PREDISEÑO DE UN SISTEMA DE APROVECHAMIENTO DE AGUAS DE ESCORRENTÍA Y REUTILIZACIÓN DE AGUAS GRISES, PARA USOS NO POTABLES, EN LA UNIVERSIDAD EL BOSQUE.

Walter López Giraldo

UNIVERSIDAD EL BOSQUE

Facultad de Ingeniería Ambiental

Bogotá, 2004

UNIVERSIDAD EL BOSQUE

FACULTAD DE INGENIERÍA AMBIENTAL

PREDISEÑO DE UN SISTEMA DE APROVECHAMIENTO DE AGUAS DE ESCORRENTÍA Y REUTILIZACIÓN DE AGUAS GRISES, PARA USOS NO POTABLES EN LA UNIVERSIDAD EL BOSQUE.

Producción Más Limpia

Facultad de Ingeniería Ambiental

Investigación de Pregrado

Investigador
Walter Lopez Giraldo

Director del Proyecto
Ingeniero Fabio Díaz.

Nota de Salvedad de Responsabilidad Institucional

“La Universidad El Bosque, no se hace responsable de los conceptos emitidos por los investigadores en su trabajo, sólo velará por el rigor científico, metodológico y ético del mismo en aras de la búsqueda de la verdad y la justicia”

Agradecimientos

Expreso mis más sinceros agradecimientos a la Facultad de Ingeniería Ambiental y a la Universidad el Bosque por el soporte académico y de laboratorios y aquellos que con sus importantes y valiosos aportes, contribuyeron para lograr los objetivos propuestos en este proyecto.

Dedicatoria

“*A mi hijo Maxime y a mi esposa Marjorie por el apoyo emocional en los desolados días que soportaron en pro de la culminación de este proyecto, a mi familia belga y a mi familia manizaleña, por su afable confianza y soporte en la distancia*

Walter.

TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN 11
1 MARCO TEÓRICO 13
1.1 Disponibilidad y problemática del agua en el mundo. 13
1.1.1 Demanda de agua fresca y potable en el mundo 14
1.1.2 Disponibilidad de agua en Colombia 16
1.1.3 Demanda de agua actual en usos potables 17
1.2 Aguas Residuales 17
1.2.1 Residuos Líquidos Industriales (RLI) 18
1.2.2 Aguas Residuales Domésticas (ARD) 18
1.3 Aguas Grises 19
1.3.1 Aguas Grises Oscuras 19
1.3.2 Aguas Grises Claras 20
1.4 Producción de Aguas Grises 22
1.5 Calidad Físico - Química de las Aguas Grises 23
1.5.1 Demanda Bioquímica de Oxigeno (DBO_5). 23
1.5.2 Sólidos Suspendidos Totales (SST) 24
1.5.3 Turbidez 25
1.5.4 Nitrógeno total (NTK) 25
1.5.5 Fósforo Total (PT) 26
1.5.6 Calidad Microbiológica 27
1.5.7 Coliformes Totales (CT) 27
1.5.8 Echerichia coli (E coli) 28
1.6 Tratamiento de Aguas Grises 29
1.6.1 Bioreactores de Membrana (MBR) 30
1.6.2 Filtros Biológicos Aireados (BAF) 32
1.6.3 Osmosis Inversa 33
1.6.4 Filtros Lentos 34
1.6.5 Filtración Directa 38

1.6.6 Filtración Gruesa 39
1.6.7 Tratamiento a Través del Suelo 39
1.6.8 Almacenamiento de aguas grises 44
1.6.9 Desinfección de aguas grises 45
1.7 Reutilización de aguas grises 45
1.7.1 Riego de jardines con aguas grises 46
1.7.2 Riego localizado de alta frecuencia (RLAF) 47
1.8 Normas de Calidad del Agua para reciclar Aguas Grises 51
1.9 Aguas Lluvias 52
1.9.1 Precipitación en Colombia. 52
1.9.2 Captación de agua lluvia 52
1.10 Experiencias a Nivel Mundial de Reutilización de Aguas Grises y Aguas Lluvias53
1.10.1 Homebush Bay (Australia) 53
1.10.2 Darlinghurst (Australia) 54
1.10.3 Annecy (Francia) 54
1.10.4 El Millenium Dome en Inglaterra 55
1.10.5 Bogota (Colombia) 55
2 PROBLEMA 57
3 JUSTIFICACIÓN 58
4 OBJETIVO GENERAL 61
4.1 Objetivos específicos 61
5 MATERIALES Y MÉTODOS 62
5.1 Demanda de Agua Potable y usos potables y no potables 62
5.2 Producción de Aguas Grises. 63
5.3 Captación de Aguas de Escorrentía 64
5.4 Muestreo 66
5.4.1 Aguas de escorrentía 66
5.4.2 Aguas grises 66
5.4.3 Análisis Fisicoquímicos 66

5.4.4 Análisis Microbiológico 67
5.4.5 Esquematización y predimensionamiento del sistema de reutilización de aguas grises 68
5.4.6 Esquematización y predimensionamiento del sistema de aprovechamiento de aguas de escorrentía. 71
5.4.7 Localización 72
5.4.8 Costos del sistema de tratamiento 72
6 RESULTADOS 74
6.1 Consumo de agua 74
6.1.1 Clasificación de los usos del agua en la universidad 75
6.1.2 Precipitación en la universidad 77
6.1.3 Producción de aguas a reutilizar y requerimientos 77
6.2 Análisis Físico químico y microbiológico de las aguas grises y lluvias 79
6.3 Esquematización y predimensionamiento del sistema de reutilización 83
6.3.1 Aguas grises 83
6.3.2 Aguas de escorrentía 85
7 DISCUSIÓN 88
RECOMENDACIONES 90
CONCLUSIONES 91
REFERENCIAS
ANEXOS

El presente proyecto de grado se centró en conocer la demanda de agua potable de la Universidad el Bosque, su producción de aguas grises y capacidad de captación de aguas de escorrentía. Se partió del dato de una demanda estable de agua potable del año 2002 para determinar la producción de aguas grises claras. Se clasificaron los usos potables y no potables y los requerimientos de agua para satisfacer la demanda en usos no potables. Con el análisis de una tabla multianual de datos de precipitación mensual de la estación meteorológica Fundación los Andes y el dato del área total de techos de la universidad se determinó la capacidad de captación de escorrentía promedio diaria de la Universidad. Se hizo el análisis físico químico y microbiológico de los dos tipos de agua a reutilizar, resultando una calidad fiable para las aguas de escorrentía y calidad media para las aguas grises.

Con los caudales medios diarios obtenidos y la determinación de los parámetros indicadores de la calidad de las aguas a reutilizar, comparados con la norma EPA 1992, de reutilización de aguas y la guía RAS 2000 para sistemas de tratamiento de aguas residuales, se escogió la filtración lenta en arena como el tratamiento más adecuado para obtener un efluente seguro para usos no potables.

INTRODUCCIÓN

El agua es un elemento indispensable para las funciones vitales de los organismos en los ecosistemas, es sustentador de vida, y de ella en especial depende la vida misma del hombre, por ello, los usos socioeconómicos del agua, para el desarrollo de la humanidad en un territorio, deben estar acorde con la oferta de agua regional, local y los requerimientos ecosistémicos. Actualmente el acueducto de Bogotá hace transvases de agua de una cuenca a otra para satisfacer la demanda de agua potable de los habitantes de la ciudad, en ocasiones afectando el caudal ecológico de los ríos. La reutilización de las aguas grises y el aprovechamiento de aguas lluvias en entornos urbanos, son una alternativa para preservar el recurso agua, que no sólo beneficia a los ecosistemas al dejar más agua en los causes de los ríos, sino que también puede beneficiar económicamente a la institución que las reutilice. En la actualidad La Universidad el Bosque no cuenta con un sistema de reutilización de aguas grises y captación de aguas lluvias para usos no potables, la población universitaria ha venido creciendo con la apertura de nuevos programas, este crecimiento implica una mayor presión sobre el recurso agua, mayores costos económicos para la universidad y altos costos sociales para la población de Cundinamarca por la disminución del recurso. El sistema de aprovechamiento que se propone, a través de la reutilización del agua gris y aprovechamiento de aguas lluvias , se prevé como la solución a la presión sobre el recurso agua por la Universidad, al tratar las aguas grises y lluvias y emplearla en usos no potables, lo que al mediano y largo plazo involucraría un ahorro en los costos por el agua que se consume, proveniente del acueducto de Bogotá y el desarrollo de futuras edificaciones de la universidad, de una manera sostenible, teniendo en cuenta el recurso agua . El proyecto se encuentra enmarcado dentro de la producción más limpia con diseño ingenieril. El marco teórico de este documento, se constituye en un aporte al conocimiento nacional acerca de las aguas grises, en el momento poco desarrollado en el país, es una recopilación de información de artículos de destacadas revistas científicas en el área ambiental y de los aportes de eminentes investigadores en el tema.

El mecanismo de captar el agua lluvia y las aguas grises y tratarlas para dejar un efluente que se pueda reutilizar en usos no potables, es el reto de la investigación. El proyecto aportará elementos nuevos para la construcción de futuras estructuras físicas de la universidad y zonas de jardín en el área específica del agua, que se reflejarán en ahorros en agua potable y en reducción de aporte de contaminantes al río Bogotá. El proyecto le permitirá a la Universidad cumplir con su misión ambiental, siendo una institución más eficiente con respecto a su consumo histórico de agua potable y buena administradora de sus recursos, aduciendo a su lema *"Por una cultura de la vida su calidad y su sentido",* lo que le permitirá lograr un reconocimiento local y servir de modelo a otras instituciones privadas y publicas.

1 MARCO TEÓRICO

1.1 Disponibilidad y problemática del agua en el mundo.

"El agua es probablemente el único recurso natural que afecta a todos los aspectos de la civilización humana, desde el desarrollo de la industria y la agricultura hasta los valores culturales y religiosos arraigados en la sociedad". (Koichiro Matsuura, 2003)[1].

En la naturaleza, el agua, integra un ciclo dinámico a través de los fenómenos de precipitación, infiltración, escorrentía, evaporación y evapotranspiración, este ciclo hidrológico determina la disponibilidad del agua, cuya distribución en el planeta presenta variaciones espaciales y temporales, debido a procesos naturales que son susceptibles de ser alterados por las relaciones culturales, ecológicas, sociales y económicas del hombre.

En 2002 la revista *National Geographic*, edición del mes de Septiembre, publica un estudio de los porcentajes de disponibilidad de agua en el planeta referenciados así: El 2,5% del total del agua global está en forma de agua fresca dulce, de esta agua dulce, el 68,7% esta en glaciales, 30,1% en agua del subsuelo, 0,8% en el permafrost y 0,4% en agua superficial y atmosférica. Del agua superficial y atmosférica, el 67,4% pertenece a lagos de agua dulce, 12,2 % a la humedad de la tierra, 9.5% a la atmósfera, 8,5% a los humedales, 1.6% a los ríos y 0,8% a la biota.

Según Postel (1992), la distribución mundial del agua no es equitativa, mientras unos tienen acceso a ella, como Canadá, que dispone de 109.000 m^3 por habitante al año, en regiones como el Medio Oriente, 9 de 14 países cuentan con menos de 1.000 m^3 por habitante al año, lo que los coloca en la categoría de países que sufren de falta de agua; países como China, que posee el 20% de la población del mundo, sólo cuenta

[1] Frase de Koichiro Matsuura, director general de la UNESCO, citada por la ONU en su informe sobre el año mundial del agua. 2003.

con el 8% del agua dulce disponible a nivel mundial. El promedio anual de agua disponible por habitante en América Latina y el Caribe es según un artículo publicado por la revista *Señales (*2003) 28000 m^3, 14 veces más que el promedio mundial, dato estimado por el WWDR[2].

1.1.1 Demanda de agua fresca y potable en el mundo

No toda el agua del planeta se puede disponer para el consumo humano de manera sencilla y económica, la fuente de agua más valiosa para las sociedades antiguas y las presentes ha sido por tradición y adaptación el agua dulce, agua que la naturaleza ofrece en fuentes superficiales, ríos y lagos, de fácil acceso localmente, pero donde trasladar el agua de un punto A a un punto B, genera costos., incluidos los de la potabilización para asegurar la buena salud de la población.

El informe mundial del agua de la ONU (2003), indica que el consumo mundial del agua se elevó seis veces más entre 1900 y 1995, más del doble del crecimiento de la tasa poblacional y continuará creciendo conforme aumente la demanda doméstica, industrial y agrícola. Si el consumo se mantiene en los niveles actuales, señala el informe, para el año 2025 habrá una escasez que afectará a 2700 millones de personas. Entre el 2003 y el 2030, uno de cada cinco países en vías de desarrollo se enfrentará con la escasez de recursos hídricos. El informe mundial sobre el desarrollo del agua, señala que cerca de 20 % del incremento de la escasez mundial de agua obedecerá a cambios en el clima, así mismo estima, que actualmente existen 12000 km^3 de agua contaminada en el mundo, cantidad superior a la que contienen las 10 cuencas fluviales más grandes del mundo en cualquier época del año, un litro de agua contaminada, contamina a ocho litros de agua dulce.

En los últimos 50 años, el consumo de agua se duplicó. Los niños nacidos en países desarrollados consumen entre 30 y 50 veces más agua que los nacidos en países en desarrollo, el promedio de agua disponible en América Latina y el Caribe es de 28000

[2] World Water Development Report (Informe Mundial sobre el Desarrollo del Agua)

m^3/hab/año, número que contrasta con la cifra mundial de 2000 m^3/hab/año, enorme diferencia y contradicción si se observa que Latinoamérica teniendo más disponibilidad de agua, consume menos agua que los países desarrollados, esto debido a la localización espacio temporal del recurso y a los costos que genera el transporte desde un punto a otro para satisfacer la demanda total de la población, costos que los países en desarrollo no están dispuestos a pagar al corto plazo debido al conjunto de coyunturas sociales existentes.

Como se mencionaba, el consumo de agua potable en el mundo es mayor en países industrializados; por ejemplo, en el Reino Unido el consumo promedio de agua potable es de 149 L/hab/d. (OFWAT[3], 2001), en Francia 125 L/hab/d. (Lazarova, 2001) y en Estados Unidos de América 382 L/hab/d. (Lazarova, V et al, 2003). Estas grandes potencias y otras potencias como Japón, Canadá, los países de la unión europea; Rusia y los países de economías emergentes, sumados a la gran población de los países asiáticos, África y América Latina, contribuyen con su alta demanda de agua fresca y contaminación de las fuentes como ríos y lagos, al agotamiento del recurso. Proyecciones actuales indican que la demanda de agua excederá los suministros disponibles en el mundo, después del año 2020. (Gardner, 2.003)

El crecimiento de la demanda agrícola y el avance en los procesos industriales han hecho que la necesidad del agua en Latinoamérica se haya multiplicado por seis en el último siglo y que el consumo total de agua en el planeta se haya triplicado desde 1950 y sobrepase los 4.300 km^3/hab/año, equivalente al 30,7% de la dotación dulce renovable del mundo que se puede considerar como estable [41]. La reacción inducida por un clima económico y comercial más competitivo, traerá mayores demandas de agua en cantidad y calidad con los costos ambientales respectivos que esto genere.

Es indudable que estas cifras dejan ver que la situación del agua dulce superficial en el mundo corresponde a un panorama de escasez. Se está llegando a un punto tal que el agua está constituyéndose en un factor limitante del desarrollo sustentable de

[3] Leakage and the Efficient Use of Water. Office of Water Services. Inglaterra.

muchas naciones y aunque según Anderson (2000), el agua es un recurso que no se destruye sino que se transforma, Bower (2000), señala que el agua dulce fresca es un recurso limitado. Visto de esta manera, los países deben preocuparse por el futuro del agua y comenzar a planear y aplicar proyectos de conservación del agua, a nivel de cuencas hidrográficas (en el nacimiento y recorrido de los ríos), o ahorrando el agua a nivel urbano (controlando perdidas en tuberías y accesorios, reduciendo el consumo, usando el agua lluvia y reutilizando las aguas grises.).

1.1.2 Disponibilidad de agua en Colombia

Aunque en Colombia el recurso hídrico es abundante, se presentan situaciones de dificultad en la disponibilidad espacial y temporal del agua superficial a nivel regional y local. Esta característica de disponibilidad hídrica espacio-temporal puede localmente reducir la posibilidad de uso y acceso de la población a este recurso y convertirse en limitante para el desarrollo. Según la política del agua [30], basado en el estudio nacional del agua del IDEAM (1998) la demanda sectorial nacional anual utiliza aproximadamente entre el cinco y el seis % de la oferta hídrica natural superficial, espacial y temporal. Entre los 1000 y 3000 m.s.n.m la oferta hídrica es del 34 % con una concentración de población del 64 %. "En algunas áreas la demanda no logra cubrirse debido a la pérdida de la regulación hídrica natural que ha transformado los flujos permanentes en intermitentes, disminuyendo así, de una forma considerable, la oferta hídrica natural superficial temporal"[16].

El Plan Maestro de abastecimiento de agua de Bogotá (1995), de la EAAB[4], indica que el consumo de agua en Bogotá se divide por sectores, como se indica en la tabla1.

Tabla 1. Porcentaje de consumo de agua en Bogotá por sectores*

Tipo de consumo	%

[4] Empresa de acueducto y alcantarillado de Bogotá.

Residencial y mixto	83
Industrial y comercial	6
Institucional y oficial	11

* Plan Maestro de Abastecimiento de aguas (EAAB, 1995)

Este Plan Maestro, estima la proyección de demanda total de agua para el año 2004 para el sector institucional, en .un mínimo de 2,42 m^3/s, un máximo de 2,75 m^3/s y una media de 2,53 m^3/s.

