemas de logística solo se pudo realizar una revisión bibliográfica de este ítem y no experimental como se tenía planeado de un principio. La mayoría de los proveedores de este tipo de válvulas se encuentran en Europa, por lo que fue difícil hacer la compra de estos dispositivos.

3.1.3. Higienización de la Orina: en función de optimizar los resultados de estas dos primeras partes de la investigación, se estudia el efecto del almacenamiento sobre la higienización de la orina. La variable de control será la concentración de microorganismos (coliformes fecales), cuya disminución se mide en función del tiempo. Considerando la evolución temporal del parámetro y las normativas consideradas en este estudio (NCh 1333 y Organización Mundial de la Salud u OMS) se determinará el tiempo de residencia mínimo en que se logra la higienización de la orina.

El montaje experimental incluirá reactores de 20 [L] o 18 [L] de llenado efectivo en una semana de utilizado el baño de una familia de cuatro integrantes (ver capítulo 4), desarrollándose las siguientes experiencias en paralelo y en duplicado, por un período de un mes.

En función de lo señalado, y dado que se puede considerar y utilizar a la orina higienizada como un hidratante de suelos con poder fertilizante, el parámetro de control se medirá dos veces por semana, hasta determinar el punto en el cual se consigue cumplir con las normativas impuestas por la OMS (<100 [unidades formadoras de colonias/100 mL]) y con el parámetro equivalente válido para Chile, expuesto en NCh 1333 (<1000 [c. f./100 mL]).

Las variables a controlar serán:

- a. Temperatura: se utilizarán dos niveles (15 y 25°C) para representar en el primer caso la temperatura ambiente y en el segundo el uso de tecnologías (de acceso a nivel rural) para calefaccionar el reactor (se plantea la posibilidad de pintar este dispositivo con pintura para plástico de color negro y de esta forma generar un aumento de la temperatura para el prototipo en terreno).
- b. Dilución: se controlará la dilución a la que es sometida la orina en la alimentación al reactor de higienización como forma de determinar el perjuicio que causa para

este proceso el uso de agua por parte de los usuarios para arrastrar la orina. La dilución orina/agua es de 2:1.

Finalmente, cabe destacar que en cada una de las experiencias se llevará un registro *in situ* y detallado del pH y la temperatura (ambiental e interior).

A modo de resumen se presenta entonces la carta gantt del proyecto en la tabla7. Esta contempla, a grandes rasgos, la acumulación inicial de orina en un baño seco adaptado especialmente para estos requerimientos, la investigación inicial o estado del arte, la observación del comportamiento de los estanques como parte del estudio de materialidad y las pruebas de higienización.

Tabla 7: Carta Gantt del proyecto Pie>A “Valorización de la orina humana”.

Proyecto Pie>A (2015-2016)	jun	jul	ago	sep	oct	nov	dic	ene	feb	mar	abr	may	jun	jul
Acumulación de orina														
Análisis del estado del arte del tratamiento de orina														
Investigación de materialidad														
Pruebas de materialidad para contenedores de orina														
Análisis estado del arte para disp. anti fuga														
Pruebas dispositivos anti fuga														
Pruebas de higienización de orina														
Pruebas de laboratorio														
Análisis finales experimentos														

3.2. Propuesta Experimental de pruebas de higienización

Para medir el progreso del proceso de higienización de la orina humana almacenada, se propone evaluar la evolución del parámetro de concentración de microorganismos con el método del “número más probable” o NMP. Este consiste en tubos de fermentación múltiple en los cuales se utiliza un medio de cultivo para que

crezcan las coliformes fecales, en un medio aerobio y con temperatura de $37 \pm 1^\circ\text{C}$ con incubación de 48 horas aproximadamente.

Se propone entonces tomar dos muestras por semana del reactor utilizado para el almacenamiento (de 20[L] de capacidad, llenado solo al 80% de su capacidad volumétrica) comenzando la toma de muestras una vez que éste se haya llenado. Se mide a la vez la temperatura de la muestra y su pH.

La instrumentación utilizada en el muestreo se muestra en la figura 16. Durante el muestreo se emplea el siguiente esquema práctico:

- Se agita el bidón o estanque de almacenamiento para homogeneizarlo
- Se muestrea con guantes de goma cuidando que se escape la menor cantidad de gas
- Se extrae la muestra con una bomba manual o trasvasijador, a un envase de vidrio esterilizado para luego refrigerar y a la vez se extrae muestra a un recipiente de vidrio sin tapa para la lectura de pH y temperatura.
- Se mide la temperatura de la muestra con un termómetro de mercurio análogo y la temperatura ambiente con un termómetro digital
- Después de calibrar el equipo, se mide el pH y paralelamente se utiliza papel pH para corroborar la medición.



Figura 16: Instrumentación utilizada en la toma de muestras de los estanques de orina.

Cada semana se incuban 30 tubos por muestra (se hacen 3 diluciones a la muestra con 10 [mL], 1 [mL] y 0,1 [mL] respectivamente, y por cada dilución se cultivan 5 tubos con duplicado), con medio caldo lauril sulfato triptosa (LST) para el crecimiento de *E. coli*, a una temperatura de 35°C durante 48 horas hasta cumplir las cuatro semanas. Luego de la incubación se compara el número de tubos que presenten turbidez y gas en la campana de Durham (que se encuentra invertida dentro del tubo), con tablas estadísticas para NMP (ver anexo). Se muestran los tubos utilizados en la figura 17.

