

Mon
628.3
M741
2012

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

FACULTAD DE INGENIERIA QUIMICA



Dimensionamiento de un sistema de Humedales Artificiales de Flujo Sub superficial para la depuración de aguas residuales grises, a pequeña escala en el barrio Omar Varela de la ciudad de Buenos Aires, Rivas.

Trabajo de Diploma Presentado por:

Br. Osnar Antonio Mondragón Grios

Para Optar al Título de Ingeniero Químico

Tutor:

Ing. Nelly Betanco

ASESOR:

Ing. Felipe Mendoza

**Managua, Nicaragua
Febrero, 2012**

Dedicatoria:

A mi madre Narcisa Rafaela Grios Madrigal, quien siempre ha sido ejemplo en mi vida.

Agradecimientos

A DIOS porque todo lo que tengo, lo que puedo y lo que recibo es regalo que él me ha dado.

Este trabajo no pudo ser realizado sin la colaboración de diferentes personas de las cuales quiero reconocer:

A la dirección del CIRA/UNAN, por el aporte financiero y logístico, especialmente a phd. Katherine Vammen, y la Maestra Thelma Salvatierra, por sus gestiones y colaboración.

Al Ingeniero Felipe Mendoza, asesor y amigo por la dirección, aportes, aclaración de dudas y apoyo para la realización de este trabajo.

A la Alcaldía de Buenos Aires, especialmente al Lic. Medardo Cerdas, por su colaboración en el estudio del lugar.

Mis compañeros de trabajo del Laboratorio de Aguas Residuales del CIRA/UNAN, por su colaboración administrativa y técnica ante cada requerimiento.

Mi familia y amigos por su constante apoyo y colaboración.

A Elizabeth por alentarme a ser cada día mejor y depositar tanta confianza en mí.

A todos los profesores que tuve durante el transcurso de la carrera.

Resumen

La finalidad de esta tesis es realizar un diseño de una planta de tratamiento de aguas residuales grises, en un barrio de la ciudad de Buenos Aires, departamento de Rivas, utilizando tecnologías no convencionales de Humedales Artificiales de Flujo Sub superficial.

Para este diseño se proyectó una población de un sector de la ciudad de Buenos Aires (Sector 7 o barrio Omar Varela), con la cual se estimaron los caudales de aguas residuales a tratar. Se realizó una caracterización Fisicoquímica y bacteriológica de las aguas grises en la ciudad, y se comparó con datos encontrados en varios países del mundo y con las ciudades más importantes del país. Los datos generados confirman una alta presencia de microorganismos patógenos y gran cantidad de materia orgánica, surfactantes, aceites y grasas, lo que incrementa la vulnerabilidad de los acuíferos someros, y cuerpos de aguas superficiales próximos a las poblaciones que irrigan sin tratamiento las aguas grises.

Se realizó una evaluación del lugar donde se haría el emplazamiento de los sistemas de Humedales Artificiales cabe mencionar que cerca de la ciudad se encuentra una zona de humedales naturales que cuenta con la vegetación necesaria para la colonización de los sistemas.

TABLA DE CONTENIDO

<i>Contenido</i>	<i>Página</i>
DEDICATORIA.....	i
AGRADECIMIENTO.....	ii
RESUMEN.....	iii
I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. ANTECEDENTES.....	2
III. JUSTIFICACION.....	3
IV. OBJETIVOS.....	4
V. MARCO TEÓRICO.....	5
5.1 Aguas Grises.....	5
5.1.1 Definición.....	5
5.1.2 Riesgo ecológico existente.....	5
5.1.3 Clasificación de “Aguas Grises”.....	6
5.2 Humedales Artificiales.....	7
5.2.1 Fundamentos.....	7
5.2.2 Tipos de Humedales Artificiales.....	8
5.2.3 Humedales Artificiales de Flujo Superficial.....	9
5.2.4 Humedales Artificiales de Flujo Sub superficial.....	10

5.3 Funcionamiento de HAFSSs.....	11
5.3.1 Pre-tratamiento.....	11
5.3.2 Tratamiento Primario.....	12
5.3.3 Tratamiento Secundario.....	13
5.3.4 Tratamiento Terciario.....	13
5.4 Mecanismos de Depuración.....	14
5.4.1 Eliminación de sólidos en Suspensión.....	14
5.4.2 Eliminación de Materia Orgánica.....	14
5.4.3 Eliminación de Nutrientes.....	18
5.4.3.1 Nitrogeno.....	18
5.4.3.2 Fosforo.....	20
5.4.4 Eliminación de Patógenos.....	20
5.5 Macrofitas.....	21
5.5.1 Descarga de Oxígeno de la Rizosfera.....	21
5.5.2 Asimilación de Nutrientes y Almacenamiento.....	21
5.5.3 Exudados de las raíces.....	22
5.5.4 Plantas utilizadas.....	23
5.6 Microorganismos.....	23
VI. METODOLOGIA.....	25
6.1 Diseño.....	25
6.2 Caracterización del Afluente.....	26
6.3 Puntos de muestreo.....	27

6.4 Muestreos.....	29
6.4.1 Recolección de muestras.....	29
6.4.2 Procesamiento analítico.....	29
6.4.3 Metodología para la caracterización.....	31
6.5 Estimación de caudal.....	32
6.5.1 Estudio de la Población.....	32
VII. PRESENTACION Y DISCUSION DE RESULTADOS.....	33
7.1 Área de estudio.....	33
7.2 Selección y evaluación del sitio.....	35
7.3 Vegetación.....	37
7.4 Impermeabilización del terreno.....	38
7.5 Resultados de caracterización de “Aguas Grises”.....	38
7.5.1 Características Físico-Química de las Aguas Grises.....	41
7.5.2 Características Microbiológicas de las Aguas Grises.....	45
7.6 Estimación de caudal.....	47
7.6.1 Estudio de población.....	47
7.6.2 Calculo de caudales.....	49
7.7 Determinación de las cargas de contaminantes.....	50
7.8 Diseño de Pre-tratamiento.....	51
7.8.1 Canal de entrada.....	51
7.8.2 Reja sencilla de limpieza manual.....	52
7.8.3 Fosa séptica de doble cámara.....	54

7.9 Diseño de Humedal Artificial de Flujo Sub superficial.....	57
7.9.1 Concentraciones umbrales.....	58
7.9.2 Calculo de Área Superficial.....	59
7.9.3 Relación Largo-Ancho.....	61
7.9.4 Tiempo de Retención.....	63
7.9.5 Profundidad del HAFSs.....	63
7.9.6 Sustrato.....	64
7.9.7 Alimentación y Drenaje.....	64
7.9.8 Balance de Contaminantes.....	65
VIII. CONCLUSIONES.....	66
8.1 Conclusiones.....	66
IX. RECOMENDACIONES.....	67
9.1 Recomendaciones.....	67
X. NOMENCLATURA.....	68
XI. BIBLIOGRAFIA.....	69
XII. ANEXOS.....	72

LISTADO DE TABLAS

Contenido	Página
Tabla 5.1 Características de Aguas Grises en varios estudios.....	6
Tabla 6.1 Plan de muestreo para caracterización de las aguas residuales grises en “Buenos Aires”	26
Tabla 6.2 Análisis Fisicoquímicos y bacteriológicos, realizados en las aguas residuales grises en “Buenos Aires”	27
Tabla 6.3 Preservación de muestras.....	30
Tabla 6.4 Parámetros y métodos utilizados durante la caracterización.....	31
Tabla 7.1 Promedios de parámetros en la caracterización de las aguas grises de Buenos Aires.....	40
Tabla 7.2 Parámetros Microbiológicos de aguas grises en Buenos Aires.....	45
Tabla 7.3 Comparación de indicadores patógenos de distintos autores, con valores encontrados en Buenos Aires, Rivas.....	47
Tabla 7.4 Poblaciones de la ciudad de Buenos Aires.....	47
Tabla 7.5 Datos para diseño de canal de entrada.....	51
Tabla 7.6 Datos para diseño de rejilla.....	52
Tabla 7.7 Datos para diseño de fosa séptica.....	54
Tabla 7.8 Concentraciones umbrales en HAFSs	

de la ciudad de Buenos Aires, Rivas.....	58
Tabla 7.9 Concentraciones de entrada, salida y umbrales de los contaminantes en el HAFSS.....	59
Tabla 7.10 Valores promedios Constantes de reacción para distintos contaminantes.....	60
Tabla 7.11 Balance de contaminantes en el sistema de tratamiento.....	65
Tabla 7.12 Porcentajes de remoción de contaminantes a través del sistema de tratamiento.....	65

LISTADO DE FIGURAS

Contenido	Página
Figura 5.1, Esquema de clasificación de los sistemas de depuración con macrófitas.....	8
Figura 5.2 Perfiles de HAFS yHAFSs.....	9
Figura 5.3 Esquema de tratamiento HAFSs.....	10
Figura 5.4 Esquema de Funcionamiento de HAFSs.....	11
Figura 5.5 Perfil de la zona de separación de gruesos.....	12
Figura 5.6 Perfil de una Fosa Séptica de doble cámara.....	13
Figura 5.7 Esquema de la degradación de la materia orgánica vía anaerobia.....	17
Figura 5.8 Mecanismos de Eliminación de Nitrógeno.....	19
Figura 6.1 Tren de tratamiento del sistema de HAFSs para la ciudad de Buenos Aires.....	25
Figura 6.2 Esquema de la recolección de Aguas Grises.....	28
Figura 7.1 Fotografía de la Laguna de Ñocarime.....	33
Figura 7.2 Ubicación del área de interés.....	34
Figura 7.3 Mapa de suelos del departamento de Rivas.....	36
Figura 7.4 Imagen de las costas del lago Cocibolca,	

en el municipio de Buenos Aires.....	37
Figura 7.5 Comportamiento del pH de campo en el agua gris de Buenos Aires.....	39
Figura 7.6 Comportamiento de la Conductividad Eléctrica de campo en el agua gris de Buenos Aires.....	39
Figura 7.7 Comportamiento de la Temperatura de campo en el agua gris de Buenos Aires.....	39
Figura 7.8 Concentraciones de Sólidos Totales en las aguas grises de Buenos Aires y otras ciudades de Nicaragua.....	41
Figura 7.9 Concentraciones de Sólidos Suspendidos Totales en las aguas grises de Buenos Aires y otras ciudades de Nicaragua.....	41
Figura 7.10 Concentraciones de Sólidos Sedimentables en las aguas grises de Buenos Aires y otras ciudades de Nicaragua.....	42
Figura 7.11 Concentraciones de DBO ₅ en las aguas grises de Buenos Aires y otras ciudades de Nicaragua.....	42
Figura 7.13 Concentraciones de Nitrógeno Total Kjeldahl en las aguas grises de Buenos Aires y otras ciudades de Nicaragua.....	43
Figura 7.14 Concentraciones de Fosforo Total en las aguas grises de Buenos Aires y otras ciudades de Nicaragua.....	43
Figura 7.15 Concentraciones de pH en las aguas grises de Buenos Aires y otras ciudades de Nicaragua.....	43
Figura 7.16 Parámetros microbiológicos reportados en la caracterización del agua gris de la ciudad de Buenos Aires.....	46
Figura 7.17 Distribución del drenaje en un HAFSS.....	64

I. INTRODUCCION

El desarrollo y crecimiento demográfico de los países en desarrollo han generando considerables volúmenes de aguas residuales domesticas e industriales, que son comúnmente vertidas sin ningún tipo de tratamiento, trayendo consigo problemas medioambientales y de salud pública (Bernal et al. 2003).

El deterioro de los recursos hídricos se debe fundamentalmente a un mal modelo de gestión, actualmente una gestión del agua basada en la oferta ya no tiene cabida, es necesario una redefinición del concepto en pro de la conservación.

En Nicaragua la población tiene un acceso global de agua potable del 76%, la zona urbana alcanza la mayor cobertura con aproximadamente un 95% mientras que la zona rural solamente tiene acceso a un 48%. La cobertura de alcantarillado es solamente del 35% y se estima que cerca del 42% del agua residual que logra recolectarse recibe algún tipo de tratamiento según el Water Supply and Sanitation Investment Program del BID 2006.

La manera en que el agua es distribuida, recolectada y posteriormente tratada es sin lugar a dudas deprimente, el modelo de gestión que se presenta en nuestro país así como en numerosos países de la región está basado en la oferta del recurso, sin tener en cuenta el tratamiento adecuado que se debe realizar para disminuir el impacto ambiental que ocurre en los cuerpos receptores de aguas.

La zona rural de nuestro país es la menos atendida en cuanto a depuración de agua se refiere, es necesario proponer nuevas alternativas de tratamiento no convencionales que sean especialmente adaptables a las características de poblaciones medianas y pequeñas: Costes bajos de implantación y explotación, sencillos de operar y mantener, y capaces de cumplir con los estándares de calidad para agua tratada. Una de las tecnologías no convencionales para el tratamiento de agua residual domestica y que ha sido ampliamente utilizada para núcleos medianos y pequeños de población, es el sistema de humedales artificiales o wetlands.

La tecnología de Humedales Artificiales está basada en la reproducción artificial de las condiciones de las zonas húmedas naturales con el objetivo de aprovechar al máximo los procesos de eliminación de contaminantes físicos, químicos y biológicos que ocurren en las mismas.

Este trabajo pretende diseñar un sistema de humedal artificial de flujo sub superficial a escala piloto con el propósito de estudiar y proyectar este tipo de tecnologías en las zonas rurales de Nicaragua.

II. ANTECEDENTES

Las investigaciones sobre el uso de humedales artificiales para el tratamiento de agua residual probablemente comenzaron a desarrollarse, al observar como estos sistemas naturales aparentemente tenían la capacidad de depuración, otros vieron el agua residual como una fuente de nutrientes y agua para la restauración o creación de nuevos humedales (EPA 2000).

El empleo de humedales de flujo subsuperficial para el tratamiento de aguas residuales se origina en los trabajos de K. Seidel, del Max Planck Institute de Alemania a comienzos de los años 50, donde se llevaron a cabo numerosos experimentos en el uso de vegetación de humedales para el tratamiento de distintos tipos de agua residual (Vymazal 2005).

A finales de 1960 los científicos empezaron a innovar llevando a cabo distintos ensayos, haciendo crecer macrófitas en una variedad de aguas y lodos residuales de distinto origen. Trataron de mejorar la eficiencia de los sistemas de tratamiento en las zonas rurales adaptando los humedales artificiales a sus sistemas comunes de fosas sépticas y lagunaje que trabajaban de manera ineficiente (Farroqui et al. 2008).

A finales de la década de 1960 se empezaron en los EEUU el desarrollo de este tipo de tecnologías, creciendo la cantidad de investigaciones en la década de 1970 y 1980 con significativo involucramiento del departamento de agricultura.

Para 1990 este tipo de tecnología dejó de ser exclusiva para el tratamiento de agua residual doméstica y empezó a aplicarse en todo tipo de industrias.

Kadlec y Knight en 1996 recopilaron una buena cantidad de información del uso de humedales artificiales y naturales para el tratamiento de aguas residuales.

En el año de 1996 se empieza la construcción de la primera planta experimental de Nicaragua del tipo Humedal artificial de flujo subsuperficial, posterior a eso en 1999 se continuaron construyendo otras plantas en León, Chichigalpa, Masachapa y Masatepe (Platzer et al. 2002).

III. JUSTIFICACION

Los programas y proyectos de agua y saneamiento, tradicionalmente están orientados a la provisión de infraestructura para el abastecimiento de agua y la disposición de excretas, dando lugar a la disposición de aguas grises una importancia mucho menor. Las malas prácticas en la disposición de aguas grises se evidencian en el propio entorno del hogar donde se disponen sin ningún tratamiento y ningún aprovechamiento en los patios, calles o quebradas en más del 80%.

Es necesario contar con sistemas de tratamientos que se adecuen a la situación económica de las municipalidades más pequeñas de nuestro país pero que estén dotadas a la misma vez de una eficacia igual o superior en la remoción de contaminantes.

En el municipio de Buenos Aires, no existe un sistema de alcantarillado sanitario, predominan las letrinas y sumideros como medida para la disposición de excretas, dando lugar a que las aguas de desecho de las casas (incluyendo área de cocina), se escurran por los patios y aceras de las calles, creando condiciones de insalubridad en los domicilios y en la ciudad en general

Una de las tecnologías no convencionales para el tratamiento de agua residual domestica y que ha sido ampliamente utilizada para núcleos medianos y pequeños de población, es el sistema de humedales artificiales.

El municipio de Buenos Aires posee la ventaja geográfica, ecológica y turística de tener costas en el Lago Cocibolca, siendo por ende de mucha importancia minimizar la contaminación que se produce debido a las actividades del poblado. El beneficio aun se ve incrementado ya que se cuenta en la zona, con las plantas acuáticas necesarias (Macrófitas), para la colonización del Humedal Artificial.

Como parte del desarrollo de estos sistemas no convencionales en el país, el centro de investigación de recursos acuáticos CIRA-UNAN con el apoyo técnico del IMTA (Instituto Mexicano de Tecnologías del Agua) se ha propuesto el estudio de los humedales artificiales. Para eso se pretende diseñar, construir y operar a escala piloto un humedal artificial de flujo sub superficial, con el fin de luego proyectar en un futuro cercano este tipo de alternativas a escala real en comunidades rurales de Nicaragua.

IV. OBJETIVOS

Objetivo general

Dimensionar un sistema de humedal artificial de flujo sub superficial para el tratamiento de aguas residuales grises, a pequeña escala en el municipio de Buenos Aires, departamento de Rivas.

Objetivos específicos

- 1- Evaluar el sitio donde se ubicara la PTAR.
- 2- Estimar el caudal a tratar.
- 3- Caracterizar el agua residual a tratar.
- 4- Calcular las dimensiones del humedal artificial.

V. MARCO TEORICO

5.1 Aguas Grises

5.1.1 Definición

Aguas grises puede ser definida como toda agua residual generada en el hogar, excluyendo el desecho de los inodoros (Birks et al. 2007, O'Connor et al. 2008). Las aguas grises pueden incluir las aguas residuales de los lavamanos del baño, duchas, y pueden también incluir desechos más contaminados como el área de lavaplatos y el lavabo de la cocina y área de lavandería, estos son considerados por varios autores (Birks et al. 2007, Amoozegar et al. 2004), como fuentes que aportan cantidades altas de contaminantes (materia orgánica, aceites y grasas).

De varias alternativas de fuentes de aguas residuales que pueden ser reusadas, las aguas grises son generalmente percibidas como la más aceptable, debido a una mal concepción de que esta tiene bajos niveles de contaminación. Sin embargo esta contiene una significativa cantidad de contaminación microbiológica, y existen serias dudas acerca de los impactos a largo plazo en el medio ambiente, especialmente en las aguas subterráneas.

La composición de las aguas grises depende de la fuente de agua, sistema de drenaje, la cantidad de habitantes, la higiene personal de los habitantes, y el tipo de aguas grises. Como resultado las características físicas, químicas y biológicas puede variar grandemente entre los poblados y las industrias (Jamrah et al. 2007).

5.1.2 Riesgo ecológico existente

En la actualidad, la reutilización de aguas residuales tanto urbanas como industriales para riego es un tema de gran interés a nivel mundial tanto desde el punto de vista práctico como de investigación, sobre todo en regiones de clima árido o semiárido donde los recursos hídricos son un bien escaso.

Las incertidumbres existentes acerca de como las combinaciones de productos químicos, en nuestro caso altas cargas de materia orgánica, y niveles de coliformes por encima de los valores de regulación de las aguas naturales, sujetos a contacto con el cuerpo, podrían afectar el suelo y posiblemente los acuíferos, han conllevado a tener mucho cuidado con la disposición de este tipo de aguas residuales.

Experiencias en la ciudad de León, México, en el que las aguas residuales sin ningún tipo de tratamiento, son utilizadas desde hace décadas para riego en áreas cercanas a la ciudad, muestran estudios de las evoluciones piezométricas del acuífero en la zona, contrastando una marcada diferencia de niveles entre la zona de recarga normal y la zona recargada con aguas residuales, comprobando que estos niveles se mantienen estables en el tiempo y que la infiltración de las aguas residuales al acuífero representan una fuente importante de recarga.

Sin embargo las afectaciones a la calidad subterránea de las aguas es igual de prominente, resultando niveles altos Ca^{2+} , Na^+ , HCO_3^- , Cl^- , SO_4^{2-} y NO_3^- . La materia orgánica presente en el agua infiltrada se oxida a profundidades someras, transformándose en bicarbonatos y el nitrógeno orgánico se oxida a nitrato. Así mismo, se ha comprobado que el agua residual contiene altas concentraciones de coliformes las cuales se han detectado frecuentemente en el agua del acuífero somero (Esteller 2002).

5.1.3 Clasificación de “Aguas Grises”

Las aguas grises se clasifican en ligeras y oscuras cuando estas incluyen las aguas de desecho de la cocina la cual aporta la mayor parte de la contaminación (Birks et al. 2007, Chaillou et al 2011).

Tabla 5.1 Características de Aguas Grises en varios estudios.

Autores		Birks et al.	Jamrah et al.	Finley et al.	Chaillou et al.
Año y País		2007 (Reino Unido)	2088 (Omán)	2009 (Canadá)	2011 (Francia)
Parámetro	Unidades	Ligera	Oscura	Oscura*	Oscura*
pH		7.2	7.6	6.7-7.6	7.58
C.E	$\mu\text{S}/\text{cm}$	327	2800	NR	468
DBO	mg/l	46.4	408	NR	240
DQO	mg/l	96.3	426	278-435	399
SS	mg/l	26.5	236	NR	125
ST	mg/l	NR	1121	313-543	NR
NTK	mg/l	4.6	NR	NR	9.5
PT	mg/l	0.86	NR	0.24-1.02	0.42
Coliformes totales	cfu/100ml	2.2×10^7	>200.5	4.7×10^4 – 8.3×10^5	1.87×10^9
Escherichia Coli	cfu/100ml	3.9×10^5	>200.5	NR	4.76×10^5

* No incluyen el área de la cocina

Fuente: Elaboración propia

5.2 Humedales Artificiales

Los Humedales son ecosistemas naturales húmedos, que poseen un diverso y complejo rol en la naturaleza. La definición de humedal varia pero fundamentalmente todos los humedales están al menos inundados intermitentemente con agua(R Droste. 1997).

Un Humedal actúa como un riñón filtrando sedimentos y contaminantes provenientes de ríos, lagos, arroyos, o de cualquier otro cuerpo de agua. Existen humedales de tratamiento creados a partir de zonas húmedas naturales, y humedales construidos artificialmente.

5.2.1 Fundamentos

Los Humedales artificiales son zonas construidas por el hombre en la que de forma controlada se reproducen los procesos de eliminación de contaminantes que tienen lugar en los humedales naturales.

El carácter artificial de este tipo de humedales viene definido por las siguientes particularidades:

- El confinamiento del humedal se construye mecánicamente y se impermeabiliza para evitar pérdidas de agua al subsuelo
- Se emplean sustratos diferentes al terreno original para el enraizamiento de las plantas.
- Se eligen las plantas que van a colonizar el humedal.

La depuración de las aguas residuales a tratar se consigue haciéndolas tratar través de zonas humedales artificiales, en las que tiene lugar procesos físicos, biológicos, y químicos, que conducen a unos fluentes finales depurados.

Los humedales tienen tres funciones básicas que les confieren atractivo potencial para el tratamiento de aguas residuales: fijan físicamente los contaminantes en la superficie del suelo y la materia orgánica, utilizan y transforman los elementos por medio de los microorganismos y logran niveles de tratamiento consistentes con un bajo consumo de energía y poco mantenimiento (Lara, 1999).

La tecnología de humedales artificiales puede ser considerada como un complejo ecosistema, en que los principales actores son:

- El sustrato: que sirve de soporte a la vegetación y permite la fijación de la población microbiana (en forma de biopelículas), que va a participar en la mayoría d los proceso de eliminación de los contaminantes presentes en las aguas a tratar.
- La vegetación (macrófitas): que contribuye a la oxigenación del sustrato, la eliminación de nutrientes, y en la que también tiene lugar el desarrollo de biopelículas.
- El agua a tratar: que circula a través de sustratos y de la vegetación.

La vegetación que se emplea en estos tipo de humedales es la misma que coloniza los humedales naturales, plantas acuáticos emergentes (carrizos, juncos, aneas, etc.), especies anfibias que se desarrollan en aguas poco profundas, arraigadas al subsuelo.

5.2.2 Tipos de Humedales Artificiales

Los humedales artificiales pueden ser clasificados de acuerdo al tipo de macrófitas que se empleen en su funcionamiento: macrófitas fijas al sustrato y macrófitas flotantes (Delgadillo et al. 2010).