1.1.3 Demanda de agua actual en usos potables

Generalmente la proporción de agua usada para descargas sanitarias varía entre 29 a 47% del total del agua consumida (Edwards and Martin, 1995; Surandian and Wheatley, 1998; Lazarova, 2001). Por esto la reutilización de aguas para descargas sanitarias y usos no potables es significativo para reducir la demanda de agua potable. En lugares públicos y oficinas institucionales, la demanda de agua para sanitarios es mayor, por ejemplo, la demanda de agua para sanitarios en el Domo milenio, un lugar publico en Inglaterra es de 48 % (Hills, 2001) y de 63% en una oficina típica según Shouler et al (1998). El consumo depende del estrato social, nivel de vida de las personas y patrones de educación. En 2002 Carmona determinó que para el consumo de agua en una universidad se asume el caudal de 50 L/est/día, para oficinas 90 L/pers/día., además consideró que el aparato que más consume agua y requiere presión es la ducha, seguida del sanitario, con descargas de 16 y 8 litros dependiendo del tanque que se use.y calculó un caudal medio para lavamanos de 0,4 L/s.

1.2 Aguas Residuales

Después de los usos que el hombre ha dado a las aguas frescas y potables, cargándola de contaminantes físicos, químicos y biológicos, las convierte en agua residual, para luego arrojarlas a las fuentes superficiales de agua, estas aguas pueden ser un riesgo

para la salud de la población, en función del tipo de contaminante, su concentración y el contacto directo con la población. Salgot (2003), considera que el agua residual de las grandes ciudades, se caracteriza por la relativa alta concentración de materia orgánica, radionucleidos y metales pesados. En la mayoría de las ciudades del mundo, el hombre con sus vertimientos, ha alterado la composición natural de las aguas dulces, ríos y lagos, con las que se aprovisionaba, haciéndose un daño a si mismo. "El ciclo del agua es uno de los ejemplos más evidentes de los sistemas cíclicos naturales, pero en su mayoría, las ciudades tratan este recurso como un sistema lineal de toma, haz y desperdicia" (Gardner,.2003, citado por Salgot, 2003). Dependiendo de su origen, las aguas residuales pueden ser aguas residuales domésticas y residuos líquidos industriales.

1.2.1 Residuos Líquidos Industriales (RLI)

Son generados por la actividad industrial, incluyen los vertimientos líquidos derivados de procesos químicos utilizados para la fabricación de productos, aguas de lavado y aguas procedentes de operaciones de calentamiento y enfriamiento. Según Glynn (1999), los RLI presentan características variadas, incluso cuando las industrias son similares, los residuos líquidos son específicos para cada industria y varían desde residuos biodegradables fuertes hasta residuos inorgánicos y tóxicos.

1.2.2 Aguas Residuales Domésticas (ARD)

Son las aguas vertidas por las actividades no industriales, conocidas también como aguas servidas, están compuestas por todos los vertimientos residenciales y del comercio en general (incluyendo el agua residual de los sanitarios), son una mezcla compleja que contiene agua con contaminantes orgánicos e inorgánicos, en suspensión y disueltos. Si a las aguas residuales domésticas se les hace una separación previa por tipo de fuente de vertido, separando las menos contaminadas de las más contaminadas, se pueden obtener aguas con potencial de reutilización, las llamadas aguas grises.

1.3 Aguas Grises

Las aguas grises son todo tipo de agua residual resultado de las actividades de la casa, exceptuando aquellas de los sanitarios llamadas aguas negras. Ludwig (2003). Las fuentes de aguas grises son los lavamanos, duchas, pocetas, lavaplatos y lavadoras de ropa, algunos consideran que el agua de los lavaplatos y de las lavadoras son aguas negras, otros las diferencian y las consideran como agua gris oscura. Las aguas grises procedentes de los lavamanos, duchas y pocetas son llamadas aguas grises claras y son aguas de pH alcalino en la mayoría de los casos. .El Instituto Juan de Herrera de España en su boletín 9 (1999), coincide con Ludwig (2003), en afirmar que las aguas de los lavaplatos y lavadoras son aguas grises, pero aclaran que si el agua de estas fuentes se deja sin tratar por unos días, se comportará como agua residual negra, generando malos olores y desarrollando bacterias.

Según el NSW Health de Australia (2000), aunque el reuso de las aguas grises es frecuentemente practicado sin atención a los riesgos de salud pública, ni un cuidado especial en la degradación ambiental, que podría ser causada sin el apropiado diseño de sistemas seguros y eficientes de reutilización de las aguas grises, con el desarrollo de la investigación y un amplio conocimiento acerca del reuso de las aguas grises, las sociedades urbanas occidentales podrían reciclar más de sus residuos de lo que actualmente producen. (O'Meara, 1.999).

Cuando las aguas grises se usan apropiadamente, son una fuente de gran valor como abonos para las plantas que resisten a esta agua, pues hay también plantas que son más sensibles y que no resisten sus características alcalinas.

1.3.1 Aguas Grises Oscuras

Las aguas grises oscuras son principalmente las aguas provenientes de las lavadoras y de los lavaplatos. Un estudio realizado por El NSW health de Australia [9],establece que el agua gris de las cocinas es un agua gris oscura, que esta por lo general contaminada físicamente con partículas de comidas, aceites, grasas, jabones, y otros

elementos que pueden soportar y promover el crecimiento de microorganismos; debido al aporte de partículas de comida y a que la grasa puede solidificarse, esta agua residual en especial, puede bloquear los sistemas de riego si no se le hace un tratamiento previo. Por otro lado, el agua residual de las lavadoras se caracteriza por su alto contenido de tensoactivos (surfactantes) y altas concentraciones de esterato de sodio y sales, componentes de los detergentes usados para el lavado de ropa, que disminuyen la tensión superficial del agua, produciendo una acción dispersante de la mugre (Domínguez,1993), las sustancias que disminuyen la tensión superficial tienden a concentrarse en la superficie de la solución y las moléculas se orientan según su naturaleza polar, la parte de sal carboxílica, hidrofílica polar queda orientada sobre la superficie del agua y la parte de hidrocarburo, hidrofóbica, insoluble en agua, tiende a orientarse lo más lejos posible del agua.[8]

1.3.2 Aguas Grises Claras

Son las aguas de duchas, lavamanos y posetas. En los hogares el jabón es el contaminante químico más común del baño, en donde se encuentran también otros contaminantes como el shampoo, pasta dental, limpiadores químicos, productos para el cuidado del cuerpo, materiales orgánicos (uñas, pelo, residuos salivales y nasales), microorganismos adheridos a la piel y residuos líquidos y sólidos que varían debido a factores espacio temporales, económicos y socioculturales.

Según el NSW health [9]. todos estos contaminantes son difíciles de remover del agua residual y debido a que los jabones biocidas tienen poco efecto reduciendo las bacterias fijadas en el agua gris, si el agua gris no es tratada puede generar un riesgo a la salud si se utiliza para riego de jardines, por otra parte, estudios realizados por el Instituto Juan de Herrera de España [17] dicen que las aguas grises contienen solo 1/10 de nitrógeno de lo que tienen las aguas negras, por lo tanto como tienen menos nitrógeno y debido además a que presentan menor cantidad de materia orgánica, no se requiere el mismo tratamiento que para las aguas negras.

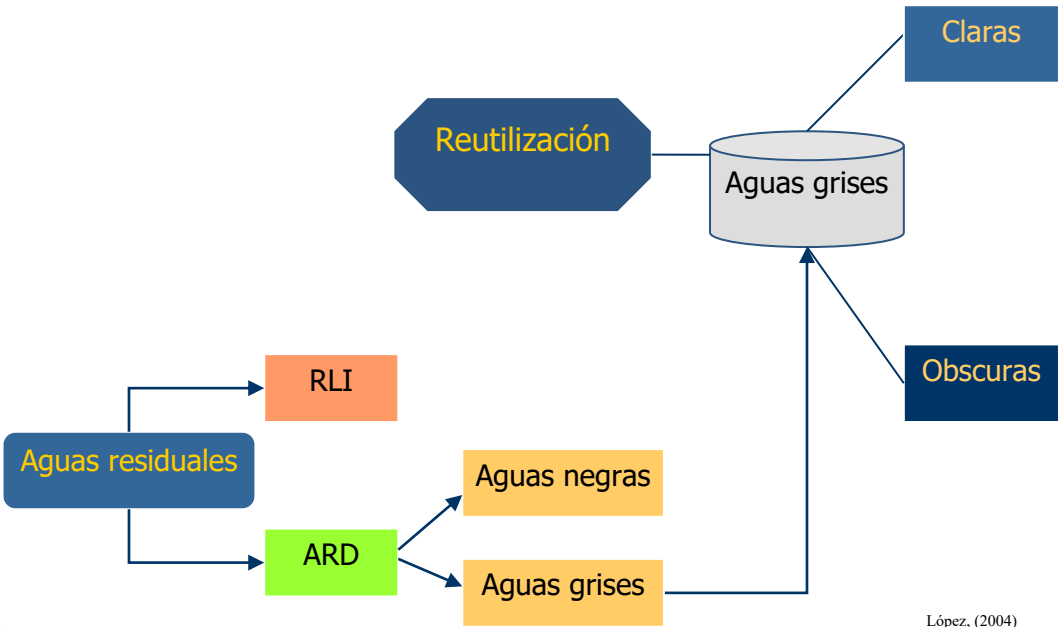
El jabón es un elemento de importancia a la hora de decidir sobre una aplicación final de las aguas grises, si como fuente de aguas grises se usa solo el agua de lavamanos, lo que sería más frecuente en instituciones publicas[5] y en oficinas, la probabilidad de tener un aporte de otra variedad de químicos se reduce; aunque el NSW health considera que el agua de los lavamanos es más contaminada que el agua residual de la ducha, esto sólo se da en el contexto de los hogares. Ludwig (2003), considera que el uso de jabones biodegradables facilita el uso directo de las aguas grises sobre el suelo, por lo tanto son una buena opción para la reutilización.

Los jabones son una mezcla de sales sódicas de ácidos grasos de cadenas largas, se obtienen a partir de la hidrólisis de glicéridos de donde se obtiene ácidos carboxílicos y glicerol, los jabones pueden variar en su composición, se le agrega alcohol para hacerlo transparente, aire para que flote, perfumes, colorantes y germicidas para eliminar las bacterias asociadas a la piel, si es una sal potásica es un jabón blando. "En los jabones las moléculas del soluto se dispersan en grupos esféricos llamadas micelas, una molécula de jabón tiene un extremo polar $-COO^{-}Na^{+}$ y otro no polar con cadena larga de 12 a 18 carbonos, el primer extremo es hidrófilo y el segundo hidrófobo[6], la suciedad esta compuesta por grasa, cuando los jabones limpian, los extremos no polares se disuelven en la grasa de la suciedad y los extremos polares se proyectan hacia la capa acuosa que los rodea, la repulsión entre cargas iguales evita que las partículas de grasa se unan, formándose una emulsión estable de aceite y agua, que puede separase fácilmente de la superficie que se esta lavando" [25]

[5] Se habla de instituciones publicas como aquellas que prestan un servicio público a la sociedad, y no del concepto de propiedad privada, Por ejemplo , una Universidad privada, presta el servicio público de la educación

[6] Hidrófilo que es soluble en agua, e hidrófobo que no es soluble en agua

Figura 1. Clasificación aguas residuales



1.4 Producción de Aguas Grises

La cantidad de agua gris varía de acuerdo a la dinámica de la población, influenciada por factores como número de personas, distribución de edades y sexo, estilo de vida y patrones de educación. El agua gris total, incluyendo las grises claras y obscuras representan cerca del 68% del total de aguas residuales, cuando se excluye el agua gris de las cocinas baja a un 61%. (NSW health, 2000).

Metcalf y Eddy (2000), proponen que el caudal total de aguas residuales incluidas negras y grises, esta entre el 60 y 85% del total del agua consumida, así mismo, dicen que al agua gris de los lavamanos le corresponde un 11,7% y al agua de las duchas un 21,2%. De los caudales habituales en aguas residuales, Tchobanoglous (2000), estima que el valor medio de aguas residuales en una institución de estudiantes, en donde hay cafetería, gimnasio y duchas es de 94,65 L/unidad/ día., estima también que el caudal residual de los lavamanos esta en un intervalo de tres a siete y medio litros por uso, con una participación en el total del agua demandada de ocho a 12% y valor habitual de 10%, lo que coincide con el valor expresado por Metcaf y Eddy del

11,7%, así mismo Ludwig (2003), determinó que el consumo de agua de lavamanos en los Estados Unidos, varia entre 3,7 L/per/día y 18,93 L/per/día .

1.5 Calidad Físico - Química de las Aguas Grises

La composición del agua gris puede variar de país a país dependiendo de la fuente espacio temporal y si es gris oscuro o gris claro. Lazarova (2001), encontró en aguas grises oscuras una contaminación equivalente de materia orgánica y microorganismos a las aguas negras domésticas. El agua gris puede estar contaminada químicamente por sales disueltas como sodio, nitrógeno, fosfatos, jabón y cloro en aguas grises claras y químicos orgánicos como aceites, grasas y detergentes en aguas grises obscuras, estos contaminantes, sobre todo el de las aguas grises obscuras, representan un alto contenido de materia orgánica, siendo esta una fuente significativa de comida para los microorganismos presentes en el agua, que los ayuda a crecer en numero. El aporte de contaminantes físicos lo constituyen las partículas de suciedad, arena, pelo, uñas y residuos de comida (en aguas grises). La variedad y características de los contaminantes en aguas grises son los responsables de aumentar la DBO_5, los SST, turbidez, Nitrógeno Total (NTK), Fósforo Total (PT), Coniformes Totales (CT) y *Escherichia. coli* (EC); principales parámetros físico-químicos de relevancia en las aguas grises propuestos por la mayoría de los estudios sobre el tema.

El agua gris contiene menos SS (sólidos suspendidos) y nitrógeno que un agua residual doméstica y generalmente el doble de fósforo que las aguas domésticas residuales debido a los detergentes y jabones, generalmente las concentraciones de amonio, NT y PT son 10 veces más bajas en aguas grises que en aguas residuales domésticas. (Rose, 1991)

1.5.1 Demanda Bioquímica de Oxigeno (DBO_5).

La DBO_5 es una medida de la cantidad de oxígeno utilizado por los microorganismos aclimatados a una temperatura, para la estabilización de la materia orgánica

biodegradable, bajo condiciones aeróbicas, en un período de 5 días a 20°C de temperatura; en aguas residenciales domésticas, el valor de la DBO_5, representa un promedio de 65 a 70% del total de la materia orgánica oxidable. (Romero, 2000). El oxigeno que se consume en la reacción es proporcional al material oxidable presente en el agua.

Glynn y Gary (1999), señalan que la DBO se utiliza como base para estimar el oxígeno necesario para los procesos biológicos y como un indicador de la eficiencia de los procesos, dado que se mide la cantidad de oxígeno que consume una población de microorganismos en crecimiento para oxidar la materia orgánica y convertirla en CO_2 y H_20, por tanto es una medida relativa de la materia orgánica que se deja degradar, presente en el agua que se quiere tratar, dicen también que el factor que determina las condiciones aeróbicas o anaeróbicas en el agua es el oxigeno disuelto O.D, que sirve para cuantificar la DBO_5., la aerobicidad de los procesos de tratamiento, tasa de aireación en los procesos de tratamiento aeróbico y grado de polución de ríos, su contenido depende de la concentración y estabilidad de la materia orgánica presente. "Los valores del O.D. en aguas son bajos y disminuyen con la temperatura. El oxigeno libre en solución, especialmente cuando esta acompañado de CO_2 es un agente de corrosión importante del hierro y el acero." [14] Según la EPA (1992), la DBO5 permitida para el reuso urbano es de una concentración < 30 mg/l, para reuso urbano no restringido < 10 mg/l y para riego de cultivos no alimenticios ≤ 30 mg/L. En 2001 Smith citado por Lazarova (2003), realizó un estudio sobre las aguas de los lavamanos y obtuvo una DBO_5 promedio de 33 mg/L.

1.5.2 Sólidos Suspendidos Totales (SST)

Son los residuos sólidos no filtrables que son retenidos, al pasar una muestra de agua por un filtro de vidrio de disco. (Viessman y Hammer, 1993). Los sólidos suspendidos totales pueden revestir y proteger a los microorganismos de los desinfectantes, las bacterias pueden incrementarse en número a concentraciones altas de sólidos suspendidos; regulaciones gubernamentales de salud en reciclaje de aguas

residuales y reuso imponen limitaciones estrictas en concentración de SST, basadas en "cero riesgo"para la salud.(USEPA,1992, citado por .Salgot, 2003), los estándares de estas concentraciones están incluidas en las tablas de la EPA [12], en donde establecen una concentración ≤ a 30 mg/L de SST para reuso urbano restringido y para riego de cultivos no alimenticios. En el mismo estudio de Smith, mencionado anteriormente, el resultado medio que obtuvo de SST fue de 36 mg/L.

1.5.3 Turbidez

Es una medida de las propiedades de dispersión de la luz de las aguas, indica La calidad del agua residual con relación al material residual en suspensión coloidal [7], el material coloidal no permite la transmisión de la luz, ya que la absorbe o dispersa, la turbiedad mayor se debe a partículas inferiores a 3μm, sobretodo con las de tamaño entre 0,1 y 1,0 μm. Según Tchobanoglous (2000), no hay una relación definida entre la turbidez y los sólidos suspendidos en aguas residuales sin tratamiento, pero si la hay para efluentes de sedimentadores secundarios de procesos de lodos activados. Contrario a esto, Glynn y Gary (1999), señalan que la turbidez en aguas residuales aumenta con relación a la presencia de materia suspendida como arcilla, lodo, algas, sílice, bacterias y otras partículas. El valor estándar de turbidez para aguas residuales con fines de reuso urbano no restringido es según la EPA[12] ≤ 2 UNT., en una experiencia en Queensland de reutilización de aguas grises y captación de agua lluvia para un modelo de hogar saludable, citada por Gardner (2003), y hecho por el Departamento de Recursos Naturales y Mineros de Australia, encontraron una turbidez media en 24 muestras después de ser tratadas con filtro de arena, de 17 UNT, resultado alto , debido a que tuvieron presentes para el tratamiento a las aguas grises obscuras y claras.