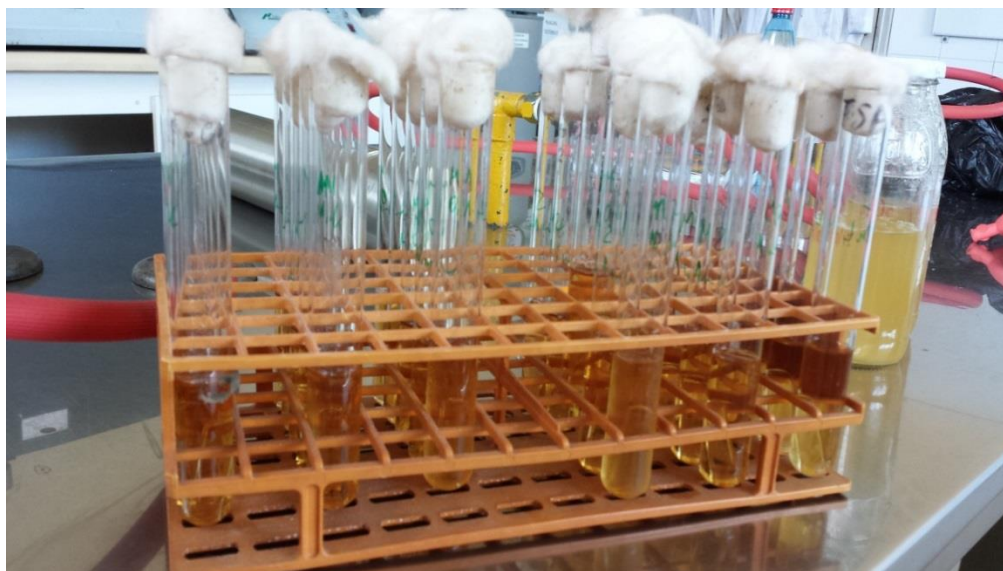


Figura 17: Tubos con medio LST para el método de NMP.

Luego se procede de la misma forma con otro estanque de almacenamiento, ambos estanques presentan exposición directa a la intemperie pero el segundo difiere en el nivel de radiación que recibe al estar almacenado ya que está pintado de negro.

Para contrastar los resultados, se analiza un último estanque de almacenamiento pero las muestras son enviadas al laboratorio certificado “Silob”, el cual utiliza la metodología de la NCh 2313/22 Of 95 para análisis de aguas residuales arrogando el parámetro en NMP/100 [mL] (MINSAL, 1995).

Capítulo 4: RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Resultados

4.1.1. **Materialidad del contenedor:** como se mencionó anteriormente, se analiza el efecto de la orina sobre los estanques en los cuales ésta se almacena. Se utilizaron dos materiales distintos bajo distintas condiciones y se observaron durante cuatro semanas.

Primero se presentan las características de cada estanque y su descripción, para pasar luego a la configuración final de cada estanque utilizado para el almacenamiento de orina y la observación del comportamiento del material. La clasificación de estos se encuentra en la tabla 8.

Tabla 8: Siglas utilizadas en los estanques de almacenamiento y su significado.

Clasificación	Descripción	Opciones	Identificador
Tipo	Para considerar opciones de bajo costo	Reutilizable	R
		Adquirible	A
Volumen	Para considerar formatos pequeños de fácil acceso y trasportables (solo opción reutilizable)	1,5 L	1,5
		5 L	5
	Para considerar la cantidad excretada por una familia (solo opción adquirible)	6 L	6
		20 L	20
Material	Para considerar los plásticos de envases más utilizados	PEAD	PEAD
		PET	PET
Color	Para verificar efecto de calor absorbido por el recipiente	Transparente	T
		Opaco	O
Exposición a la temperatura	Para verificar efecto de temperatura ambiente sobre el recipiente	Intemperie	I
		Laboratorio	L

Se presenta luego el volumen de orina requerida en la tabla 9, siguiendo el requerimiento de recipientes, y la respectiva razón de dilución de orina con la cual se llenaron dichos estanques.

Tabla 9: Volumen de los estanques de almacenamiento de orina por tipo de material.

Cantidad de recipientes requeridos			Capacidad utilizada	80%	
Material	Tipo	Dilución orina/agua	Volumen [L]	Cantidad [u]	Volumen de orina [L]
PET	Reutilizable	1/0	1,5	3	3,6
PET	Reutilizable	1/0	6	3	14,4
PEAD	Adquirible	2/1	5	3	12
PEAD	Adquirible	2/1	20	3	48
Total Orina					78

La tabla 10 muestra la configuración final de los estanques y sus respectivas siglas para su posterior identificación al observarlos. Adicionalmente muestra las fechas de inicio y termino de llenado del estanque, lo que incide en el tiempo de residencia de la orina.

Tabla 10: Configuración y fechas de llenado para los estanques de almacenamiento de orina.

Nº	Tipo	Material	Color	Exposición a la temperatura	Volumen (L)	Inicio	Días que tardó en llenarse	Sigla*
1	R	PET	T	I	1,5	06-07-2015	2	1 RPETTI1.5
2	R	PET	T	L	1,5	11-07-2015	4	2 RPETTL1,5
3	R	PET	O	I	1,5	20-07-2015	2	3 RPETOI1,5
4	R	PET	T	I	6	06-07-2015	11	4 RPETI6
5	R	PET	T	L	6	06-07-2015	5	5 RPETTL6
6	R	PET	O	I	6	13-07-2015	5	6 RPETOI6
7	A	PEAD	T	I	5	22-09-2015	4	7 APEADTI5
8	A	PEAD	T	L	5	27-09-2015	8	8 APEADTL5
9	A	PEAD	O	I	5	05-10-2015	2	9 APEADOI5
10	A	PEAD	T	I	20	08-10-2015	13	10 APEADTI20
11	A	PEAD	O	L	20	26-10-2015	19	11 APEADOI20
12	A	PEAD	T	I	20	29-03-2016	2	12 APEADTI20

*Significado de las siglas asignadas a la configuración de los estanques de orina en tabla 8.

Como observación adicional se lleva un conteo micciones realizadas para llenar algunos de los estanques llenados (con el fin de contrastar la diferencia por volumen de

llenado y condiciones de almacenaje de los estanques), para obtener una estimación de la cantidad de orina excretada. Estos resultados se muestran tabla 11.

Tabla 11: *Número total de micciones por estanque de almacenamiento y estimación de volumen de orina por micción.*

Sigla*	Cantidad de micciones	Volumen por micción [mL]
1 RPETTI1.5	9	133
5 RPETTL6	28	171
6 RPETOI6	25	192
Promedio		165,6

*Significado de las siglas asignadas a la configuración de los estanques de orina en tabla 8.

Finalmente se expone en la tabla 12, el resumen de las observaciones tomadas para cada uno de los estanques y su situación final con respecto a dos características presentadas en estos estanques, las cuales son su deformación estructural y la formación de precipitado en el fondo de los estanques. Cabe mencionar que a pesar que algunos estanques presentaron deformación, ninguno de estos colapsó o presento fugas en el proceso.