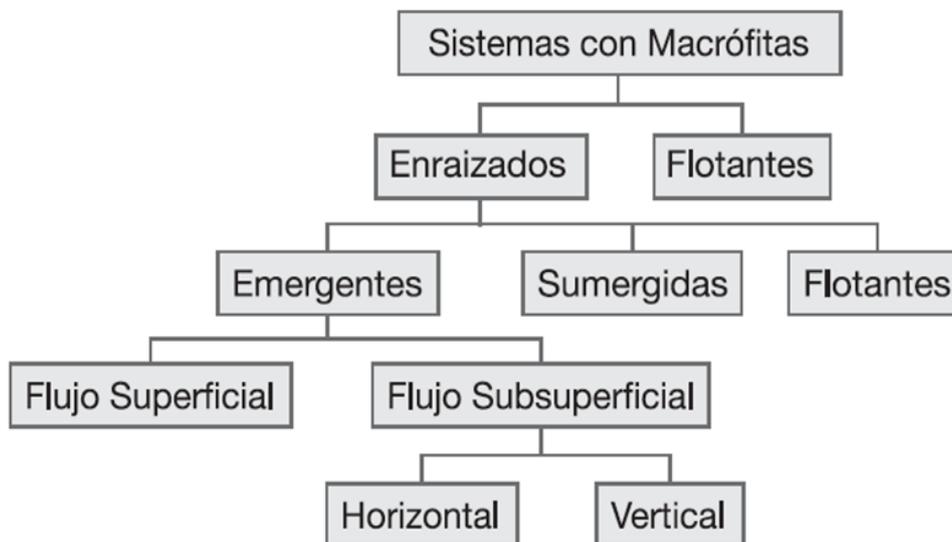


Figura 5.1, Esquema de clasificación de los sistemas de depuración con macrófitas. Fuente: *Depuración de aguas residuales por medio de humedales artificiales*, (Oscar Delgadillo ,2010)

En función de que el agua a tratar circule a través de los humedales superficialmente (por encima del sustrato) o de forma subterránea (a través del sustrato), los humedales artificiales se clasifican en:

1. Humedales Artificiales de Flujo Superficial (HAFS).
2. Humedales Artificiales de flujo Subsuperficial (HAFSSs).

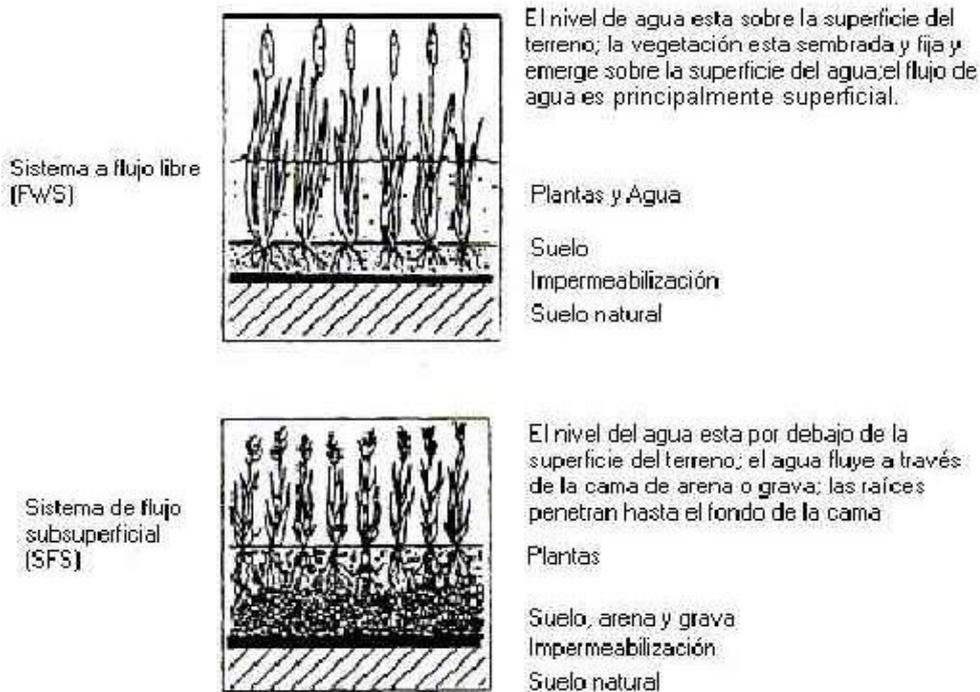


Figura 5.2 Perfiles de HAFS y HAFSSs. Fuente: *Depuración de aguas residuales municipales con humedales artificiales*, (Jaime Lara, 1998)

5.2.3 Humedales Artificiales de Flujo Superficial (HAFS)

En este tipo de humedales el agua se encuentra expuesta directamente a la atmósfera y circula, preferiblemente, a través de los tallos de las plantas. Pueden considerarse estos humedales como una variedad de los lagunajes clásicos, con las diferencias de que se opera con menores profundidades de la lamina de agua (inferiores a 0.4m) y de que las balsas se encuentran colonizadas por plantas acuáticas emergentes.

Los HAFS suelen ser instalaciones de varias hectáreas que principalmente tratan efluentes procedentes de tratamientos secundarios, y que también se emplean para crear y restaurar ecosistemas acuáticos.

5.2.4 Humedales Artificiales de Flujo Sub superficial

En estos humedales el agua a tratar circula exclusivamente a través de un material granular (arena, grava, escoria volcánica), de permeabilidad suficiente, confinado en un recinto impermeabilizado, y que sirve de soporte para el enraizamiento de la vegetación.

Los HAFSs son generalmente instalaciones de menor tamaño que los de flujo superficial, y que en la mayoría de los casos se emplean para el tratamiento de las aguas residuales generadas en núcleos de poblaciones menores a 2000 habitantes.

Este tipo de humedales presenta ciertas ventajas con respecto a los de flujo superficial, al necesitar menos superficie de terreno para su ubicación y al evitar los problemas de aparición de olores y de mosquitos, al circular el agua subsuperficialmente. Igualmente presentan una mejor respuesta ante los descensos de la temperatura ambiente.

Como desventajas cabe señalar su mayor coste de construcción, debido principalmente por el coste de adquisición y colocación del sustrato filtrante, y los mayores riesgos de colmatación de dicho sustrato. Según la dirección en la que circulan las aguas a través del sustrato. Los HAFSs se clasifican en Horizontales y Verticales.

En los Horizontales la alimentación se efectúa de forma continua, atravesando las aguas horizontalmente las gravas o gravillas (sustrato filtrante) de unos 0.6m de espesor, en el que la vegetación es fijada. A la salida del humedal una tubería flexible permite controlar el nivel de encharcamiento, que suele ser unos 5 cm por debajo del nivel de la capa superior, impidiendo que las aguas sean visibles.

La Figura 5.3 muestra un esquema de cómo los humedales artificiales de flujo subsuperficial dan tratamiento a las aguas residuales.

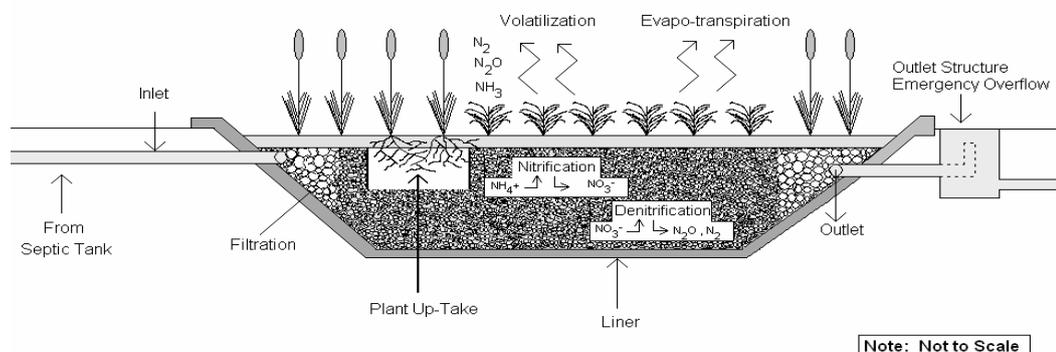


Figura 5.3 Esquema de tratamiento HAFSs

Fuente: *Depuración de aguas residuales por medio de humedales artificiales*, (Oscar Delgadillo, 2010)

En los verticales la alimentación se efectúa de forma intermitente, las aguas circulan verticalmente a través del sustrato filtrante arena-gravilla, de aproximadamente 1m de espesor, en el que se fija la vegetación. En el fondo del humedal una red de drenaje permite la recolección del efluente depurado. A esta red de drenaje se conectan un conjunto de chimeneas que sobresalen del sustrato filtrante con el fin de aumentar la oxigenación.

5.3 Funcionamiento de Humedales Artificiales de Flujo Subsuperficial

En este tipo de humedales el esquema del proceso es, en esencia, semejante al de un tratamiento convencional, constando de Pre-tratamiento, Tratamiento Primario, Tratamiento Secundario y opcionalmente Tratamiento Terciario.

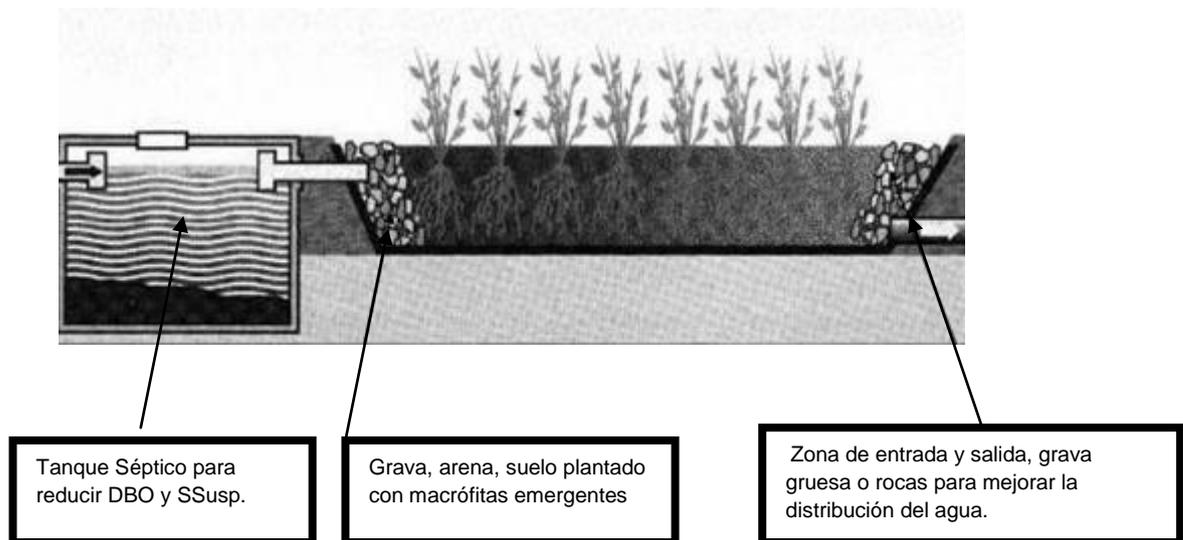


Figura 5.4 Esquema de Funcionamiento de HAFSSs.

Fuente: Depuración con humedales construidos, (joan Garcia ,2008)

5.3.1 Pre-tratamiento

Tiene como objetivo la eliminación de los objetos gruesos, y de las grasas flotantes que se encuentran en las aguas residuales a tratar, dado que su presencia en el resto de etapas del tratamiento podría provocar problemas de obstrucción en las conducciones y la rápida colmatación de los sustratos filtrantes.

Normalmente, el pre-tratamiento en la tecnología de humedales artificiales de flujo subsuperficial está constituido exclusivamente por un desbaste de gruesos.

Desbaste de Gruesos: La eliminación de sólidos gruesos suele llevarse a cabo haciendo pasar las aguas residuales a través de rejas de desbaste, de 2-3 cm de separación entre barrotes, y de limpieza manual.

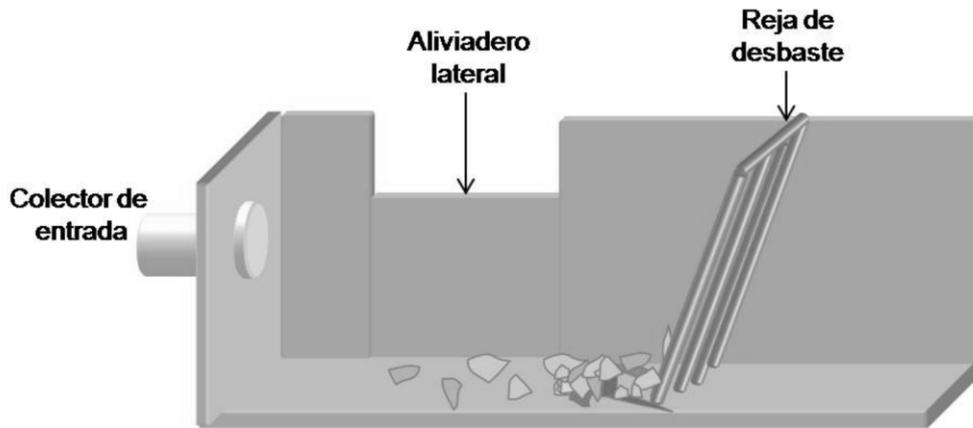


Figura 5.5 Perfil de la zona de separación de gruesos (Adaptado de García y Corzo, 2008).

5.3.2 Tratamiento Primario

Para conseguir una mayor eliminación de los sólidos en suspensión presentes en las aguas residuales a tratar, y minimizar por tanto los riesgos de colmatación del sustrato filtrante, se recurre a la implantación de fosas sépticas, como paso previo a la alimentación de los humedales.

Fosas Sépticas: las Fosas Sépticas son dispositivos enterrados en los que decanta la materia sedimentable presente en las aguas residuales. La fracción orgánica de esta materia sedimentada experimenta reacciones de degradación anaerobia, mineralizándose paulatinamente.

Estos dispositivos se encuentran compartimentados, siendo la disposición más común la de dos compartimentos dispuestos en serie. Al llegar el agua al primer compartimento, la materia más densa sedimenta y se deposita en el fondo en forma de lodo, mientras que la materia particulada más ligera forma una costra en la superficie. El agua clarificada pasa al segundo compartimento a través de un orificio practicado en la pared de separación y situado por debajo del nivel del líquido.

En este segundo compartimento tiene lugar también una sedimentación de sólidos y formación de costra, como consecuencia de los materiales que escapan de la etapa anterior, pero en menor cantidad.

Los lodos retenidos en el fondo de los distintos compartimentos experimentan reacciones de degradación anaerobia, mineralizándose y reduciendo su volumen, lo que permite que las fosas funcionen durante largos periodos de tiempo sin necesidad de purgar los excedentes de lodos.

Las burbujas de gas que se producen en la degradación anaerobia de los lodos decantados obstaculiza la normal sedimentación de los sólidos presentes en las aguas residuales influentes. Es por ello, por lo que se dispone un segundo compartimento, en el que las partículas más ligeras encuentran condiciones de sedimentación más favorables

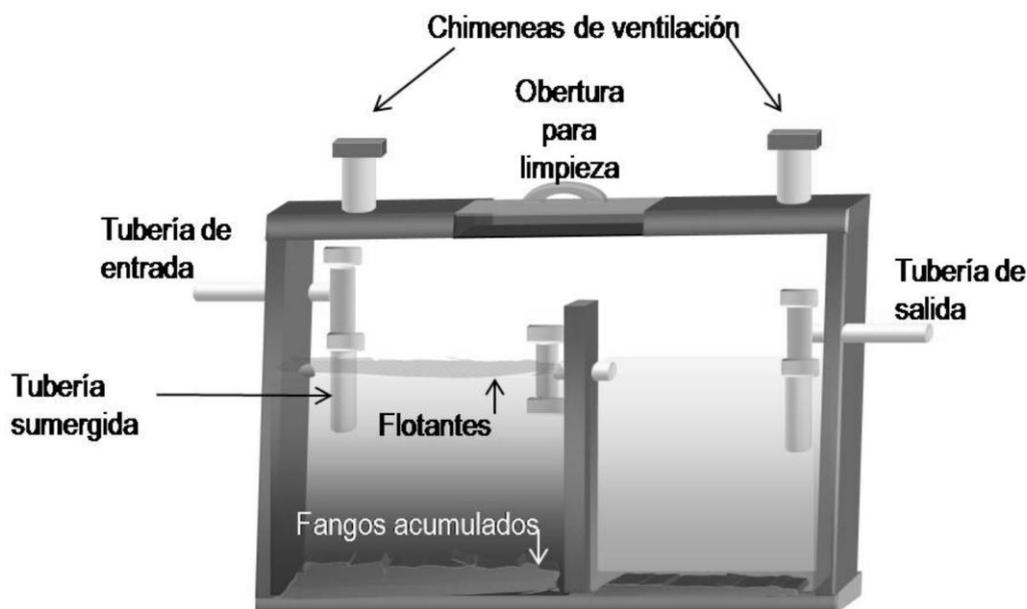


Figura 5.6 Perfil de una Fosa Séptica de doble cámara (Adaptado de García y Corzo, 2008).

5.3.3 Tratamiento Secundario

El tratamiento secundario está constituido por los propios humedales artificiales, que se alimentan con los efluentes procedentes de las fosas sépticas.

5.3.4 Tratamiento Terciario

En ocasiones se someten a los efluentes de los HAFSs a una etapa de pulimento en lagunas de maduración para mejorar, principalmente, el grado de abatimiento de los organismos patógenos. Esta eliminación se produce, fundamentalmente, por la acción de la radiación ultravioleta de la luz solar.

5.4 Mecanismos de Depuración

Los mecanismos involucrados en la eliminación de los principales contaminantes presentes en las aguas residuales a tratar mediante el empleo de humedales artificiales son los siguientes:

5.4.1 Eliminación de sólidos en Suspensión

En la eliminación de la materia en suspensión mediante Humedales Artificiales intervienen procesos de:

Sedimentación: La materia en suspensión sedimentable (principalmente de naturaleza orgánica), presente en las aguas a tratar decanta por la acción exclusiva de la gravedad.

Floculación: Permite la sedimentación de partículas de pequeño tamaño o de menor densidad que el agua, al producirse agregados de las mismas con capacidad para decantar.

Filtración: Se produce la retención de materia en suspensión al pasar las aguas a través del conjunto que forman el sustrato, los rizomas, las raíces y los tallos de la vegetación.

En los HAFSs la eliminación de materia en suspensión tiene lugar, principalmente, por fenómenos de filtración a través del sustrato (sobre el que crecen las plantas), los rizomas y las raíces. Teniendo lugar el mayor porcentaje de remoción de partículas en suspensión en la zona de entrada de los humedales.

Para evitar la rápida colmatación de los sustratos filtrantes se hace imprescindible la existencia previa de un pre tratamiento y de un Tratamiento Primario, que eliminen un alto porcentaje de la materia en suspensión presente en las aguas residuales a tratar.

5.4.2 Eliminación de Materia orgánica

La materia orgánica, presente en forma de materia en suspensión sedimentable en las aguas residuales a tratar, ira decantando paulatinamente en los humedales y experimentara procesos de degradación biológica. Igualmente, parte de la materia orgánica, presente en forma particulada, quedara retenida por filtración, al pasar las aguas por el entramado sustrato-raíces-tallos.

La eliminación de materia orgánica por las dos guías descritas transcurre de forma rápida y en el caso de los HAFSs casi la mitad de la DBO se elimina al pasar las aguas por los primeros metros del humedal.

Sobre la materia orgánica disuelta, al igual que sobre la particulada actúan los microorganismos presentes en el humedal principalmente bacterias, que utilizaran esa materia orgánica a modo de sustrato.

En las distintas modalidades de humedales artificiales se dan zonas con presencia o ausencia de oxígeno molecular, por lo que la acción de las bacterias sobre la materia orgánica tiene lugar tanto a través de procesos biológicos aerobios como anaerobios.

En el caso de los procesos de degradación aerobios una fracción de la materia orgánica es oxidada por la flora bacteriana, que obtiene de esta forma la energía necesaria para su mantenimiento celular.

Oxidación.

$\text{COHNS} + \text{O}_2 + \text{Bacterias} \text{ ----- } \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} + \text{NH}_3 + \text{Productos finales de Energía.}$

Donde COHNS representa los elementos predominantes en la materia orgánica presente en las aguas residuales.

De forma simultánea, otra fracción de materia orgánica se convierte en nuevo tejido celular (Síntesis), empleándose para ello la energía liberada en la fase de oxidación.

Síntesis.

$\text{COHNS} + \text{O}_2 + \text{Bacterias} + \text{Energía} \text{ ----- } \text{C}_5\text{H}_7\text{O}_2\text{N} \text{ (Nuevas Bacterias)}$

Donde $\text{C}_5\text{H}_7\text{O}_2\text{N}$ representa la composición media de los microorganismos encargados de la biodegradación de la materia orgánica. Finalmente cuando se consume toda la materia orgánica disponible las bacterias empiezan a consumir su propio tejido celular con el fin de obtener energías para su mantenimiento. Este tercer proceso se conoce como respiración endógena.

$\text{C}_5\text{H}_7\text{O}_2\text{N} + 5\text{O}_2 \text{ ----- } 5\text{CO}_2 + \text{NH}_3 + 2\text{H}_2\text{O} + \text{Energía}$

El aporte de oxígeno para el mantenimiento de las reacciones de oxidación, síntesis y respiración endógena, transcurre de forma diferente en función de la modalidad de humedal artificial de que se trate.

En el caso de los humedales artificiales de flujo superficial la principal fuente de aportación de oxígeno a la masa líquida viene representada por los fenómenos de re aeración superficial provocados por el viento. Estos fenómenos se ven minimizados cuando la vegetación del humedal presenta una elevada densidad.

Algo similar ocurre con el aporte de oxígeno vía fotosíntesis por las microalgas que se desarrollan en la masa líquida y que queda reducido por el efecto sombra que ejercen las vegetaciones de alta densidad, que dificulta el desarrollo de estos microorganismos fotosintéticos.

En estos humedales, la aportación de oxígeno por las propias plantas acuáticas tiene una menor importancia, dada que la zona donde este se libera (Rizomas y raíces) se encuentran dentro del propio sustrato, por debajo de la columna de agua, ya que casi todo el oxígeno aportado por las plantas se consume por la demanda del humedal.

En el caso de los humedales artificiales de flujo subsuperficial, la presencia de oxígeno es mucho menor, debido a que el medio se encuentra saturado por el agua, que desplaza a los gases atmosféricos de los poros, dando lugar a un sustrato anóxico.

En las zonas de los humedales carentes de oxígeno, la degradación de la materia orgánica transcurre vía anaerobia, a lo largo de una serie de etapas concatenadas, en las que los compuestos resultantes de cada etapa sirven de sustrato a la etapa siguiente.

Etapas Hidrolíticas: Los compuestos orgánicos complejos (hidratos de carbono, proteínas y lípidos), son transformados en otros más sencillos (monosacáridos, aminoácidos, ácidos grasos, glicerol), que sirven de sustrato a las bacterias de la siguiente etapa. En esta etapa también se produce la solubilización de parte de la materia orgánica particulada.

Etapas acidogénicas: Los compuestos orgánicos sencillos generados en la etapa anterior son transformados en ácidos orgánicos volátiles (acético, propiónico y butírico, fundamentalmente), mediante las bacterias generadoras de ácidos (acidogénicas, acetogénicas). La capacidad tampón del medio permite mantener los valores de pH próximos a la neutralidad.

Dado que los productos que se forman en esta etapa se encuentran muy poco estabilizados con relación a los iniciales, los rendimientos de eliminación de materia orgánica que se alcanzan, expresados como DBO o DQO son muy bajos.

Etapas Metanogénicas: Los ácidos orgánicos volátiles, liberados en la etapa anterior son transformados mediante el concurso de bacterias metanogénicas, en biogás, mezcla de metano y anhídrido carbónico. En esta fase es en la que tiene lugar realmente la reducción del contenido en materia orgánica, al transformarse esta en biogás, que abandona el sistema.

Esta última etapa es la limitante del proceso global, como consecuencia de que las bacterias metanogénicas (anaerobias estrictas), son las que

presentan un metabolismo más lento y son las más sensibles a las condiciones ambientales (pH, temperaturas, presencia de agentes tóxicos, etc.).

Se asume, que en los humedales artificiales los compuestos orgánicos son degradados de forma simultánea mediante procesos aerobios y anaerobios, siendo difícil cuantificar la proporción en que se producen cada uno de ellos.