1.5.4 Nitrógeno total (NTK)

El nitrógeno total es la suma del nitrógeno orgánico más el nitrógeno amoniacal. El nitrógeno se presenta en varios estados de valencia, gracias a los microorganismos y

a condiciones meteorológicas, los cambios en el nitrógeno pueden ser positivos o negativos y darse en condiciones aerobias o anaerobias. "En tormentas eléctricas, el nitrógeno se oxida a pentóxido de de nitrógeno N_2O_5, se une con el agua y forma HNO_3 que luego llega al suelo y forma nitratos, los nitratos sirven como fertilizante para las plantas, proceso conocido como nitrificación, luego en condiciones anaerobias, los nitratos son reducidos a nitritos y estos a nitrógeno gaseoso por bacterias, proceso llamado desnitrificación, la cual implica una reducción en la alcalinidad" [36], en los suelos esto representa una perdida de fertilizantes, pero en cambio, es conveniente en los procesos de tratamiento de aguas residuales que buscan eliminar el nitrógeno. Una concentración alta de nitrógeno orgánico indica contaminación reciente, siendo el amoniaco el producto inicial en su descomposición, en condiciones aeróbicas, el nitrógeno amoniacal es oxidado en nitritos y estos oxidados a nitratos por bacterias nitrificantes que son el producto final del nitrógeno orgánico. [36]. Smith (2001), citado por Lazarova (2003), determinó una media de nitrógeno total en aguas de lavamanos de 4 mg/L.

1.5.5 Fósforo Total (PT)

El fósforo total es la suma de los ortofosfátos, polifosfatos y fosfatos orgánicos, todas las formas del fósforo pueden existir en solución verdadera o como material suspendido, el fósforo como fosfato es un nutriente de microorganismos y plantas. La descarga de 1g de fósforo al agua, puede permitir la formación de más de 100 g de materia orgánica en el agua, lo que puede representar una DBO de 150 g de oxígeno para su oxidación aeróbica completa, en aguas residuales la concentración de fósforo varía entre 1 - 15 mg/l de P, en aguas de drenaje agrícola entre 0,05 – 1 mg/l de P[36]. El uso de detergentes con grandes cantidades de fósforo aumenta la concentración de fosfatos en aguas residuales. La experiencia de hogar saludable de Queensland Australia determinó una media de fósforo para aguas grises antes del tratamiento, de 0,6 mg/L.

1.5.6 Calidad Microbiológica

Según Rose (1991), las aguas grises pueden contener niveles altos de bacterias, sin embargo su ausencia no es un indicador de que el agua este libre de patógenos, pues esto depende realmente del tipo de tratamiento que se use para eliminarlos. Los riesgos asociados con el reuso del agua gris están relacionados con el contacto del organismo humano con los patógenos contenidos en el agua (Salgot, 2003), sobretodo cuando son usados para riego superficial, sin que se les halla hecho un tratamiento confiable, así mismo Salgot (2003), señala que el manejo de los patógenos ha generado un incremento en la preocupación pública, debido a que el reuso de agua se ha ido convirtiendo en una actividad practicada por muchas personas en Australia, Estados Unidos y Europa, sin los cuidados y precauciones que se deben tener con este tipo de aguas. Actualmente se requieren indicadores de microorganismos y modelos entendibles para definir con mayor confianza, el riesgo asociado con el contenido de patógenos en el reuso de aguas residuales (Lucana, 2002). Los microorganismos más frecuentes encontrados en las aguas grises más contaminadas son: *E. coli, Coliformes Totales, Coliformes Fecales, Staphylococus, Salmonella spp, Clostridium spp*, Enterovirus, virus hepatitis y Bacteriofago (Salgot, 2003), la presencia y concentración de estos microorganismos en el agua, varia por condiciones espacio temporales, cultura de la gente y factores de consumo. Sin que se hallan constituido en un estándar para medir la calidad microbiológica de las aguas grises, los parámetros que se evalúan para determinar la calidad microbiológica son los *Coliformes Totales y E Coli*.

1.5.7 Coliformes Totales (CT)

Este grupo según Gary (1999), pertenece a la familia Enterobacteriaceae, incluye todas las bacterias aerobias y anaerobias facultativas, gramnegativas, no formadoras de esporas y con forma de bastón, capaces de fermentar la lactosa, formando gases en 48 horas a una temperatura de 35 ºC, las bacterias son organismos procariotas unicelulares, el grupo de estas bacterias incluye la *Escherichia coli, Enterobacter*

aerogenes, *Citrobacter fruendii* y bacterias afines. Usualmente los *Coliformes Totales* son usados como organismos indicadores, su ausencia implica la inexistencia de patógenos entéricos, la densidad de los organismos indicadores está relacionada con la probabilidad de presencia de patógenos, ya que estos tienen una mayor resistencia y sobreviven más que los patógenos, la relación de coliformes con organismos patógenos entéricos es según Romero (2000), del orden de 10E6/1, la presencia de coliformes totales en el agua se considera indicio de contaminación por heces. Los coliformes provienen de excrementos humanos, animales de sangre caliente y del suelo, Romero (2000) señaló que el numero de coliformes en los excrementos humanos varía entre 125x10E9 – 400x10E9. Los *Coliformes totales* en aguas de lavamanos varían entre 2,4x10E3 y > 2,4x10E6 unidades formadoras de colonia (UFC) en 100 ml. (Smith, 2001, citado por Lazarova, 2003), esto indica que las aguas grises claras no están libres de tener la presencia de *Coliformes totales* y aunque su numero es más reducido, se debe prestar atención en el uso que se le vaya a dar.

1.5.8 Echerichia coli (E coli)

Según Gary (1999), la *E coli* es el coliforme más frecuente con 10% de los microorganismos intestinales del hombre, tiene un tamaño que varia de 0,6 – 1,2 μm de diámetro y 2 – 3 μm de longitud. Gary señala además, que en los países tropicales la *E coli* no es el coliforme intestinal más predominante, por lo tanto recomienda que la prueba de *Coliformes totales* es la medida más útil para determinar contaminación por microorganismos. (Crook, 1997, citado por Techobanoglous, 2000), señaló que la *E coli* es un organismo entero patógeno que puede producir gastroenteritis, ocasionando fuertes diarreas. En agua de lavamanos la *E coli* varia entre 0 > 2,4x10E6 UFC/100ml.[22]. Los desconocimientos e incertitudes continúan levantando dudas acerca de la eficacia del reuso del agua, sobretodo cuando la exposición a humanos es alta y se desconoce el impacto que puedan tener los microorganismos presentes en el agua (Asano y Lerino, 1998), en países desarrollados son muy estrictos con el cumplimiento de los estándares tanto fisicoquímicos como

microbiológicos, pero se debe tener en cuenta que si sólo se utiliza agua gris proveniente de lavamanos para riego de jardines, el impacto esperado es menor, sabiendo además que estos microorganismos se encuentran naturalmente en el suelo.

Tabla 2. Análisis físico-químico y microbiológico realizado por varios investigadores*

Investigador	DBO5(mg/L)	Turbidez (UNT)	SS (mg/L)	PT (mg/L)	NTK (mg/L)	NH3-N (mg/L)	CT (CFU/100ml)	*E. coli* (CFU/100ml)
Smith et al. (2001)	33		36		4		2.4 X 10E3 > 2,4 x 10E6	0 > 2.4 x 10E6
Laine (2001)	129-155		58-153		6.6-10.4		6.8 x 10E3 - 9.4 x 10E3	10 -1.5 x 10E3
Boal (1996)	76-200		48-120	0.11-1.8	4.6-20	<0.1-15	500 - 2.4 x 10E7	
Rose (1991)				4. - 35	0.6-5.2	0.15-3.2	6.1 x 10E8	
Surendran (1998)	216-256		40-76	1.6-40.5		0.5-1.6	5 x 10E4 - 6 x 10E6	
Gardner (2003)	48-170		18-370	0.1-12	1.6-11		300 - 650000	
Odeh (2003)	96	57		2.4		0.8	5.2 x 10E6	
Jayyousi	1500		316				7 x 10E10	

*Datos obtenidos de diversos artículos científicos, la mayoría provenientes de las revista: *Water Science and Technology.*

1.6 Tratamiento de Aguas Grises

El tipo de tratamiento que se requiere para tratar un agua gris, depende de la fuente de agua gris, si es obscura o si es clara y del caudal disponible. Salgot (2003), considera que para que el agua gris pueda ser usada directamente en el suelo, por ejemplo, debe pasar como mínimo por un proceso de cribado para remover materiales que podrían bloquear las bombas, tuberías o poner demasiados contaminantes en el suelo, señala también que existen varios tratamientos dependiendo del uso que se le quiera dar al agua gris, estos tratamientos incluyen: sedimentación de sólidos, flotación de los materiales menos pesados, digestión anaerobia en tanque séptico, aireación, clarificación y desinfección. Los tratamientos primarios mencionados, solo reducen los contaminantes gruesos del agua gris, sin que se pueda eliminar la contaminación secundaria, debido a los compuestos químicos como nitratos, boro y sodio que no son reducidos.

Se debe tener claro que tipo de tratamiento se requiere, pues no todas las tecnologías son igualmente confiables y pueden variar de país a país. Según el criterio español mencionado por Salgot [40], los tratamientos para el control microbiológico, resultan costosos, cuando se trata de pequeñas plantas descentralizadas, plantas individuales que tratan el agua gris de un solo hogar. Los tratamientos más usados para el reuso de aguas grises en los países desarrollados, son: Los bioreactores de membrana, los filtros biológicos aireados, procesos de osmosis inversa y los filtros de arena lenta y recirculante, en países emergentes, resulta más económico tratamientos con camas de plantas que absorben los contaminantes, filtros de arena lenta y tratamiento sobre el suelo.

1.6.1 Bioreactores de Membrana (MBR)

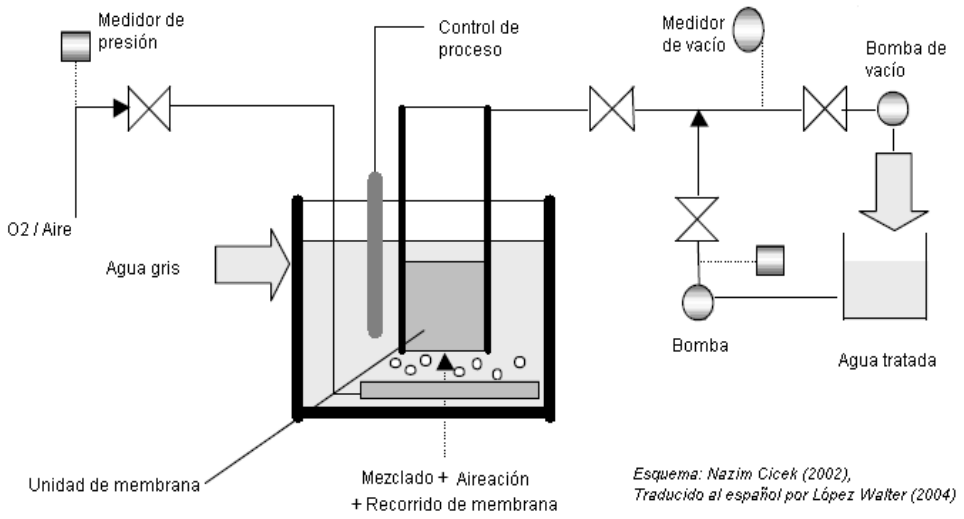
Los bioreactores de membrana son sistemas que integran la degradación biológica de productos residuales con una membrana de filtración, para remover eficientemente contaminantes orgánicos e inorgánicos y microorganismos biológicos de las aguas residuales. Cicek (2002), determinó que los MBR tienen buen control sobre las actividades biológicas y producen una alta calidad del efluente, libre de bacterias patógenas y una reducción alta de las tasas orgánicas y SST**.** Este tipo de tratamiento se aplica para reciclaje de agua en edificaciones, tratamiento de aguas residuales para pequeñas comunidades, tratamiento de aguas residuales industriales y tratamiento de lixiviados de rellenos sanitarios .(Cicek, 2002).

Kimura (1991), señala que las limitantes de las MBR son los elevados costos de las membranas, su dispendioso mantenimiento y operación.

Los MBR pueden ser de membrana sumergida y externa como se puede observar en la figura 3 y 4; en el primero, la membrana que hace la separación física esta inmersa en el tanque biológico, en cambio, en el segundo, el licor de mezcla es recirculado desde el bioreactor hasta la unidad de membrana que se encuentra afuera de la unidad biológica; las membranas para ambos sistemas pueden ser orgánicas, fabricadas con

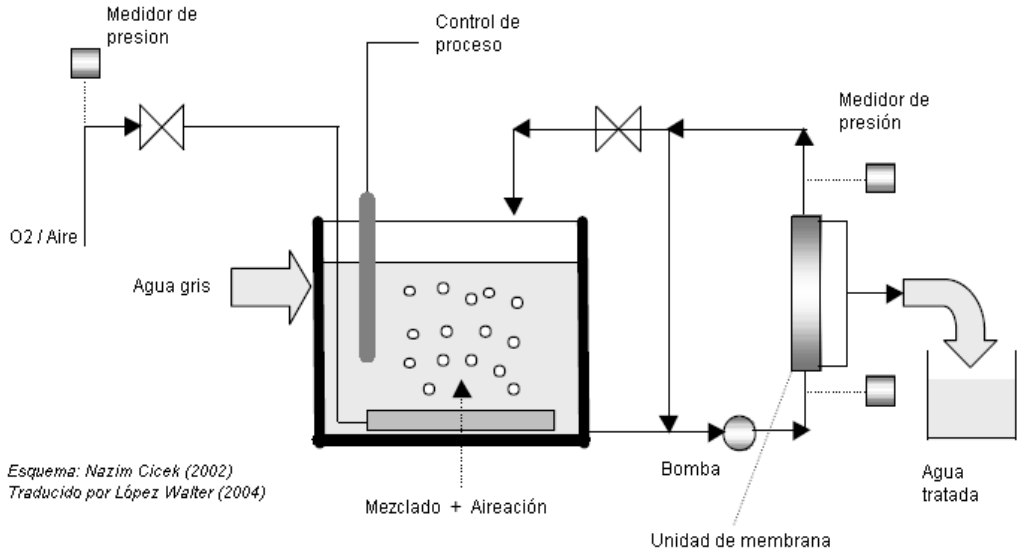
polímeros o copolímeros orgánicos: polisulfona, polietersulfona y polietileno; e inorgánicas: Cerámicas.(Cicek, 2002).

Figura 2. Bioreactor de membrana con membrana sumergida, Cicek (2002)*



* Department of biosystems engineering, University of Manitoba, Canada

Figura 3. Bioreactor de membrana con membrana externa, Cicek (2002)*



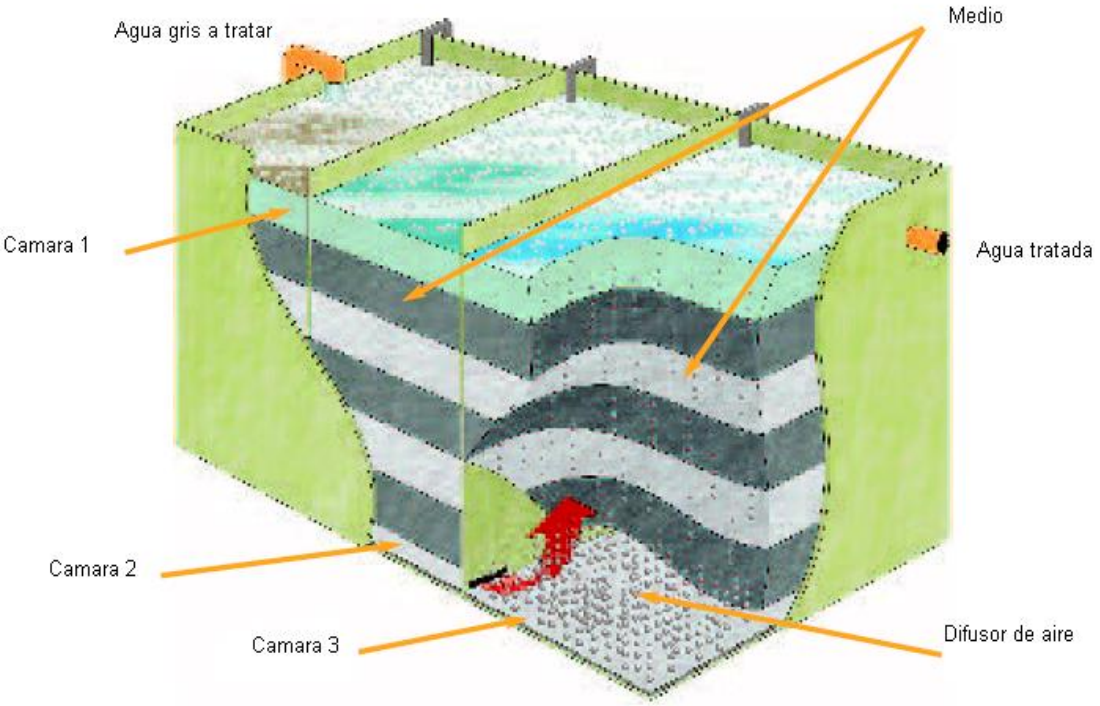
* Department of biosystems engineering, University of Manitoba, Canada

Las unidades de membrana pueden ser de microfiltración, separan sustancias suspendidas hasta de 0,1 micras y de ultrafiltración, separan sustancias suspendidas hasta 0,01 micras; para que las membranas sean eficientes, estas deben ser inertes y no biodegradables, fáciles de limpiar, ser resistentes a agentes químicos y a presiones y temperaturas elevadas, deben tener una distribución de poros uniforme con buena porosidad, deben ser neutras y tener una carga negativa para evitar la adsorción de los microorganismos.[6].