Tabla 12: *Comportamiento del plástico al almacenar orina verificado mediante observación.*

Sigla*	Deformación estructural**	Formación de precipitado**
1 RPETTI1.5	Alta	Alta
2 RPETTL1,5	No presenta	No presenta
3 RPETOI1,5	No presenta	No aplica
4 RPETI6	Leve	Alta
5 RPETTL6	No presenta	Leve
6 RPETOI6	No presenta	No aplica
7 APEADTI5	Alta	Alta
8 APEADTL5	Alta	Leve
9 APEADOI5	Leve	No aplica
10 APEADTI20	Leve	Alta
11 APEADOI20	No presenta	No aplica
12 APEADTI20	Alta	Alta

*Significado de las siglas asignadas a la configuración de los estanques de orina en tabla 8.

**La escala aplicada se basa en la observación y tiene tres niveles: alta, leve y no presenta. No aplica corresponde a los estanques opacos donde no se puede observar la formación de precipitado.

Adicionalmente se presentan fotografías que evidencian el comportamiento de los estanques de almacenamiento con orina. Ya sea opacos o no, con dilución o sin dilución, se presentó en todas las configuraciones algún nivel de deformación y formación de estruvita, como se puede observar en las figuras 18 y 19.



Figura 18: Deformación estructural y formación de estruvita en estanque 1 RPETTI1.5.



Figura 19: Deformación estructural en estanque 9 APEADO15.

4.1.2. **Dispositivos Anti-fuga:** debido a que no se pudieron realizar pruebas de dispositivos se comparan en la tabla 13, según el análisis realizado por Chariar y Sakthivel (2013), donde se incluyen aspectos como la operación y el costo del dispositivo. Cabe destacar que se busca que la alternativa sea apropiada para el usuario objetivo del baño BIS, es decir de simple operación, bajo costo y tecnológicamente adecuado, es decir, que el usuario pueda entenderlo fácilmente y pueda repararlo en caso de que lo requiera.

Tabla 13: Cuadro comparativo de dispositivos anti-fuga, adaptado (Chariar y Sakthivel, 2013).

Descripción	Trampa de Membrana	Líquido Sellantes	Bloques Biológico	Pelota en embudo
Control de olor	Bueno	Bueno	Bueno	Bueno
Costo	La trampa cuesta en promedio 18 USD*	El urinario con dispositivo cuesta 150 USD*	La trampa tiene un valor de 0,3 USD*	1,5 USD
Inserción en baño convencional	Si	No	Si	No
Reemplazo	Una vez al año	Se reemplaza el líquido una vez al año o 1000 usos	Necesita reemplazo a los 2 o 3 días	No necesita reemplazo hasta la ruptura de alguna de sus partes
Obstrucción	Alta (exceptuando las válvulas de cortina)	Media	Baja	Alta por acumulación de sólido en la superficie
Mantención	Alta	Media	Baja	Media

*Dólar Norteamericano por sus siglas en inglés, estimados al 17 de julio del 2016.

4.1.3. **Higienización de la Orina:** el parámetro de control es medido dos veces por semana, durante cuatro semanas en los estanques de 20 [L]. Como se explica más adelante (ver capítulo 4.2.) este volumen es el generado por una familia de cuatro integrantes en una semana, y es por esto que solo se mide el parámetro en cuestión sólo en esta configuración de estanques. Dentro de las cuatro semanas se logra cumplir con los ya mencionados límites permitidos por la OMS y la normativa chilena NCh 1333.

Se lleva el registro entonces de la temperatura ambiente y de la muestra, el registro del pH y los microorganismos que contienen las muestras después de las pruebas de laboratorio. Los resultados se resumen en la tabla 14 y se grafican en la figura 20.

Tabla 14: Temperatura, pH y caracterización biológica del estanque 10 APEADTI20.

Semana	Muestra (10)	Temperatura ambiente [°C]	Temperatura muestra [°C]	pH	NMP [NMP/100 mL]
1	1	25,5	21	7,1	17,5
	2	20,5	16	8	8
2	3	27,5	22	8,5	4
	4	18,6	16	8,7	3
3	5	28,4	22	8,8	2
	6	20,1	16	9	<2
4	7	21,3	16	9,2	<2
	8	18,7	16	9,2	<2

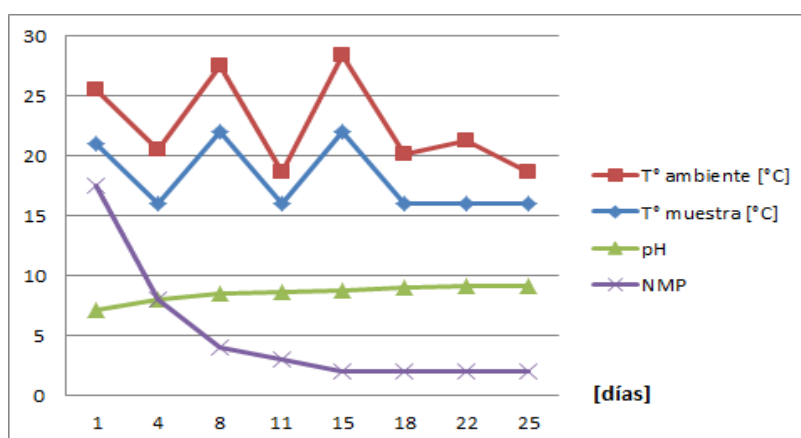


Figura 20: Temperatura, pH y caracterización biológica del estanque 10 APEADTI20.

El mismo muestreo se realiza en el estanque 11. En la primera semana presenta resultados negativos a la presencia de coliformes fecales como se muestra en la tabla 15, por lo que se discontinúa el muestreo. Esto pudo haber sido provocado por la energía solar acumulada en el estanque opacado, lo que pudo haber ayudado al proceso natural de hidrólisis dentro de dicho estanque al aumentar la temperatura de la orina. Se presenta el resultado negativo de uno de los tubos después de la incubación en la figura 21.

Tabla 15: Temperatura, pH y caracterización biológica del estanque 11 APEADOI20.