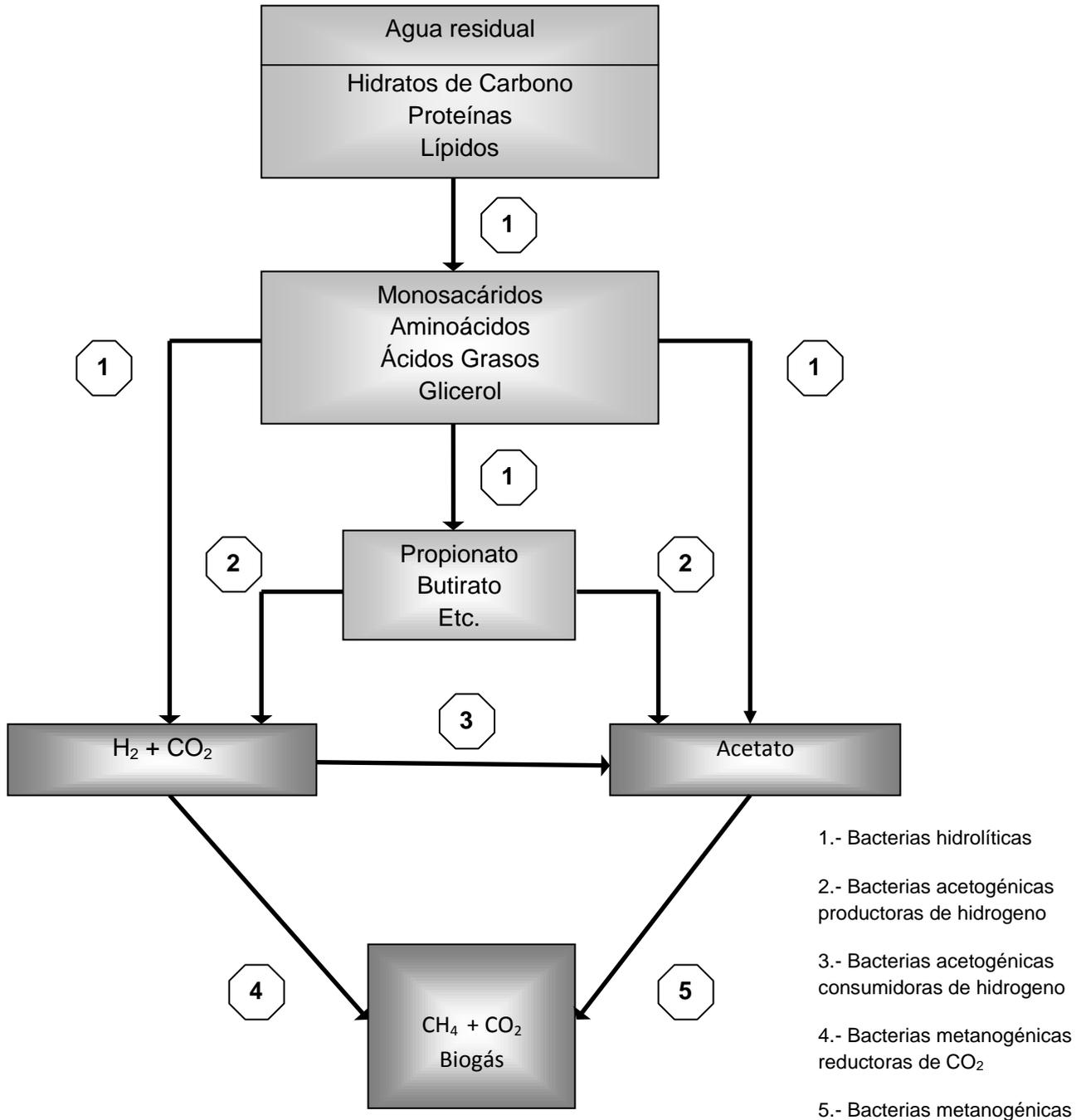


Figura 5.7 Esquema de la degradación de la materia orgánica vía anaerobia.

Fuente: Elaboración propia

5.4.3 Eliminación de nutrientes

Tanto el nitrógeno como el fósforo causan un impacto en la calidad de las aguas donde son depositados uno o ambos, su disposición debe ser contralada con frecuencia y es de mucho interés sistemas que remuevan estos nutrientes con el fin de evitar la eutrofización (Crites2000).

5.4.3.1 Nitrógeno

El nitrógeno está limitado en el agua potable para proteger la salud de los niños, y en aguas superficiales para evitar la eutrofización. El nitrógeno puede eliminarse con los sistemas de Humedales Artificiales por medio de mecanismo de nitrificación-desnitrificación y su posterior pérdida de gas a la atmosfera. La remoción de nitrógeno en este tipo de sistemas está entre un 25% a 85 % (Lara J.1998).

En las aguas residuales urbanas el nitrógeno puede encontrarse principalmente en forma orgánica y en forma amoniacal, y en mucha menor cuantía como nitritos y nitratos.

Mediante procesos de amonificación, por vía enzimática, las fracciones de nitrógeno en forma orgánica se transforman en formas amoniacales, parte de las cuales son asimiladas por los propios microorganismos, que la incorporan a su masa celular.

Los procesos de remoción de nitrógeno en humedales artificiales incluyen diferentes mecanismos como: su utilización por los organismos del sistema (plantas y microorganismos), amonificación, nitrificación/desnitrificación y adsorción en la matriz del sustrato.

En el caso de la asimilación del nitrógeno amoniacal por las plantas del humedal, numerosos estudios han concluido que, mediante esta asimilación y la posterior poda de las plantas, no se llega a eliminar más allá del 15-20% del nitrógeno amoniacal presente en las aguas a tratar. Si no se procede a la poda y retirada periódica de la vegetación de los humedales, la mayor parte de los nutrientes retenidos volverán a las aguas, mediante procesos de degradación de la biomasa vegetal. Numerosos estudios han demostrado que el mecanismo más importante de remoción es el proceso combinado de nitrificación/desnitrificación (Vymazal *et al.* 2002).

Las formas amoniacales se adsorben temporalmente sobre las partículas del sustrato filtrante de los Humedales Artificiales y sobre las partículas orgánicas cargadas eléctricamente, mediante mecanismos de intercambio iónico. Para liberar este amonio adsorbido, y regenerar los campos de adsorción, se precisa la nitrificación de las formas amoniacales, constituyéndose la

nitrificación en el proceso de transformación principal para la reducción de las concentraciones de amonio en los Humedales Artificiales.

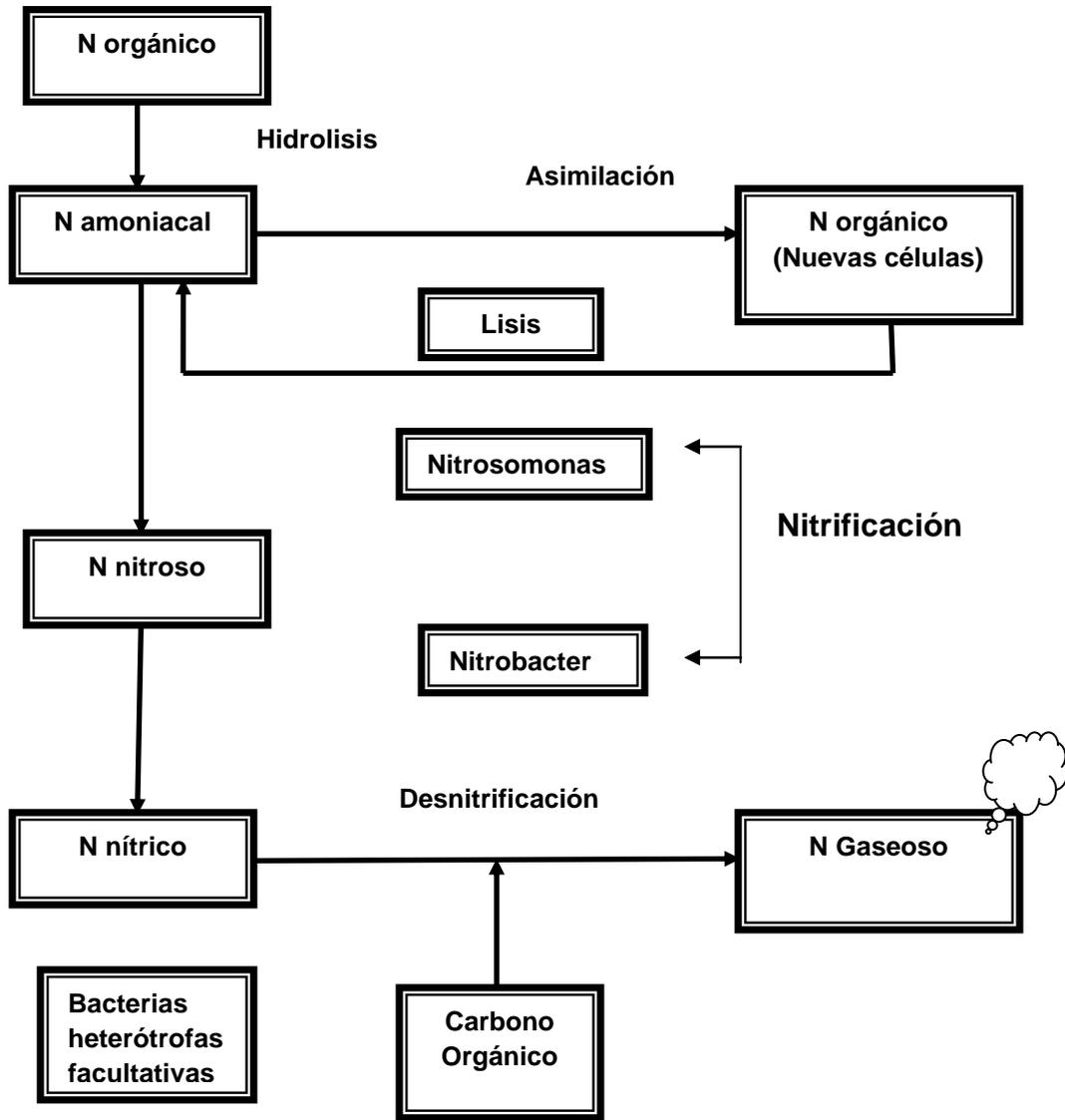


Figura 5.8 Mecanismos de Eliminación de Nitrógeno.

Fuente: Elaboración propia

5.4.3.2 Fosforo

En las aguas residuales urbanas el fosforo puede provenir de varias fuentes pero principalmente por el uso de los detergentes a los que todavía se le adicionan fosfatos. El fosforo se presenta en aguas residuales como ortofosfato inorgánico o de fosfatos complejos, los últimos son hidrolizados en el transcurso del tratamiento biológico, convirtiéndose en ortofosfato inorgánico, el cual se incorporan a la biomasa bacteriana entre un 10% a 20%.

Las principales vías para eliminación de fosforo en los Humedales Artificiales son:

- Absorción directa por parte de las plantas.
- Adsorción sobre el sustrato filtrante y sobre las partículas orgánicas.
- Precipitación, mediante reacciones del fosforo con el hierro, aluminio y calcio presentes en las aguas y en el sustrato, dando lugar a la formación de fosfatos insolubles.
- La absorción del fosforo por las plantas se da en menor cantidad que el nitrógeno, siendo los fenómenos fisicoquímicos los que juegan el papel más importante en la reducción de este nutriente.

Generalmente la reducción de fosforo en los HAFSs no es muy significativa situándose entre el 15%-30%. Estos porcentajes pueden incrementarse utilizando sustratos filtrantes específicos (con contenidos de hierro), que potencien la retención del fosforo.

Es común, que en los HAFSs inicialmente la remoción de fosforo sea de mayor proporción, debido a que en la etapa inicial el sustrato presenta una mayor cantidad de zonas disponibles para su adsorción, disminuyendo paulatinamente esta capacidad con el tiempo.

5.4.4 Eliminación de Patógenos

La remoción de organismos patógenos es de suma importancia en los efluentes tratados, especialmente por la capacidad de reutilización en riego agrícola (García y Corzo, 2008).

Como se puede notar en los Humedales Artificiales no solo se producen una retención de sólidos y una reducción de la materia orgánica, sino que a su vez se elimina una parte importante de los nutrientes y patógenos. Es por eso que son usados en algunas plantas de depuración como tratamiento terciario con el fin de cumplir con las normas requeridas (M. Llorens. 2003).

La eliminación de microorganismos depende en gran medida de la absorción sobre el sustrato filtrante, la toxicidad que sobre los microorganismos patógenos ejercen los antibióticos producidos por las raíces de las plantas y la acción depredadora de bacteriófagos y protozoos.

5.5 Macrófitas

El tipo de vegetación más usado para el tratamiento de aguas residuales mediante humedales artificiales son las macrófitas o plantas emergentes.

La presencia de Macrófitas es uno de las características visibles de los humedales artificiales, y su presencia distingue a los humedales artificiales de los filtros de suelos sin plantas, y los sistemas de lagunaje.

El papel de la vegetación en los humedales es determinado por las raíces y rizomas enterrados, donde es transportado el oxígeno tomado de la atmósfera, de una manera más efectiva de lo que llegaría naturalmente por difusión, creando una zona aerobia, donde los microorganismos pueden llevar a cabo diversas reacciones de degradación de la materia orgánica y nitrificación (Delgadillo et al. 2010).

La rizosfera es conocida por albergar una gran diversidad de bacterias, esto mejora la densidad microbiana y su actividad, por proveer de superficie para el crecimiento microbiano, además de que una fuente de compuestos de carbón es exudada por las raíces de las plantas y asimilados por ciertas bacterias, y un ambiente micro aeróbico es creado por medio del oxígeno transportado y liberado por las raíces.

Las macrófitas en los humedales artificiales tienen varias propiedades en relación al proceso de depuración, que las convierten en un componente esencial del diseño.

5.5.1 Descarga de oxígeno de la rizosfera.

En la literatura un gran rango de posibles tasas flujos de oxígeno han sido reportados, este amplio rango es causado por las diferencias de las especies de plantas utilizadas, la variación de las estaciones climáticas, y las diferentes técnicas en los estudios para medir los flujos de oxígeno. Sin embargo, la zona oxigenada es restringida a una delgada capa adyacente a las raíces, donde los procesos aeróbicos son limitados.

5.5.2 Asimilación de nutrientes y almacenamiento.

Las plantas de humedales requieren de nutrientes para su crecimiento y reproducción, las macrófitas emergentes toman esos nutrientes principalmente de sus sistemas de raíces, como una planta de humedal es

muy productiva, considerables cantidades de nutrientes pueden acumularse en su biomasa.

Si los humedales artificiales no son podados, la mayoría de los nutrientes de la biomasa es devuelta al agua durante el proceso de descomposición. Compuestos orgánicos liberados durante la descomposición de biomasa pueden servir como fuente de carbón para la desnitrificación, especialmente en sistemas ligeramente cargados.

5.5.3 Exudados de las raíces.

Los sistemas de las raíces también liberan otras sustancias además de oxígeno, estas sustancias son usualmente compuestos orgánicos tales como metabolitos anaerobios, ácidos orgánicos, péptidos, alcaloides, fenoles, terpenoides o esteroides. La magnitud de estas sustancias liberadas por las raíces es aún incierta, pero valores reportados indican un rango del 5% al 25% del carbón fijado fotosintéticamente. Este carbón exudado por las raíces puede ser utilizado por microorganismos denitrificantes y así incrementar la remoción de nitrógeno (Platzer, 1996).

La liberación de compuestos antimicrobianos (alcaloides, fenoles) es probablemente la función más importante de los exudados en el tratamiento de las aguas, y la remoción de metales pesados, por medio de la excreción de phytochelatin, las plantas pueden limitar o evitar la toxicidad de varios metales (Cu, Cd, Hg, Pb, Zn).

Según Lara (1999) la vegetación contribuye al depuramiento de las aguas y la escorrentía de varias maneras:

- Estabilizan el sustrato y limitan la canalización del flujo.
- Dan lugar velocidades de flujo bajas, permitiendo que los materiales suspendidos se depositen.
- Toman el carbono, los nutrientes y elementos de traza, y los incorporan a su tejido celular.
- Transfieren gases entre la atmósfera y los sedimentos.
- El escape de oxígeno desde las estructuras subsuperficiales de las plantas, oxigena otros lugares del sustrato.
- El tallo y los sistemas de las raíces crean un lugar para la fijación de los microorganismos.

5.5.4 Plantas utilizadas

Las plantas que se utilizan para el tratamiento de aguas residuales, deben de ser:

1. Tolerantes a altas cargas orgánicas y de nutrientes.
2. Tener largos órganos subterráneos como las raíces y rizomas, para poder proveer superficies en las que las bacterias van a adherirse, y es importante también la oxigenación que se pueda dar (aunque esta sea limitada) en las áreas adyacentes a las raíces y rizomas.
3. Poseer una alta producción de biomasa para resistir a bajas temperaturas, y para la remoción de nutrientes debido a la poda periódica.

Por mucho la planta más usada alrededor del mundo es la *phragmites australis*. Aunque existen otras especies comunes utilizadas en otras regiones del mundo, especialmente en el trópico y subtrópico, donde plantas locales, incluyendo ornamentales han sido utilizadas.

La *phragmites* es una planta anual, con un rizoma extenso y perenne que logran un buen recubrimiento en un año. Los sistemas que utilizan esta vegetación son más eficaces en la transferencia de oxígeno porque sus raíces penetran verticalmente y con considerable profundidad (aproximadamente 0.4 m).

El zacate Taiwán (*Pennisetum purpureum*), es una especie de gramíneas, clasificada como pasto mejorado, comúnmente utilizado en la zona del pacífico de nuestro país, fue introducido en el año 1989 proveniente de Puerto Rico, para la alimentación de rumiantes (Carballo; Matus; Betancour y Ruíz, 2005).

Estos cultivos se caracterizan por tener un hábito de crecimiento erecto, cepas grandes y bien enraizadas, tienen un sistema de rizomas abundantes. Los tallos crecen a una longitud máxima de 130 a 350 cm, en dependencia del cultivar y de la época. Las hojas de color verde oscuro con longitudes entre 80 y 120 cm, mientras que las vainas de color amarillo verdoso, mantienen una longitud entre 15 y 25 cm.

5.6 Microorganismos

Los principales microorganismos presentes en los humedales son bacterias, hongos, levaduras y protozoarios. Estos se encargan de llevar a cabo una serie de procesos bioquímicos en la que se dan la transformación de los contaminantes, degradándolos y separándolos del efluente.

En las cercanías de la superficie donde hay más presencia de oxígeno liberado por las raíces de las plantas, se encuentran microorganismos aerobios, en el resto del lecho filtrante predominan los microorganismos anaerobios y anoxico (Arias2004).

La actividad microbiana:

- Transforma un gran número de sustancias orgánicas e inorgánicas en sustancias insolubles o inocuas.
- Altera las condiciones del potencial redox del sustrato y así afecta la capacidad de proceso del humedal.
- Está involucrada en el reciclaje de nutrientes.

Las comunidades microbianas de un humedal artificial puede ser afectada por sustancias tóxicas, como pesticidas y metales pesados, debe tenerse cuidado para prevenir que tales sustancias se introduzcan en las cadenas tróficas en concentraciones perjudiciales.

VI. METODOLOGIA

Esta investigación se basa en un diseño a pequeña escala de sistemas de tratamiento de aguas residuales domésticas provenientes de las actividades en los hogares (lavado, cocina, baños, no incluyen excretas) o también llamadas aguas grises, empleando tecnologías de humedales artificiales de flujo subsuperficial (HAFSs).

La depuración de las aguas residuales a tratar se consigue haciéndolas pasar a través de zonas de humedales artificiales, en las que tienen lugar procesos físicos, biológicos y químicos, que conducen a unos efluentes finales depurados.

6.1 Diseño

El Diseño consta de:

- Diseño de Rejillas.
- Diseño de Fosa Séptica.
- Diseño de HAFSs.

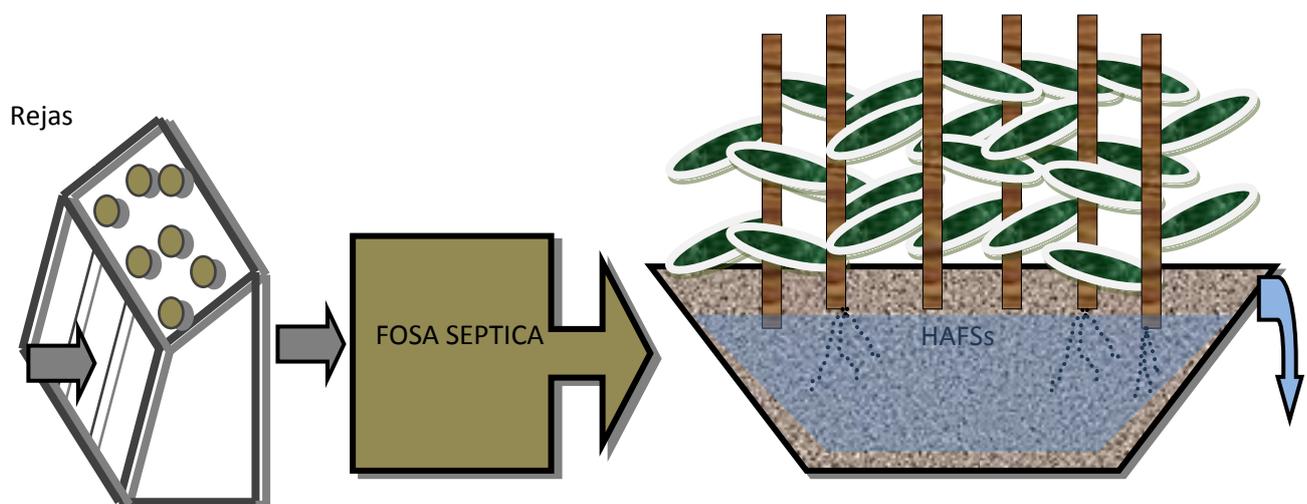


Figura 6.1 Tren de tratamiento del sistema de HAFSs para la ciudad de Buenos Aires.

Fuente: Elaboración Propia

Además se consideró el estudio del confinamiento de la planta de tratamiento, así como su caracterización fisicoquímica de acuerdo a los métodos estandarizados de la APHA 21st Edition (2005).

Se tomaron valores guías de diseño, de acuerdo a la bibliografía y en gran parte de la experiencia en el país de la planta piloto: Biofiltro Masaya, Proyecto ASTEC-UNI-CIEMA.

En cuanto al Humedal Artificial de Flujo Subsuperficial se diseño en función de dos componentes importantes:

- La remoción de los distintos contaminantes que se deseó obtener en el efluente, cumpliendo con los valores establecidos por el Decreto 33-95 (Disposiciones para el Control de la Contaminación Provenientes de las Descargas de Aguas Residuales Domésticas, Industriales y Agropecuarias).
- El diseño hidráulico necesario para cumplir con las condiciones que se adoptaron (Ley de Darcy), y para la prevención de la colmatación del lecho filtrante.

6.2 Caracterización del afluente

Se realizó una adecuada caracterización de los componentes fisicoquímicos y microbiológicos, esto representa un paso importante en el diseño y evaluación de cualquier planta de tratamiento, de ahí la necesidad de prestar una importancia extrema a este aspecto.

Tabla 6.1 Plan de muestreo para caracterización de las aguas residuales grises en “Buenos Aires”.

Nº Muestreo	Fecha	Método de muestreo	Puntos de muestreo	Tipos de constituyentes	Nº de muestras	Clase de Tamaño de muestra	Intervalo de tiempo entre toma de muestras
1	05/10/2011	Manual	1	Fisicoquímico	1	Compuesta 8 horas	0,5 hora
				Microbiológico	1	puntual	N/A
2	06/10/2011	Manual	1	Fisicoquímico	1	Compuesta 8 horas	0,5 hora
				Microbiológico	1	puntual	N/A
3	06/10/2011	Manual	1	Fisicoquímico	1	Compuesta 8 horas	0,5 hora
				Microbiológico	1	puntual	puntual

N/A: No aplica

Fuente: Elaboración propia

Tabla 6.2 Análisis fisicoquímicos y bacteriológicos, realizados en las aguas residuales grises en “Buenos Aires”.

Nº Muestras	Análisis
3	Coliformes totales, fecales, E.coli por NMP
3	Demanda Bioquímica de Oxígeno
1	Demanda Química de Oxígeno
3	Nitrógeno total en aguas residuales
3	Fósforo Total en Aguas Residuales
3	Sólidos Sedimentables
3	Sólidos Suspensos Totales
3	Aceites y Grasas
3	PH
3	Detergentes (Sustancias activas al azul de metileno)
3	Conductividad

Fuente: Elaboración propia

6.3 Puntos de Muestreo

En total se tuvieron tres puntos de muestreo, de donde fueron recolectadas muestras de aguas residuales grises, del barrio Omar Varela de la ciudad de Buenos Aires, Rivas.

Cada punto de muestreo corresponde a una vivienda del barrio, en el cual se conectaron por medio de tubos de PVC de 1 pulgada de diámetro, las corrientes de desagüe del fregadero de las cocinas, el lavadero, y las duchas. El agua residual gris luego se recolectó en un barril plástico de 25 Litros de capacidad.

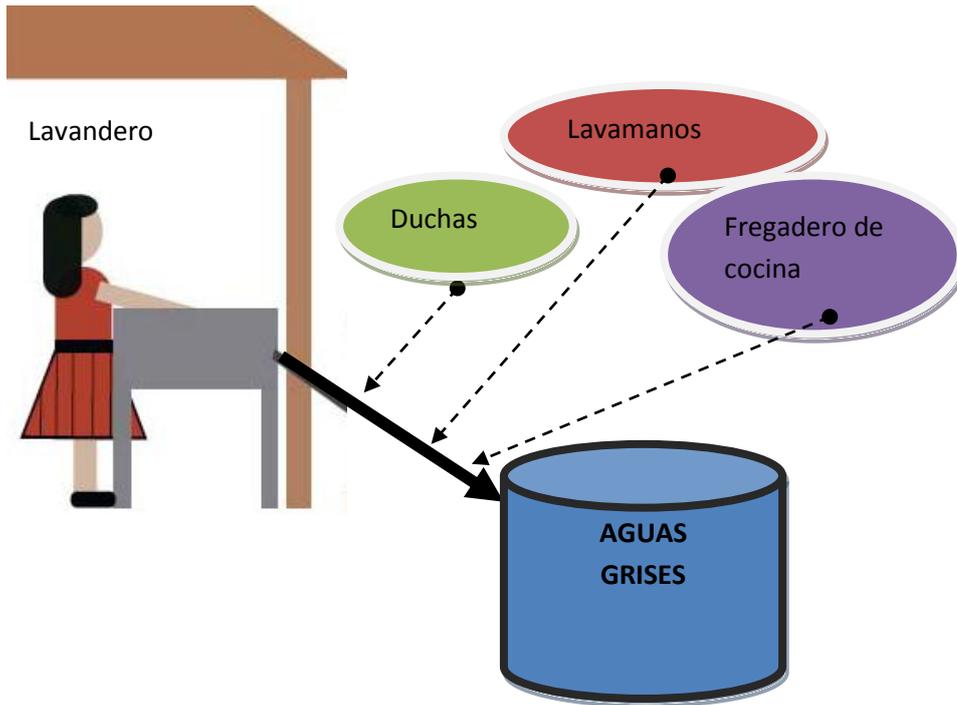


Figura 6.2 Esquema de la recolección de Aguas Grises.