1.6.2 Filtros Biológicos Aireados (BAF)

El filtro biológico aireado es otra de las tecnologías usadas en países desarrollados para tratar las aguas grises, existen varios prototipos y modelos, por ejemplo, los RBC (NuDisc), sistemas biológicos rotatorios de contacto, que tratan desde 70 m^3/día, silenciosos y libre de olores, que consiste en un sistema modular que usa un contactor biológico rotatorio (RBC) por sus siglas en ingles, para la etapa biológica. El RBC es rotado lentamente por un motor eléctrico, a través de una caja de cambios de reducción de velocidad arreglada para que una parte de su área de superficie, este sumergida dentro del efluente, así cuando el RBC rota, la superficie del medio queda expuesta alternativamente al agua gris y al aire, estimulando la formación de una película aeróbica de microorganismos (biomasa), biológicamente activa, que se va estabilizando en cada lamina del medio. Esta biopelicula activa, va creciendo en tamaño y regulándose ella misma para oxidar los contaminantes del agua gris, los microorganismos usan la materia orgánica contenida en esta agua, y lo utilizan como sustrato comida, creciendo en número en función del sustrato disponible y manteniendo una biomasa específica abundante para asegurar la eficiencia optima del proceso. (Kee Procces Limited, 2003), este sistema también es usado para tratar aguas residuales de pequeñas poblaciones, pero, se requiere de una alta inversión inicial para adquirir el sistema, y de energía eléctrica continua para suministrarle al rotor.

Figura 4. Filtro biológico aireado sumergido*



*.Esquema, Envirosaf (Kee Procces limited) Inglaterra, 2003

1.6.3 Osmosis Inversa

El proceso de ósmosis inversa es generalmente usado para desalinizar agua de mar, pero se puede usar también como tratamiento terciario de aguas residuales, este sistema según la empresa aquasystems, de México, citada por Mendoza (2003), utiliza una membrana semipermeable que separa y elimina del agua utilizando altas presiones, los sólidos, material orgánico, virus y bacterias disueltas en el agua. Puede eliminar alrededor de 95% de SDT y 99% de todas las bacterias. Las membranas sólo dejan pasar las moléculas de agua, atrapando incluso las sales disueltas. Mendoza señala además que este tratamiento no es recomendable para tratar agua dura, las aguas duras se caracterizan por su alto contenido de sales de calcio y magnesio principalmente, y por impedir la formación de espuma con los jabones, pueden perjudicar el buen desempeño de la membrana. El manejo de la membrana de este

sistema debe ser cuidadoso "Los afluentes a los sistemas de ósmosis inversa requieren a menudo pretratamiento, para evitar el daño de la membrana por efecto de bacterias u otros sólidos suspendidos" (Terence, 2001) .

Figura 5. Membrana de osmosis inversa*

* Aquapurificación, México, 2003.[7]

1.6.4 Filtros Lentos

La filtración lenta la recomienda como pretratamiento del agua gris, el NSW Health de Australia [9]. Esta filtración, es usada para separar los sólidos no sedimentables de las aguas residuales, pasándola por medios porozos o granulares, el sistema más común es el de utilizar un lecho de capa de medios granulares, usualmente, antracita, seguido por una capa de arena fina. (Viessman y Hamer, 1993). Para filtrar aguas residuales con turbiedad menor a 20 UTN, se usa la filtración directa, la cual no requiere que al agua se le haga una sedimentación previa, los filtros de arena tienen la ventaja que mejoran la calidad microbiológica del agua, ya que tienen tasas de separación de bacterias y microorganismos, hasta de un 99,9 % (Kiely, 1999). Un filtro lento de flujo descendente, consiste en una caja rectangular o circular con 0,90 a 1,20 m de arena fina sobre 0,40 a 0,45 m de grava gruesa; encima del lecho filtrante

[7] En la página Web de la empresa (*Aquapurificación*), www.aquapurificacion.com/ osmosis.htm describen la lista de costos de las membranas de tratamiento por ósmosis inversa, como la que se muestra en la figura 4.

se deja una capa de agua de 1 a 1,50 m y debajo de la grava se coloca un sistema de drenes por donde sale el efluente (ver figura 7). Arboleda (2000) señala que los filtros lentos, se operan con una velocidad constante de filtración, lo que se consigue, regulando la entrada de agua o la salida; siendo la regulación a la entrada la más simple y económica. Para regular el agua a la entrada, se coloca un vertedero de aforo y una válvula de control de flujo para mantener el caudal constante.

Cundo los lechos del filtro dan su optimo rendimiento, la reducción de la turbiedad puede ser tal, que se pueden producir efluentes con turbiedades inferiores a 1 UNT, aunque, según Arboleda (2000), la baja remoción de turbiedad no significa la disminución de la eficiencia bacteriológica del filtro, pues en ocasiones, puede haber una buena eliminación de bacterias y protozoarios con una mala reducción de turbiedad. Los mejores resultados de filtración se obtienen con turbiedades < 10 UNT y contaminación microbiológica inferior a 500 *E coli* por 100 ml.

Una de las principales interferencias en un filtro lento, es cuando durante la operación, se trabaja durante ciertos periodos al día o a la semana y no continuamente, ya que bajo estas condiciones, se daña la capa biológica y se reduce la eficiencia.

1.6.4.1 Consideraciones para el diseño de filtros lentos

Para los lechos, se usa arena que no tenga arcilla y libre de materia orgánica, que no contenga más de 2 % de carbonato de calcio y magnesio, para que en aguas con contenido alto de CO_2 no se produzca cavitación en el medio filtrante. El tamaño que recomienda el RAS 2000, para la arena, es de 0,35 mm a 0,55 mm, con un coeficiente de uniformidad entre 2 y 4. Así mismo, el espesor del lecho filtrante debe estar entre 0,8 y 1 m. [29] Para el medio de soporte se usa grava, las piedras deben ser duras y redondeadas, con peso específico de 2,5, libres de arena, limo y materia orgánica. La grava no debe perder más del 5 % de su peso al sumergirla en ácido clorhídrico por 24 horas., ver tabla 2 para la selección del tamaño de la grava.

Tabla 3. Especificaciones grava de soporte *

Capa	Tamaño de la grava (mm)	Espesor del medio (m)
1	9. - 10	0,10 – 0,15
2	2. - 9	0,05
3	1 - 1.5	0,05

* RAS 2000

Sistemas de Potabilización [40]

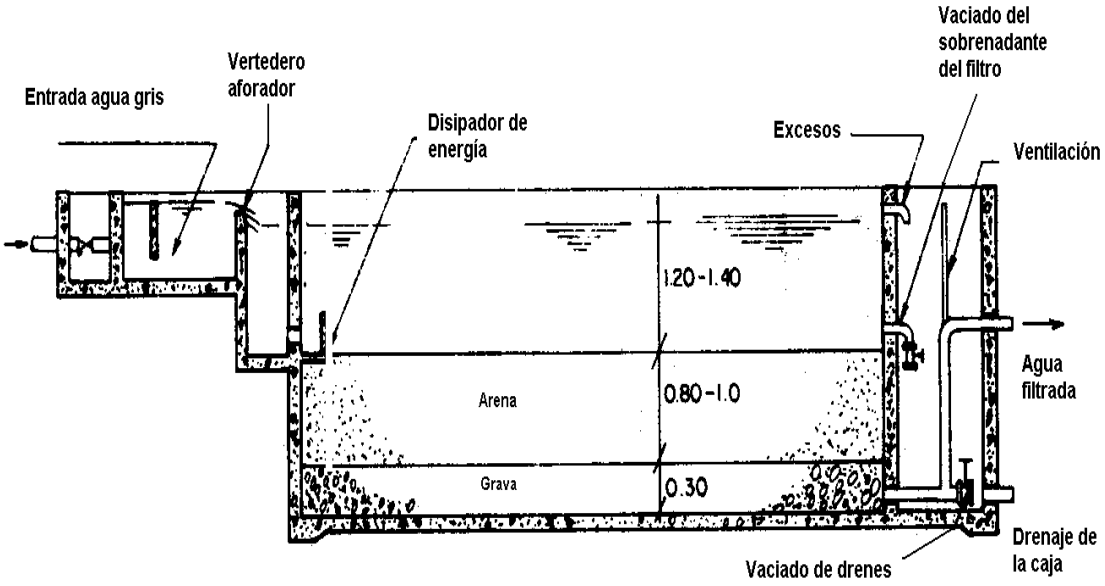
El dispositivo de entrada se puede hacer con un aliviadero de rebose, a través de un vertedero triangular de pared delgada, el RAS (2000), sugiere que la entrada al filtro se haga por un vertedero ancho, de pared gruesa para obtener una lamina delgada y acondicionar un elemento que amortigüe el impacto que genera el agua cuando cae sobre el lecho filtrante. Así mismo el RAS (2000), recomienda que el vertedero de control este a una altura de 0,1 m mayor que la cota del nivel máximo del lecho de arena; la tasa de filtración debe estar entre una velocidad de 2,4 m^3 / m^2/ día a 7,2 m^3 / m^2/ día.; la velocidad máxima de flujo a la entrada debe ser de 0,1 m/h; la altura del agua sobrenadante debe ser de 0,7 a 1 m y la perdida de carga del filtro debe estar entre 0,10 y 1m. Para asegurar el correcto control de los procesos de operación del filtro la guía RAS (2000) de sistemas de potabilización página C.72, describe todos lo procesos y cuidados que se deben tener en el lavado del filtro, en su cuidado y mantenimiento.

Los filtros lentos recomendados por el RAS (2000) de Colombia, para los tratamientos del agua, tienen la finalidad de mejorar la calidad bacteriológica del agua y remover las partículas suspendidas más finas, según el RAS (2000), este tratamiento puede usarse cuando se tiene una turbiedad $\leq$ de 15 UNT y un NMP de coniformes fecales < de 500 y debe operarse con tasas bajas. Existen filtros de arena a presión (ver figura 8) que realizan una filtración rápida, ayudados por la presión que genera una bomba.

1.6.4.2 Limpieza Filtro Lento

La limpieza del filtro de arena lento, es importante, ya que de este mantenimiento depende su eficiencia. Para hacer la limpieza, se raspa uno a dos centímetros de la superficie del lecho y se extrae la arena; la altura de la capa filtrante disminuye con cada raspado y después de 10 a 15 raspados el lecho se reduce hasta quedar 60 a 70 cm de arena, momento en el cual se debe colocar nuevamente arena, este raspado debe hacerse cada vez que la pérdida de carga, excede la presión estática sobre los drenes, para medir la perdida de carga, se deja un piezómetro conectado al tubo efluente o a la caja del filtro. La frecuencia de limpieza del filtro varía entre dos días a dos meses y depende de la calidad del influente. (Arboleda, 2000).

Figura 6. Filtro lento de arena y grava*



*Filtro lento con control en la entrada. Arboleda (2000).

1.6.5 Filtración Directa

De acuerdo a Arboleda (2000), las ventajas de la filtración directa, incluyen la disminución del costo de una planta de tratamiento, en 50 %, respecto a una planta convencional, ya que las dosis de coagulantes son inferiores, incluso, a las dosis arrojadas por la prueba de jarras. El tipo de coagulación utilizado, previo a la filtración directa, es la coagulación de barrido, esta consiste, en dosificar los coagulantes metálicos, con concentraciones que puedan exceder los límites de solubilidad de los hidróxidos de aluminio o hierro en el agua y produzcan una masa tridimensional esponjosa que incorpore en ella partículas de turbiedad, con las que colisiona. Debido a que en la filtración directa se trabaja con adsorción-desestabilización pura para evitar la producción de hidróxidos, con la coagulación de barrido se busca mejorar la calidad del efluente y tener carreras de filtrado más largas. Como el volumen del floc producido está en proporción directa con la dosis del coagulante y este no se compacta significativamente dentro del lecho, existe una relación inversa entre la concentración aplicada y longitud de las carreras de filtración, a mayor dosis de coagulante, se dan carreras más cortas. (Hudson, 1965, citado por Arboleda, 2000).

Según el criterio establecido por el comité de filtración de agua de la AWWA (1980), citado por Arboleda (2000), aguas con turbiedades menores de 15 UNT, pueden tratarse con coagulación y filtración, sin sedimentación. Otro criterio para no sedimentar el agua, son las aguas que requieran menos de 15mg/L de sulfato de aluminio para su tratamiento, (Wagner y Hudson, 1982, citado por Arboleda, 2000).

En la filtración directa se usan lechos de arena y antracita más profundos y más gruesos que los convencionales, para conseguir carreras más largas y mejores productividades. Hutchinson y Foley (1974), citado por Arboleda, (2000), encontraron que profundidades de 0,46 m de antracita de dos mm de T.E (Tamaño específico), sobre 0,30 m de 0,5 mm de T.E , en un filtro, logran buenos resultados.

1.6.6 Filtración Gruesa

Teniendo presente que el agua gris es un agua residual con una baja probabilidad de destinarla en usos potables, existen otros sistemas de filtrado que son destinados para el tratamiento de aguas residuales y por lo tanto tienen otras características, dentro de este tipo de filtros, están los recomendados por el RAS (2000) para tratamiento de aguas residuales [28], filtros intermitentes y filtros percoladores que tienen el objetivo de reducir la cantidad de SST y de reducir los picos de turbiedad, la descripción del funcionamiento de estos filtros, sus características y cuidado se encuentra en la guía RAS mencionada, en las páginas E32 a E34 y E68 a E70. Para Colombia, el RAS (2000), Sistemas de Potabilización describe los filtros gruesos dinámicos, filtros gruesos de flujo horizontal, filtros gruesos de flujo vertical ascendente y filtros de flujo vertical descendente, que son usados como un pretratamiento para la potabilización del agua, pero que sería tratamiento suficiente según Ludwig (2003), para obtener un efluente optimo de aguas grises listas para ser reutilizadas en usos no potables.

1.6.7 Tratamiento a Través del Suelo

El tratamiento de las aguas grises sobre el suelo, busca recircular nutrientes y preservar y aumentar zonas verdes, sin utilizar el agua potable del acueducto. Esto se puede lograr benéficamente a bajos costos, ya que las plantas poseen la información genética para la expresión de proteínas específicas y el desarrollo de mecanismos para la absorción, transporte y compartición de contaminantes orgánicos e inorgánicos. (Salgot, 2003).

Según Romero (2002), el tratamiento y disposición de aguas residuales sobre el suelo, ha sido usado con éxito tanto para aguas residuales domesticas como industriales, pero señala, que para que el tratamiento tenga éxito, se debe tener en cuenta las características del agua residual, la topografía y las propiedades del suelo, principalmente la textura, estructura, infiltrabilidad y capacidad de intercambio iónico. El suelo tiene la capacidad de tratar materia orgánica e inorgánica y

organismos patógenos de las aguas grises, debido a que actúa como un filtro natural, donde se realizan procesos como el intercambiado iónico, adsorción de partículas y como superficie sobre la cual pueden ocurrir reacciones químicas, bioquímicas y relaciones entre los microorganismos y la parte física del suelo.

1.6.7.1 Remoción de contaminantes

Los suelos en su mayor parte están compuestos con carga negativa [35], por lo que pueden atrapar y retener los componentes catiónicos del agua residual y repeler los componentes aniónicos. La capacidad de intercambio catiónico (CIC) es una medida de la capacidad del suelo para la retención de componentes del agua residual. Los suelos según Romero (2002) absorben bacterias, virus, amonio, nitrógeno y fósforo. El ion amonio por ejemplo, puede ser absorbido sobre partículas de arcilla, y en condiciones anaeróbias, permanece retenido sobre estas. En condiciones aerobias hay nitrificación, durante un periodo breve el amoníaco y las formas orgánicas de nitrógeno son retenidos en el suelo por adsorción e intercambio iónico, hasta que se mineraliza a nitrato. [35].

La remoción de nitrógeno en el suelo se hace por el consumo que las plantas hacen de este, El fósforo es quimiosorbido sobre superficies minerales del suelo, puede formar precipitados con Fe, Al o Ca que se encuentren en el suelo, La inmovilización del fósforo en el suelo y su consumo por las plantas son los mecanismos principales para removerlo.[35]

1.6.7.2 Saturación del suelo

Cuando el suelo no esta saturado, atrapa físicamente material particulado del agua residual, en estudios mencionados por Romero (2002), se demuestra que con un espesor de suelo no saturado de 0,6 a 1,2 m es posible remover bacterias, virus y casi todo el fósforo a niveles aceptables, esta remoción de bacterias, virus, helmintos y patógenos la efectúa el suelo mediante filtración, absorción, desecación, radiación, depredación y exposición a condiciones ambientales adversas para los

microorganismos patógenos, la descomposición orgánica del suelo es resultado de la actividad microbial de bacterias, protozoos, gusanos, lombrices y hongos, son estos los que oxidan la materia orgánica y reducen la DBO_5 presente en el agua residual, en los estudios se señala además que la profundidad del suelo requerida para tratamiento del agua residual se halla en función de su permeabilidad; suelos con permeabilidad muy rápida requieren profundidades no saturadas mayores, por debajo de la superficie de infiltración, que suelos con permeabilidad lenta. [35]. El porcentaje de la capacidad de intercambio catiónico ocupado por el sodio, calcio y potasio, y el porcentaje de sodio intercambiable, son claves para mantener la permeabilidad del suelo.