Semana	Muestra (11)	Temperatura ambiente [°C]	Temperatura muestra [°C]	pH	NMP [NMP/100 mL]
1	1	29,1	26	8,9	<2
	2	22,3	17	9,2	<2



Figura 21: *Tubo de ensayo después del periodo de incubación con resultado negativo en muestra del estanque 11 APEADOI20.*

Por último, se presentan los resultados del muestreo en el estanque 12, en la tabla 16 y se grafican en la figura 22, aunque sin las temperaturas como en los estanques anteriores, debido a que no presenta información adicional. Se observa que la temperatura del estanque depende directamente de la temperatura ambiente y, por lo tanto, de la hora a la que se muestrea por lo que, al no ser muestreado todas las veces a la misma hora no se obtiene información a partir de ella como datos puntuales, sino como un parametro global (o promedio mensual de almacenamiento).

Tabla 16: *Resultado ensayo de aguas residuales por Laboratorio Silob Chile para el estanque 12 APEADTI20.*

Semana	Muestra (12)	pH	NMP [NMP/ 100 mL]	Fecha de muestreo
1	1	7	>1.600.000	01/04/2016
	2	7,7	>1.600.000	05/04/2016
2	3	8	>1.600.000	08/04/2016
	4	8,5	>1.600.000	12/04/2016
3	5	8,7	>1.600.000	15/04/2016
	6	8,9	1.600.000	19/04/2016
4	7	9	1.300	22/04/2016
	8	9	<2	26/04/2016

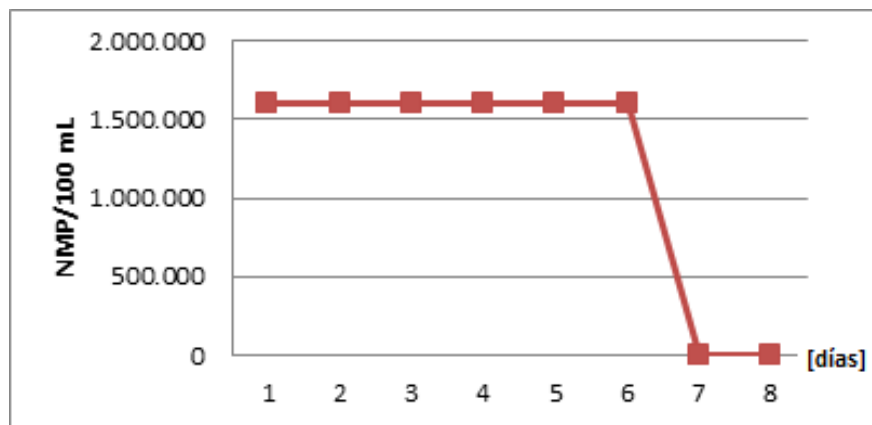


Figura 22: Caracterización biológica del estanque 12 APEADTI20.

Del gráfico presentado en la figura 22 se deduce que el cambio abrupto en el contenido de coliformes fecales en el estanque se debe exclusivamente al cambio en el pH (al alcanzar el pH 9). Anterior a este suceso las bacterias aun pueden presentarse en la orina almacenada, por lo que se recomienda mantenerla almacenada, como mínimo, hasta que alcance dicho pH.

Es importante mencionar que aunque presenta altos niveles de coliformes fecales debido posiblemente a contaminación cruzada, la última muestra cumple con los parámetros requeridos por las normativas antes mencionadas, como se muestra en el informe presentado por el laboratorio Silob en la figura 23.



INFORME DE ENSAYO DE AGUAS RESIDUALES
(RS 14.14)

Fecha emisión informe : 04/05/2016

Entidad/dirección : Silob Chile, Javiera Carrera 839, Valparaíso, V Región

Informe número: : A2266.2016

Entidad Muestreadora : Muestra Proporcionada por el Cliente

IDENTIFICACION DEL ESTABLECIMIENTO INDUSTRIAL

NOMBRE : Daniela Hermosilla

DESCRIPCIÓN : No Aplica

DIRECCIÓN : Las Acacias Poniente 353 Villa Alemana

CARACTERÍSTICAS MUESTRA

Identificación muestra puntual : M1 = RIL, M8 (Martes 26/04 /2016)

Identificación muestra compuesta : No aplica

Fecha y hora de Muestreo : No Aplica Fecha y hora Ingreso Laboratorio: 26 de Abril de 2016 / 14:02 h

Lugar de toma de muestra : No Aplica

Tipo de envase : Vidrio y Plástico según corresponda

Desviación al Procedimiento especificado en esta Norma: SÍ NO: X

Identificación : 1 original

RUT : 16813939-k

CIU : No Aplica

LUGAR DE DESCARGA : No Aplica.

Análisis	Identificación Método de Ensayo	Preservante	Condición Acreditación INN según NCh ISO 17025.022005	Fecha y Hora Inicio Análisis	Fecha y Hora Término Análisis
Microbiología					
Coliformes fecales (NMP/100 ml)	NCh2313/22.0195	Na2S2O3+EDTA	LE 045	26/04/2016 14:44	29/04/2016 14:10

N/A: No Acreditado S/P: Sin Preservante

RESULTADOS

ENSAYOS	M1
Microbiología	
Coliformes fecales (NMP/100 ml)	<2

Figura 23: Informe ensayo de aguas residuales por Laboratorio Silob Chile para el estanque 12 APEADTI20 en la muestra número 8.

4.2. Diseño

Con los resultados obtenidos de los experimentos, es posible definir la combinación de características adecuadas para el estanque de orina (que cumple la función de reactor higienizador de orina), que cumpla con la correcta higienización de esta, y a su vez que permita satisfacer las necesidades básicas de las familias que habitan en zonas rurales, de alta dispersión y sin acceso a saneamiento mejorado. Debiendo considerar así mismo los objetivos de BIS siendo un baño sostenible, que debe ser económicamente viable, socialmente adecuado y que no cause impacto al medio ambiente.