Fuente: Elaboración propia

Punto No.1

Vivienda con cantidad de habitantes mayor al promedio del municipio, con 10 personas habitando, además en esta casa se lava ropa por encargo, por lo que hay un mayor gasto de agua potable.

Punto No.2

Vivienda con cantidad de habitantes promedios, 5 habitantes en total. Esta vivienda posee la particularidad de que en ella se imparten clases de cocina y repostería, por lo que se espera una mayor cantidad de materia orgánica y aceites y grasas, debido al lavado de los utensilios de comida.

Punto No.3

Vivienda con 4 habitantes, ninguna particularidad encontrada.

Para todos los puntos de muestreo se realizaron los análisis antes mencionados en la tabla 6.2.

6.4 Muestreos

Se hicieron tres muestreos compuestos de 8 horas, en distintas viviendas del barrio “Omar Varela” de la ciudad de Buenos Aires, Rivas, Se realizaron solo tres muestreos, debido a los numerosos ensayos que se tuvieron que realizar en el laboratorio, para lograr una adecuada caracterización de las aguas grises. Otro factor determinante y de gran influencia fue la cantidad de muestreos, con respecto al factor económico, ya que la los costos de transporte (4 viajes en total) y costos de análisis, sumaban alrededor de los \$ 4,500 dólares.

6.4.1 Recolección de Muestras

La correcta toma de la muestra en el campo, representa un aspecto fundamental en el aseguramiento y control de la calidad en los análisis químicos realizados en dicha muestra.

Las muestras de agua residual fueron recolectadas y preservadas siguiendo los lineamientos necesarios, para garantizar que esta conservó las características originales, y que no sufrió ninguna alteración en el transcurso de su viaje al laboratorio.

Las muestras fueron debidamente preservadas en campo, y trasladadas al laboratorio de Aguas Residuales del CIRA/UNAN, en termos con abundante hielo para luego ser realizados los análisis.

6.4.2 Procesamiento analítico

Las muestras fueron conducidas a los laboratorios de agua residual de CIRA/UNAN, reconocidos en la región por sus excelentes resultados en ejercicios de intercomparación, y nombrados por la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos de América (EPA,2011), como laboratorio de referencia nacional para ensayos de aguas residuales.

Los ensayos de la calidad fisicoquímica y bacteriológica en las aguas residuales grises crudas, fueron analizados mediante métodos estandarizados de acuerdo a la American Public Health Association (APHA) edición 21st, 2005. Establecidos en los procedimientos operativos normalizados. Siguiendo los procedimientos de aseguramiento y control de la calidad establecidos en el sistema de gestión de la calidad del CIRA/UNAN.

Las muestras se preservaron de acuerdo al parámetro a analizar según la Tabla 6.3.

Tabla 6.3 Preservación de muestras.

Parámetros	Envase y Volumen aproximado	Preservante
Análisis Bacteriológicos	Botella Nalgene 1000ml	Refrigerar
Aceites y Grasas	Botella Vidrio color Ámbar 1000ml	1.5 ml H ₂ SO ₄ Concentrado
Demanda Bioquímica de Oxígeno	Recipiente Plástico	Refrigerar
Demanda Química de Oxígeno	Botella de vidrio 100ml.	1 ml H ₂ SO ₄ Concentrado
Fósforo Total	Recipiente Plástico 500ml	1 ml H ₂ SO ₄ Concentrado
Nitrógeno Amoniacal	Recipiente Plástico 500ml	1 ml H ₂ SO ₄ Concentrado
Nitrógeno Kjeldhal Total	Recipiente Plástico 500ml	1 ml H ₂ SO ₄ Concentrado
Nitrógeno Orgánico	Recipiente Plástico 500ml	1 ml H ₂ SO ₄ Concentrado
pH	Recipiente Plástico	Refrigerar
Conductividad eléctrica	Recipiente Plástico	Refrigerar
Sólidos Disueltos Totales	Recipiente Plástico	Refrigerar
Sólidos Sedimentables	Recipiente Plástico	Refrigerar
Sólidos Suspensos Totales	Recipiente Plástico	Refrigerar
Detergentes (Sustancias Activas al Azul de Metileno)	Recipiente Plástico 500ml	Refrigerar

Refrigerar: Conservar a 4°C, en la oscuridad

Fuente: Standard Methods, 2005

6.4.3 Metodología para la caracterización

Las siguientes tablas presentan los métodos a utilizar de acuerdo al parámetro a analizar. Toda la metodología esta descrita en el Standard Method for Water and Wastewater Examination, (APHA, 2005).

Tabla 6.4 Parámetros y métodos utilizados durante la caracterización

Análisis	Método	Referencia	Edición
Coliformes totales, fecales, E.coli	9221 B ¹ , 9221 E ¹ y 9221F ¹ .	APHA,2005	21th
Demanda Bioquímica de Oxígeno	5210 ¹	APHA,2005	21th
Demanda Química de Oxígeno	5220.C ¹	APHA,2005	21th
Nitrógeno total en aguas residuales	CETESB ²	CETESB	1977
Fósforo Total en Aguas Residuales	4500PBC ¹	APHA,2005	21th
Sólidos Sedimentables	2540.F ¹	APHA,2005	21th
Sólidos Suspensos Totales	2540.D ¹	APHA,2005	21th
Sólidos Disueltos Totales	2540.C ¹	APHA,2005	21th
Aceites y Grasas	5520.D ¹	APHA,2005	21th
PH	4500.H.B ¹	APHA,2005	21th
Detergentes (Sustancias activas al azul de metileno)	5540.C ¹	APHA,2005	21th
Conductividad	2510.B ¹	APHA,2005	21th

¹ American Public Health Association (APHA). (2005). *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. 21 st. Ed. Washington: APHA.

² CETESB (Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental). (1977). *Análisis Físico Químico para Controle de Estacoes de Esgotos*. Brasil

Fuente: Elaboración propia.

6.4 Estimación de Caudal

Los caudales de aguas residuales de los pequeños núcleos de población se caracterizan por presentar grandes variaciones horarias, diarias e incluso mensuales o estacionales (García y Corzo, 2008).

Cuando se plantea un proyecto de construcción de un sistema de saneamiento no se dispone de series históricas de datos de caudales de aguas residuales. Por lo que, los caudales deben ser estimados.

En los casos en que no se puede realizar campañas de aforo los caudales se pueden determinar a partir de datos de los consumos de agua de abastecimiento. Éstos los suelen tener las empresas gestoras responsables de la distribución. En pequeños municipios se suele suponer que un 80- 90% del agua de abastecimiento se convierte en agua residual.

Los datos de la población base fueron tomados del VIII censo de población y IV censo de vivienda, realizado por el INIDE en el año 2005. Luego fueron proyectados para el horizonte del proyecto, 10 años a partir del año 2011, utilizando el método geométrico.

Este diseño a escala piloto pretende tratar el agua residual de 1 barrio, del casco urbano del municipio de Buenos Aires.

6.4.1 Estudio de Población

Tasa de crecimiento geométrico: este método se aplica a pequeñas comunidades en especial a ciudades que no han alcanzado su desarrollo, y que se mantienen creciendo a una tasa fija, y es el de mayor uso en el país.

VII. PRESENTACION Y DISCUSION DE RESULTADOS

7.1 Área de estudio

El área de proyecto donde se pretende implementar la tecnología de Humedales Artificiales, se ubica en el municipio de Buenos Aires, situado en el departamento de Rivas, este se encuentra a 114 Km. al sur oeste de la capital Managua.

El municipio posee 75.22 km² de extensión territorial, y limita al norte con el municipio de Nandaime (departamento de Granada), al sur con el municipio de San Jorge (departamento de Rivas), al este con el lago Cocibolca, y al oeste con el municipio de Potosí (departamento de Rivas).

La ciudad se encuentra próxima a distintos cuerpos de agua superficiales, a menos de 2 Km. de las playas del lago Cocibolca, a 14 Km. de la laguna de Ñocarime una zona de humedales con importancia nacional y a 10 Km. del río Gil González. Además está situada sobre el acuífero de Nandaime – Rivas, que cubre parte de los municipios de Rivas, Belén, Potosí, Nandaime, Santa Teresa y Buenos Aires (INETER 2009). Existe un beneficio considerable por la proximidad del área de interés a un humedal natural de tres kilómetros cuadrados conocido como Laguna de Ñocarime (ver figura 7.1), ya que este lugar posee las plantas necesarias para la colonización de los humedales artificiales.

Este diseño contempla el tratamiento de las aguas grises de un barrio del casco urbano del municipio de Buenos Aires, Rivas. La población total urbana del municipio es de 2330 habitantes según datos del Censo 2005 realizado por INIDE. La población urbana se divide en 9 sectores o barrios. El barrio seleccionado para el diseño es el denominado Omar Varela, sector 7 de la ciudad. Ubicado en el extremo norte de la ciudad.



Figura 7.1 Fotografía de la Laguna de Ñocarime.

Fuente: Diario La Prensa

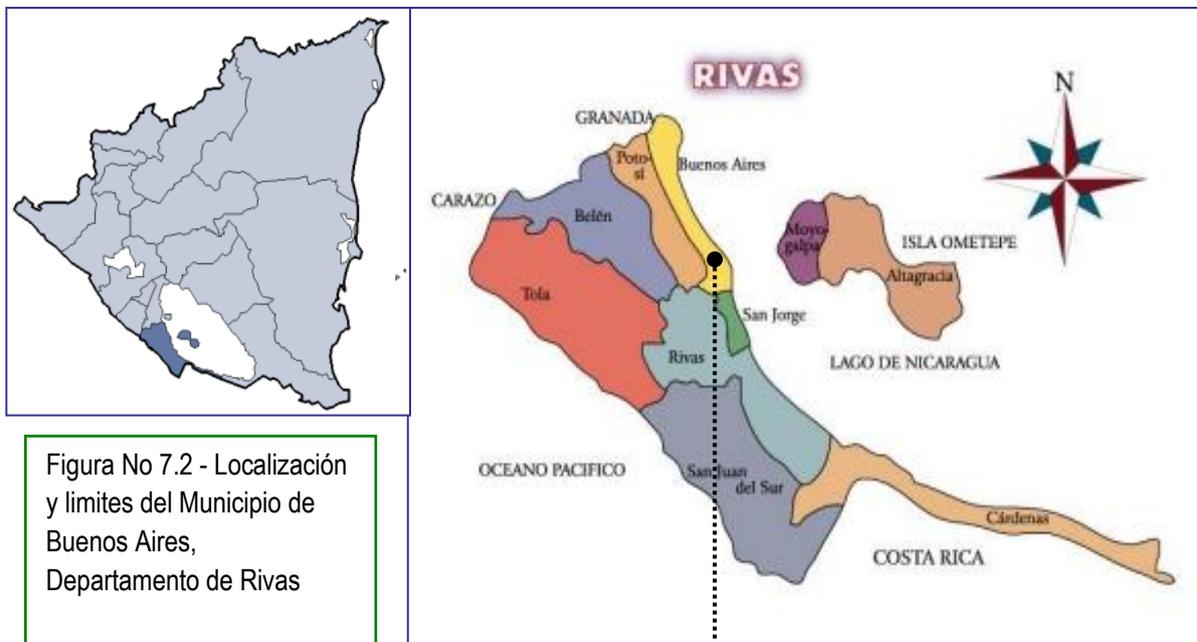


Figura No 7.2 - Localización y límites del Municipio de Buenos Aires, Departamento de Rivas

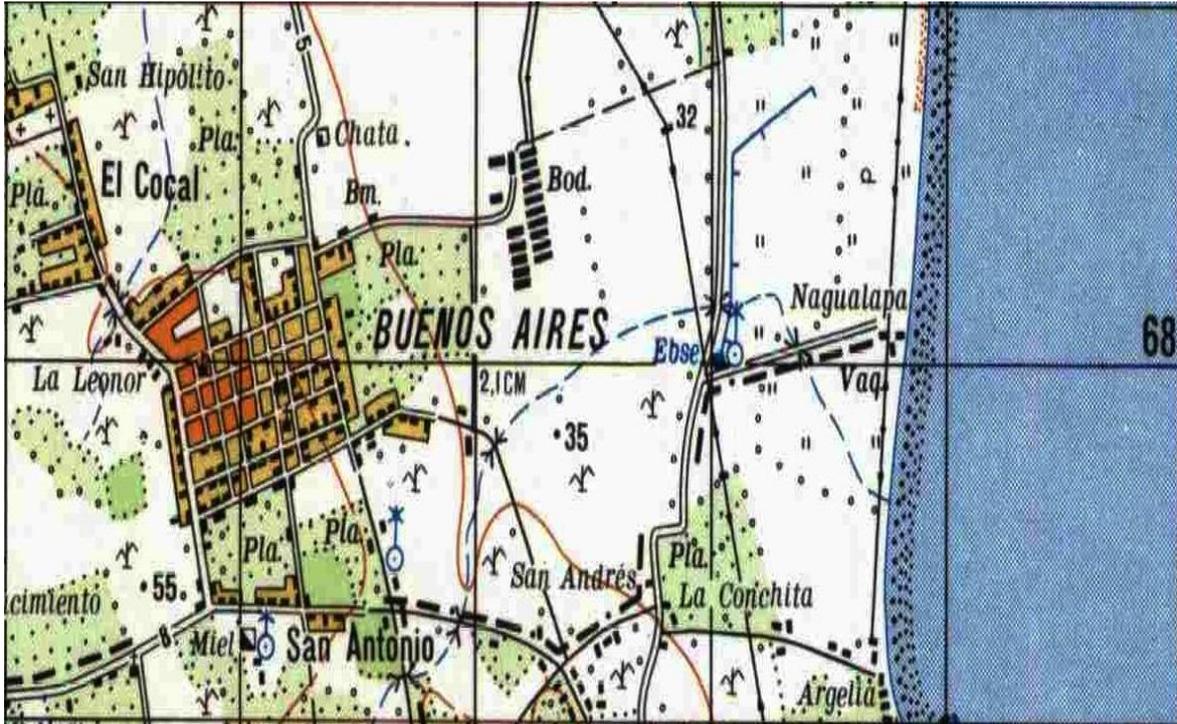


Figura 7.2 Ubicación del área de interés.

Fuente: INETER

7.2 Selección y evaluación del sitio

Las características del sitio que deben ser consideradas en el diseño de un sistema de humedales incluyen topografía, características del suelo, el uso del terreno existente, peligro de inundación y el clima (Metcalf y Eddy 1991).

Topografía: una topografía uniforme es preferible para el sitio del humedal por que en los sistemas de flujo libre es necesario crear una pendiente ligera y en los sistemas de flujo subsuperficial son normalmente diseñados con pendientes del 1% o ligeramente mayores. El municipio de Buenos Aires posee una superficie predominantemente plana con pendientes entre el 1% al 5%.

Suelo: Sitios con baja permeabilidad menor que 0.20 pulgadas/h son los más deseables para sistemas de humedales porque el objetivo es el tratamiento de las aguas residuales por encima de la capa del suelo y las perdidas por percolación por encima del suelo deben de ser minimizadas, la superficie del suelo podría ser sellada con el tiempo debido a la deposición de sólidos y el

crecimiento de limo bacterial. Los sitios que presenten alta permeabilidad pueden ser reducidas a propósito con el uso de una capa de arcilla o una capa de material artificial.

En el departamento de Rivas se identifican 27 series de suelos y 12 suelos misceláneos (AMUR, 2008-2009), que ocupan el 66.61 % y el 33.38 % del territorio, respectivamente (ver figura 7.3).

Entre esta variedad de suelos se destacan aquellos profundos a moderadamente superficiales, franco arcillosos a arcillosos, de fertilidad media a alta, denominados San Rafael (35.56 % del territorio), Fátima (6.26 %) y Nuevo Mundo (3.47 %), que se ubican en la Cordillera Brito que cruza todo el departamento, la mayor parte en pendientes de 15 a más de 45 %, por lo que dominan las partes medias y altas de las principales microcuencas y subcuencas, que drenan tanto al Lago Cocibolca como al Océano Pacífico. Los usos principales son pasto, bosque secundario y agricultura de subsistencia; pero, debido a sus condiciones de profundidad, fertilidad natural, posición en el paisaje y la susceptibilidad a la erosión, el principal potencial de estos suelos es el forestal, sistemas agroforestales y silvopastoriles.

Especial relevancia para este diseño de sistema de tratamiento tienen los suelos de la planicie de Rivas (donde el área de interés se ubica), son profundos, fértiles, francos a franco arcillosos denominados Buenos Aires (1.83 % del territorio), Ingenio Dolores (1,05 %), Gil González (0,5 %) y Panzoco (0.35 %).

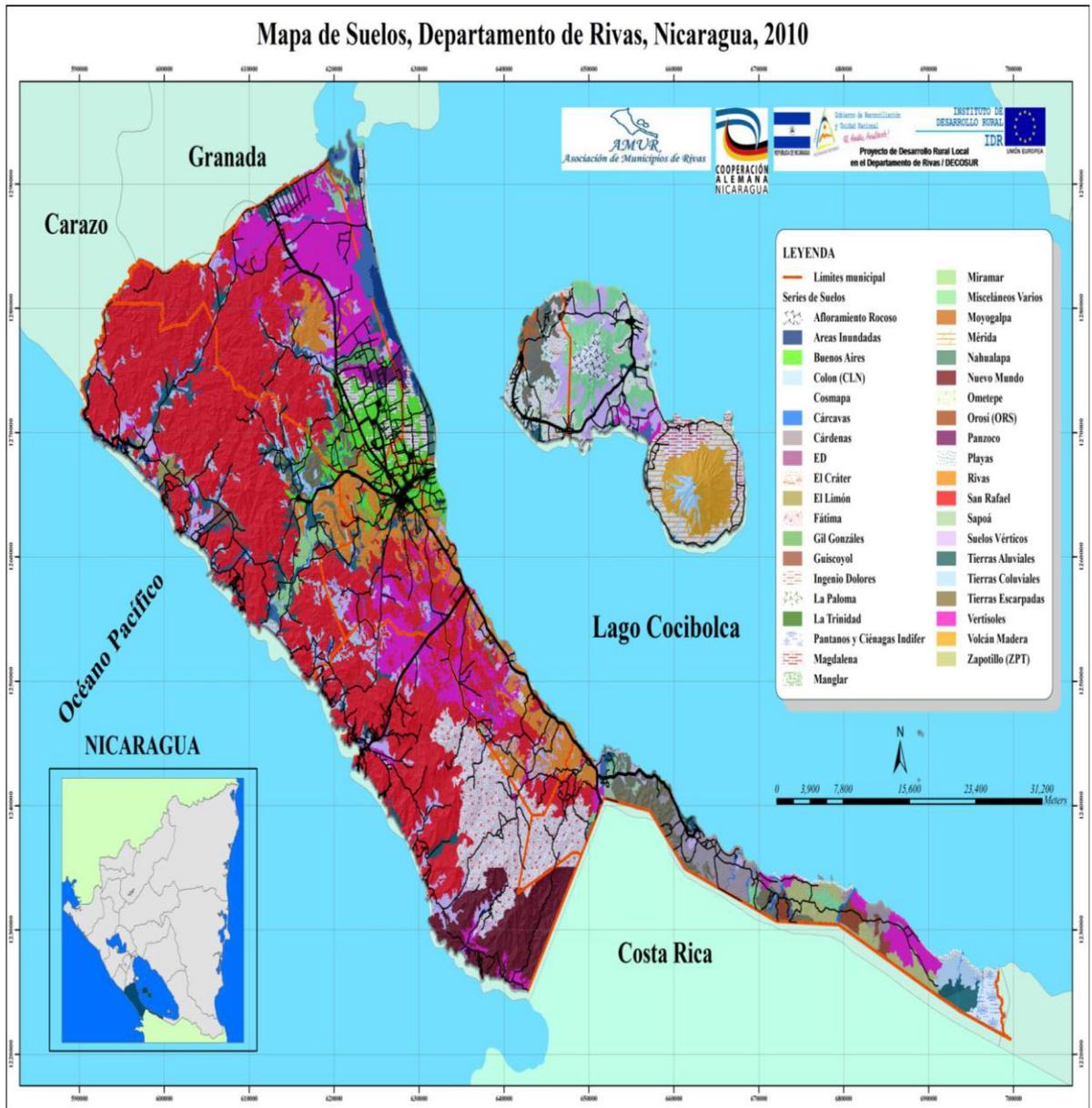


Figura 7.3 Mapa de suelos del departamento de Rivas.
 Fuente: Plan departamental de ordenamiento y desarrollo territorial de Rivas, 2010.

Riesgo de inundación: en general los humedales artificiales deben ser ubicados en áreas sin vulnerabilidad de inundación, de lo contrario deberá estar provisto de protección.

Terreno existente: Son preferibles para la construcción de humedales artificiales los espacios abiertos o tierras de agricultura, particularmente aquellas que estén cerca de humedales naturales existentes. Los humedales artificiales pueden mejorar humedales naturales ya existentes proveyendo un hábitat adicional para la fauna y un mayor suministro de agua.

En el municipio de Buenos Aires un tercio del territorio está usado por la actividad agropecuaria, ya que 2416 hectáreas están cultivadas y 2619 hectáreas con pasto; otras áreas importantes corresponden a vegetación herbácea con 2094 hectáreas y bosque con 1176 hectáreas (AMUR-INAFOR, 2010).

El municipio cuenta con zonas de humedales naturales que son de importancia nacional (zona de Tolesmáida y la laguna de Ñocarime), y de donde se sustraerá parte de la vegetación que colonizará los HAFSs.

Clima: La viabilidad de la operación del sistema depende de la temperatura del agua debido a que los principales mecanismos de remoción son biológicos, el rendimiento del sistema es fuertemente sensible a la temperatura. Aunque el uso de sistemas de humedales en climas fríos ha sido posible se alcanzan mayores desempeños en climas cálidos. El clima para el municipio de Buenos Aires es semihúmedo debido a la cercanía y altitud del municipio con respecto al nivel del mar (53 metros). Las temperaturas oscilan anualmente entre los 26°C y 29°C. La precipitación anual varía entre los 1400 mm y los 1600 mm distribuida en dos estaciones: una seca que va de Diciembre a Abril, y una lluviosa que va de Mayo a Noviembre.

7.3 Vegetación

La colonización del humedal será por plantas que sean fácilmente adaptadas a las condiciones, tales como las macrófitas de la zona de humedales naturales, que se extiende a lo largo de las costas de Tolesmáida y la laguna de Ñocarime, a orillas del lago Cocibolca, en la figura 7.4 se observa parte de las plantas acuáticas emergentes de la zona (carrizo y tule al fondo del paisaje).



Figura 7.4 Imagen de las costas del lago Cocibolca, en el municipio de Buenos Aires. Fuente: CIRA/UNAN

El establecimiento de la vegetación en los HAFSs puede realizarse empleando plantas procedentes de viveros, utilizando semillas o multiplicándose a partir de los rizomas, que es el método más habitual, y para lo que se procede a trozar los fragmentos del rizoma de aproximadamente unos 5cm de longitud, y posteriormente se plantan en el sustrato.

La vegetación será plantada por medio de transplante de rizomas al lecho preparado con espaciamiento de 5 ejemplares por metro cuadrado, se utilizara Carrizo (*phragmites australis*) en un 50% de los humedales como planta fitodepuradora, por su alta remoción de microorganismos patógenos, en el restante 50% del humedal se colonizara con zacate taiwan para ser utilizado como forraje para el ganado. Estas plantas penetran en grava alrededor de 0,6m (Lara, 1996).

Se considero que con esta densidad de plantación la vegetación cubrirá totalmente la superficie del humedal en aproximadamente un año de ser plantadas.

7.4 Impermeabilización del terreno

El lugar donde será emplazado el sistema de humedales artificiales de Flujo Subsuperficial, será impermeabilizado para evitar infiltraciones al subsuelo, en el caso de Buenos Aires el acuífero es somero, oscilando de 6 a 10 m de profundidad (INETER 2009).

El suelo será compactado para disminuir la permeabilidad de este, además se utilizaran capas dobles de polietileno (plástico negro), luego se dispondrá una capa de sacos de polipropileno, que servirá de geotextil, con el propósito de evitar que el sustrato penetre la capa plástica rompiéndola.

7.5 Resultados de caracterización de las “Aguas Grises”

La determinación de las características físicas, químicas, bacteriológicas y orgánicas del agua durante el proceso de tratamiento son fundamentales para determinar la calidad del agua residual gris, las concentraciones promedios de los constituyentes del agua gris se detallan en la tabla 7.1.

Se realizaron tres muestreos compuestos de 8 horas cada uno, en uno de ellos se tomaron parámetros de campo, con intervalos de media hora por cada toma de parámetros (pH, Conductividad Eléctrica y Temperatura), véase figuras siguientes.