"La textura, la estructura y el tamaño de partículas del suelo son características muy importantes por su efecto sobre sus propiedades hidráulicas. De la textura depende la capacidad de drenaje y retención de agua del suelo; suelos de textura fina no drenan bien y retienen gran cantidad de agua durante períodos prolongados, los suelos de textura media son generalmente más adecuados para sistema de agua lenta y el suelo de textura gruesa, es decir, suelos arenosos, pueden aceptar gran cantidad de agua sin retenerla por mucho tiempo." (Romero, 2002)

1.6.7.3 Proceso de Tasa Lenta o Irrigación

Este proceso involucra un sistema de anegamiento que se hace sobre terrenos planos, en el cual se emplea la capacidad de las plantas, de la comunidad microbial y del suelo para degradar los contaminantes a medida que el flujo atraviesa la matriz del suelo. Los residuos orgánicos como lo señala Romero (2002), son removidos en los primeros dos centímetros de suelo por filtración y adsorción, para posteriormente ser oxidados por las bacterias, los sólidos suspendidos son removidos principalmente por filtración y la porción inerte pasa a ser parte de la matriz del suelo; la tasa de infiltración es importante, ya que es la tasa a la cual el agua atraviesa la superficie del suelo.

Romero (2002) propone el sistema tipo 2 de tasa lenta o irrigación, el cual se diseña para tratamiento mediante filtración del agua residual para ser reusada en riego paisajístico. Para estos sistemas, la carga hidráulica de diseño es la menor entre la carga requerida para riego del cultivo y la carga hidráulica permisible con base en la carga de nitrógeno [35].

a. Carga hidráulica de diseño para sistema de tipo 2.

La carga hidráulica de diseño se determina con base en los requisitos de riego mediante la ecuación uno propuesta por (Crites et al, citado por Romero, 2002)

$$CHR = \frac{(ET - PR)\cdot 100}{(1 - \mathrm{Pr})\cdot E} \qquad [1]$$

Donde,

CHR = Carga hidráulica, base riego, mm/año

ET = Evaporación de la zona de riego, mm/año

PR = Precipitación, mm/año

PR = Percolación requerida, fracción.

E = Eficiencia de la irrigación, %.

La percolación requerida (PR) depende del cultivo, de los SDT del agua residual y de la precipitación; generalmente es igual a 0,10 – 0.15 para aguas residuales de bajo contenido de SDT y para cultivos tolerantes como los pastos. Para aguas residuales con más de 750 mg/L de SDT el valor de PR puede oscilar entre 0.20 y 0.30. (Crites et al, 2000, citado por Romero, 2002). La eficiencia del riego (E) es la fracción de agua residual aplicada que corresponde a la evaporación de las plantas. A mayor eficiencia, menor agua percola a través de las zonas de raíces, la percolación es la tasa a la cual el agua se remueve verticalmente a través del perfil del suelo.

b. Carga hidráulica de diseño con base en la carga orgánica

En general, según Romero (2002), la carga orgánica no determina el diseño de un sistema de tasa lenta para aguas residuales, sin embargo, recomienda evitar cargas orgánicas que excedan de 500 kg DBO/hab/día.

C. Área requerida para el riego

El área requerida para un sistema de tasa lenta se calcula con la ecuación dos.

$$A = \frac{Q}{CHd} \qquad [2]$$

Donde,

A = Área requerida, m^2

Q = Caudal aplicado, m^3/año

CHd= Carga hidráulica de diseño, m/año

1.6.7.4 Problemas con el sodio en el suelo

El manual Nº 60 del departamento de Agricultura de los Estados Unidos, citado por Romero (2002), señala que si el contenido del sodio de un agua para irrigación es alto, comparado con el contenido del calcio y magnesio, el sodio es adsorbido por el suelo reemplazando al calcio y magnesio, como el contenido de sodio intercambiable aumenta, el suelo se hace más sódico y se desarrollan condiciones físicas y químicas adversas que limitan o impiden el crecimiento de las plantas; los suelos sódicos se caracterizan por un exceso de sodio intercambiable y baja permeabilidad, lo que dificultaría el riego con aguas grises. El peligro de sodificación de un agua se mide del índice RAS, relación de adsorción de sodio dada por la ecuación tres.

$$RAS = \frac{Na^{+}}{\sqrt{\frac{Ca^{+} + Mg^{+}}{2}}} \qquad [3]$$

Donde,

RAS = Relación de adsorción de Sodio

Na^{+} = Meq/L de sodio (mg/L dividido por 23)

Ca^{++} = Meq/L de calcio (mg/L dividido por 20)

Mg^{++} = Meq/L de Magnesio (mg/L dividido por 12,15)

Para irrigación se pueden usar aguas con un valor de RAS de hasta 26 si el contenido mineral es bajo, pero si el contenido mineral es alto, el valor del RAS debe ser menor de 10.

1.6.8 Almacenamiento de aguas grises

Almacenar las aguas grises, es un proceso riesgoso, ya que si se permite que transcurran periodos largos de tiempo de almacenamiento, la actividad de los microorganismos, bacterias, virus y bacterias enterogenicas, puede generar olores molestos y además, convertir al agua en una fuente de posibles vectores de enfermedades, el criterio científico respecto a largos periodos de tiempo no ha sido determinado y es uno de los puntos débiles en la escala real de la práctica.[42]. En estudios del NSW Health de Australia, sobre aguas grises, encontrarón entre 10 a 100 veces mas coliformes termotolerantes durante un periodo de 48 horas después de almacenadas, luego, en ocho días, encontraron niveles significativos de patógenos. Si el agua gris almacenada se utiliza para riego superficial de jardines, podría causar olores ofensivos y ser un vector de transmisión de enfermedades., el agua gris por tanto, no debería ser almacenada por largo tiempo, solo temporalmente en un tanque de compensación para ser desinfectada a niveles que no sean una amenaza para la población cuando el riego se hace en entornos sociales concurridos.

1.6.9 Desinfección de aguas grises

La desinfección de las aguas grises se lleva a cabo con el fin de inactivar los microorganismos patógenos y no es efectiva si no se trata primero de bajar la DBO y los SST para producir un efluente claro y bajo en materia orgánica, a través de un tratamiento como la filtración lenta, mencionado anteriormente, que remueva los SST y disminuya la concentración de materia orgánica contenida en el agua. La eficiencia del proceso de desinfección se mide a través de la presencia de coliformes termotolerantes.[9], lo que indica que a menor cantidad de estos coliformes, hay una probabilidad baja de supervivencia de los demás microorganismos. Algunas condiciones ambientales como la luz solar y la aridez pueden tener efectos adversos en la desinfección, este efecto es menor y negativo en irrigación a la sombra y de noche, por lo que se debe hacer preferiblemente en presencia de luz solar.

La forma más económica de desinfectar el agua es utilizando cloro, el cual se debe dosificar en concentraciones que no afecten a la vegetación objeto de riego, ya que una cantidad excesiva de cloro libre puede causar quemaduras y daños en el follaje de las plantas, sin embargo la mayoría del cloro en aguas residuales es una forma combinada, la cual no causa daños.[40]. Si el agua gris no es desinfectada y se aplica directamente sobre el suelo para riego, debe haber una barrera de protección entre el efluente y la población de 0,10 m del suelo, según lo definido por la normatividad australiana, emitida por el NSW Health de Australia.

1.7 Reutilización de aguas grises

Las aguas grises pueden reemplazar al agua potable en el riego de jardines y otros usos no potables, con el fin de reducir la demanda de agua potable y lograr así un ahorro económico. Para las aguas grises, hay un particular uso en descargas sanitarias y riego de jardines y existe un Interés creciente en su reutilización, no solo en los países con problemas de abastecimiento de agua, sino en países como los del norte de Europa, Bélgica, Francia, Alemania y Reino Unido, que no presentan problemas de

abastecimiento de agua, pero conservan sus recursos para el futuro. El potencial para el reuso de agua gris es considerable, la demanda de agua para descargas sanitarias es alrededor de 30% en casas y 60% en edificios comerciales (Shouler, 1988), algunos programas de reciclaje de agua combinan agua gris y agua lluvia [21], un ejemplo de reuso de aguas en Colombia, en donde se combinan estas dos aguas, es el edificio de la Cámara de Comercio de Bogota. Los sistemas con separación de aguas residuales en el origen pueden evitar muchos problemas de la tecnología empleada en el vertido, al tener en cuenta las diferentes calidades de las aguas residuales y darles un tratamiento adecuado para su reutilización[8]

1.7.1 Riego de jardines con aguas grises

Nutrientes como el Nitrógeno, fósforo y potasio, son nutrientes para las plantas y su presencia eleva el valor del agua para la irrigación. Se debe tener cuidado cuando se aplican niveles excesivos de agua gris sobre la tierra ya que se pueden formar nitratatos a una cantidad que las plantas no pueden asimilar y estos pueden percolarse mas fácilmente por el suelo y llegar a afectar a las aguas subterráneas.

Como el agua gris contiene nutrientes y microorganismos que pueden aprovechar estos nutrientes, se puede formar una biopelícula de microorganismos dentro del sistema de riego utilizado. La biopelícula reduce la efectividad de distribución del agua y puede bloquear completamente con el tiempo los orificios de distribución. Es posible también que las raíces de las plantas crezcan dentro de las tuberías y bloqueen el goteo, por esto es conveniente escoger sistemas de tuberías con piezas fácilmente reemplazables y aquellos que impidan el crecimiento microbial y de las raíces dentro de los orificios.[9] y filtros instalados en línea con una adecuada frecuencia de mantenimiento que asegure que no se va a reducir el flujo de agua gris significativamente.

---

[8] Captar el agua gris antes de que se una con el agua negra y utilizar una tecnología, que garantice un efluente seguro para ser reutilizado y no genere riesgos para la salud humana.

1.7.1.1 Jardines aptos para ser regados con aguas grises

No todas las plantas ornamentales de los jardines pueden aceptar las aguas grises, ya que hay plantas que crecen en condiciones ácidas y otras en condiciones alcalinas, y las aguas grises por su contenido de sodio proveniente de los jabones, tienden a ser alcalinas. Ludwig (2003), menciona una lista de plantas de la región de California, en los Estados Unidos, aptas y no aptas para ser regadas con aguas grises, además de esto, para conocer el caudal necesario por unidad de área que se debe suministrar a las plantas y no exceder el riego, Ludwig desarrollo una metodología resumida en la ecuación cuatro, que incluye datos meteorológicos y factores de consumo de agua por las plantas.

$$DI = \frac{EVT \cdot FP \cdot AI \cdot 0.62}{EI} \qquad [4]$$

En donde:

DI: Demanda de irrigación

EVT: Evapotranspiración (pulg/sem)

FP: Factor de la planta. Usando poca agua: 0,3 , Media: 0,5 , alto: 0,8.

EI: Eficiencia de irrigación: Bajo: 0,2 , Medio: 0,5 , Alto: 0,8

AI: Área a irrigar

0,62: Factor de conversión (pulgadas por pies cuadrados a galones)

1.7.2 Riego localizado de alta frecuencia (RLAF)

La descripción de estos sistemas de riego es hecha por Saldarriaga (2001), quien cita a su vez a (Pizarro ,1987 , Rodríguez, 1982.y Goldemberg et al,1976), señalan que para los sistemas de riego se usan redes abiertas, con el fin de tener presiones uniformes en toda el área de riego, donde el riego se hace suministrando agua por planta independientemente, conociendo la presión y el caudal requerido para cada

una, limitándose solamente a la parte radicular de la planta para que obtengan el agua y los nutrientes justos que necesitan para su crecimiento.
Cuando se aplica riego de alta frecuencia, el suelo permanece húmedo por más tiempo, esto puede tener consecuencias, pues si no es bien controlado, puede afectar el proceso de absorción de agua por la planta, la concentración de sales en el suelo y la aireación en la zona radicular.[23]

De acuerdo al caudal que se suministre, los sistemas localizados de alta frecuencia pueden ser de alto caudal (microaspersión y difusión) y de bajo caudal (goteo y goteo autocomopensante). Saldarriaga (2001) señala, que en la micro aspersión se distribuye el agua a través del aire, pulverizándola con presiones de 100 kPa y 10 m de cabeza de agua, y caudales de 16 a 160 L/h, utilizando un elemento giratorio en los emisores finales, la difusión en cambio consiste en una tobera no giratoria que distribuye y pulveriza el caudal de riego. El riego de jardines ornamentales con agua gris implica que se haga un riego por goteo, debido a los bajos caudales que se manejan.

1.7.2.1 Emisores finales de bajo caudal

Este tipo de sistema trabaja con caudales bajos, menores o iguales a 16 L/h, con los que trabajan los sistemas de riego por goteo, goteo autocompensante, mangueras exudantes, microtubos y sistemas de exudación, que funcionan con un conjunto de elementos que permiten el bombeo, filtrado y control de presión . La presión de los emisores de bajo caudal (presión nominal del emisor) es de 15 PSI y de 1,5 a 4,5 PSI para mangueras de exudación[9], que trabaja con caudales entre 0,5 a 3 L/h.
Los diámetros de los emisores finales de bajo caudal varían entre 0,5 a 1 mm, en los cuales se debe prestar atención a las posibles obstrucciones debido al diámetro de los orificios (ver tabla 3) que pueden bloquear el sistema si el efluente de agua gris no tiene un pretratamiento previo.

[9] generalmente, las presiones de los emisores finales las da el fabricante, dependiendo del producto que se vaya a utilizar.

Tabla 4. Sensibilidad a obturaciones en función del diámetro de salida *

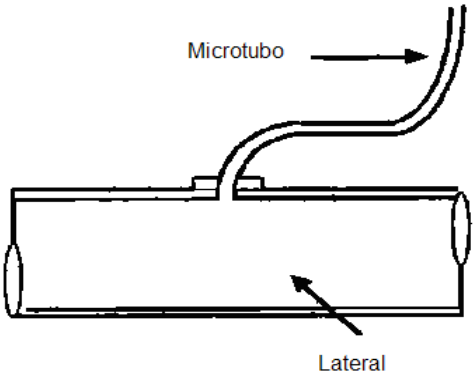
d (mm)	Sensibilidad
< 0,7	Alta
0,7 - 1,5	Media
> 1,5	Baja

*Saldarriaga, (2002)

1.7.2.2 Goteros de ducto largo

Los primeros fueron los microtubos hechos de polietileno con un diámetro de 0,6 a 2mm y de longitud variable (ver figura 9), luego vinieron los goteros helicoidales, hechos en polipropileno y mas resistentes a la presión y la temperatura; posteriormente llegaron los goteros de laberinto, en donde el agua recorre una trayectoria fuerte para tener un régimen turbulento en todo momento [39].

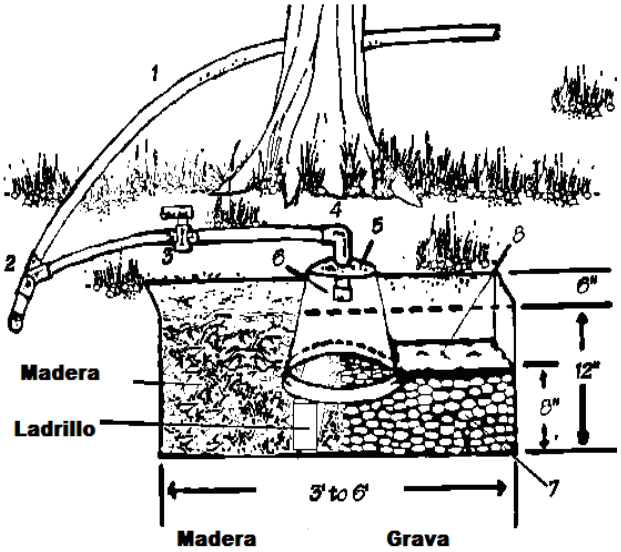
Figura 7. ***Microtubo con emisor de gotero largo****

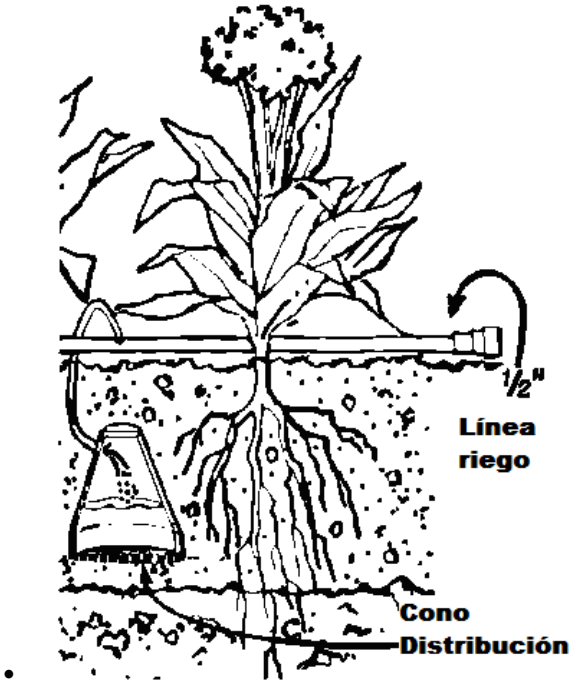


*Saldarriaga, (2002)

Este sistema de riego puede ser complementado con el sistema que se muestra en la figura 10, diseñado por Ludwig (2003), que sirve para evitar obstrucciones cuando se usa aguas grises para riego, a través de un cono y una cama de trozos de madera y grava.

Figura 8. Riego localizado de aguas grises*





*Sistema diseñado por Ludwig (2003).

1.8 Normas de Calidad del Agua para reciclar Aguas Grises

La reutilización de aguas grises debe cumplir con parámetros físico-químicos y microbiológicos que garanticen un efluente seguro, que no ponga en riesgo la salud de la población y la calidad del suelo. Se debe tener presente la concentración total de las sales solubles, la proporción relativa de sodio con respecto a otros cationes, la concentración de boro y elementos potencialmente tóxicos.[23]. De acuerdo con el manual N° 60 del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos, aguas con conductividades menores de 750 microhoms/cm son satisfactorias para irrigación en lo concerniente a contenido total de sales, sin embargo, algunos cultivos sensibles al contenido de sales pueden verse afectados adversamente por dichas aguas si las condiciones de drenaje y percolación del suelo no son adecuadas.