Los supuestos realizados en el cálculo del volumen de orina producida se presentan a continuación:

- La familia usuaria del baño está compuesta de 4 personas (dos niños y dos adultos que equivalen a 3 adultos, en términos de total de orina excretada)
- El usuario arrastra la orina remanente en el urinario o separador usado de 80 a 100 [mL] de agua (el 50% de la micción), en un total de 0,25 [L] de orina diluida almacenados por micción.
- Cada usuario orina 5 veces al día. Sin embargo sólo el 60% de la orina se hace en el baño del hogar (Olivares, 2015).
- Se debe considerar un factor de seguridad de un 20%, para que el diseño soporte usos atípicos del sanitario (Olivares, 2015).

Por lo tanto, los cálculos se resumen en la ecuación 4:

$$V_{\text{orina}} \left[\frac{\text{L}}{\text{d}} \right] = V_{\text{micción}} * n_{\text{micciones diarias}} * n_{\text{adultos}} \quad (4)$$
$$V_{\text{orina}} \left[\frac{\text{L}}{\text{d}} \right] = 0,25 \left[\frac{\text{L}}{\text{micción}} \right] * 3 \left[\frac{\text{micción}}{\text{persona} * \text{d}} \right] * 3[\text{personas}] = 2,2 \left[\frac{\text{L}}{\text{d}} \right]$$
$$V_{\text{orina}} \left[\frac{\text{L}}{\text{semana}} \right] = 2,2 \left[\frac{\text{L}}{\text{d}} \right] * 7 \left[\frac{\text{d}}{\text{semana}} \right] * 1,2 = 19 \left[\frac{\text{L}}{\text{semana}} \right]$$

Esto significa utilizar un contenedor de 20 litros a la semana con una capacidad utilizada de hasta un 95% del volumen efectivo.

- 4.2.1. **Materialidad del contenedor:** se analiza entonces, el efecto que la orina tiene sobre estanques de distintos materiales al estar cerrados durante cuatro semanas.

Al observar el efecto del almacenamiento de la sustancia bajo las variables de estudio ya mencionadas, se decide finalmente la configuración y el diseño final del contenedor a continuación:

- a. Contenedores reutilizables y adquiribles: ya que ambas opciones presentan deformación estructural y formación de lodos, se prefiere los contenedores adquiribles como la opción más segura en caso de que el material colapse o se desgaste con el tiempo. De igual manera, el usuario podría no tener los recursos para adquirir un estanque por lo que se utiliza en este caso cualquier contenedor PEAD de 20 [L] reutilizable.
- b. Materialidad: ambos materiales estudiados presentan deformación pero ninguna estructura se deformó lo suficiente como para presentar ruptura en la superficie. Aunque en los estanques de PEAD se observa menor deformación por lo que se recomienda su uso por sobre el PET.
- c. Volumen de almacenamiento: se prefiere el contenedor de 20 [L], al ser llenado en una semana según los cálculos previos. Además, se selecciona por tener un tamaño manipulable con respecto a su peso, y al mismo tiempo minimiza la rotación de contenedores por llenado.
- d. Medio de estudio: dejando el estanque de almacenamiento a la intemperie presenta deformación estructural, pero al mismo tiempo se observa mayor formación de precipitados. Esto podría indicar un aumento en la velocidad de reacción por ayuda del calor absorbido. Al estar influenciado directamente por el ambiente, el estanque logra alcanzar mayores temperaturas y por consecuencia, un mayor promedio de temperaturas con respecto a si se encuentra bajo techo. Se prefiere entonces dejar el estanque a la intemperie.
- e. Opacidad: se selecciona la opción opaca ya que presenta menor deformación estructural. Por lo tanto, se recomienda pintar este dispositivo con pintura para plástico negra.
- f. Efecto de la Dilución: el uso de agua para arrastrar la orina no parece ser un factor que represente algún cambio en los estanques, ya que tanto los estanque con orina diluida y los estanques con orina sin diluir presentan deformación estructural y formación de lodos. Este parámetro se selecciona entonces por razones operativas, para no generar incomodidades en el usuario por olores provenientes de restos de orina en el baño. Por lo que se prefiere utilizar orina con dilución en razón 2:1.

4.2.2. **Dispositivos Anti-fuga:** considerando las opciones presentadas, la que mejor se adecua a los requerimientos del baño BIS es la trampa de membrana o válvula pico de pato ya que tiene menor costo que la trampa de líquidos y se acopla al sistema de saneamiento ya existente. Se descarta de la misma forma el bloque biológico, debido a su continuo reemplazo y consiguiente problemática operacional y costo. La alternativa de trampa con pelota y embudo se descarta también por cuestiones operacionales, al presentar posible bloqueo por incrustaciones de estruvita. Finalmente, se debe considerar alternativas como sellante al vacío con agua, como el utilizado en el baño convencional o válvulas simples como válvulas globo, que permitan el paso de la orina al estanque y a su vez reduzcan los malos olores emanados del mismo.

4.2.3. **Higienización de la Orina:** el estanque que presentó menor tiempo de higienización fue el estanque opaco (se higienizó en menos de una semana), ya que al encontrarse a la intemperie, la radiación potenció la eliminación de las coliformes fecales, acelerando el proceso de hidrólisis en la orina y alcanzando más rápidamente el pH necesario para la eliminación de estos patógenos. En consecuencia, la opacidad del estanque asegura el cumplimiento de la normativa y permite el uso de la orina como fertilizante o hidratador nutritivo de suelos.

En cuanto a la instalación y mantención del estanque se mencionan algunas consideraciones para que sea acoplado correctamente al baño y a su vez no haya inconvenientes con la operación de éste. Las cañerías deben ser de al menos 2 pulgadas de diámetro y con inclinación en ángulo de al menos 1 o 2 grados, evitando ángulos de 90 grados por acumulación de precipitado. Deben ser de PVC y evitar largos tramos de distancia hacia el estanque de acumulación. Debe existir hermeticidad en las conexiones por pérdida de nitrógeno y evitar los malos olores. Se incluye una válvula de escape de gas o de vaciado del líquido (Chariar y Sakthivel, 2013). El diseño final y su instalación se muestran en la figura 24 y 25.

A modo de discusión y considerando las implicancias de los resultados de la presente investigación, se puede considerar que, con una mayor inversión en un proyecto que desarrolle fertilizante a partir de la orina, sería posible crear una pequeña empresa. Dicha empresa vendería a agricultores locales permitiendo a estos certificar sus productos bajo la ley 20.089. Esta ley indica que al certificar un producto como orgánico, se permite el uso de excrementos líquidos de animales como fertilizante y acondicionador de suelos, siempre que el SAG lo autorice.