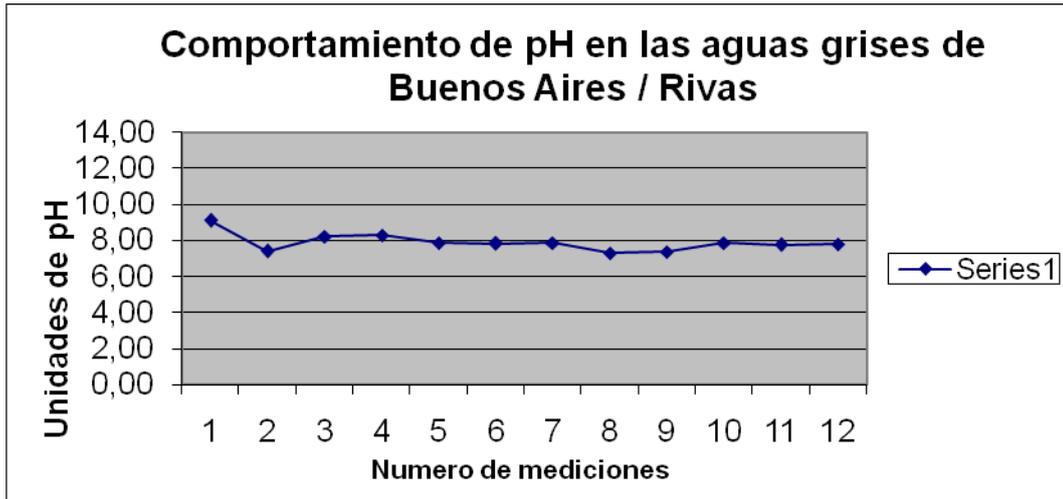


Figura 7.5 Comportamiento del pH de campo en el agua gris de Buenos Aires. Fuente: Elaboración propia

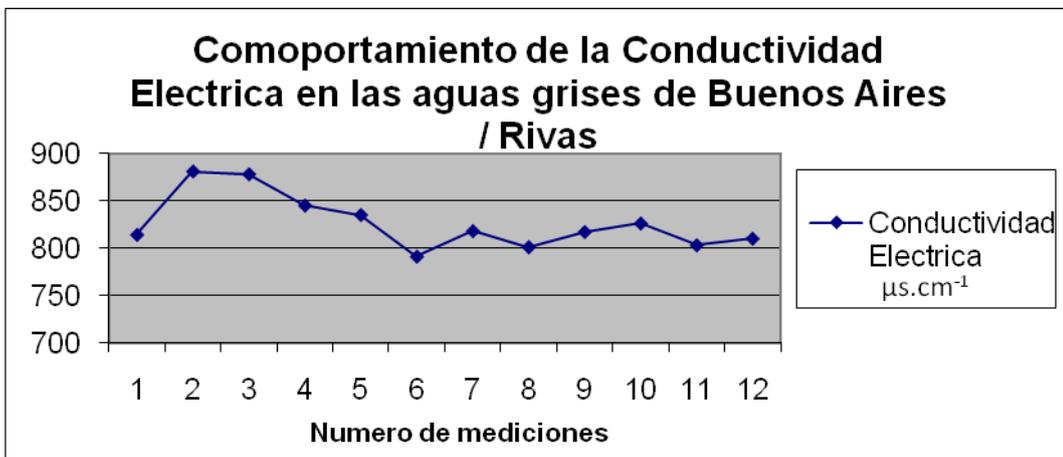


Figura 7.6 Comportamiento de la Conductividad Eléctrica de campo en el agua gris de Buenos Aires. Fuente: Elaboración propia

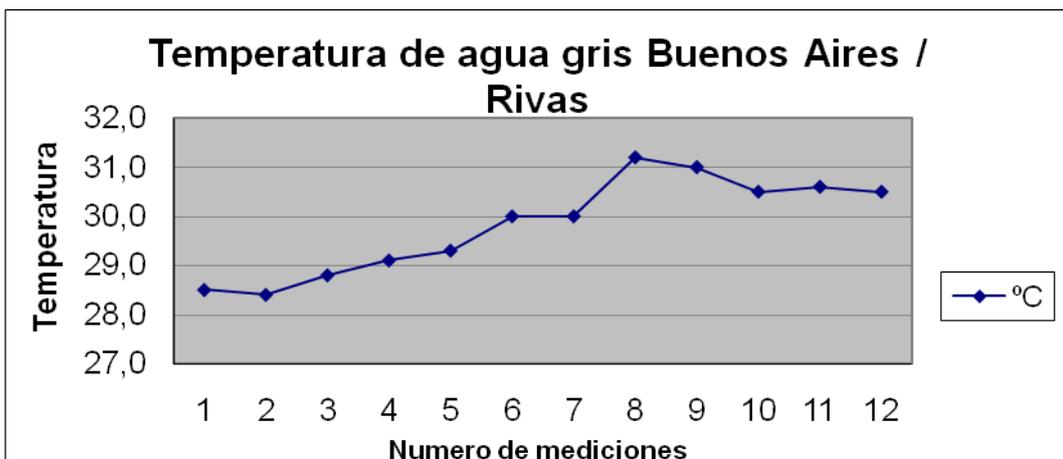


Figura 7.7 Comportamiento de la Temperatura en el agua gris de Buenos Aires.

Fuente: Elaboración propia

Tabla 7.1 Promedios de parámetros en la caracterización de las aguas grises de Buenos Aires.

Parámetros	Promedio	Unidades
pH	7,49	Unds. de pH
CONDUCTIVIDAD	781,33	$\mu\text{S.cm}^{-1}$
SÓLIDOS DISUELTOS TOTALES	581,33	mg.l^{-1}
SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES	309,02	mg.l^{-1}
SÓLIDOS SEDIMENTABLES	6,67	mg.l^{-1}
ACEITES Y GRASAS	208,96	mg.l^{-1}
DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO	439,73	mg.l^{-1}
DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO	653,17	mg.l^{-1}
NITRÓGENO TOTAL	16,81	mg.l^{-1}
FÓSFORO TOTAL	5,78	mg.l^{-1}
SUSTANCIAS ACTIVAS AL AZUL DE METILENO	35,51	mg.l^{-1} de LAS
COLIFORMES TOTALES	7,36E+06	NMP/100 ml
COLIFORMES TERMOTOLERANTES	5,52E+05	NMP/100 ml
<i>Escherichia coli</i>	1,90E+05	NMP/100 ml

Fuente: Elaboración propia

7.5.1 Características Físico-Química de las Aguas Grises

A continuación se presentan gráficamente las concentraciones promedio producto de la caracterización de las aguas grises de la ciudad de Buenos Aires, y se comparan con distintas caracterizaciones de aguas residuales municipales realizadas por ENACAL en varias ciudades del país, no todos los parámetros pudieron ser comparados debido a falta de caracterizaciones completas como la de este trabajo.

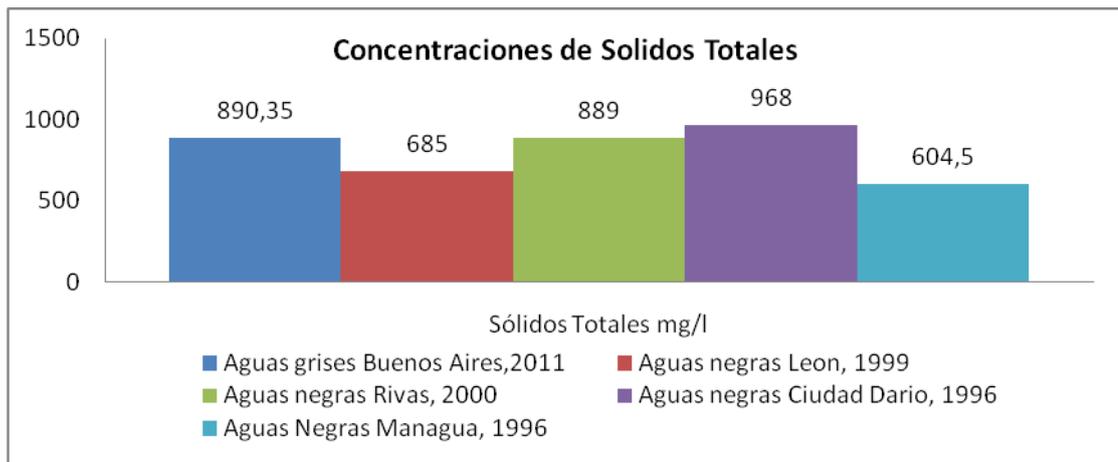


Figura 7.8 Concentraciones de Sólidos Totales en las aguas grises de Buenos Aires y otras ciudades de Nicaragua.

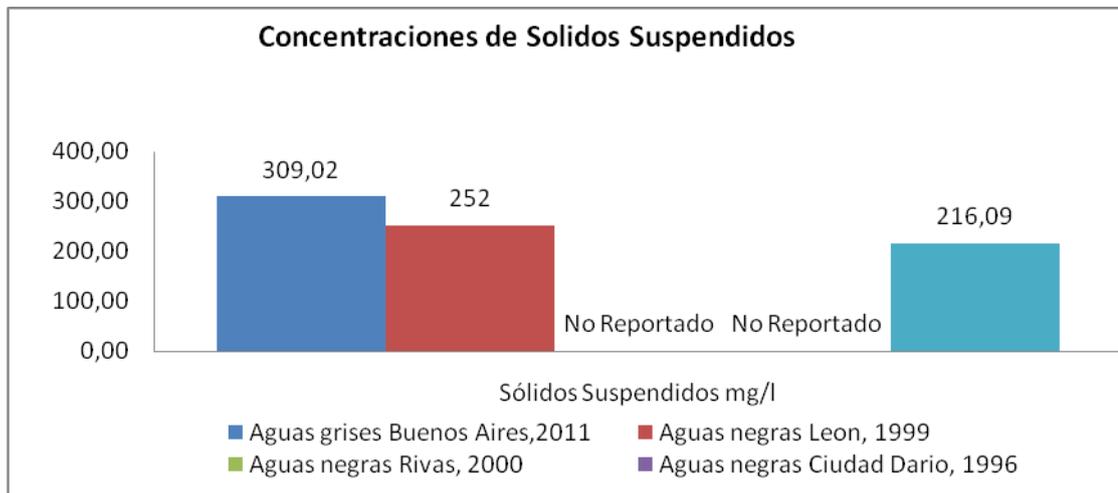


Figura 7.9 Concentraciones de Sólidos Suspendedos Totales en las aguas grises de Buenos Aires y otras ciudades de Nicaragua.

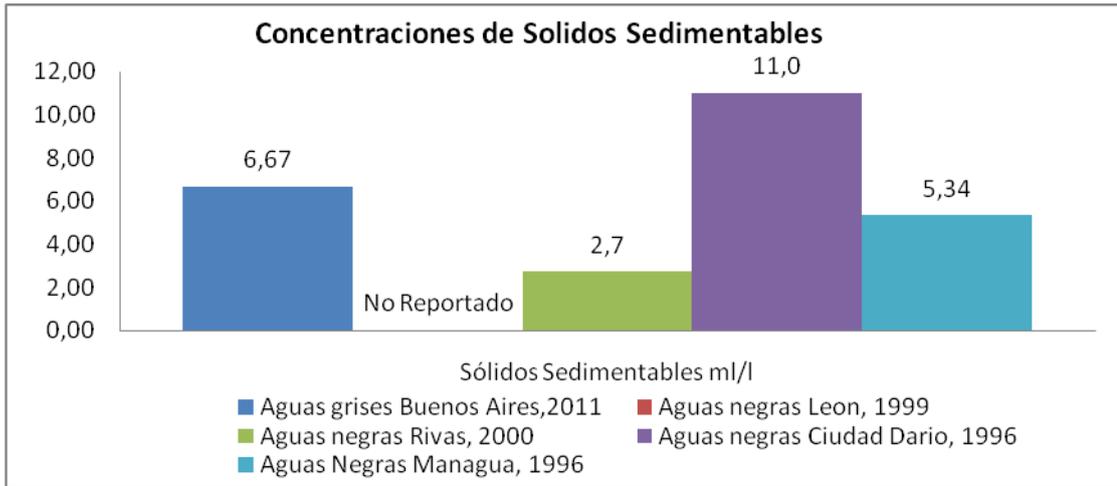


Figura 7.10 Concentraciones de Sólidos Sedimentables en las aguas grises de Buenos Aires y otras ciudades de Nicaragua.

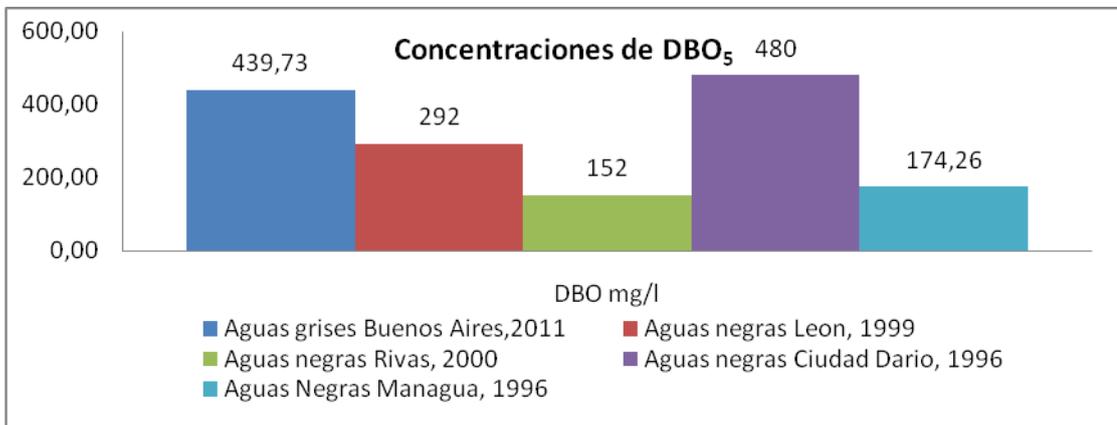


Figura 7.11 Concentraciones de DBO₅ en las aguas grises de Buenos Aires y otras ciudades de Nicaragua.

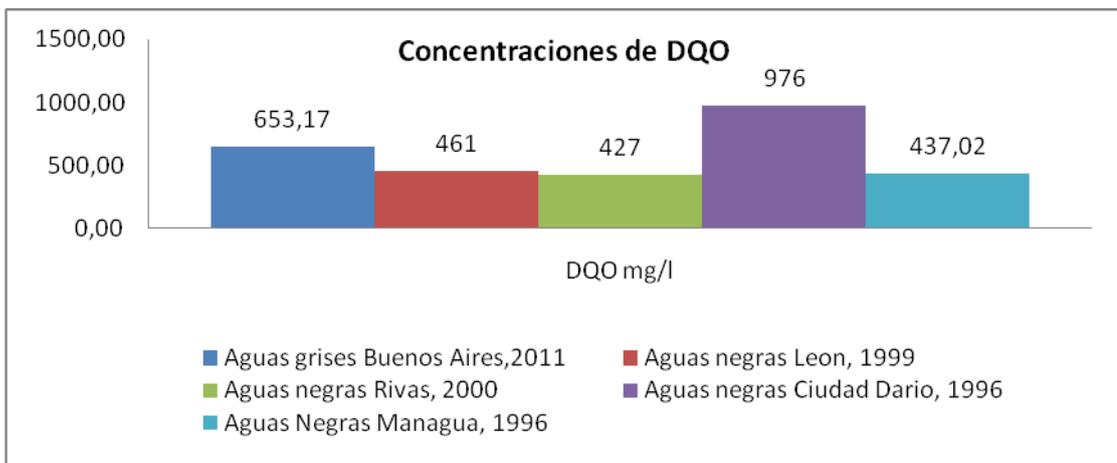


Figura 7.12 Concentraciones de DBO₅ en las aguas grises de Buenos Aires y otras ciudades de Nicaragua.

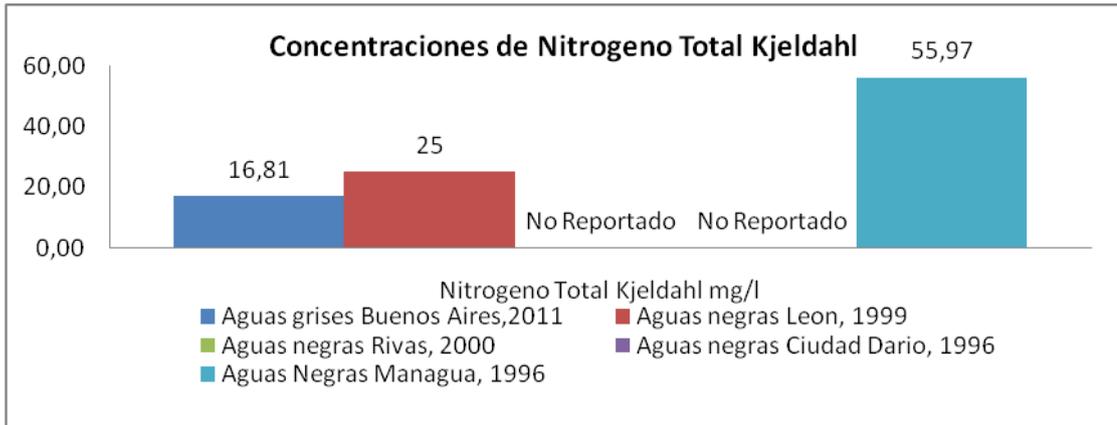


Figura 7.13 Concentraciones de Nitrógeno Total Kjeldahl en las aguas grises de Buenos Aires y otras ciudades de Nicaragua.

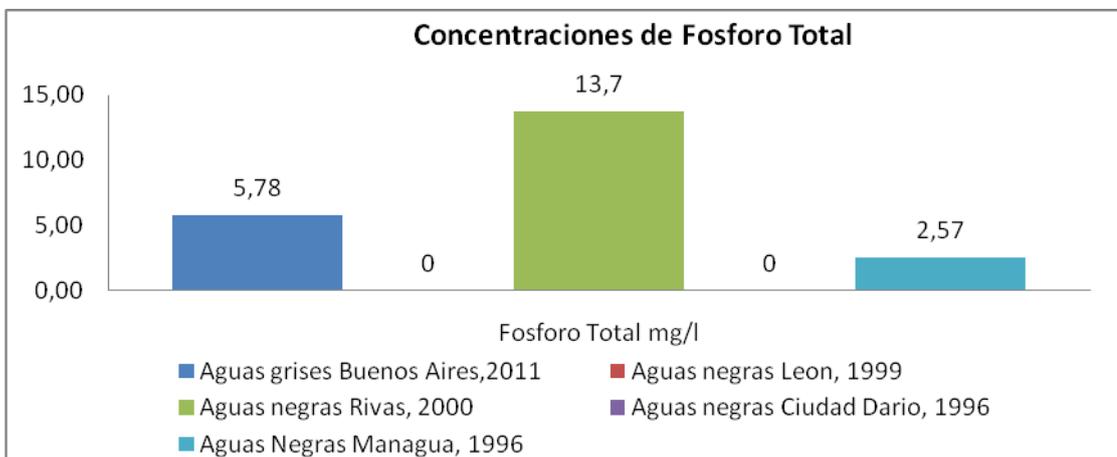


Figura 7.14 Concentraciones de Fosforo Total en las aguas grises de Buenos Aires y otras ciudades de Nicaragua.

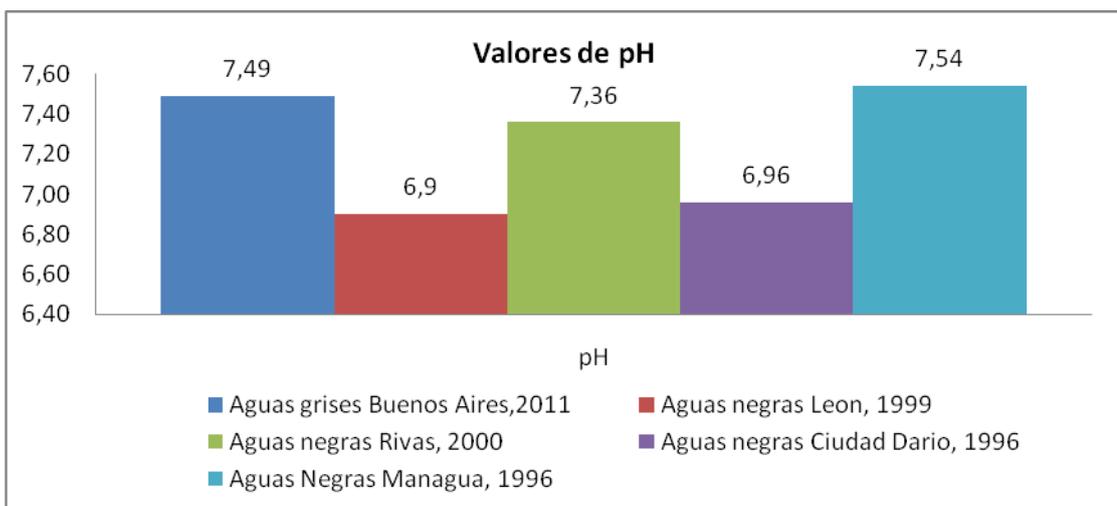


Figura 7.15 Concentraciones de pH en las aguas grises de Buenos Aires y otras ciudades de Nicaragua.

Como se pudo observar en los gráficos, las concentraciones de los contaminantes físico-químico en las aguas grises de Buenos Aires, resultaron ser elevadas, esto puede ser debido a que en la ciudad, no existe un gasto excesivo del agua potable que represente una dilución de las concentraciones.

Los valores de Sólidos Totales Y Sólidos Suspendidos Totales, se encuentran por encima de los reportados por distintas caracterizaciones para aguas negras en las ciudades más grandes del país (León y Managua), mientras que para ciudades más pequeñas los valores se asemejan en mayor proporción, se podía apreciar en las muestras de aguas grises, pequeños restos de alimentos provenientes del área de la cocina lo que a su vez incremento las cantidades de Sólidos Totales y en Suspensión.

Para valores de Sólidos Sedimentables en las aguas grises se reportaron valores significativamente menores al de las aguas negras del país, esto debido a la ausencia de materia de origen fecal.

Las concentraciones de DBO_5 y DQO en las aguas grises resultaron ser elevadas, por lo que para este estudio se puede clasificar estas aguas como aguas grises oscuras (Dark Graywater), es decir que contienen un alto contenido de materia orgánica, en mayor parte debido a los desechos y el lavado de los utensilios de la cocina.

La relación DQO/DBO_5 que expresa la biodegradabilidad de un agua residual para este estudio es de 1.49, para efluentes predominantemente domésticos esta relación esta comprendida entre 2 y 3, mientras menor sea la relación indica una mejor biodegradabilidad. Una relación superior a 3 indica la existencia de un aporte de origen industrial al efluente.

Las concentraciones de los nutrientes Nitrógeno y Fosforo en el agua gris de Buenos Aires resultaron ser bajas para Nitrógeno debido a la ausencia de excretas en las aguas, el fosforo presenta concentraciones más altas al de una ciudad grande como Managua, incluso cuando las aguas del inodoro se encuentran excluidas, una explicación a este fenómeno es la cantidad de Fosforo (Ortofosfatos) que aportan los detergentes en polvo, utilizados para el lavado de ropas.

El pH que nos permite determinar el carácter ácido o básico del agua, en las aguas grises de Buenos Aires es considerado neutro, y en un rango idóneo para ser depurada por medio de tratamientos biológicos. El pH de las aguas urbanas usualmente suele estar entre 6,5 y 8,5 unidades de pH. La Conductividad Eléctrica mide de la capacidad de una solución para dejar pasar la corriente eléctrica, esto depende de las sales solubles en el agua, y de la temperatura de la medida, el agua gris de Buenos Aires presenta

valores de conductividad comunes en las aguas residuales de origen domestico (900 y $1500 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$).

En cuanto a concentraciones de Aceites y Grasas se refiere, las aguas grises presentan valores muy elevados a los que comúnmente reporta la bibliografía para aguas residuales domesticas, debido en parte a una sobre concentración de los contaminantes en las aguas, y a un punto de muestreo en particular (punto Nº 2) en el que las concentraciones elevaron el promedio de la caracterización.

Valores de concentraciones para SAAM (Sustancias Activas al Azul de Metileno), se encuentran ligeramente mayores por las cantidades de detergentes que se utilizan en el lavado de las ropas, pero en un rango aceptable para aguas residuales domesticas, pero esto no deja de representar un riesgo para las condiciones del suelo donde se descarguen las aguas sin tratar.

7.5.2 Características Microbiológicas de las Aguas Grises

Las características microbiológicas presentan indudablemente microorganismos indicadores de patógenos (ver tabla 7.2), estos microorganismos son causantes de enfermedades de origen hídrico, que generan altos porcentajes de morbi-mortalidad en la población. Se encontraron valores muy por encima de la norma de reutilización de agua.

Tabla 7.2 Parámetros Microbiológicos de aguas grises en Buenos Aires.