Tabla 5. Normas para el reuso del agua*

Parámetro	Unidades	Norma EPA (no restringido)	Norma EPA (restringido)	Norma EPA (Pasturas y jardines)	Norma colombiana (Preservación flora)
pH	Unidades de pH	6 - 9	6 - 9	6 - 9	4,5 - 9
DBO5	mg/L	≤ 10	< 30	≤ 30	
SST	mg/L	_	< 30	≤ 30	
SDT	mg/L	500 - 2000	500 - 2000		
Turbiedad	UNT	≤ 2	_		
Coliformes totales	Organismos/100ml	-			
Coliformes fecales	Organismos/100ml	No detectable	< 200	≤ 200	
Cloro residual	mg/L	1	1	1	
NT	mg/L	_	_		
PT	mg/L	_	_		

*Norma Estados Unidos. EPA, 1992.

Norma colombiana. Ministerio de Agricultura, Decreto 1594, 1984, Colombia.

Existen además de estas, otras normas desarrolladas por otros países que han avanzado en la investigación del reuso del agua.).

1.9 Aguas Lluvias

Las aguas lluvias hacen parte del ciclo hidrológico, en donde la naturaleza realiza el proceso de tratar las aguas superficiales limpias y contaminadas que suben a la atmósfera por evapotranspiración, luego son condensadas y finalmente bajan por precipitación a la litosfera.

1.9.1 Precipitación en Colombia.

Colombia por su ubicación geográfica y sus condiciones de relieve tiene una precipitación media anual de 3.000 mm, lo que representa una abundancia significativa de recursos hídricos, si se compara con el promedio mundial de precipitación, que se encuentra alrededor de los 900 mm y con el de Suramérica, que está cerca de los 1.600 mm. Esta precipitación genera un caudal específico de escorrentía superficial en Colombia de 58 l/s/km^2, tres veces mayor que el promedio suramericano y seis veces mayor que la oferta hídrica específica promedio mundial[30].

1.9.2 Captación de agua lluvia

Existen sistemas de captación sobre ladera y sobre la superficie del techo en las edificaciones, las de laderas aprovechan extensiones de tierra con pendientes altas, para recolectar el agua sobre un tanque enterrado. El sistema sobre el techo, utiliza el área de techo para captar el agua lluvia y luego almacenarlo en tanques, a la misma altura del techo o al nivel del suelo, dependiendo del caudal de diseño de captación, que depende a la vez de la precipitación media de la que se disponen en el área donde se quiera captar el agua lluvia. Ruskin (2001), propone una ecuación (ver ecuación 5), para hallar la cantidad de agua que se puede recolectar en determinado lugar, teniendo como datos, la precipitación media y un área específica de techo.

$$HA = RA \cdot CA \cdot RE \qquad [5]$$

Donde,

HA = Agua recolectada (m^3)

RA = Precipitación de agua lluvia (mm)

CA = Área de captación

RE = Eficiencia de desagüe del techo.

Según Ruskin (2001), la eficiencia de desagüe (RE), depende del tipo de material que se use para los techos de las edificaciones y de factores como el declive, grado de impermeabilidad y aspereza de la superficie; un valor estándar sugerido para la RE es 0,85 (Smith, 1984, citado por Ruskin, 2001), aunque los valores de la RE pueden variar entre 0,70 y 0,90.

1.10 Experiencias a Nivel Mundial de Reutilización de Aguas Grises y Aguas Lluvias

Países como Australia, Francia, Inglaterra y Estados Unidos, han dedicado tiempo y esfuerzos al estudio de las aguas grises y la captación de aguas lluvias de escorrentía, con el objetivo de reutilizarlas para disminuir la presión sobre sus recursos hídricos, algunos países como Australia y el estado de California en los Estados Unidos lo hacen por la ya presente escasez del recurso en sus territorios, mientras que otros como Francia e Inglaterra lo hacen con visión futurista, con un sentido de preservación del recurso. Colombia comienza poco a poco a interesarse en el tema, prueba de ello es el proyecto sostenible del edificio de la Cámara de Comercio en Bogotá que reutiliza sus aguas grises y capta las aguas lluvias para destinarlas en usos no potables.

1.10.1 Homebush Bay (Australia)

Programa de reciclaje de agua instalado en los juegos olímpicos de Sydney 2000, donde fueron recicladas 7.000 m^3/d de agua lluvia y aguas residuales tratadas, para descargas sanitarias en lugares deportivos, irrigación de espacios abiertos y para riego

de jardines y descargas sanitarias de 2.000 casas. Para el tratamiento fue usada la microfiltración y la ósmosis inversa. El programa reduce la demanda de agua potable de Sydney en 850.000 m^3/año.[1]

1.10.2 Darlinghurst (Australia)

La reutilización de las aguas la hacen en un modelo de casa saludable, que está ubicado en los suburbios de Darlinghurst, Australia, en un área 420 m^2. Se usa agua gris y agua lluvia con tratamiento, para descargas sanitarias y riego de jardines. 120 m^2 de los 127 m^2 del área del techo suministra agua a una cisterna de 22 m^3 instalada debajo de la casa, para luego enviarla al interior de la casa por una tubería usando una bomba de 0.7 kw después de pasar por un filtro de arena de 20 mm y un sistema UV de desinfección de 40 W. La cisterna de agua lluvia es complementada con agua del acueducto. Para tratar el agua gris se usa un filtro de arena recirculante con un tanque de concreto de 6 m^3 parcialmente enterrado. Los compartimentos del tanque lo forman un tanque de arranque séptico, dos bombas y un filtro de arena de 800 mm y 1.5 m^2.de área, cuando el nivel de agua gris en la segunda bomba se eleva mucho, 20% del agua gris tratada se descarga a la alcantarilla para mantener el balance hidráulico. Después de 1 año de monitoreos regulares concluyeron que la recirculación de agua gris por filtros de arena con un proceso de desinfección puede producir una alta claridad, color bajo y efluente seguro microbiológicamente y en total la casa reutilizo 229 m^3/ año de agua gris y 627 m^3/año con un promedio de lluvia de 1460 mm/año.[1]

1.10.3 Annecy (Francia)

40 edificaciones usan agua gris, a través de un sistema completo de reciclaje de aguas, para tratar todas las aguas grises tanto obscuras y claras, usan un bioreactor de membrana (MBR), tratamiento biológico seguido por ultrafiltración, que produce un afluente claro y desinfectado, pero es uno de los tratamientos más costosos para reusar el agua, particularmente en pequeñas instalaciones como lo indica Lazarova

(2001), quien determinó que las instalaciones por debajo de 75 m^3/d, tienen un capital y costo de operación de tres Euros/m^3, con una reducción a 1,7 Euros/m^3 para plantas por encima de los 300 m^3/día de capacidad y que pueden servir a más de 500 habitantes.

1.10.4 El Millenium Dome en Inglaterra

Es el más grande programa de reciclaje en edificios del Reino Unido, desarrollado por "Aguas Thames", con el fin de reducir la demanda de agua potable del Domo Milenio, instalación para la recreación y la ciencia. El programa trata suficiente cantidad de agua gris (10%) solo de lavamanos, agua lluvia (19%) y agua subterránea (71%) para la descarga de todos los sanitarios y orinales, 646 sanitarios y 191 orinales en total, La planta tiene una capacidad de 500 m^3/d y sirve a 6.5 millones de visitantes al año.

El agua lluvia es recogida en tolvas diseñadas para captar el agua de los techos y es tratada en un sistema de cama de juncos (Reed bed). El agua gris de los lavamanos es tratada usando un filtro biológico aireado (BAF), por sus siglas en ingles, seguido por una membrana de filtración, el sistema BAF provee una compacta y confiable reducción de la DBO_5 y SS y la membrana de ultrafiltración remueve los contaminantes microbiológicos eficientemente con un 100% de remoción de CT y E coli.[15]

1.10.5 Bogota (Colombia)

La Cámara de Comercio de Bogota construyo un moderno edificio que capta el agua lluvia y la mezcla con las aguas de los lavamanos y lavado de pisos tratadas con polímeros, en una planta pequeña que sigue los procesos de potabilización del agua, para luego ser reutilizadas en las descargas sanitarias del edificio. El consumo promedio de agua potable del edificio es de 70 L/persona/día en oficinas y 3

L/persona/día auditorios y visitas, con un volumen total diario de consumo de 89,80 m^3/día.

El consumo diario para sanitarios de fluxometro y orinales representa el 60%, 53.88m^3/día, 16170 m^3/año (año de 300 días).

El aporte de aguas lluvias es de 8.250m^3/año, con una área de techo de captación de 3000 m^2, el aporte de aguas grises proviene únicamente de los baños públicos y equivale a un 30% del agua total consumida, afectado por el coeficiente de retorno de 85% de tasa de producción de aguas residuales, lo que genera un aporte de 18m^3/día, 5400 m^3/año de aguas grises, para un aporte total de aguas lluvias y aguas grises de 13650 m^3/año y el costo del tratamiento de las aguas grises y lluvias es de 300 \$/m^3.

2 PROBLEMA

La escasez del recurso hídrico a nivel regional, acompañado del aumento de la población en Bogotá genera una mayor presión sobre el agua de Cundinamarca. Esta situación lleva a explorar alternativas novedosas, desde lo local y a nivel institucional, para preservar el recurso. La Universidad el Bosque tiene la voluntad de enmarcar su crecimiento en infraestructura física con una visión sostenible, buscando darle un manejo eficiente al agua que le llega del acueducto, a través de un decremento en su demanda. Para tal, busca desarrollar la alternativa de reutilizar las aguas grises y aprovechar las aguas de escorrentía de la universidad, para enmarcarse de la política nacional del agua.

3 JUSTIFICACIÓN

"En la naturaleza el agua como la energía no se crea no se destruye pero se transforma" (Anderson, 2003).

En el año 2003, declarado el año internacional del agua, se han detectado problemáticas globales concernientes al recurso agua, aún cuando se dispone de un 0,1% de agua dulce en aguas superficiales del 2,5 % total de agua dulce del mundo, el consumo mundial de agua se ha elevado, incluso a niveles mayores que los de la tasa de crecimiento poblacional. El sistema de acueducto de Bogotá demanda cada vez más agua a los ecosistemas, estos ecosistemas se ven amenazados al mediano y largo plazo, ya que el crecimiento demográfico de la ciudad de Bogotá continúa. La investigación que se propone hacer, a través del diseño ingenieril y el aporte al conocimiento desde la Ingeniería Ambiental, es encontrar la forma de reutilizar el agua residual proveniente de los lavamanos (aguas grises) de la Universidad el Bosque y captar las aguas lluvias de escorrentía, para usos no potables, disminuyendo así la demanda de agua potable al acueducto. En la actualidad La Universidad el Bosque no cuenta con un sistema de reutilización de aguas grises, ni captación de aguas lluvias. El gasto de agua potable ha estado en función del crecimiento de la población universitaria que ha venido en aumento desde el año 2002, con la apertura de nuevos programas. Con la presente investigación se propone una alternativa de reutilización de aguas grises que genere un ahorro para la universidad y la haga más eficiente en el uso de sus recursos. El proyecto se encuentra enmarcado dentro de la producción más limpia y contribuye al desarrollo sostenible del país.

El Plan Nacional Ambiental identifica aspectos institucionales y sociales en la problemática del agua:, las condiciones de acceso al agua han llevado a tasas de extracción muy superiores a las socialmente deseables y naturalmente sostenibles; no hay mecanismos que permitan cobrar por el deterioro ambiental que genera el mal uso del agua y su utilización para depositar vertimientos contaminantes; existen

procesos de ocupación que no atienden a las condiciones ambientales, atentando contra zonas de especial interés hídrico o generándose en regiones con escasez y patrones de producción y consumo caracterizados por un uso ineficiente del recurso hídrico; las investigaciones en agua son reducidas y han redundado en una base científica y un sistema de información insuficiente., se requiere más investigación desde la academia para proporcionar las tecnologías apropiadas para el uso y conservación del agua. La Universidad el Bosque tiene la voluntad de enmarcarse dentro de los objetivos nacionales de la política del agua y a través de su política ambiental institucional, busca darle un manejo eficiente al agua que le llega del acueducto, reutilizando las aguas grises y usando las aguas lluvias para usos no potables.

El uso de las aguas lluvias, esta permitido en Colombia a través del Decreto 1541/78 (Art. 143) del Ministerio de Salud, el cual señala que las aguas lluvias se pueden utilizar, si estas, no se constituyen en el aporte de agua a ríos y quebradas de importancia local. El Decreto 1594/84 del Ministerio de Agricultura, establece parámetros por uso para riego con aguas residuales (art 40 y 45). La Ley 373 de 1997 establece el programa para uso eficiente y ahorro del agua. (Art 5, 9), promoviendo el uso de aparatos y tecnologías que reduzcan en la fuente el consumo de agua potable, el Decreto 3102 de 1997 lo hace reglamentario y en su artículo 3 dice que todas las solicitudes de licencias de construcción y urbanismo deben incluir en los proyectos, la utilización de quipos, sistemas e implementos de bajo consumo de agua, a partir del primero de Julio de 1998.

Otra de las herramientas que el país ha querido proporcionar a los impulsores de los proyectos de reutilización de agua es la "Guía para la implementación del reuso del agua en Colombia", del Ministerio de Ambiente Vivienda y Desarrollo Territorial, una de las políticas propuestas en la guía, es la de formular proyectos de tratamiento y reuso de efluentes en jardines, parques, zonas forestales circundantes, hidrantes, lavado de calles y vehículos, incluyendo la investigación sobre tecnologías apropiadas y sistemas de tratamiento con criterios de costo – efectividad. La Política

del agua en Colombia ha establecido objetivos como recuperar las condiciones de regulación hídrica y de calidad para satisfacer las demandas actuales y futuras, orientar el uso eficiente del agua a través de la formación de una conciencia de uso racional, adoptar tecnologías y crear hábitos de consumo que permitan eliminar el desperdicio, disminuir la contaminación del agua, desarrollar el conocimiento y la investigación del recurso y fortalecer un sistema de información multipropósito del agua, integrado al Sistema de Información Ambiental.

4 OBJETIVO GENERAL

Prediseñar un sistema de aprovechamiento de aguas de escorrentía y reutilización de aguas grises para usos no potables en la Universidad El Bosque.

4.1 Objetivos específicos

- Estimar la demanda de agua potable, la producción de aguas grises y la capacidad de captación de aguas de escorrentía de la Universidad El Bosque.

- Determinar la calidad físico-química y microbiológica de las aguas grises y la calidad físico-química de las aguas de escorrentía de la Universidad.

- Esquematizar y predimensionar el tratamiento y almacenamiento de las aguas de escorrentía y aguas grises.

5 MATERIALES Y MÉTODOS

El presente proyecto de grado se centra en conocer la demanda de agua Potable de la Universidad el Bosque, se partió de un dato de una demanda estable para determinar la producción de aguas grises claras, y se clasificaron los usos potables y no potables y los requerimientos de agua para satisfacer su demanda. Con el análisis de una tabla multianual de datos de priecipitación mensual de la estación más cercana a la Universidad y el dato del área total de techos de la universidad se determinó la capacidad de captación de escorrentía promedio diaria de la Universidad. Se analizaron los dos tipos de agua a reutilizar a través del análisis fisicoquímico de las aguas grises y de escorrentía y el análisis microbiológico solamente de aguas grises.
Con los caudales medios diarios obtenidos y la determinación de los parámetros indicadores de la calidad de las aguas a reutilizar, comparados con la norma EPA de reutilización de aguas y la guía RAS 2000 para sistemas de tratamiento de aguas residuales, se escogió la filtración lenta en arena como el tratamiento más adecuado y se hizo el prediseño para almacenamiento, filtración y desinfección, localizando estas unidades sobre un plano de la universidad.

5.1 Demanda de Agua Potable y usos potables y no potables

Para determinar la demanda de agua potable de la Universidad El Bosque se tomó el predio 1, comprendido por el edificio de Rectoría, Clínicas Odontológicas y Gimnasio, como sitio de estudio y se estableció para el análisis, un periodo de cinco años de consumo de agua potable, comprendido entre 1999 y 2003.

Se consultaron las facturas de la EAAB (Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá) en el archivo general de la universidad, de cada período facturado y se totalizó por año para conocer el caudal de consumo en m^3 por cada año. (Ver anexo 1), se seleccionó el año 2002 como un año base para el análisis.

Este consumo, se relacionó con el número de puntos hidráulicos existentes en el predio seleccionado. Para hallar el porcentaje de puntos hidráulicos correspondientes al predio 1, se realizó un inventario general de todos los puntos hidráulicos de la universidad (Ver anexo 2), incluyendo todos los predios y luego se halló el porcentaje equivalente al predio 1.

Posteriormente, se clasificaron los usos del agua en usos potables y no potables, asignándole un porcentaje a cada uso de acuerdo a lo estimado por Metcalf y Heddy (1996).

5.2 Producción de Aguas Grises.

Para hallar la oferta de agua gris de los lavamanos, se utilizó el método propuesto por Crites y Tchobanoglous (2000), asignando un 10 % del consumo total del año 2002, resultado que se multiplicó por 85 % equivalente a lo que se produce en promedio de agua residual, del total del agua que entra a una estructura y se consume.. Luego se dividió este volumen por el número de días en actividad de la universidad, calculado en 225 días y se obtuvo un caudal. Adicional a la oferta de aguas grises se calculó la demanda para los jardines en base a porcentajes de usos no potables.