Figura 24: Estanque de acumulación a utilizar como higienizador de orina.

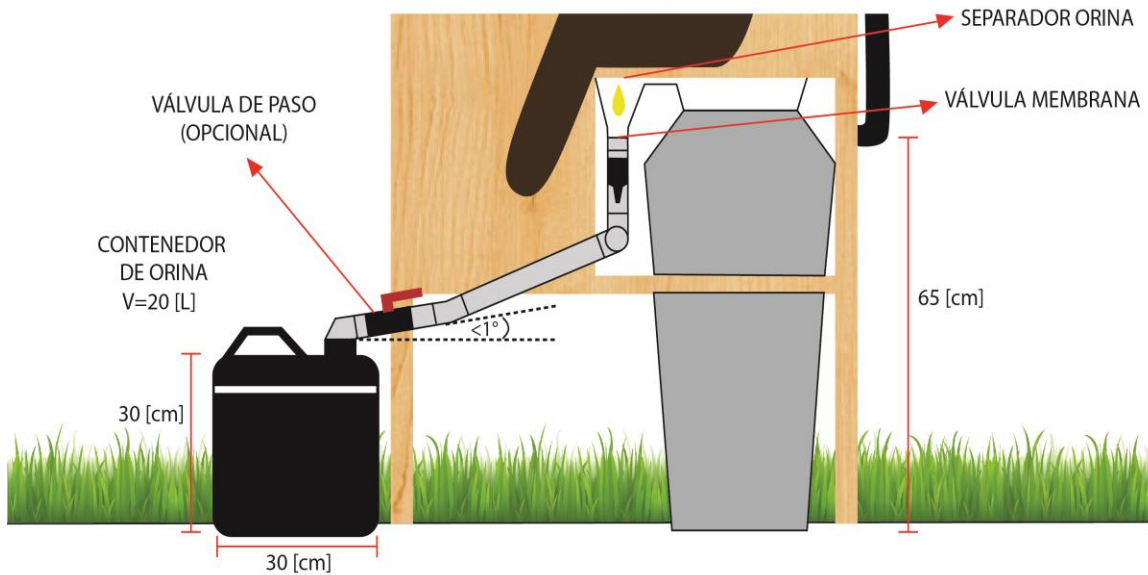


Figura 25: Esquema de la acumulación de orina para su higienización por almacenamiento incluyendo consideraciones finales obtenidas de los experimentos realizados.

Capítulo 5: CONCLUSIONES

A partir de los experimentos realizados y su respectivo análisis, es posible generar un diseño simple de un reactor de higienización de orina humana mediante almacenamiento, que asegura la inocuidad de ésta al cabo de su tratamiento. Este equipo, básico y de bajo costo, consiste en un contenedor adquirible de plástico del tipo PEAD; de un volumen recomendado de 20 [L] que, según la cantidad aproximada por micción comprobada experimentalmente de 166 [mL/micción], debería llenarse semanalmente en un baño utilizado por una familia de cuatro integrantes. Se requiere su almacenamiento a la intemperie y que su superficie sea opaca, preferentemente de color negro. Como última característica operacional, se menciona la dilución de la orina con agua de arrastre, la cual debe ser en una razón de 2:1.

Esta configuración asegura el cumplimiento de la normativa para coliformes fecales, y permite el uso de la orina como fertilizante o hidratador nutritivo de suelos. Esta inocuidad se presenta al mes de almacenada la orina, y menos si se opaca el contenedor con una tecnología tan simple como utilizar pintura para plásticos negra en él. Sin embargo, para uso como fertilizante en cultivos que no sean de consumo propio de la familia, se recomienda almacenar por seis meses, y si el promedio de las temperaturas es menor a 4°C

El dispositivo anti-retorno (o anti-fuga) idóneo a implementar en el diseño del contenedor higienizador de orina es la trampa de membrana, ya que tiene el menor costo entre las alternativas presentadas y se acopla al sistema de saneamiento ya implementado en el baño BIS. Sin embargo, se recomienda considerar otras alternativas, como sellante al vacío con agua y realizar pruebas de dichas válvulas para medir su efectividad con respecto a su capacidad sellante para el amoníaco.

Adicionalmente se recomienda considerar que, a pesar de que el polietileno o PEAD resulta ser uno de los plásticos más resistentes a pH alcalino, resulta con deformación estructural luego de los experimentos realizados, aunque sin llegar al colapso de la estructura. Es por esto que se recomienda la utilización de otro material, no deformable, como estanques industriales con estrías. Estos representarían un mayor costo de inversión para el baño, pero compensaría las pérdidas de volumen efectivo y la posibilidad de utilizar mayores volúmenes en la operación del baño.

En cuanto al comportamiento físico de los estanques y su relación con la reacción de hidrólisis de la orina y por consecuente, la higienización de la misma, podemos concluir que la temperatura es un factor incidente en el tiempo necesario para alcanzar la higienización de la orina. Si bien, sólo con el tiempo de almacenamiento la orina es capaz de higienizarse (alcanzando pH 9), la temperatura parece contribuir al proceso natural, mostrando mayor formación de precipitados y deformación estructural en aquellos estanques que fueron expuestos directamente al ambiente. Esto fue corroborado por la medición de coliformes fecales de aquellos estanques que fueron dejados a la intemperie y opacados con pintura negra en su estructura.

Luego, es importante destacar el rol que juega el usuario del baño, el cual debe ser instruido correctamente para el manejo de la orina usada en agricultura. La orina es un completo fertilizante que contiene nitrógeno, sodio y cloruro, y es usada en plantaciones que se ven limitadas por la cantidad de nitrógeno como el maíz y la acelga.

Para evitar que la planta se “queme” y la pérdida de nitrógeno, la orina no debe ser aplicada directamente en la planta, sino en la tierra cercana a ella. Preferentemente se aplica en pequeños hoyos, ya sea antes de plantar o cerca de la planta. A continuación, estos hoyos son cubiertos con tierra y agua para mejorar la absorción de nutrientes, aumentar la dilución y evitar las pérdidas de amoníaco. Se debe tener en cuenta que la persona que aplica la orina debe seguir buenas prácticas de higiene personal, como lavarse bien las manos después de aplicar la orina y usar guantes, botas y mascarillas para evitar molestias por olores.