Fuente: Elaboración propia

Parámetros	Resultados Punto Nº1	Resultados Punto Nº2	Resultados Punto Nº3	Promedio	Unidades
COLIFORMES TOTALES	$1,10 \times 10^7$	$7,00 \times 10^4$	$1,10 \times 10^7$	$7,36 \times 10^6$	NMP/100 ml
COLIFORMES TERMOTOLERANTES	$1,30 \times 10^6$	$2,60 \times 10^4$	$3,30 \times 10^5$	$5,52 \times 10^5$	NMP/100 ml
<i>Escherichia coli</i>	$2,30 \times 10^5$	$1,10 \times 10^4$	$3,30 \times 10^5$	$1,90 \times 10^5$	NMP/100 ml

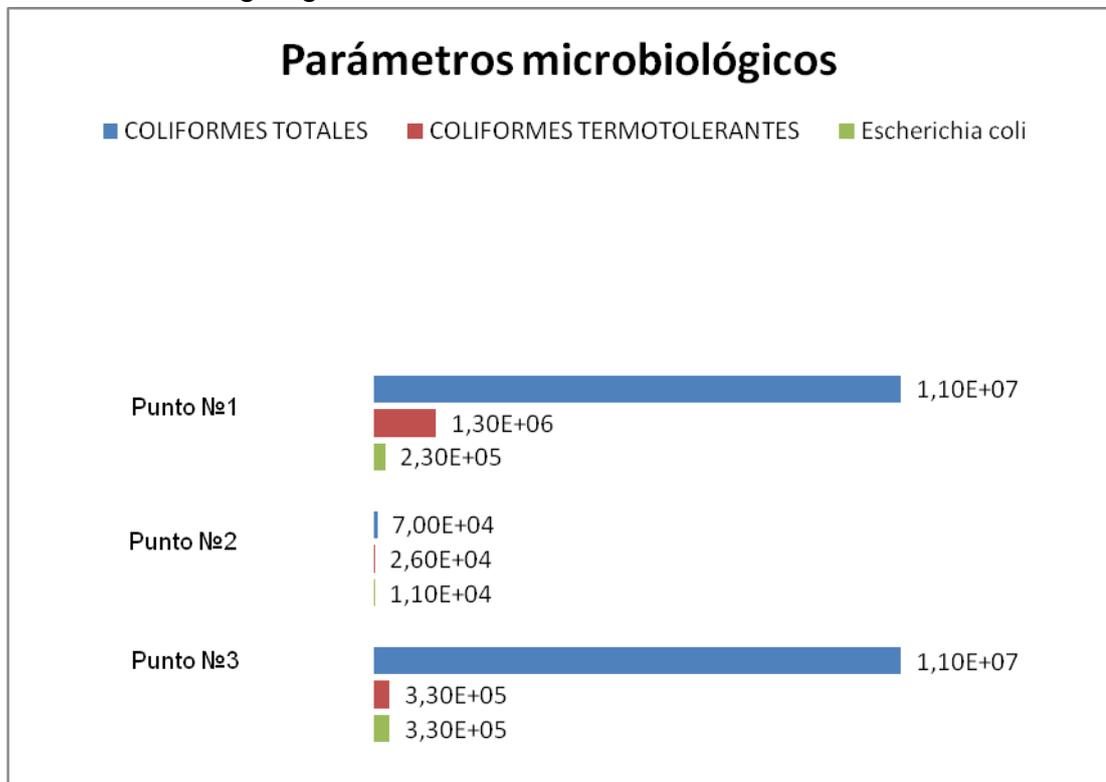
Aunque se encontraron cantidades elevadas de microorganismos patógenos, estos valores no están muy distantes de los reportados por distintos autores (ver tabla 7.3), lo que podría considerarse curioso si se ve desde el punto de vista, de que se hace una exclusión de las aguas de los inodoros, que son las que entran en contacto directo con las excretas.

Se puede atribuir estas cantidades de bacterias al agua de las duchas y lavamanos, si se puede notar en la tabla 7.3, aunque el agua proveniente del área de la cocina este ausente o no, una cantidad significativa de bacterias está presente, lo que indica que el agua de la cocina no contribuye a este tipo de contaminación. En la figura siguiente se detallan los resultados obtenidos en calidad microbiológica, para las tres muestras puntuales recolectadas en el plan de muestreo.

Es notable como las cantidades de bacterias disminuyen para el punto N° 2. Esto puede ser debido a que en este lugar, se dedican a impartir clases de cocina y reposterías, lo que incrementa el porcentaje de caudal proveniente del área de cocina, y como se discutió antes este no aporta considerables cantidades de bacterias al efluente.

Otro aspecto a tomar en cuenta en este estudio, es que la alta presencia de bacterias coliformes confirma que no hay una inhibición de las bacterias, y que la depuración de las aguas grises de la ciudad de Buenos Aires, puede darse mediante procesos biológicos, al encontrarse en rangos de temperatura y pH óptimos para el crecimiento microbiano.

Figura 7.16 Parámetros microbiológicos reportados en la caracterización del agua gris de la ciudad de Buenos Aires, Rivas.



Fuente: Elaboración propia

Tabla 7.3 Comparación de indicadores patógenos de distintos autores, con valores encontrados en Buenos Aires, Rivas.

Autores		Mondragon	Birks et al.	Jamrah et al.	Finley et al.	Chaillou et al.
Año y País		2011 (Buenos Aires ,Rivas)	2007 (Reino Unido)	2008 (Omán)	2009 (Canadá)	2011 (Francia)
Tipo de Agua Gris		Oscura	Ligera	Oscura	Oscura*	Oscura*
Parámetro	Unidades					
Coliformes totales	NMP/100ml	7.36 x10 ⁶	2.2 x 10 ⁷	>200.5	4.7x10 ⁴ a 8.3x10 ⁵	1.87 x 10 ⁹
<i>Escherichia Coli</i>	NMP/100ml	1.90 x 10 ⁵	3.9 x 10 ⁵	>200.5	NR	4.76 x10 ⁵
* No incluyen el área de la cocina						

Fuente: Elaboración propia

7.6 Estimación de caudales

7.6.1 Estudio de la población

Censos INIDE

Tabla 7.4 Poblaciones de la ciudad de Buenos Aires

Fecha	Año 1995	Año 2005
Población(habitantes)	4835	5420

Fuente: Censos INIDE (1995,2005)

Tasa de crecimiento:

$$P_{final} = P_{inicial} (1 + rg)^n \quad \text{(Ecuación 7.1)}$$

La tasa de crecimiento deberá estar entre 2.5% a 4% (INAA 2002)

Despejando rg

$$rg = \sqrt[n]{P_{final} / P_{inicial}} - 1 \quad \text{(Ecuación 7.2)}$$

Encontrando rg con las poblaciones suministradas por los censos del INIDE del año 1995 y el año 2005, para un periodo de tiempo n de 10 años.

$$rg = \sqrt[10]{5420 \text{ hab} / 4835 \text{ hab}} - 1$$

$$rg = 0.01148$$

Tasa de crecimiento porcentual = $rg * 100$

Tasa de crecimiento del municipio de Buenos Aires = 1.15 %

Al no caber entre el rango de aceptación para proyectar poblaciones para sistemas de tratamiento de aguas residuales de las guías técnicas de INAA (2002). Se toma un valor para la tasa de crecimiento del municipio del 2.5%.

Proyectando la población del municipio de Buenos Aires, a nuestra fecha.

$$P_{2011} = P_{2005} (1+0.025)^6$$

$$P_{2011} = 6132 \text{ habitantes}$$

Población del sector de interés, sector 7 de la ciudad, conocido como barrio "Omar Varela".

$$P_{2005} = 389 \text{ habitantes}$$

$$P_{2011} = P_{2005} (1+0.025)^6$$

$$P_{2011} = 440 \text{ habitantes}$$

Es considerado para este estudio un horizonte de proyecto de 10 años, que va desde el año 2011 al año 2021.

Por lo que la población de diseño es:

$$P_{2021} = P_{2011} (1+0.02)^{10}$$

$$P_{2021} = 564 \text{ habitantes}$$

Población de diseño = 564 habitantes

7.6.2 Cálculos de Caudales

La dotación de agua potable del municipio según datos suministrados por la alcaldía, y reportados en el Plan de Ordenamiento Forestal del municipio en el año 2010, es de 3.5 m³/hab.mes o 117 l/hab.día

Gasto medio (Qm)

$$Q_m = 80\% \text{ Dotación de agua potable} * \text{población} \quad (\text{Ecuación 7.3})$$

$$Q_m = 0.8 * (117 \text{ l/hab.día}) * (564 \text{ hab})$$

$$Q_m = 52.7904 \text{ m}^3/\text{día}$$

Gasto de Infiltración (Qinf)

Para tuberías plásticas es de 2 litros/hora por cada 100 metros de tuberías

Se estiman aproximadamente que existan 107 casas en el sector 7 de la ciudad, utilizando la densidad de habitantes por vivienda del municipio.

Número de casas = Población/ densidad de habitantes por vivienda

Número de casas = 564 habitantes / 5 hab. Vivienda

Número de casas = 113

Cada casa posee una extensión promedio de 20 m de longitud.

Longitud de las tuberías = 113 viviendas * 20m

Longitud de las tuberías = 2260 m

Calculando el gasto de infiltración con la longitud de tuberías.

$$Q_{inf} = 2260 \text{ m de tuberías} * 2 \text{ l/100m.h}$$

$$Q_{inf} = 1.88 \text{ m}^3/\text{día}$$

Gasto mínimo de aguas residuales (Qmin)

$$Q_{min} = 1/5 (Q_m) \quad (\text{Ecuación 7.4})$$

$$Q_{min} = 10.5580 \text{ m}^3/\text{día}$$

Gasto máximo de aguas residuales (Qmax)

$$Q_{max} = [1 + (14/4 + P^{1/2})] * Q_m \quad (\text{Ecuación 7.5})$$

$$Q_{max} = 3.9585 Q_m$$

El factor de relación no deberá tener un valor mayor de 3, según la guía técnica de INAA (2002).

$$Q_{\max} = 3 \cdot Q_m$$

$$Q_{\max} = 158.3712 \text{ m}^3/\text{día}$$

Gasto industrial, público y comercial (Q_{ind}, Q_{publico}, Q_{comercial})

$$Q_{\text{ind}} + Q_{\text{publico}} + Q_{\text{comercial}} = 0.16 Q_m \quad (\text{Ecuación 7.6})$$

Caudal de Diseño (Q_d)

$$Q_d = Q_{\max} + Q_{\text{inf}} + Q_{\text{ind}} + Q_{\text{publico}} + Q_{\text{comercial}} \quad (\text{Ecuación 7.7})$$

$$Q_d = 168.6977 \text{ m}^3/\text{día}$$

$$Q_d = 1.9525 \text{ l/s}$$

7.7 Determinación de las Cargas de Contaminantes

El agua residual a depurar de la ciudad de "Buenos Aires", ubicada en el municipio de Buenos Aires, Departamento de Rivas, fue analizada en el Laboratorio de Aguas Residuales del Centro de Investigación en Recursos Acuáticos de la Universidad Autónoma de Nicaragua (CIRA – UNAN).

La caracterización del afluente sirvió para el cálculo de las cargas de contaminantes y como fundamento de diseño.

La Carga de Contaminante se calculara de la siguiente forma:

$$\text{Kg/día de Contaminante} = Q \text{ (m}^3/\text{día)} \cdot \text{Concentración de contaminante [mg/L]} \quad (\text{Ecuación 7.8})$$

$$\text{Kg/día de Sólidos en suspensión} = 52.13$$

$$\text{Kg/día de DBO}_5 = 74.18$$

$$\text{Kg/día de DQO} = 110.18$$

$$\text{Kg/día de N}_k = 2.83$$

$$\text{Kg/día de P}_T = 0.97$$

Kg/día de SAAM = 5.99

Kg/día de Aceites y Grasas = 35.25

7.8 Diseño de Pre tratamiento

7.8.1 Canal de entrada

Tabla 7.5 Datos para diseño de canal de entrada

DATOS	SÍMBOLO	VALOR	UNIDAD	CRITERIOS
Población	P	564	hab.	-
Dotación	Dot	117	lppd	Alcaldía Buenos Aires
Ancho de Canal	B	0.25	m	Asumido
Pendiente a lo largo del Canal	S	0.001	m/m	Asumido
Coficiente de Manning	n	0.013		Concreto (INAA)
Borde Libre	BL	0.3	m	0.20 m - 0.3 m

Altura máxima (Hmax):

$$\frac{Q_d * n}{\sqrt{S}} = H_{m\acute{a}x} * B \left[\frac{H_{m\acute{a}x} * B}{B + 2H_{m\acute{a}x}} \right]^{\frac{2}{3}} \quad (\text{Ecuación 7.9})$$

$$H_{max} = 0.036 \text{ m}$$

Altura media (Hm):

$$\frac{Q_m * n}{\sqrt{S}} = H_m * B \left[\frac{H_m * B}{B + 2H_m} \right]^{\frac{2}{3}} \quad (\text{Ecuación 7.10})$$

$$H_m = 0.016 \text{ m}$$

Velocidad máxima (Vmax):

$$V_{m\acute{a}x} = \frac{Q_d}{B * H_{m\acute{a}x}} \quad (\text{Ecuación 7.11})$$

$$V_{max} = 0.22 \text{ m/s}$$

Velocidad media (Vm):

$$V_m = \frac{Q_m}{B * H_m} \quad (\text{Ecuación 7.12})$$

$$V_m = 0.144 \text{ m/s}$$

Área mojada (At):

$$A_t = B * H_{m\acute{a}x} \quad \text{(Ecuación 7.13)}$$

$$A_t = 0.009 \text{ m}^2$$

Altura del canal (Hcanal):

$$H_{\text{canal}} = H_{\text{max}} + \text{Borde Libre} \quad \text{(Ecuación 7.14)}$$

$$H_{\text{canal}} = 0.036\text{m} + 0.3\text{m}$$

$$H_{\text{canal}} = 0.336\text{m}$$

Aproximando a un número entero la altura del canal es igual a 0.40m

7.8.2 Reja sencilla de limpieza manual

Tabla 7.6 Datos para diseño de rejilla

DATOS	SÍMBOLO	VALOR	UNIDAD	CRITERIOS
Población	P	564	hab.	-
Dotación	Dot	117	lppd	Alcaldía Buenos Aires
Factor de Forma de la Barras	β	1.79	-	Circular = 1.79 , Rectangular = 2.42
Inclinación de Reja	θ	45	°	45° - 60° con la Horizontal
Separación entre Barra	a	2.5	cm	2.50 cm - 5.00 cm
Espesor Barra	t	1.27	cm	0.50 cm - 1.50 cm
Ancho de Canal	B	0.25	m	Asumido
Ancho de Reja	b	0.25	m	Asumido
Pendiente a lo largo del Canal	S	0.001	m/m	Asumido
Coefficiente de Manning	n	0.013		Concreto
Borde Libre	BL	0.3	m	0.20 m - 0.3 m

Altura máxima (Hmax):

$$\frac{Q_d * n}{\sqrt{S}} = H_{m\acute{a}x} * b \left[\frac{H_{m\acute{a}x} * b}{b + 2H} \right]^{\frac{2}{3}} \quad \text{(Ecuación 7.15)}$$

$$H_{\text{max}} = 0.053 \text{ m}$$

Altura media (Hm):

$$\frac{Q_m * n}{\sqrt{S}} = H_m * b \left[\frac{H_m * b}{b + 2H} \right]^{\frac{2}{3}} \quad (\text{Ecuación 7.16})$$

$$H_m = 0.016 \text{ m}$$

Velocidad máxima antes de la reja (Vmax):

$$V_{m\acute{a}x} = \frac{Q_d}{B * H_{m\acute{a}x}} \quad (\text{Ecuación 7.17})$$

$$V_{m\acute{a}x} = 0.139 \text{ m/s}$$

Velocidad media antes de la reja (Vm):

$$V_m = \frac{Q_m}{B * H_m} \quad (\text{Ecuación 7.18})$$

$$V_m = 0.144 \text{ m/s}$$

Área total mojada (At):

$$A_t = b * H_{m\acute{a}x} \quad (\text{Ecuación 7.19})$$

$$A_t = 0.013 \text{ m}^2$$

Eficiencia (E):

$$E = \frac{a}{a + t} \quad (\text{Ecuación 7.20})$$

$$E = 0.663$$

CEPIS recomienda un rango de eficiencias de 0.6 a 0.85

Área útil (Au):

$$A_u = A_t * E \quad (\text{Ecuación 7.21})$$

$$A_u = 0.009 \text{ m}^2$$

Velocidad de Paso (Vp):

$$V_p = \frac{Q_d}{A_u} \quad (\text{Ecuación 7.22})$$

$$V_p = 0.209 \text{ m/s}$$

Calculo de pérdidas de carga a través de las rejillas:

Perdidas de carga en rejillas limpias

$$H_f = \beta * \left(\frac{t}{a}\right)^{\frac{4}{3}} * \sin \theta * \frac{V_m^2}{2g} \quad \text{(Ecuación 7.23)}$$

$$H_f = 0.0010 \text{ m}$$

Perdidas de carga en rejillas parcialmente obstruidas

$$h_{fo} = \left(\frac{E}{E_o}\right)^2 * H_f = \left(\frac{E}{0.75 * E}\right)^2 * H_f \quad \text{(Ecuación 7.24)}$$

$$h_{fo} = 0.0018 \text{ m}$$

Altura del canal (H canal):

$$H_{canal} = H_{m\acute{a}x} + h_{fo} + BL \quad \text{(Ecuación 7.25)}$$

$$H_{canal} = 0.3548 \text{ m}$$

Aproximando a un número entero la altura del canal es igual a 0.40m

7.8.3 Fosa séptica de doble cámara

Tabla 7.7 Datos para diseño de fosa séptica.

DATOS	SÍMBOLO	VALOR	UNIDAD	CRITERIOS
Población	P	564	hab.	
Dotación	Dot	117	lppd	Alcaldía Buenos Aires
Tiempo de retención hidráulica	TRH	1.5	días	INAA (2002)
Altura de la fosa	h	1.5	m	Asumido
Velocidad de acumulación de lodos	v	50	l/hab.año	INAA (2002)
Intervalo de tiempo del vaciado	P	1.0	año	Asumido
Unidades previstas	N	4	-	Asumido

Volumen de líquido (V):

$$V = Q_m \cdot TRH \quad \text{(Ecuación 7.26)}$$

$$V = 79.18 \text{ m}^3$$

Ancho de la fosa séptica (W)

$$W = (V/3 h)^{1/2} \quad \text{(Ecuación 7.27)}$$

$$W = 4.19 \text{ m}$$

Longitud de la fosa séptica (L)

$$L = 3 \cdot W \quad \text{(Ecuación 7.28)}$$

$$L = 12.59 \text{ m}$$

Volumen de líquido (V)

$$V = W \cdot L \cdot h \quad \text{(Ecuación 7.29)}$$

$$V = 79.13 \text{ m}^3$$

Volumen de Lodos (V_{Lodos})

$$V_{\text{Lodos}} = v \cdot P \cdot \text{habitantes} \quad \text{(Ecuación 7.30)}$$

$$V_{\text{Lodos}} = 28.2 \text{ m}^3$$

Altura de lodos (h_{Lodos})

$$h_{\text{Lodos}} = V_{\text{Lodos}} / (W \cdot L) \quad \text{(Ecuación 7.31)}$$

$$h_{\text{Lodos}} = 0.53 \text{ m}$$

Volumen de natas (V_{Natas})

$$V_{\text{Natas}} = W \cdot L \cdot 0.25 \quad \text{(Ecuación 7.32)}$$

0.25 representa un valor recomendado por las guías técnicas de INAA (2002), para calcular el volumen de natas en las fosas sépticas. Este valor considera que el 25% de la cámara de la fosa séptica este cubierto por natas.

$$V_{\text{Natas}} = 19.80 \text{ m}^3$$

Volumen Total (V_{total})

$$V_{\text{total}} = V_{\text{Liquido}} + V_{\text{Lodos}} + V_{\text{Natas}} \quad (\text{Ecuación 7.33})$$

$$V_{\text{total}} = 127.25 \text{ m}^3$$

Volumen de cada fosa (V_{Fosa})

$$V_{\text{Fosa}} = V_{\text{total}} / \text{Numero de unidades} \quad (\text{Ecuación 7.34})$$

$$V_{\text{Fosa}} = V_{\text{total}} / N$$

$$V_{\text{Fosa}} = 31.85 \text{ m}^3$$

$$L_{\text{Fosa}} = 7.97 \text{ m}$$

$$W_{\text{Fosa}} = 2.65 \text{ m}$$

$$h_{\text{Fosa}} = 1.50 \text{ m}$$

Corrigiendo las dimensiones de la fosa séptica a valores aproximados para un diseño simplificado, los valores de diseño se muestran a continuación:

$$L_{\text{Fosa}} = 8 \text{ m}$$

$$W_{\text{Fosa}} = 3 \text{ m}$$

$$h_{\text{Fosa}} = 1.5 \text{ m}$$

7.9 Diseño de Humedal Artificial de Flujo Subsuperficial

Se considero para humedales artificiales los siguientes criterios:

- Son reactores Biológicos.
- Que el flujo que atraviesa el humedal es de tipo pistón y en forma uniforme.
- La ley de Darcy describe el flujo a través del medio poroso.

Para poder aproximarse al flujo pistón el flujo que atraviesa el humedal debe tener suficiente energía para romper las resistencias causadas por la vegetación, sedimentos, raíces, y sólidos acumulados en los humedales (Delgadillo et al. 2010).

La energía necesaria se da por la pérdida de carga entre la entrada y salida del humedal, para conseguir esta energía se le asigna al fondo del humedal una pendiente con una salida de altura variable.

Para el diseño de Humedales Artificiales de Flujo Sub Superficial, de flujo horizontal se completaron los siguientes aspectos:

- Calculo del área necesaria
- Relación Largo – Ancho
- Profundidad del Humedal
- Pendiente
- Sustrato

Para el diseño se considero la utilización del método de Kadlec y Knight. Este método considera que en los humedales artificiales la proliferación de microorganismos da lugar a la producción de nueva materia orgánica, parte de ella quedara retenida en el propio humedal, y la otra parte restante escapara del sistema, empeorando la calidad final del efluente.

Por lo que se propone para cada parámetro, ciertas concentraciones mínimas (concentraciones umbral), las cuales no es posible removerlas en su totalidad a la salida del sistema.

7.9.1 Concentraciones umbrales

Calculo de concentraciones umbrales para el diseño de HAFSs en la ciudad de Buenos Aires:

Concentración umbral de Sólidos Suspendedos Totales (C_{SST}^*):

$$C_{SST}^* = 7.8 + (0.063 * C_{i\ SST}) \quad \text{(Ecuación 7.35)}$$

$$C_{SST}^* = 21.42 \text{ mg.l}^{-1}$$

$C_{i\ SST}$: Concentración de SST a la entrada del HAFSs

Concentración umbral de DBO₅ (C_{DBO5}^*):

$$C_{DBO5}^* = 3.5 + (0.053 * C_{i\ DBO5}) \quad \text{(Ecuación 7.36)}$$

$$C_{DBO5}^* = 19.81 \text{ mg.l}^{-1}$$

$C_{i\ DBO5}$: Concentración de DBO₅ a la entrada del HAFSs

Concentración umbral de Nitrógeno total

$$C_{Nt}^* = < 1.5 \text{ mg.l}^{-1} \quad \text{(Ecuación 7.37)}$$

Concentración umbral de Fosforo total

$$C_{Pt}^* = < 0.1 \text{ mg.l}^{-1} \quad \text{(Ecuación 7.38)}$$

Tabla 7.8 Concentraciones umbrales en HAFSs de la ciudad de Buenos Aires, Rivas.

Parámetro	Concentración Umbral
Sólidos en Suspensión.	21.42 mg/L
DBO 5.	19.81 mg/L
N total	< 1.5 mg/L
P total.	<0,1 mg/L
Coliformes totales	< 100 UFC/ 100ml

Fuente: Elaboración propia.

El método emplea ecuaciones en las que se consideran las constantes de reacción por unidad de superficie, no todas son dependientes de la temperatura (La temperatura solo tiene importancia en la eliminación de Sólidos en suspensión y Nitrógeno). Por lo tanto se trata de un método menos sensible a las condiciones climáticas.

7.9.2 Cálculo del Área Superficial.

De acuerdo al modelo de Kadlec y Knight el cálculo del área superficial requerida está dado por la siguiente ecuación:

$$S = \frac{365 * Q}{K_T} \ln \left(\frac{C_i - C^*}{C_e - C^*} \right) \quad (\text{Ecuación 7.39})$$

Siendo:

S: Superficie del Humedal (m²)

Q: Caudal medio (m³/día)

K_T: Constante de reacción a la temperatura del agua residual (m/año)

C*: Concentración Umbral (mg/L o UFC/100 ml)

C_i y C_e: Concentraciones de entrada y salida respectivamente (mg/L).

Las concentraciones de entrada del humedal artificial de los distintos contaminantes, son las concentraciones en el efluente del tratamiento primario. Las concentraciones de la salida del humedal artificial de flujo subsuperficial fueron asumidas tomando en cuenta el cumplimiento de los límites máximos permisibles para la descarga de aguas residuales tratadas de origen domiciliario, artículo 23, decreto 33-95 (ver anexo 2 y 3).

Tabla 7.9 Concentraciones de entrada, salida y umbrales de los contaminantes en el HAFSs.

Parámetros	Concentraciones de entrada (C _i)	Concentraciones de salida (C _e)	Concentraciones Umbrales (C*)	Unidades
SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES	216.31	80.00	21.42	mg.l-1
DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO	307.81	30.00	19.81	mg.l-1
NITRÓGENO TOTAL	11.77	5.00	1.50	mg.l-1
FÓSFORO TOTAL	4.04	4.00	0.10	mg.l-1
<i>Escherichia Coli</i>	1.90E+05	1.00E+03	1.00E+02	NMP/100 ml

Fuente: Elaboración propia.