Semanas año: 52

Semanas vacaciones: 11

Semanas /Año Universidad el Bosque = 52 semanas – 11 semanas = 41 semanas

Días / semana actividad Universidad el Bosque = 5,5 días / semana

Días / año Universidad el Bosque = 41 semanas / año * 5,5 días / semana = 225,5 días / año.

Consumo de agua 2002 = 5392 m^3 / año.

$$\text{Producción de aguas grises diaria} = \frac{5392\ m^3 / año}{225.5\ días / año} \times 0.85 \times 0.10 = 2.03\ m^3 / día$$

De acuerdo a la cantidad de agua destinada para riego de jardines propuesta por Carmona (2002), se tomó el cinco % del agua total consumida de 2002 para establecer el volumen diario de aguas grises requerido.

$$\text{Agua requerida para riego de jardines} = \frac{5392\ m^3 / año}{225.5\ días / año} \times 0.05 = 1.19\ m^3 / día$$

5.3 Captación de Aguas de Escorrentía

La oferta de agua lluvia se calculó en base a los datos otorgados por el IDEAM. Se escogió por su cercanía a la universidad la estación de tipo meteorológico con datos multianuales "Centro Médico los Andes", con coordenadas 4°.42´ N, 74°.02´ W y 2575 m.s.n.m, ubicada en la calle 116 con carrera Séptima de la ciudad de Bogotá. Se tomaron datos de precipitación desde el año 1985 (año de instalación de la estación) al año 2003. (ver anexo 3).

Posteriormente, para conocer el caudal potencial de captación de agua lluvia de escorrentía, a través de los techos de la universidad, se utilizó el método propuesto por Ruskin (2001), se calculó el área total de las cubiertas en m^2 de los edificios en base a un plano completo de la universidad a escala 1:500, representado en un esquema elaborado por el departamento de SIG de la universidad (Ver anexo 4), se tomó la media de los valores medios totales mensuales de precipitación en mm y se utilizó un valor de eficiencia de desagüe de 0,85 , donde se incluye la evaporación mencionada por Sánchez (2004) al momento de la lluvia [10]

$$HA = RA \cdot CA \cdot RE \qquad [5]$$

HA = Agua recolectada (m^3)
RA = Precipitación de agua lluvia (mm)

[10] El profesor Sánchez, es un reconocido profesional en el área de la Hidrología, que trabajo para el IDEAM por más de 10 años, actualmente dicta el curso de Hidrología en la Universidad el Bosque.

CA = Área de captación

RE = Eficiencia de desagüe del techo.

Tabla 6. Área Techos Universidad

Edificio	Área techo (m2)
Milton Argüello	428
Facultades	467.25
A Fundadores	427.5
Clínicas Odontológicas	1673.95
Reloj	1606.25
Gimnasio	312
Mantenimiento	175
La casona	476.75
Aulas C	238.15
Nuevas C	360.75
Campito	1256
Nuevo predio	1617.75

Área total de techos = 428 m^2 + 476.75 m^2 + 238.15 m^2 + 360.75 m^2 + 467.25 m^2 + 427.5 m^2 + 175 m^2 + 312 m^2 + 1673.95 m^2 + 1606.25 m^2 + 1256 m^2 + 1617.75 m^2.

Área techos = 9039.35 m^2

Para estimar el potencial mensual y diario de agua lluvia que cae sobre la universidad, se tomó la media de los valores medios mensuales totales de precipitación de la estación meteorológica del IDEAM, Centro médico los Andes

Valor medio mensual de precipitación = 66.3 mm/mes

$$\text{Oferta mensual de aguas de escorrentía} = 66.3\ \text{mm/mes} \times \frac{1\text{m}}{1000\ \text{mm}} \times 9039.35\ \text{m}^2 = 599.3\ \text{m}^3/\text{mes}$$

$$\text{Potencial promedio diario de aguas de escorrentía} = 599.3\ \text{m}^3/\text{mes} \times \frac{1\ \text{mes}}{30\ \text{días}} = 19.97\ \text{m}^3/\text{día}$$

El porcentaje en usos del agua no potables aptos para utilizar agua lluvia se calculó en base a lo propuesto por Carmona (2002), asignandole un porcentaje de 55 % (ver figura 13.)

$$\text{Agua lluvia de escorrentía requerida} = \frac{5392\ \text{m}^3/\text{año}}{225\ \text{días/año}} \times 0{,}55 = 13.18\ \text{m}^3/\text{día}$$

5.4 Muestreo

Para el muestreo se siguió la guía de métodos del "Standard Methods", edición 20 de 1998, publicado por la AWWA (American Water Works Association) y adaptado a Colombia por el DAMA, en la guía para muestreos de agua de la misma institución.

5.4.1 Aguas de escorrentía

El muestreo de las aguas lluvias se realizó en días lluviosos con alta precipitación (aguaceros) en un punto final de salida de aguas lluvias con acceso para tomar la muestra., se tomaron seis muestras en seis eventos de lluvia, el agua lluvia se recogió en recipientes de polietileno de 5 L .

5.4.2 Aguas grises

El muestreo de las aguas grises se llevó a cabo en los baños de la universidad, se escogió un baño aleatoriamente cada vez, sin dejar por fuera ningún edificio de la universidad, durante un periodo de dos meses, se tomaron 12 muestras en total, en recipientes de 5 L de polietileno; para el muestreo se utilizó un balde de capacidad de 8 L recogiendo el agua por periodos entre 45 min a 90 min.

5.4.3 Análisis Fisicoquímicos

Para el análisis fisicoquímico de las aguas lluvias se utilizaron métodos volumétricos y de espectrofotometría. Se midieron los parámetros propuestos por Gardner (2003),

pH, conductividad, turbidez, sólidos disueltos totales, sólidos sedimentables, alcalinidad y acidez; las muestras se analizaron en el laboratorio de la Facultad de Ingeniería Ambiental de la Universidad el Bosque.

Para hallar el pH, la conductividad, los SDT se utilizó un multiparámetro HACH Sension 378, para hallar los sólidos sedimentables se utilizó el método Imhoff , la turbidez se determino empleando un turbidimetro HACH 2100 N, calibrado con una celda de 20 UNT, El valor de la alcalinidad y la acidez se determino con técnicas volumétricas recomendadas por los *Standards methods for the Examination of Water and Waste Water.*

Los parámetros medidos en aguas grises fueron los recomendados por Lazarova (2003), pH, turbidez, fósforo total, Nitratos y DBO_5, y los propuestos para aguas residuales por Romero (2002), conductividad, sólidos disueltos totales, salinidad, alcalinidad, acidez, nitritos, nitratos y fosfatos.

Las muestras de aguas grises se analizaron en el laboratorio de la Facultad de Ingeniería Ambiental, para hallar los nitratos se debió primero hallar el valor de los nitritos, ambos parámetros se hallaron con métodos de espectrofotometría, utilizando un espectrofotómetro Termo Spectronic Genesys 5. Para hallar la DBO_5, se utilizó el método respirométrico empleando botellas Oxitop®. Para los demás parámetros mencionados se utilizó la misma metodología aplicada a las muestras de aguas lluvias.

5.4.4 Análisis Microbiológico

De acuerdo a los parámetros microbiológicos que se miden en aguas grises, señalados por Lazarova (2003), se midió coliformes totales, se utilizó el método de la prueba presuntiva, utilizando las muestras de agua gris diluida y tubos de Durham con una lectura posterior de tubos positivos con presencia de gas para hallar el NMP (numero más probable). (ver anexo 7),

5.4.5 Esquematización y predimensionamiento del sistema de reutilización de aguas grises

Para el predimensionamiento del sistema de reuso de aguas grises se escogió un tratamiento que incluye un tanque de captación (con sedimentación), un sistema de riego por goteo y un filtro de arena lento.por gravedad. El sistema de riego directo utilizará el agua gris en época seca para riego de jardines y el filtro lento en época de lluvias, para tratar el agua gris y dirigirla al tanque de captación de aguas lluvias.

Captación

Para el dimensionamiento del tanque de captación se tomó el caudal requerido para riego de jardines de 1.19 m^3/día, y se aproximó a 1m^3/día, se seleccionó un tanque sedimentador con capacidad para almacenar 1000 L, para obtener efluentes con menor cantidad de material suspendido.

Sistema de riego

El sistema de riego seleccionado, para realizar el riego con agua gris, es el sistema de riego utilizando goteros de ducto largo para caudales bajos, propuesto por Saldarriaga (2001), complementado con el sistema de cono de riego subsuperficial de Ludwig (2003), especificado con las siguientes medidas:

Tubo principal de distribución: 2.4 cm; Tubo lateral de distribución: 1.2 cm

Emisor final: 7mm; Diámetro del cono: 12 cm

Filtración

La filtración de agua gris seleccionada, es la filtración lenta en arena por gravedad. Para el diseño del filtro se tuvo en cuenta la turbidez media del agua gris de 10.2 UNT , obtenida en el laboratorio, en base a este indicador, se consultó el RAS 2000 para potabilización del agua en donde se recomienda la filtración directa en arena sin necesidad de coagulación, para turbiedades menores a 15 UNT. Para la tasa de

filtración se escogió el límite inferior propuesto por el RAS 2000 de 2,4 m^3/m^2/día y se trabajó con el caudal estimado de aguas grises de 1 m^3/día.

$$\text{Area requerida filtro} = \frac{1\,\text{m}^3/\text{día}}{2.4\,\text{m}^3/\text{m}^2\,/\,\textit{día}} = 0.41\,\text{m}^2$$

$$\text{Area en cm} = 0.42\,\text{m}^2 \times \frac{10000\,\text{cm}^2}{1\,\text{m}^2} = 4200\,\text{cm}^2$$

$$\text{Ancho del filtro} = \sqrt{4200\,\text{cm}^2} = 64.8\,\text{cm} \approx 65\,\text{cm}$$

Largo del filtro = 64.8 cm. ≈ 65 cm

La selección del lecho filtrante y sistema de drenaje del filtro se basó en las recomendaciones dadas por el RAS 2000. Para el lecho filtrante, se seleccionó arena de 0.45 mm de diámetro y coeficiente de uniformidad de dos, para asegurar una remoción alta de sólidos suspendidos y microorganismos, soportada por un lecho de grava de 4 mm de diámetro y un sistema de drenaje con tubos de PVC corrugados de 2.54 cm de diámetro.

Lechos filtrantes

Lecho de grava: 30 cm

Lecho de arena: 80 cm

Capa de agua flotante: 70 cm

Cantidad requerida de grava

Volumen de grava en el filtro = 0.65m x 0.65m x 0.30 m = 0.127 m^3

ρ grava = 1500 kg/m^3

$$\rho = \frac{\text{masa}}{\text{volumen}} \quad \rightarrow \quad \text{masa} = \rho \times \text{volumen}$$

masa = 1500 kg/m^3 x 0.126 m^3 = 190 kg de grava

$$\text{Bultos de grava} = \frac{1\text{ bulto}}{50\text{ kg}} \times 190\text{ kg requeridos de grava} = 3.8 \approx 4\text{ bultos de grava}$$

Cantidad requerida de arena

Volumen de arena en el filtro = 0.65m x 0.65m x 0.80 m = 0.338 m^3

ρ arena = 1500 kg/m^3

masa = 1500 kg/m^3 x 0.338 m^3 = 507 kg de arena

$$\text{Bultos de arena} = \frac{1\text{ bulto}}{50\text{ kg}} \times 507\text{ kg requeridos de arena} = 10.14 \approx 10\text{ bultos de arena}$$

Arena para mantenimiento por cada 10 raspados de 2cm = 0.65m x 0.65 m x 0.20 m = 0.0845 m^3.

Kg de arena = 1500 kg / m^3 x 0.0845 m^3 = 126.75 kg

Periodicidad raspado de arena = Cada 10 días.

Periodicidad cambio de arena = Cada 100 días

Bultos de arena cada 100 días = 126.75 kg / 50 kg / bulto = 2.535 bultos. ≈ 3 bultos.

Bultos /año = 10.95 ≈ 11

Drenajes

Drenes principales = 2 tubos de PVC de 0.65 m de longitud y 4cm de diámetro separados con una distancia de 10 cm.

Separación con respecto a las paredes laterales = 1/32 de su longitud

Separación de paredes = 65 cm x 1/32 = 2.03 cm ≈ 2 cm

Separación entre drenes laterales = 1/16 de su longitud

Separación entre drenes = 61cm x 1/16 = 3.8 cm

Drenes laterales = 10 tubos de PVC de 0.65 m de longitud y 2.4 cm de diámetro con orificios de 4 mm cada 10cm.

5.4.6 Esquematización y predimensionamiento del sistema de aprovechamiento de aguas de escorrentía.

De la misma manera se predimensionó un sistema de tratamiento para las aguas de escorrentía, que contiene un tamizado inicial, un tanque de captación, un filtro de arena a presión y desinfección con cloro.

Tamizado

Para el tamizado se colocarán tamices burdos, constituidos por barras metálicas verticales separadas a una distancia de 10 mm, para retener los objetos más grandes que traiga el arrastre natural de la escorrentía desde los techos, pasando por las canaletas, hasta llegar a 2 m del tanque de almacenamiento.

Captación

Se tomó el caudal estimado de agua lluvia requerida para usos no potables de 13.18 m^3/día,.con un periodo de almacenamiento máximo de reserva de 10 días.

Volumen del tanque = 13 m^3/día x 10 días = 130 m^3.

Dimensiones del tanque
Altura = 1.5 m (Altura más frecuente para los tanques)
Largo = 12 m
Ancho.= 7m

Para tratar los 13 m ^{3}/día de agua de escorrentía y en base a la turbidez media de 3.94 NTU, hallada en el laboratorio, se consulto a la empresa "Aguas Teco LTDA", quienes recomendaron utilizar para el tratamiento, un filtro de arena a presión con medio filtrante de arena silicia., de 1.5 m de altura y 0,7 m de ancho y la empresa "Aguafilter j.f" quienes recomendaron un filtro de arena de 24", con arena sílice industrial, malla 20 -40, con un sistema de bombeo y desinfección a través de un clorinador.

El filtro a presión funciona con una bomba de 1 caballo de fuerza, que consume 475 vatios / hora , 0,475 Kvatios/hora, para trabajar 14 horas/día, durante 26 días / mes. Para un total de 172,9 Kvatios/mes.

5.4.7 Localización

La ubicación del sistema de captación y almacenamiento de las aguas a reutilizar se hizo sobre un plano de la universidad elaborado por el Departamento de Sistemas de Información Geográfica de la Universidad el Bosque. (ver anexo 4), teniendo en cuenta la ubicación de las nuevas edificaciones proyectadas, que están incluidas dentro del plan de desarrollo de la Universidad el Bosque.

5.4.8 Costos del sistema de tratamiento

Inversión inicial filtro lento en arena por gravedad

4 bultos de grava	28000	pesos
10 bultos de arena	70000	pesos
Materiales construcción filtro	500000	pesos
Mano de obra construcción filtro	300000	pesos
Subtotal	**898000**	**pesos**

Mantenimiento mensual

Operario[11]	22375	pesos
Arena	7000	pesos
Subtotal	**29375**	**pesos**

Mantenimiento anual (11 meses)	**323125**	**pesos**

[11] Al operario se le cancela 1/16 del salario mínimo, y se emplea a uno de los operarios del Departamento de Mantenimiento Físico que distribuya su tiempo para esta labor.

Inversión inicial filtro a presión manual[12] ..... **2540000 pesos**

Mantenimiento mensual

Energía eléctrica bombeo[13] ..... 37000 pesos

Operario ..... 22375 pesos

Pastilla sólida de cloro ..... 5000 pesos

Subtotal ..... **64375 pesos**

Mantenimiento semestral

1 bulto arena de filtro a presión ..... 7000 pesos

Mantenimiento anual ..... **722125 pesos**

Ahorro

Tarifa EAAB[14] ..... :2293,33 pesos /m^3

Agua gris requerida / año ..... 270,6 m^3/año

Ahorro bruto anual ..... 620575 pesos

Ahorro neto anual ..... **297450 pesos**

Agua de escorrentía requerida ..... 2976,6 m^3/año

Ahorro bruto anual ..... 6826326 pesos

Ahorro neto anual ..... **6104201 pesos**

---

[12] Incluyendo el equipo de bombeo y un sistema de cloración.

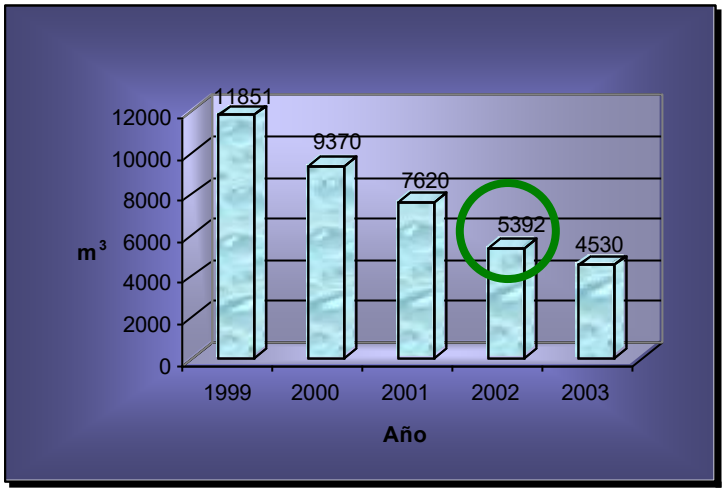
[13] El precio de un Kilovatio/hora es de 215 pesos.(Tarifa establecida por la empresa CODENSA de energía eléctrica de Bogotá) para el mes de Marzo de 2004.

[14] Tarifa establecida por la EAAB en el mes de Marzo de 2004.