En cuanto a la instalación y mantención del estanque, se recomienda que las cañerías deben ser de al menos 2 pulgadas de diámetro y con inclinación en ángulo de al menos 1 o 2 grados, evitando ángulos de 90 grados por acumulación de precipitado. Deben ser de PVC, y evitar largos tramos de distancia hacia el estanque de acumulación.

Capítulo 6: REFERENCIAS

- Chariar y Sakthivel. (30 de septiembre de 2013). *Waterless Urinals A Resource book*. Stockholm Environment Institute. Indian Institute of Technology (IITD) & Vigyan Vijay Foundation. Obtenido de: <http://www.sswm.info/content/waterless-urinals>. Visitado en junio del 2016.
- EAWAG. (2007). *Mix or NoMix? A closer look at urine source separation*. Swiss Federal Institute of Aquatic Science and Technology. Obtenido de: <http://www.sswm.info/library/4693>. Visitado en mayo del 2016
- Etter. (2010). *Struvite*. Visitado en julio del 2016, de: <http://www.sswm.info/content/struvite-0>
- GIZ. (2011). *Technology review of urine diversion components*. Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit. Obtenido de: <http://www.susana.org/en/resources/library/details/875>. Visitado en mayo del 2016.
- Goodfellow. (2016). Poliestireno. Visitado en enero del 2016, de: <http://www.goodfellow.com/S/Poliestireno.html>
- Hidrostank. (2016). Válvulas antirretorno tipo pinza. Visitado en junio del 2016, de: <http://www.hidrostank.com/downloads/028.3.2-Valvulas-antirretorno-tipo-pinza.pdf>
- Höglund, C. (2001). *Evaluation of microbial health risk associated with reuse of source-separated human urine*. Stockholm: EcoSanRes. Obtenido de: http://www.ecosanres.org/pdf_files/Nanning_PDFs/Eng/Caroline%20Schonning%20%2029_E26.pdf. Visitado en mayo del 2016.
- Jönsson, A. R. (2004). Lineamientos para el uso de la orina y las heces en la producción de cultivos. Stockholm: Swedish Institute for infectious disease control. Obtenido de: http://www.ecosanres.org/pdf_files/Uso_Orina_Heces_Cultivos_2004-2.pdf. Visitado en junio del 2016.
- Maurer, Pronk y Larsen. (2006). *Treatment processes for source-separated urine*. Water Research, Volume 40, Issue 17, 3151-3166. Obtenido de: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/16949123>. Visitado en mayo de 2016.
- Ministere de l'ecologie de l'energie du developpement durable. (9 de October de 2009). NOR: DEVO0809422A. Francia: Journal officiel de la republique francaise. Obtenido de: <https://www.legifrance.gouv.fr/affichTexte.do?cidTexte=LEGITEXT000021125886>. Visitado en junio de 2016.

- Minivalve. (2016). *Umbrella Valves*. Obtenido de:
<http://www.minivalve.com/newsite/index.php/en/by-type/umbrella-valves/how-they-work>. Visitado en mayo de 2016.
- MINSAL. (Julio de 1926). DTO. N° 236/26. Reglamento general de alcantarillados particulares, fosas sépticas, cámaras filtrantes, cámaras de contacto, cámaras absorbentes y letrinas domiciliarias. Santiago, Chile. Obtenido de:
<https://www.leychile.cl/Navegar?idNorma=171085>. Visitado en mayo de 2016.
- MINSAL. (1995). NCh 2393/22. Of95. Aguas residuales, Métodos de análisis, Parte 22: Determinación de coliformes fecales en medio EC. Obtenido de
http://www.ecoslabchile.cl/wp-content/themes/Ecoslab/Documentacion_Legal/3-Normativa/AGUAS/6-NCh%202393_22-Coli_Fec_en_Medio_EC.pdf. Visitado en junio del 2016.
- MINVU. (2015). Familias de sectores rurales del país mejorarán condiciones de habitabilidad con nuevo programa del Minvu. Ministerio de Vivienda y Urbanismo. Visitado en mayo del 2016, de: http://www.minvu.cl/opensite_det_20151021102019.aspx
- MMA. (2011). Ley N°19.300, sobre bases generales del medio ambiente. Obtenido de
http://www.sinia.cl/1292/articles-51743_Ley19300_12_2011.pdf. Visitado en junio del 2016.
- MOP. (2012). Estrategia Nacional de Recursos Hídricos 2012-2025. Obtenido de:
www.mop.cl/documents/enrh_2013_ok.pdf. Visitado en abril del 2016.
- Niwagaba, C. K. (2009). *Comparing Microbial die-off in separately collected faeces with ash and sawdust additives*. . Kampala, Uganda: Department of Civil Engineering, Faculty of Technology, Makerere University.
- NSF USA. (2016). *Composting toilets*. Obtenido de <http://www.nsf.org/consumer-resources/green-living/wastewater-treatment-system-alternatives/composting-toilets>. Visitado en julio de 2016.
- Oekonal. (2012). *The no-water urinal system*. Obtenido de: <http://oekonal.com.w3lookup.net/>
 Visitado en abril de 2016.
- Olivares. (2015). Análisis normativo, técnico y medio ambiental de los baños secos en Chile: Memoria de tratamiento de orina en un UDDT. Universidad Técnica Federico Santa María, Valparaíso, Chile.
- Pizarro. (2012). Baños Ecológicos BIS: Saneamiento sostenible tecnológicamente apropiado. Universidad Técnica Federico Santa María, Valparaíso, Chile.