Los valores de las constantes de reacción fueron tomados de las investigaciones del proyecto ASTEC-UNI-CIEMA (1996), donde a lo largo de 6 años estimaron los valores de las constantes K para la reducción de diferentes parámetros contaminantes en clima tropical, los cuales se recomiendan para los diseños de Humedales (Biofiltros) en la región centroamericana (Gauss et al., 2004).

Tabla 7.10 Valores promedios de las constantes de reacción para distintos contaminantes.

Parámetro contaminante	Valores promedios
K_{DBO}	81.8±13 m/año
K_{DQO}	60.8±12 m/año
K_{Nt}	11.8± 6m/año
K_{Pt}	6.9± 4m/año
$K_{E.COLI}$	125.9± 50m/año

Fuente: proyecto ASTEC-UNI-CIEMA

Para el diseño del sistema de tratamiento se tomaron en cuenta dos parámetros fundamentales (DBO_5 y E.coli) para el cálculo de la superficie utilizando la metodología de Kadlec y Knight.

$$S_{DBO5} = 511.40 \text{ m}^2$$

$$S_{E.coli} = 819.07 \text{ m}^2$$

La superficie total del sistema de humedales es la que corresponde al de mayor calculo, para este caso la $S_{E.coli} = 819.07 \text{ m}^2$.

El diseño consta de varias unidades de HAFSs, para las cuales la superficie total será dividida, así como el caudal de diseño.

Superficie unitaria (A_{SU}):

$$A_{SU} = S_{E.coli} / N \tag{Ecuación 7.40}$$

N: número de unidades

$$A_{SU} = 819.07\text{m}^2 / 4$$

$$A_{SU} = 204.76 \text{ m}^2$$

Caudal unitario (Q_U):

$$Q_U = Q_m / N \quad (\text{Ecuación 7.41})$$

$$Q_U = (52.79 \text{ m}^3/\text{d}) / 4$$

$$Q_U = 13.20 \text{ m}^3/\text{d}$$

7.9.3 Relación Largo – Ancho

Para el cálculo del ancho del humedal se considero la ley de Darcy para flujos en medios porosos.

$$A_C = \frac{Q}{K_S * S} \quad (\text{Ecuación 7.42})$$

$$A_C = (13.20 \text{ m}^3/\text{d}) / (0.01 \text{ m/s}) (0.01 \text{ m/m}) (86400\text{s/d})$$

$$A_C = 1.53$$

Donde:

A_C = Área vertical en m^2

Q = Caudal unitario en m^3/s

K_S = Conductividad Hidráulica en m/s

S = Pendiente m/m

Conductividad Hidráulica

La Conductividad Hidráulica del material filtrante (hormigón rojo) fue tomada de las investigaciones del proyecto ASTEC-UNI-CIEMA (1996), donde se reportan valores para los bancos de arena volcánica nicaragüense.

$$K_S = 10^{-2} \text{ a } 10^{-3} \text{ m/s}$$

Con un diámetro de partícula (ϕ) = inferior a 1cm en el 40% a 50% del total del material, con porosidad entre 45% y 60%.

La conductividad hidráulica utilizada para el diseño del HAFSs es igual a $K_S = 10^{-2}$, se recomienda diseñar con el menor valor de conductividad hidráulica, para evitar problemas de atascamiento por acumulación de lodos y raíces (Delgadillo et al, 2010).

Pendiente

La pendiente (S) en el diseño del sistema de humedales artificiales, es del orden del 1% en la dirección entrada-salida.

$$S = 0.01 \text{ m/m}$$

Calculo del ancho del Humedal

El ancho del humedal (m) se determinará en función del área vertical y la profundidad del nivel del agua a tratar.

$$W = \frac{A_C}{h} \quad (\text{Ecuación 7.43})$$

$$W = 1.53 \text{ m}^2 / 0.7 \text{ m}$$

$$W = 2.19 \text{ m}$$

Corrigiendo el valor de W para facilitar la construcción

$$W = 3 \text{ m}$$

El largo del humedal se calculará con la siguiente ecuación:

$$L = \frac{A_{SU}}{W} \quad (\text{Ecuación 7.44})$$

$$L = 204.76 \text{ m}^2 / 3 \text{ m}$$

$$L = 68.25 \text{ m}$$

Donde:

A_s : Área superficial del Humedal en m^2

W: Ancho del Humedal en m

Se recomienda que la longitud de la celda del humedal no exceda los 50 metros, por lo que se rediseñaron los valores de W y L, de tal forma que se cumpla esa condición.

$$W = 7 \text{ m}$$

$$L = 30 \text{ m}$$

Luego se deberá calcular la relación Largo – Ancho, cuanto mayor sea la relación mejor será la depuración que se llevara a cabo en el Humedal, pero existirá mayor riesgo de crear cortocircuitos, presencia de agua sobre el lecho.

Distintos autores recomiendan una relación de 2 a 1; 3 a 1 y 4 a 1.

Relación Largo-Ancho = 4.28

7.9.4 Tiempo de retención (t_r)

El tiempo de retención depende principalmente del tipo de contaminante a remover. Cuando se diseña para remover materia orgánica, puede ser suficiente un día de retención, mientras que para la remoción de *E.Coli* se requiere de un mínimo de 5 días.

El cálculo del tiempo de retención se realiza por medio de la ecuación:

$$t_r = V_{\text{util}} / Q = L * W * h * \eta / Q_U \quad (\text{Ecuación 7.45})$$

$$t_r = (30\text{m}) (7\text{m}) (0.7\text{m}) (0.50) / 13.20 \text{ m}^3/\text{d}$$

$$t_r = 5.57 \text{ días}$$

7.9.5 Profundidad del HAFSs

La Profundidad de los HAFSs, oscilan entre 0.6m a 0.8m Según Delgadillo et al. (2010), y para García y Corzo (2008) debe de ser de al menos 0.3m y La EPA (2007) recomienda de 18 a 24 pulgadas de lecho filtrante (0.4m a 0.6m).

La altura de la lamina de agua debe de estar por debajo de la superficie del humedal fluyendo de manera subterránea de 2.5 cm a 4cm según la EPA (2007), esto es logrado por una tubería de salida flexible colocada en una recamara de registro, que permite ajustar el nivel del agua contenida en el HAFSs.

7.9.6 Sustrato.

El lecho Filtrante estará constituido de material granular de 5 a 6 mm de diámetro, si se utiliza partículas con diámetros muy grandes provocaría que el flujo sea más veloz y de manera turbulenta anulando las condiciones para que la ley de Darcy se cumpla. En la entrada del flujo de alimentación y a la salida del HAFSs se dispondrá de una franja de material con un diámetro mayor (50mm a 100) mm para que este prevenga la colmatación.

7.9.7 Alimentación y Drenaje

El agua residual será distribuida por medio de una tubería perforada con un diámetro de 4 pulgadas a lo ancho del comienzo del HAFSs.

El drenaje del Humedal se dará por medio de una tubería perforada de 4 pulgadas, esta atravesara de lado a lado el ancho, en la última parte del HAFSs (ver figura 7.17).

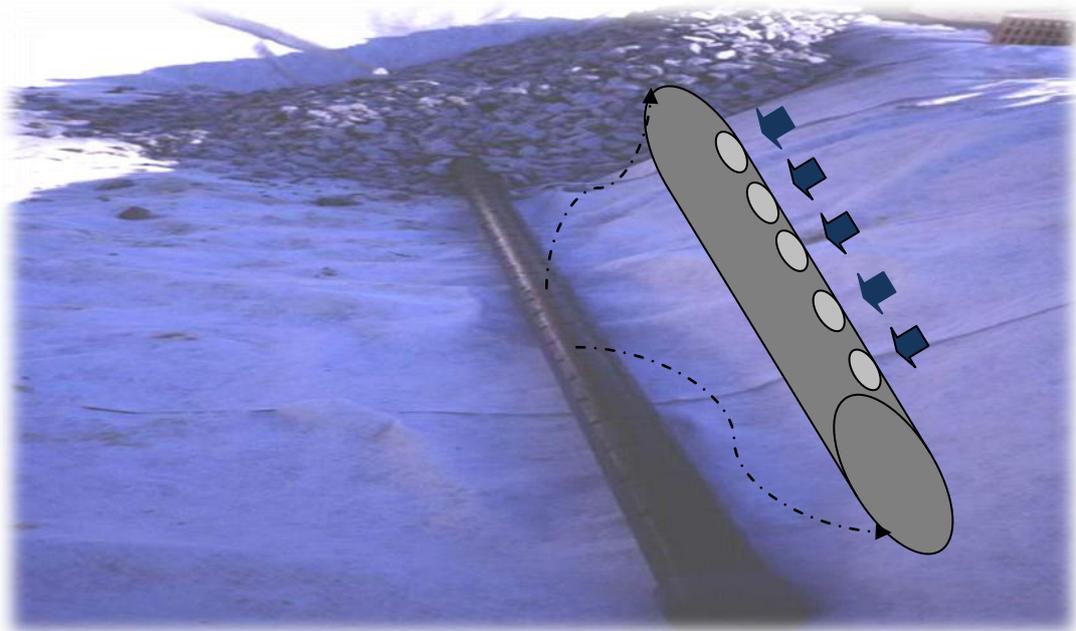


Figura7.17 Distribución del drenaje en un HAFSs

Fuente: García y Corzo

7.9.8 Balance de contaminantes

El balance de contaminantes a lo largo del tren de tratamiento se presenta en la tabla 7.11 y las remociones que se esperan en el sistema de HAFSS se detallan en la tabla 7.12

Tabla 7.11 Balance de contaminantes en el sistema de tratamiento

Parámetros	Promedio de agua gris cruda	Efluente del tratamiento primario	Efluente del tratamiento secundario	Unidades
SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES	309,02	216,31	80,00	mg.l-1
DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO	439,73	307,81	30,00	mg.l-1
DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO	653,17	457,22	180,00	mg.l-1
NITRÓGENO TOTAL	16,81	11,77	5,00	mg.l-1
FÓSFORO TOTAL	5,78	4,04	4,00	mg.l-1
<i>Escherichia coli</i>	1,90E+05	1,90E+05	1.00E+03	NMP/100 ml

Tabla 7.12 Porcentajes de remoción de contaminantes a través del sistema de tratamiento.

Parámetros	% de Remoción Tratamiento Primario	% de Remoción Tratamiento Secundario	Unidades
SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES	30,00	86,13	mg.l-1
DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO	30,00	90,25	mg.l-1
DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO	30,00	78,13	mg.l-1
NITRÓGENO TOTAL	30,00	57,52	mg.l-1

Diseño de un sistema de Humedal artificial de flujo sub-superficial para la depuración de aguas residuales grises.

FÓSFORO TOTAL	30,00	1,08	mg.l-1
<i>Escherichia coli</i>	0,00	99,47	NMP/100 ml

VIII. CONCLUSIONES

8.1 Conclusiones

- La ciudad de Buenos Aires, Rivas posee en la parte sur(Barrio Omar Varela), predios de terrenos con pendientes uniformes, lo que los convierte en sitios idóneos para el emplazamiento de los sistemas de Humedales Artificiales de Flujo Subsuperficial.
- Las estimaciones de caudales de aguas residuales grises resultaron ser mayores a las que realmente podrían esperarse, esto debido a los factores de seguridad que recomiendan las Guías técnicas de INAA, (2002), para la construcción de sistemas de tratamiento.
- Las aguas grises de la ciudad de Buenos Aires fueron analizadas, encontrando concentraciones altas de contaminantes físicos químicos y bacteriológicos.
- La relación DQO/DBO (1.49) para las aguas grises de la ciudad, indica una alta biodegradabilidad, lo que significa que puede ser fácilmente depurada por medio de tratamientos biológicos como los sistemas de HAFSSs.
- Existen altas concentraciones de indicadores de contaminación fecal (Coliformes Totales, Coliformes Termo tolerantes, *Escherichia coli*) en las aguas grises de Buenos Aires, lo que expone un gran riesgo para los pobladores, si no se les da una adecuada disposición.

IX. RECOMENDACIONES

9.1 Recomendaciones

- Determinar en campo el caudal de aguas grises que desechan los pobladores del barrio Omar Varela, para evitar el sobredimensionamiento del sistema de tratamiento.
- Utilizar el efluente de los sistemas de HAFSs para la irrigación de cultivos de la zona por ejemplo Musáceas, Caña de azúcar.
- Dotar de un tamiz para el fregadero de las cocinas, y así evitar la entrada de restos sólidos de alimentos al sistema de tratamiento.
- Considerar la adecuada disposición de los Lodos extraídos de las fosas sépticas, así como una adecuada caracterización.
- Monitorear la evolución del sistema en cuanto a remoción de contaminantes se refiere del sistema de HAFSs por el periodo de un año completo.

X. NOMENCLATURA

mg l ⁻¹ :	Miligramo por cada litro
NMP:	Número más probable
m:	Metro
T°C:	Temperatura Grado Celsius
ls-1:	Litro por segundo
m ³ d ⁻¹ :	Metro Cúbico por día
cm:	Centímetros
gl:	Galones
μS.cm ⁻¹	Micro siemens por centímetro
ml:	Mililitros
hab:	Habitantes
mg O ₂ l ⁻¹ :	Miligramo de oxígeno por cada litro
g de DBO/m ² .día	Gramos de DBO por día

XI. BIBLIOGRAFIA.

1. APHA-AWWA-WEF, (2005), *Standard methods for the examination of water wastewater*. 21th Edition. Washington, EUA.
2. Amoozegar A., Warren S., Niewoehner C., Robarge W., Hoover M., Hesterberg D., Rubin R., (2004) *Effect of Greywater on soil Hydraulic Properties*, On-Site Wastewater Treatment X Conference proceedings ASAE Publications, California, EUA.
3. Arias, O. (2004), *Estudio de la biodegradación de la materia orgánica en humedales contruidos de flujo subsuperficial*. Universitat Politècnica de Catalunya. Departament d'Enginyeria Hidràulica, Marítima i Ambiental. Tesina, Barcelona, España.
4. Avendaño R., Linares A., Garzon E., Martinez G., Coronado M., Cordero C., (2006), *Water Supply and Sanitation Investment Program*, Inter-American Invest Bank, Nicaragua.
5. Birks R., Hills S., (2007), *Characterisation of Indicator Organisms and Pathogens in Domestic Greywater for Recycling*, Environ Monit Assess Journal, volume 129, United Kingdom.
6. Carballo D., Matus M., Betancourt M., Ruiz C., (2005), *Manejo de pasto I*, Universidad Nacional Agraria, Nicaragua.
7. Chaillou K., Gerente C., Andres Y., Wolbert D., (2011), *Bathroom Greywater Characterization and Potential Treatments for Reuse*, Water Air Soil Pollut Journal, volume 215, France.
8. Crites R., Tchobanoglous G., (2000), *Tratamiento de Aguas Residuales en Pequeñas Poblaciones*, Mac Graw Hill, Colombia
9. Delgadillo O., Camacho A., Pérez L., (2010) Mauricio Andrade. *Depuración de aguas residuales por medio de humedales artificiales*, Centro Andino para la Gestión y Uso del Agua, Bolivia.
10. Dirección de Hidrogeología INETER, (2009), *Estudio Caracterización Hidrogeológica e Isotópica del Lago de Nicaragua*, Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales/ Organismo Internacional de Energía Atómica, Managua, Nicaragua.

11. Esteller M. V., (2002), *Vulnerabilidad de acuíferos frente al uso de aguas residuales y lodos en agricultura*, Revista Latino-Americana de Hidrogeología.
12. Finley S., Barrington S., Lyew D., (2009) *Reuse of Domestic Greywater for the Irrigation of Food Crops*, Water Air Soil Pollut Journal, volume 199, Quebec, Canada.
13. Frazier S., (1999), *Visión General de los Sitios Ramsar*, Wetlands International.
14. García Serrano J., Corzo Hernández A., (2008), *Guía práctica de diseño, construcción y explotación de sistemas de humedales de flujo subsuperficial*, Universidad Politécnica de Catalunya, España.
15. I.H. Farroqui, Farrukh Basheer, Rahat Jahan, (2008) *Constructed wetlands system for wastewater treatment*, .12th world lake conference, Canada.
16. Jamrah A., Al-Futaisi A., Prathapar S., Al Harrasi A., (2008), *Evaluating greywater reuse potential for sustainable water resources management* Oman, Environ Monit Assess Journal, volume 137, Oman.
17. Kopec D. A., (2007), *Guidance document for small sub surface flow constructed wetlands with soli dispersal system*, Division of Surface Water, Environmental Protection Agency (EPA,), Ohio, EUA.
18. La Gaceta Diario Oficial, Decreto No. 33-95 (1996), *Disposiciones para el Control de la Contaminación Proveniente de las Descargas de Aguas Residuales Domésticas, industriales y Agropecuarias*. Managua, Nicaragua.
19. Lara Borrero Jaime Andrés., (1999), *Depuración de Aguas Residuales Municipales con Humedales Artificiales*, Trabajo Final de Maestría Universidad Politécnica de Barcelona, España.
20. Llorens M., Esteve M., Martínez C., (2003), *Los recursos naturales de la región de Murcia, un análisis interdisciplinar*, Universidad de Murcia, España.
21. Metcalf y Eddy, (1991), *Wastewater Engineering*, Third edition, McGraw-Hill, EUA.
22. O'Connor G., Elliott H., Bastian R., (2008), *Degraded Water Reuse: An Overview*, Journal of Environmental Quality , volume 37, EUA.

23. Platzer M., Cáceres V., Fong N., et al. 2002, Investigaciones y experiencias con biofiltros en Nicaragua, XXVII Congreso Interamericano de ingeniería sanitaria y ambiental, Cancún México.
24. Ronald L. Droste., (1997), *Theory and Practice of Water and Wastewater Treatment*, John Wiley and Sons, Inc. Canada.
25. Salas Rodríguez J., Pidre Bocado J., Sánchez Fernández L., (2007), *Manual de Tecnologías no Convencionales Para la Depuración de Aguas Residuales*, Centro de las Nuevas Tecnologías del Agua (CENTA), Andalucía, España
26. Vymazal Jan, (2005), *Constructed wetlands for waste water treatment*, open acces water journal, Basilea, Suiza.

XII. ANEXOS

Anexo 1

Especificaciones de rejillas de limpieza manual

Tabla A.1 Información típica para el diseño de rejillas de barras.

Limpieza manual	
Sección recta de la barra:	
Anchura(mm)	5,0 - 15,0
Profundidad(mm)	25,0 - 37,5
Separación entre barras(mm)	15,0 - 50,0
Angulo con la vertical (grados)	30,0 - 45,0
Velocidad de aproximacion(m/s)	0,30 - 0,60
Perdida de carga admisible (m)	0.15

Tabla A.2 Valores de β Kirschmer para el cálculo de perdidas en rejillas.

Tipo de barras:	B
Rectangular con aristas vivas	2.42
Rectangular con la cara aguas arriba semicircular	1.83
rectangular con las caras aguas arriba y abajo semicircular	1.67
Circular	1.79

Fuente: Guías técnicas para el diseño de alcantarillado sanitario y sistemas de tratamiento de aguas residuales. Instituto Nicaragüense de acueductos y alcantarillados Ente Regulador (INAA, 2004)

Anexo 2

MATERIALES.

Toma de muestras:

1 Termo con Hielo

Balde de 10 Litros

Probeta de 500 ml

Beaker de 1000 ml

Mecates

Recipientes plásticos y de vidrio color ambar.

H₂SO₄ Concentrado

Goteros.

Pizeta con agua destilada

Cinta métrica

Reactivos

H₂SO₄ Concentrado

Equipos

pH metro

Conductivímetro

Sistema de Posicionamiento Global (GPS)

Anexo 3

Artículo 22 del decreto 33 – 95 de las descargas de aguas residuales provenientes de los sistemas de tratamiento de los alcantarillados a cuerpos receptores.

Los límites máximos permisibles de coliformes fecales medidos como número más probable no deberá exceder de 1000 por cada 100 % en el 80 % ; de una serie de muestras consecutivas y en ningún caso superior a 5000 por cada 100 ml.

Anexo 4

Artículo 23 del decreto 33 – 95 de las descargas de aguas residuales provenientes de los sistemas de tratamiento de los alcantarillados a cuerpos receptores.

Los parámetros de calidad de vertido luido provenientes de los Sistemas de tratamientos de los alcantarillados que sean descargados directa o indirectamente a los cuerpos receptores, deberán cumplir en los rangos y límites máximos permisibles expresados a continuación:

Parámetros	Rangos y límites máximos permisibles promedio diario	
	< 75 000 hab	> 75 000 hab
Población	< 75 000 hab	> 75 000 hab
pH	6 – 9	6 – 9
Sólidos Suspendidos Totales (mg ^l ⁻¹)	100	80
Grasas y Aceites (mg ^l ⁻¹)	20	10

Diseño de un sistema de Humedal artificial de flujo sub-superficial para la depuración de aguas residuales grises.

Sólidos Sedimentables (ml^{-1})	1.0	1.0
DBO (mg^{-1})	110	90
DQO (mg^{-1})	220	180
Sustancias activas al azul de metileno (mg^{-1})	3	3

Anexo 5

Rango de concentraciones umbrales en HAFSs

Tabla A.3 Valores comunes de concentraciones umbrales.

Parámetro	Concentración Umbral
Sólidos en Suspensión.	1 a 6 mg/L
DBO 5.	1 a 10 mg/L
N total	< 1,5 mg/L
P total.	<0,1 mg/L
Coliformes totales	< 100 UFC/ 100ml

Fuente: Manual de Tecnologías no Convencionales Para la Depuración de Aguas Residuales, CENTA (2007)

Anexo 6

Ubicación Satelital del Sistema de HAFSSs.



Diseño de un sistema de Humedal artificial de flujo sub-superficial para la depuración de aguas residuales grises.

Anexo 7

Certificación de los análisis de laboratorio del CIRA.

2011 - AR - 576



Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua
Centro para la Investigación en Recursos Acuáticos de Nicaragua
 Hospital Monte España 300 metros al lago, Teléfonos (505) 2278 6981, 2278 6767, 2278 6982
 Telefax (505) 2267-8169, apartado postal 4598, correo: ventas.servicios@cira-unan.edu.ni



Resultados Analíticos Físico Químicos

CLIENTE

ALCALDIA BUENOS AIRES/ CIRA-UNAN
 Buenos Aires, Rivas

MATRIZ DE LA MUESTRA FUENTE

IDENTIFICACIÓN PROPORCIONADA POR EL CLIENTE
 LUGAR Y/O COMUNIDAD
 MUNICIPIO, DEPARTAMENTO
 COORDENADAS

AGUA RESIDUAL

Agua Residual Doméstica
 (Aguas Grises)
 Entrada a Biojardinería 1
 Buenos Aires
 Buenos Aires, Rivas
 N: 1268111 ; E: 629354

FECHA DE MUESTREO
 HORA DE MUESTREO
 TIPO DE MUESTREO

2011-10-05
 07 h 33 a 15 h 33
 Compuesto 8 horas

CÓDIGO DEL LABORATORIO
 FECHA DE RECEPCIÓN
 FECHA DE INICIO DEL ANÁLISIS
 FECHA DEL REPORTE

AR-576
 2011-10-05
 2011-10-06
 2011-10-26

Parámetros	Método	Límite de Detección	Rango de Detección	Resultados	Unidades
pH	4500.H.B ¹		0,10 a 14,00	7,67	Unds. de pH
CONDUCTIVIDAD	4510.B ¹		0,01 a 2 000 000	906,00	µS.cm ⁻¹
SÓLIDOS DISUELTOS TOTALES	2540.C ¹		Hasta 20 000,00	637,00	mg.l ⁻¹
SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES	2540.D ¹		Hasta 20 000,00	231,25	mg.l ⁻¹
SÓLIDOS SEDIMENTABLES	2540.F ¹		0,1 a 1 000	3,5	ml.l ⁻¹
ACEITES Y GRASAS	5520.B ¹			126,21	mg.l ⁻¹
DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO	5210 ¹	1,00		515,99	mg.l ⁻¹
DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO	5220.C ¹	10,00		601,31	mg.l ⁻¹
NITRÓGENO TOTAL	Kjeldhal ²	1,00		16,62	mg.l ⁻¹
FÓSFORO TOTAL	4500.P.B.C ¹	0,25		6,86	mg.l ⁻¹
SUSTANCIAS ACTIVAS AL AZUL DE METILENO ³	5540.C ¹	0,010		54,480	mg.l ⁻¹ de LAS

¹(Surfactantes Aniónicos)

Calculado como LAS: Linear alkylbenzene sulfonate

Peso molecular: 320 g mol⁻¹

Nota: Datos de Campo de anexo adjunto

Referencias:

¹ American Public Health Association (APHA). (2005). *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. 21st Ed. Washington: APHA.