- Plasticbages Industrial, S.L. (2016). PVC. Obtenido de:
<http://www.plasticbages.com/caracteristicaspvc.html>. Visitado en enero del 2016.
- Plastigen (2016) Polipropileno. Obtenido de:
http://www.plastigen.cl/index.php?route=product/category&path=3_19. Visitado en enero del 2016.
- Richert, R. G. (2011). Guía práctica de uso de la orina en la producción agrícola. Estocolmo, Suecia. EcoSanRes. Obtenido de: <https://www.sei-international.org/mediamanager/documents/Publications/SEI-Book-Stenstrom-GuiaPracticaDeUsoDeLaOrinaEnLaProduccionAgricola.pdf>. Visitado en mayo del 2016.
- Rieck et al. (2012). *Technology Review of Urine-Diverting Dry Toilets (UDDTs): Overview of design, operation, management and costs*. Deutsche Gesellschaft fuer Internationale Zusammenarbeit (GIZ). Obtenido de:
<http://www.susana.org/en/resources/library/details/874>. Visitado en junio de 2016.
- SAG. (2011). Sistema Nacional de Certificación de productos Orgánicos Agrícolas. Visitado en junio del 2016, de: http://www.sag.cl/sites/default/files/Ley_reglamento_version_dic2011.pdf.
- Sevenster, A. (2015). *What in PVC?*. Obtenido de <http://www.pvc.org/en/p/chemical-resistance>. Visitado en mayo del 2016.
- SISS. (1978). NCh 1333 de 1978 - Norma chilena sobre requisitos de calidad del agua para diferentes usos. Obtenido de <http://www.siss.gob.cl/577/w3-article-4248.html>. Visitado en julio de 2016.
- SISS. (2002). Decreto 46. Norma de emisión de residuos líquidos a aguas subterráneas. Obtenido de http://www.siss.gob.cl/transparencia/normativa/Leg_y_norm_ambiental/DS-46.pdf. Visitado en mayo del 2016.
- SISS. (2011). Informe anual de coberturas urbanas de servicios sanitarios. Santiago, Chile. Obtenido de: www.siss.cl/577/articles-11624_recurso_1.pdf. Visitado en junio del 2016.
- SSBI USA. (2015). *Membrane treatment solutions*. Obtenido de
http://www.ssbiusa.com/Membrane_Treatment_Solution.html. Visitado en julio del 2016.
- SSWM. (2010). *Sustainable Sanitation and Water Management*. Visitado en abril del 2016, de
<http://www.sswm.info>
- ST Group. (2016). PET. Obtenido de: http://www.st-1.com.ar/info/Informacion_de_PET.pdf. Visitado en enero del 2016.

- SUBDERE. (2009). Manual de soluciones de saneamiento sanitario para zonas rurales. Santiago: Subsecretaría de Desarrollo Regional y Administrativo. Ministerio del Interior. Chile. Obtenido de: <http://www.subdere.gov.cl/documentacion/manual-de-soluciones-de-saneamiento-sanitario-para-zonas-rurales-homsy-0>. Visitado en julio de 2016.
- SuSanA. (2015). *Sanitation Case Studies*. Obtenido de: <http://www.susana.org/lang-en/case-studies>. Visitado en abril del 2016.
- Techo. (2015). ¿Te duchaste hoy?. Obtenido de <http://www.techo.org/paises/chile/opina/te-duchaste-hoy/>. Visitado en julio del 2016.
- Udert, T. L. (2003). *Urea hydrolysis and precipitation dynamics in a urine-collecting sistem*. *Water research*, volume 37, issue 11, 2571-2582.
- USGS. (31 de Octubre de 2012). *The USGS Water Science School*. Recuperado el 11 de Noviembre de 2012, de U.S. Geological Survey: <http://ga.water.usgs.gov/edu/earthwherewater.html>
- WERF. (2011). *Source separation and treatment of anthropogenic urine*. Obtenido de: <https://www.werf.org/a/ka/Search/ResearchProfile.aspx?ReportId=INFR4SG09b>. Visitado en junio del 2016.
- WHO. (2015). Informe 2015 del PCM sobre el acceso a agua potable y saneamiento: datos esenciales. *World Health Organization*. Obtenido de http://www.who.int/water_sanitation_health/monitoring/jmp-2015-key-facts/es/. Visitado en julio del 2016.
- Winker, M. V. (2008). *New fertilisers from advanced wastewater treatment: Their potential values and risks*. Obtenido de <http://www.susana.org/langen/library?view=ccbctypeitem&type=2&id=1008>. Visitado en mayo del 2016.

ANEXOS

Tabla 1 - Tabla para el cálculo del número más probable

Combinación de tubos positivos	NMP/ 100 ml	Límite de confianza 95%		Combinación de tubos positivos	NMP/ 100 ml	Límite de confianza 95%	
		Inferior	Superior			Inferior	Superior
0-0-0	< 2	-	-	4-2-0	22	9,0	56
0-0-1	2	1,0	10	4-2-1	26	12	65
0-1-0	2	1,0	10	4-3-0	27	12	67
0-2-0	4	1,0	13	4-3-1	33	15	77
				4-4-0	34	16	80
1-0-0	2	1,0	10	5-0-0	23	9,0	86
1-0-1	4	1,0	15	5-0-1	30	10	110
1-1-0	4	1,0	15	5-0-2	40	20	140
1-1-1	6	2,0	18	5-1-0	30	10	120
1-2-0	6	2,0	18	5-1-1	50	20	150
				5-1-2	60	30	180
2-0-0	4	1,0	17	5-2-0	50	20	170
2-0-1	7	2,0	20	5-2-1	70	30	210
2-1-0	7	2,0	21	5-2-2	90	40	250
2-1-1	9	3,0	24	5-3-0	80	30	250
2-2-0	9	3,0	25	5-3-1	110	40	300
2-3-0	12	5,0	29	5-3-2	140	60	360
3-0-0	8	3,0	24	5-3-3	170	80	410
3-0-1	11	4,0	29	5-4-0	130	50	390
3-1-0	11	4,0	29	5-4-1	170	70	480
3-1-1	14	6,0	35	5-4-2	220	100	580
3-2-0	14	6,0	35	5-4-3	280	120	690
3-2-1	17	7,0	40	5-4-4	350	160	820
4-0-0	13	5,0	38	5-5-0	240	100	940
4-0-1	17	7,0	45	5-5-1	300	100	1 300
4-1-0	17	7,0	46	5-5-2	500	200	2 000
4-1-1	21	9,0	55	5-5-3	900	300	2 900
4-1-2	26	12	63	5-5-4	1 600	600	5 300
				5-5-5	≥ 1 600	-	-

Figura A: Tabla para el cálculo del número más probable en NCh 2313/22 Of.95.