² CETESB (Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental). (1977). *Análisis Físico Químico para Controle de Estacoes de Esgoto*. Brasil

MSc. Maria Rivas Navarrete
 Especialista-Analista

Ing. Felipe Mendoza Arriaza
 Jefe Lab. Aguas Residuales

DECLARACIÓN DEL ASEGURAMIENTO Y CONTROL DE LA CALIDAD ANALÍTICA EN ESTE REPORTE DE RESULTADOS

En función de las previsiones contenidas en la Norma Técnica Nicaragüense (NTN 04 001-05), el Laboratorio de Aguas Residuales hace constar que la muestra de agua residual codificada con el N° AR-576 fue captada, preservada y transportada a este laboratorio por el personal tecnico del centro. Ha sido procesada de acuerdo a los Procedimientos Operativos Normalizados establecidos por el Laboratorio para el Aseguramiento de la Calidad de la información presentada en este reporte. Los Procedimientos en mención son los descritos en el "Manual de Procedimientos Operativos Normalizados del Laboratorio de Aguas Residuales".

Conservamos los resultados cualitativos y cuantitativos relevantes al procesamiento de la muestra que se encuentran en el tomo correspondiente al análisis solicitado en la bitácora general del laboratorio. Así mismo copia de estos registros los mantendrá la Institucion por un tiempo de 5 años.



ÁREA ANALÍTICA

Los resultados emitidos en éste informe se refieren únicamente al objeto ensayado. El cliente está en libertad de reproducir total o parcialmente los resultados aquí anotados, bajo su propio nombre y responsabilidad. Podrá citar el Centro bajo expresa y formal autorización de su Director. Por su parte, el CIRA/UNAN se compromete a mantener confidencialidad del contenido de este informe de resultados, salvo expreso y formal consentimiento del cliente.

Managua, a los veintiséis días del mes de Octubre del año dos mil once.

Área Técnica, Aseguramiento y Control de la Calidad
 Y CONTROL DE LA CALIDAD

Diseño de un sistema de Humedal artificial de flujo sub-superficial para la depuración de aguas residuales grises.

2011 - AR - 581



Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua
Centro para la Investigación en Recursos Acuáticos de Nicaragua
 Hospital Monte España 300 metros al lago, Teléfonos (505) 2278 6981, 2278 6767, 2278 6982
 Telefax (505) 2267-8169, apartado postal 4598, correo: ventas.servicios@cira-unan.edu.ni



Resultados Analíticos Físico Químicos

CLIENTE

ALCALDIA BUENOS AIRES/ CIRA-UNAN
 Buenos Aires, Rivas

MATRIZ DE LA MUESTRA	AGUA RESIDUAL
FUENTE	Agua Residual Domestica (Aguas Grises)
IDENTIFICACION PROPORCIONADA POR EL CLIENTE	Entrada a Biojardineria 2
LUGAR Y/O COMUNIDAD	Buenos Aires
MUNICIPIO, DEPARTAMENTO	Buenos Aires, Rivas
COORDENADAS	No Reportadas
FECHA DE MUESTREO	2011-10-06
HORA DE MUESTREO	07 h 05 a 15 h 05
TIPO DE MUESTREO	Compuesto 8 horas
CÓDIGO DEL LABORATORIO	AR-581
FECHA DE RECEPCIÓN	2011-10-06
FECHA DE INICIO DEL ANÁLISIS	2011-10-07
FECHA DEL REPORTE	2011-10-26

DECLARACIÓN DEL ASEGURAMIENTO Y CONTROL DE LA CALIDAD ANALÍTICA EN ESTE REPORTE DE RESULTADOS

En función de las previsiones contenidas en la Norma Técnica Nicaragüense (NTN 04 001-05), el Laboratorio de Aguas Residuales hace constar que la muestra de agua residual codificada con el N° AR-581 fue capturada, preservada y transportada a este laboratorio por el personal técnico del centro. Ha sido procesada de acuerdo a los Procedimientos Operativos Normalizados establecidos por el Laboratorio para el Aseguramiento de la Calidad de la información presentada en este reporte. Los Procedimientos en mención son los descritos en el "Manual de Procedimientos Operativos Normalizados del Laboratorio de Aguas Residuales".

Conservamos los resultados cualitativos y cuantitativos relevantes al procesamiento de la muestra que se encuentran en el tomo correspondiente al análisis solicitado en la bitácora general del laboratorio. Así mismo copia de estos registros los mantendrá la Institución por un tiempo de 5 años.



ÁREA ANALÍTICA

[Firma]
ÁREA ANALÍTICA

Los resultados emitidos en éste informe se refieren únicamente al objeto ensayado. El cliente está en libertad de reproducir total o parcialmente los resultados aquí anotados, bajo su propio nombre y responsabilidad. Podrá citar el Centro bajo expresa y formal autorización de su Director. Por su parte, el CIRA/UNAN se compromete a mantener confidencialidad del contenido de este informe de resultados, salvo expreso y formal consentimiento del cliente.

Managua, a los veintiséis días del mes de Octubre del año dos mil once.

ÁREA TÉCNICA, ASEGURAMIENTO Y CONTROL DE LA CALIDAD

Parámetros	Método	Límite de Detección	Rango de Detección	Resultados	Unidades
pH	4500.H.B ¹		0,10 a 14,00	7,49	Unds. de pH
CONDUCTIVIDAD	4510.B ¹		0,01 a 2 000 000	725,00	µS.cm ⁻¹
SÓLIDOS DISUELTOS TOTALES	2540.C ¹		Hasta 20 000,00	555,00	mg.l ⁻¹
SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES	2540.D ¹		Hasta 20 000,00	535,42	mg.l ⁻¹
SÓLIDOS SEDIMENTABLES	2540.F ¹		0,1 a 1 000	15,0	ml.l ⁻¹
ACEITES Y GRASAS	5520.B ¹			393,00	mg.l ⁻¹
DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO	5210 ¹	1,00		568,00	mg.l ⁻¹
DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO	5220.C ¹	10,00		988,99	mg.l ⁻¹
NITRÓGENO TOTAL	Kjeldhal ²	1,00		14,24	mg.l ⁻¹
FÓSFORO TOTAL	4500.P.B.C ¹	0,25		4,44	mg.l ⁻¹
SUSTANCIAS ACTIVAS AL AZUL DE METILENO*	5540.C ¹	0,010		27,400	mg.l ⁻¹ de LAS

*[Surfactantes Aniónicos]

Calculado como LAS: Linear alkylbenzene sulfonate

Peso molecular: 320 g.mol⁻¹

<i>[Firma]</i> MSc. Karla Rivas Navarrete Especialista-Analista	<i>[Firma]</i> Ing. Felipe Menjíez Arriza Jefe Lab. Aguas Residuales
---	--

Referencias:

¹ American Public Health Association (APHA). (2005). Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 21st. Ed. Washington: APHA.

² CETESS (Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental). (1977). Análisis Físico Químico para Control de Estacoes de Esgotos. Brasil

Diseño de un sistema de Humedal artificial de flujo sub-superficial para la depuración de aguas residuales grises.

2011 - AR - 582



Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua
Centro para la Investigación en Recursos Acuáticos de Nicaragua
 Hospital Monte España 300 metros al lago, Teléfonos (505) 2278 6981, 2278 6767, 2278 6982
 Telefax (505) 2267-8169, apartado postal 4598, correo: ventas.servicios@cira-unan.edu.ni



Resultados Analíticos Físico Químicos

CLIENTE

ALCALDIA BUENOS AIRES/ CIRA-UNAN
 Buenos Aires, Rivas

MATRIZ DE LA MUESTRA	AGUA RESIDUAL
FUENTE	Agua Residual Domestica (Aguas Grises)
IDENTIFICACIÓN PROPORCIONADA POR EL CLIENTE	Entrada a Biojardínera 3
LUGAR Y/O COMUNIDAD	Buenos Aires
MUNICIPIO, DEPARTAMENTO	Buenos Aires, Rivas
COORDENADAS	No Reportadas
FECHA DE MUESTREO	2011-10-06
HORA DE MUESTREO	07 h 00 a 15 h 00
TIPO DE MUESTREO	Compuesto 8 horas
CÓDIGO DEL LABORATORIO	AR-582
FECHA DE RECEPCIÓN	2011-10-07
FECHA DE INICIO DEL ANÁLISIS	2011-10-07
FECHA DEL REPORTE	2011-10-26

Parámetros	Método	Límite de Detección	Rango de Detección	Resultados	Unidades
pH	4500.H.B ¹		0,10 a 14,00	7,30	Unds. de pH
CONDUCTIVIDAD	4510.B ¹		0,01 a 2 000 000	713,00	µS.cm ⁻¹
SÓLIDOS DISUELTOS TOTALES	2540.C ¹		Hasta 20 000,00	552,00	mg.l ⁻¹
SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES	2540.D ¹		Hasta 20 000,00	160,38	mg.l ⁻¹
SÓLIDOS SEDIMENTABLES	2540.F ¹		0,1 a 1 000	1,5	ml.l ⁻¹
ACEITES Y GRASAS	5520.B ¹			107,66	mg.l ⁻¹
DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO	5210 ¹	1,00		235,20	mg.l ⁻¹
DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO	5220.C ¹	10,00		369,22	mg.l ⁻¹
NITRÓGENO TOTAL	Kjeldhal ²	1,00		19,58	mg.l ⁻¹
FÓSFORO TOTAL	4500.P.B.C ¹	0,25		6,03	mg.l ⁻¹
SUSTANCIAS ACTIVAS AL AZUL DE METILENO ³	6540.C ¹	0,010		24,640	mg.l ⁻¹ de LAS

¹(Surfactantes Aniónicos)
 Calculado como LAS: Linear alkylbenzene sulfonate
 Peso molecular: 320 g.mol⁻¹

 MSc. Karla Rivas Navarrete Especialista-Analista	 Ing. Felipe Mendoza Arriaza Jefe Lab. Aguas Residuales
---	---

Referencias:
¹ American Public Health Association (APHA), (2005). *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. 21st Ed. Washington: APHA.
² CETESB (Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental), (1977). *Análisis Físico Químico para Controle de Estações de Esgoto*. Brasil

DECLARACIÓN DEL ASEGURAMIENTO Y CONTROL DE LA CALIDAD ANALÍTICA EN ESTE REPORTE DE RESULTADOS

En función de las previsiones contenidas en la Norma Técnica Nicaragüense (NTN 04 001-05), el Laboratorio de Aguas Residuales hace constar que la muestra de agua residual codificada con el N° AR-582 fue capturada, preservada y transportada a este laboratorio por el personal tecnico del centro. Ha sido procesada de acuerdo a los Procedimientos Operativos Normalizados establecidos por el Laboratorio para el Aseguramiento de la Calidad de la información presentada en este reporte. Los Procedimientos en mención son los descritos en el "Manual de Procedimientos Operativos Normalizados del Laboratorio de Aguas Residuales".

Conservamos los resultados cualitativos y cuantitativos relevantes al procesamiento de la muestra que se encuentran en el tomo correspondiente al análisis solicitado en la bitácora general del laboratorio. Asi mismo copia de estos registros los mantendrá la Institución por un tiempo de 5 años.



ÁREA ANALÍTICA

ÁREA ANALÍTICA

Los resultados emitidos en éste informe se refieren únicamente al objeto ensayado. El cliente está en libertad de reproducir total o parcialmente los resultados aquí anotados, bajo su propio nombre y responsabilidad. Podrá citar el Centro bajo expresa y formal autorización de su Director. Por su parte, el CIRA/UNAN se compromete a mantener confidencialidad del contenido de este informe de resultados, salvo expreso y formal consentimiento del cliente.

Managua, a los veintiséis días del mes de Octubre del año dos mil once.

ÁREA TÉCNICA, ASEGURAMIENTO Y CONTROL DE LA CALIDAD

Diseño de un sistema de Humedal artificial de flujo sub-superficial para la depuración de aguas residuales grises.

2011-MB-705



Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua
Centro para la Investigación en Recursos Acuáticos de Nicaragua
 Hospital Monte España 300 metros al lago, Teléfonos (505) 2278 6981, 2278 6767, 2278 6982
 Telefax (505) 2267-8169, apartado postal 4596, correo: ventas.servicios@cira-unan-edu.ni



CLIENTE

ALCALDIA BUENOS AIRES/CIRA-UNAN
 Buenos Aires, Rivas

Resultados Analíticos de Microbiología

MATRIZ DE LA MUESTRA	Agua Residual
FUENTE	Doméstico
IDENTIFICACIÓN PROPORCIONADA POR EL CLIENTE	Entrada a Biojardinería
LUGAR Y/O COMUNIDAD	Buenos Aires
MUNICIPIO, DEPARTAMENTO	Buenos Aires, Rivas
COORDENADAS	No reportadas
FECHA DE MUESTREO	2011-10-05
HORA DE MUESTREO	10 h 35
CÓDIGO DEL LABORATORIO	MB-705
FECHA DE RECEPCIÓN	2011-10-05
FECHA DE INICIO DEL ANÁLISIS	2011-10-05
FECHA DEL REPORTE	2011-10-12

DECLARACIÓN DEL ASEGURAMIENTO Y CONTROL DE LA CALIDAD ANALÍTICA EN ESTE REPORTE DE RESULTADOS

En función de las previsiones contenidas en la Norma Técnica Nicaragüense (NTN 04 001-05), el Laboratorio de Microbiología hace constar que la muestra de agua residual codificada con el N° MB-705 fue captada, preservada y transportada a este laboratorio por el personal técnico del Centro. Ha sido procesada de acuerdo a los Procedimientos Operativos Normalizados establecidos por el Laboratorio para el Aseguramiento de la Calidad de la información presentada en este reporte. Los Procedimientos en mención son los descritos en el "Manual de Procedimientos Operativos Normalizados del Laboratorio de Microbiología".

Conservamos los resultados cualitativos y cuantitativos relevantes al procesamiento de la muestra que se encuentran en el tomo correspondiente al análisis solicitado en la bitácora general del laboratorio. Así mismo, copia de estos registros los mantendrá la institución por un tiempo de 5 años.



[Signature]
 AREA ANALÍTICA

AREA ANALÍTICA

Los resultados emitidos en este informe se refieren únicamente al objeto ensayado. El cliente está en libertad de reproducir total o parcialmente los resultados aquí anotados, bajo su propio nombre y responsabilidad. Podrá citar el Centro bajo expresa y formal autorización de su Director. Por su parte, el CIRA/UNAN se compromete a mantener confidencialidad del contenido de este informe de resultados, salvo expreso y formal consentimiento del cliente.

Detos de Campo:

pH: 7,81 Unidades de pH
 Temperature: 29,2°C
 Conductividad: 843µS.cm⁻¹

Observaciones:

Coliformes termotolerantes: Coliformes fecales (denominación anterior)

Clave:

NMP/100 ml: Número más Probable en cien mililitros de muestra analizada.

Referencias:

¹ American Public Health Association (APHA). (2005) Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater 21st Ed. Washington: APHA.

Lic. Helen García Ponce
 Especialista - Analista

Lic. Carmen Chacón Mayora
 Jefe Lab. Microbiología

Managua, a los doce días del mes de octubre del año 2011

[Signature]
 AREA TÉCNICA, ASEGURAMIENTO Y CONTROL DE LA CALIDAD
 CIRA/UNAN

Diseño de un sistema de Humedal artificial de flujo sub-superficial para la depuración de aguas residuales grises.

2011-MB-710



Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua
Centro para la Investigación en Recursos Acuáticos de Nicaragua
 Hospital Monte España 300 metros al lago, Teléfonos (505) 2278 6981, 2278 6767, 2278 6982
 Telefax (505) 2267-8166, apartado postal 4598, correo: ventas.servicios@cira-unan-edu.ni



Resultados Analíticos de Microbiología

CLIENTE

ALCALDÍA BUENOS AIRES / CIRA-UNAN
 Buenos Aires, Rivas

MATRIZ DE LA MUESTRA	Agua Residual
FUENTE	Agua Residual doméstica
IDENTIFICACIÓN PROPORCIONADA POR EL CLIENTE	Entrada a Biojardinería 3
LUGAR Y/O COMUNIDAD	Buenos Aires
MUNICIPIO, DEPARTAMENTO	Buenos Aires, Rivas
COORDENADAS	No reportadas
FECHA DE MUESTREO	2011-10-06
HORA DE MUESTREO	14 h 30
CÓDIGO DEL LABORATORIO	MB-710
FECHA DE RECEPCIÓN	2011-10-06
FECHA DE INICIO DEL ANÁLISIS	2011-10-06
FECHA DEL REPORTE	2011-10-17

DECLARACIÓN DEL ASEGURAMIENTO Y CONTROL DE LA CALIDAD ANALÍTICA EN ESTE REPORTE DE RESULTADOS

En función de las previsiones contenidas en la Norma Técnica Nicaragüense (NTN 04 001-05), el Laboratorio de Microbiología hace constar que la muestra de agua residual codificada con el N° MB-710 fue captada, preservada y transportada a este laboratorio por el personal técnico del centro. Ha sido procesada de acuerdo a los Procedimientos Operativos Normalizados establecidos por el Laboratorio para el Aseguramiento de la Calidad de la información presentada en este reporte. Los Procedimientos en mención son los descritos en el "Manual de Procedimientos Operativos Normalizados del Laboratorio de Microbiología".

Conservamos los resultados cualitativos y cuantitativos relevantes al procesamiento de la muestra que se encuentran en el tomo correspondiente al análisis solicitado en la bitácora general del laboratorio. Así mismo, copia de estos registros los mantendrá la institución por un tiempo de 5 años.

Parámetros	Método	Límite de Detección	Resultados	Unidades
COLIFORMES TOTALES	9221 B ¹	< 1.8	1.10E+07	NMP/100 ml
COLIFORMES TERMOTOLERANTES	9221 E ¹	< 1.8	3.30E+05	NMP/100 ml
<i>Escheichia coli</i>	9221 F ¹	< 1.8	3.30E+05	NMP/100 ml



[Firma]
 ÁREA ANALÍTICA

<i>[Firma]</i> Lic. María Luisa Talavera López Especialista - Analista	<i>[Firma]</i> Lic. Carmelo Chacón Mayorga Jefe Lab. Microbiología
--	--

Los resultados emitidos en éste informe se refieren únicamente al objeto ensayado. El cliente está en libertad de reproducir total o parcialmente los resultados aquí anotados, bajo su propio nombre y responsabilidad. Podrá citar el Centro bajo expresa y formal autorización de su Director. Por su parte, el CIRA/UNAN se compromete a mantener confidencialidad del contenido de este informe de resultados, salvo expreso y formal consentimiento del cliente.

Observaciones:
 Coliformes termotolerantes: Coliformes fecales (denominación anterior)

Clave:
 NMP/100 ml: Número más Probable en cien mililitros de muestra analizada.

Referencias:
¹ American Public Health Association (APHA). (2005) Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 21st Ed. Washington, APHA.

Managua, a los diecisiete días del mes de octubre del año 2011.

[Firma]
 Área Técnica, Aseguramiento y Control de la Calidad
 CIRA/UNAN

Diseño de un sistema de Humedal artificial de flujo sub-superficial para la depuración de aguas residuales grises.

2011-MB-711



Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua
Centro para la Investigación en Recursos Acuáticos de Nicaragua

Hospital Monte España 300 metros al lago, Teléfonos (505) 2278 6981, 2278 6767, 2278 6982
Telefax (505) 2267-8169, apartado postal 4598, correo: ventas.servicios@cira-unan.edu.ni



Resultados Analíticos de Microbiología

CLIENTE

ALCALDÍA BUENOS AIRES / CIRA-UNAN
Buenos Aires, Rivas

MATRIZ DE LA MUESTRA	Agua Residual
FUENTE	Agua Residual doméstica
IDENTIFICACIÓN PROPORCIONADA POR EL CLIENTE	Entrada a Biojardinería 2
LUGAR Y/O COMUNIDAD	Buenos Aires
MUNICIPIO, DEPARTAMENTO	Buenos Aires, Rivas
COORDENADAS	No reportadas
FECHA DE MUESTREO	2011-10-06
HORA DE MUESTREO	14 h 35
CÓDIGO DEL LABORATORIO	MB-711
FECHA DE RECEPCIÓN	2011-10-06
FECHA DE INICIO DEL ANÁLISIS	2011-10-06
FECHA DEL REPORTE	2011-10-17

DECLARACIÓN DEL ASEGURAMIENTO Y CONTROL DE LA CALIDAD ANALÍTICA EN ESTE REPORTE DE RESULTADOS

En función de las previsiones contenidas en la Norma Técnica Nicaragüense (NTN 04 001-05), el Laboratorio de Microbiología hace constar que la muestra de agua residual codificada con el N° MB-711 fue captada, preservada y transportada a este laboratorio por el personal técnico del centro. Ha sido procesada de acuerdo a los Procedimientos Operativos Normalizados establecidos por el Laboratorio para el Aseguramiento de la Calidad de la información presentada en este reporte. Los Procedimientos en mención son los descritos en el "Manual de Procedimientos Operativos Normalizados del Laboratorio de Microbiología".

Conservamos los resultados cualitativos y cuantitativos relevantes al procesamiento de la muestra que se encuentran en el tomo correspondiente al análisis solicitado en la bitácora general del laboratorio. Así mismo, copia de estos registros los mantendrá la institución por un tiempo de 5 años.



[Firma]
ÁREA ANALÍTICA

ÁREA ANALÍTICA

Los resultados emitidos en éste informe se refieren únicamente al objeto ensayado. El cliente está en libertad de reproducir total o parcialmente los resultados aquí anotados, bajo su propio nombre y responsabilidad. Podrá citar el Centro bajo expresa y formal autorización de su Director. Por su parte, el CIRA/UNAN se compromete a mantener confidencialidad del contenido de este informe de resultados, salvo expreso y formal consentimiento del cliente.

Lic. María Luisa Yalveza López
 Especialista - Analista

 Lic. Carmen Chacón Mejía
 Jefe Lab. Microbiología

Observaciones:

Coliformes termotolerantes: Coliformes fecales (denominación anterior)

Clave:

NMP/100 ml: Número más Probable en cien milímetros de muestra analizada.

Referencias:

¹ American Public Health Association (APHA). (2005) Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 21st Ed. Washington: APHA.

Managua, a los diecisiete días del mes de octubre de 2011.



[Firma]
ÁREA TÉCNICA, ASEGURAMIENTO Y CONTROL DE LA CALIDAD
CIRA/UNAN



Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua
Centro para la Investigación en Recursos Acuáticos
de Nicaragua



ANEXO: RESULTADOS DE MEDICIONES DE CAMPO EN PROYECTO ALCALDIA BUENOS AIRES / CIRA-UNAN

A petición de la parte interesada, el Laboratorio de Aguas Residuales presenta resultados de las mediciones de campo del punto identificado por el Cliente como "Entrada a Biojardinera 1" y "Salida de Biojardinera", con códigos del laboratorio: AR-576 y AR-577. Estas mediciones corresponden al muestreo compuesto de 8 horas realizado el día 5 de octubre del presente año.

Empresa: Proyecto Alcaldía Buenos Aires - CIRA/UNAN

Código del Laboratorio: AR-576

Punto de Muestreo: Entrada a Biojardinera 1

Fecha de Muestreo: 2011-10-05

Hora	pH	Conductividad	Temperatura
	Unidades de pH	$\mu\text{S.cm}^{-1}$	$^{\circ}\text{C}$
07 h 33	9,12	814	28,5
08 h 33	7,40	881	28,4
09 h 33	8,21	878	28,8
10 h 33	8,29	845	29,1
11 h 33	7,87	835	29,3
12 h 33	7,82	791	30,0
13 h 03	7,87	818	30,0
13 h 33	7,32	801	31,2
14 h 03	7,36	817	31,0
14 h 33	7,88	826	30,5
15 h 03	7,76	803	30,6
15 h 33	7,80	810	30,5

Página 1 de 2

Apartado Postal 4598, Managua Nicaragua
Teléfonos ++(505) 2278 6981, 2278 6982, 2278 6767, 2267 8211. Telecopiador ++ (505) 2267 8169
correo electrónico: ventas.servicios@cira-unan.edu.ni

Diseño de un sistema de Humedal artificial de flujo sub-superficial para la depuración de aguas residuales grises.



Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua
Centro para la Investigación en Recursos Acuáticos
de Nicaragua



Empresa: Proyecto Alcaldía Buenos Aires - CIRA/UNAN

Código del Laboratorio: AR-577

Punto de Muestreo: Salida de Biojardinera

Fecha de Muestreo: 2011-10-05

Hora	pH	Conductividad	Temperatura
	Unidades de pH	$\mu\text{S.cm}^{-1}$	$^{\circ}\text{C}$
07 h 30	6,29	890	28,2
08 h 30	6,98	890	28,3
09 h 30	8,14	891	28,4
10 h 30	7,78	878	28,6
11 h 30	7,66	878	28,6
12 h 30	7,58	881	30,4
13 h 00	7,58	878	29,9
13 h 30	7,66	877	30,3
14 h 00	7,07	880	31,2
14 h 30	7,58	880	31,6
15 h 00	7,42	882	31,8
15 h 30	7,47	880	31,5

Managua, a los veintiséis días del mes de Octubre del año dos mil once.

Msc. Karla Rivas Navarrete
Especialista - Analista



ÁREA ANALÍTICA

Ing. Felipe Mendoza Arriaza
Jefe Laboratorio de Aguas Residuales

Página 2 de 2

Apartado Postal 4598, Managua Nicaragua
Teléfonos ++(505) 2278 6981, 2278 6982, 2278 6767, 2267 8211. Telecopiador ++ (505) 2267 8169
correo electrónico: ventas.servicios@cira-unan.edu.ni