6 RESULTADOS

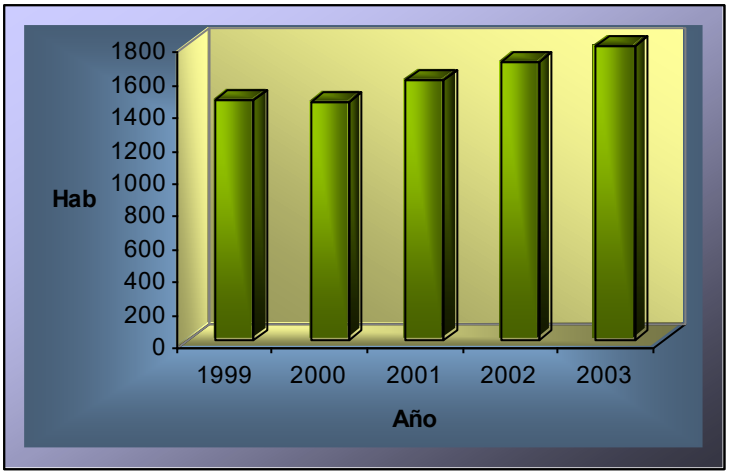
6.1 Consumo de agua

Figura 9. Consumo de agua predio 1 UEB 1999-2003



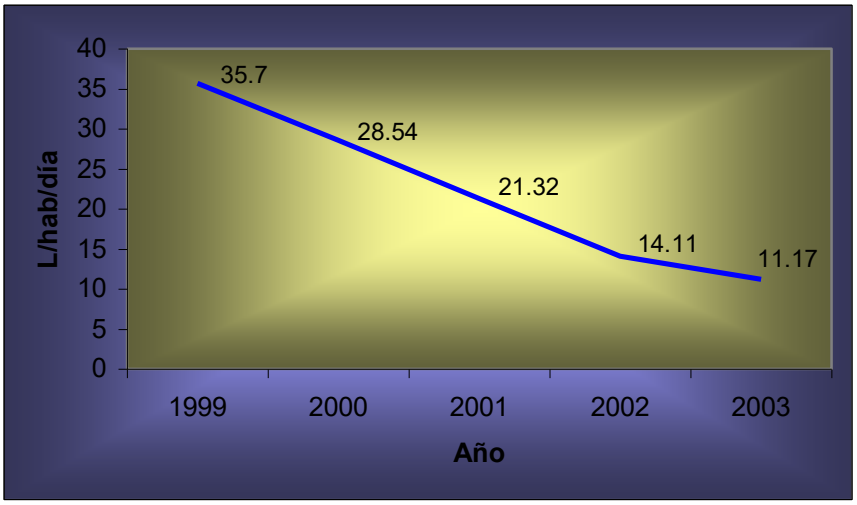
El consumo de agua ha ido disminuyendo por el cambio a fluxometros de bajo consumo para descargas sanitarias; en 2002 el consumo se estabiliza. El año 2003 presenta irregularidad por inadecuada facturación de la EAAB.

Figura 10. Censo población predio 1 UEB 1999-2003



Desde 2001, la población comienza a crecer por la apertura de nuevos programas.

Figura 11. Consumo per cápita de agua potable Predio 1

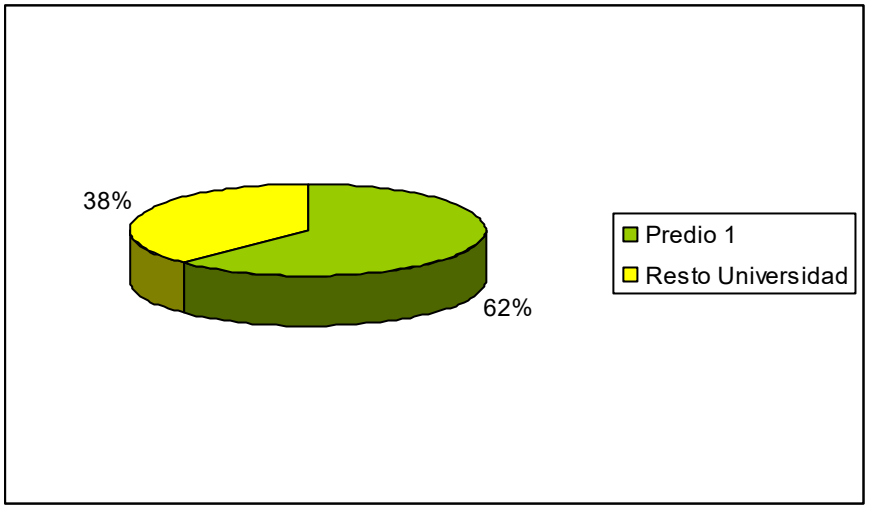


.

El consumo de agua ha disminuido 24 L /hab/día en cinco años.

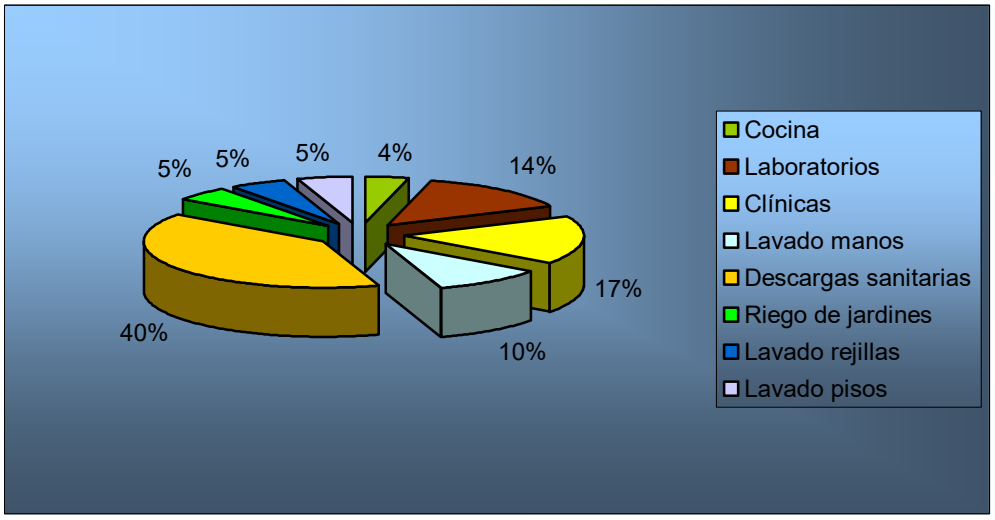
6.1.1 Clasificación de los usos del agua en la universidad

Figura 12. Porcentaje numero de puntos hidráulicos predio 1 con relación al resto de la universidad



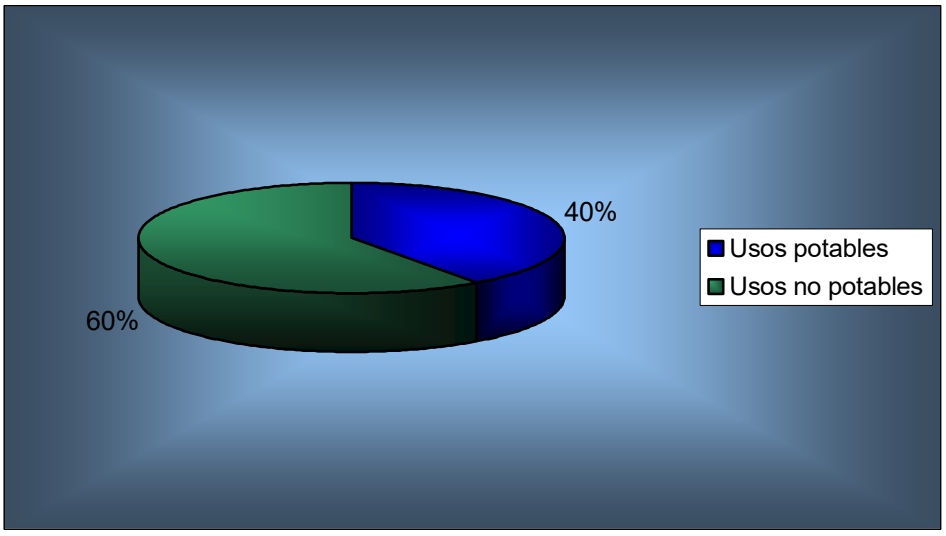
La mayoría de los puntos hidráulicos de la Universidad se localizan en el predio 1, en donde los lavabocas de las clínicas odontológicas representan el mayor numero, seguido por los sanitarios de los tres bloques y lavamaterial de los laboratorios.

Figura 13. Distribución porcentual por uso del agua del predio 1



En consumo, las descargas sanitarias constituyen la mayor demanda, seguida por la demanda de las clínicas odontológicas.

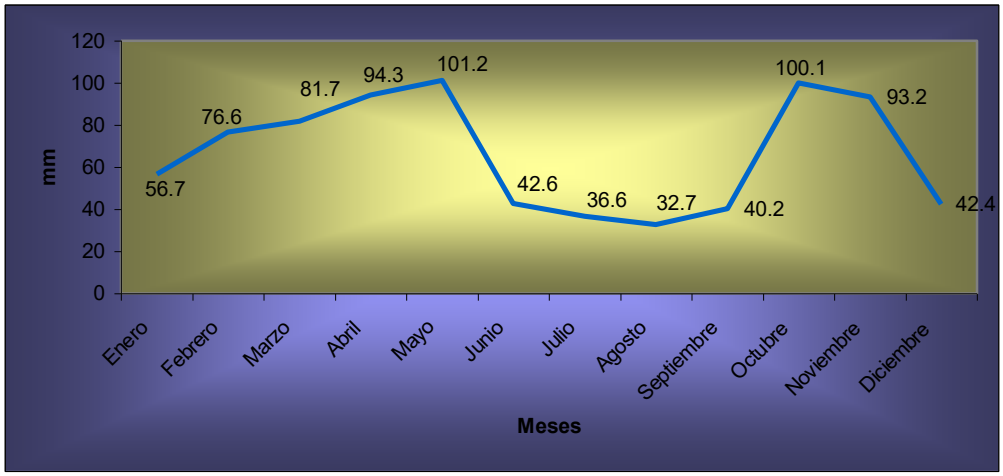
Figura 14. Porcentaje usos potables y no potables del predio 1



La demanda de agua para usos no potables es mayor, los usos destinados no potables son las descargas sanitarias, riego de jardines, lavado de pisos.y lavado de desagües.

6.1.2 Precipitación en la universidad

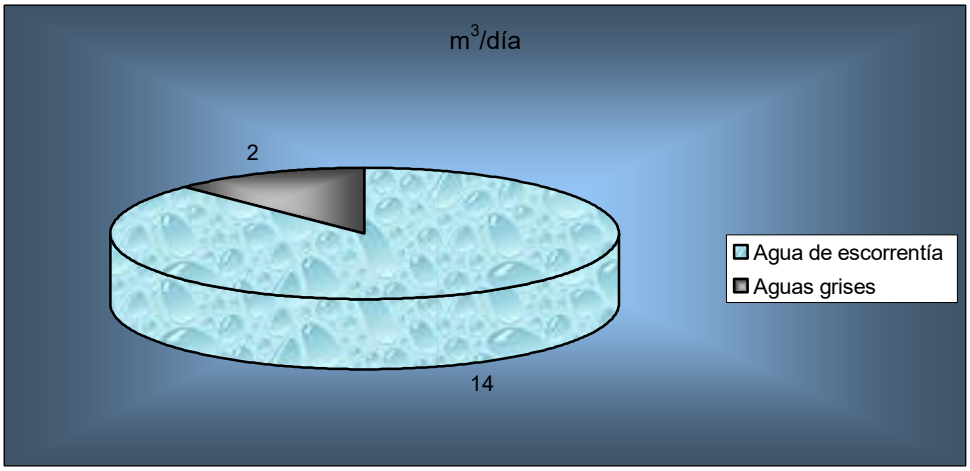
Figura 15. Valores medios totales mensuales de precipitación Estación Fundación los Andes.



En Mayo y Octubre se presentan dos picos de máxima precipitación, con un valle de calmas entre Junio – Agosto y una media anual de 66,3 mm/mes.

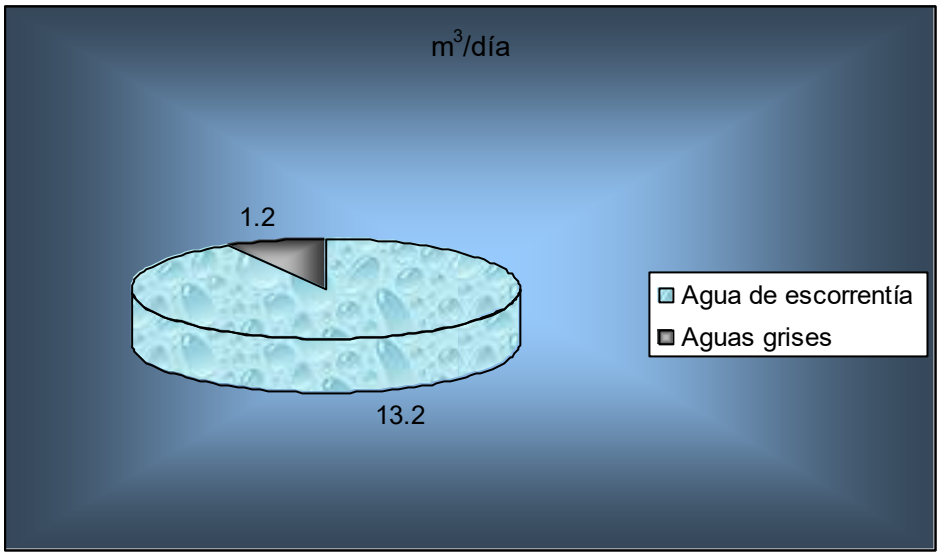
6.1.3 Producción de aguas a reutilizar y requerimientos

Figura 16. Producción diaria de aguas grises y oferta de agua de escorrentía



En total hay disponibles en promedio 16 m^3/día de aguas para reutilizar, basado en el consumo de 2002 y en la media anual de precipitación.de la zona de la Universidad.

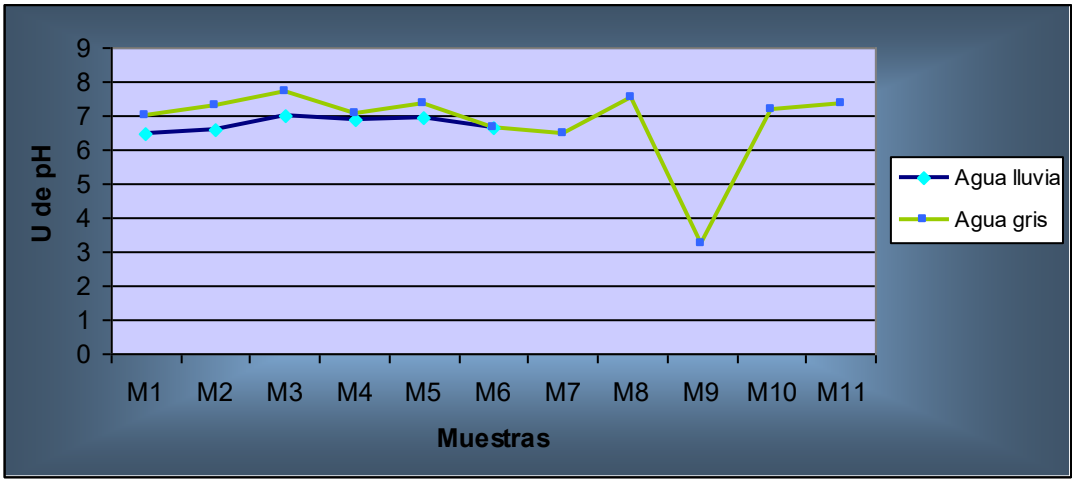
Figura 17. Agua gris y agua de escorrentía que se requiere para los usos no potables



Volumen diario de agua lluvia y agua gris requerida para usos no potables, de acuerdo al consumo del año 2002 y la distribución porcentual de la figura 13. Asumiendo que el agua gris se utilice para riego de jardines y el agua lluvia de escorrentía para descargas sanitarias, lavado de pisos y mantenimiento de desagües.

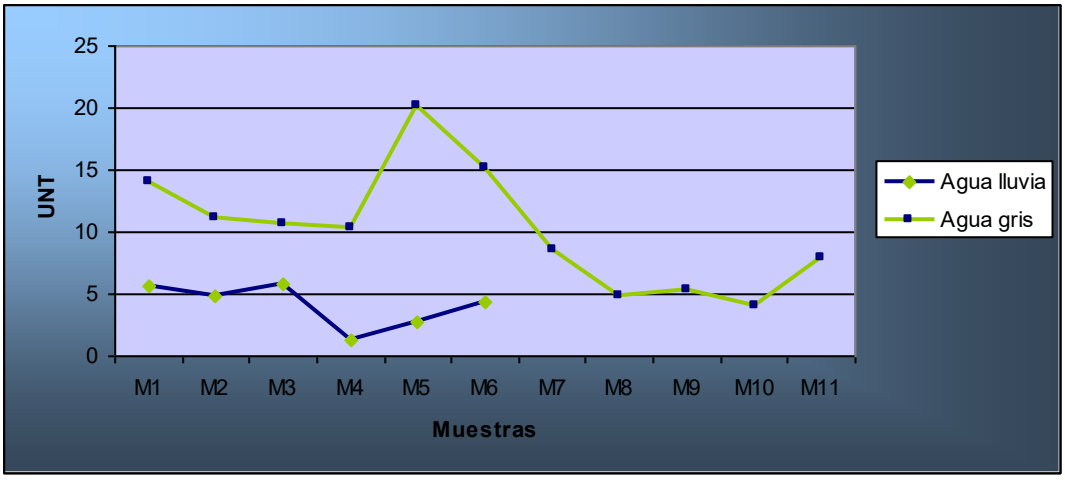
6.2 Análisis Físico químico y microbiológico de las aguas grises y aguas lluvias

Figura 18. pH.



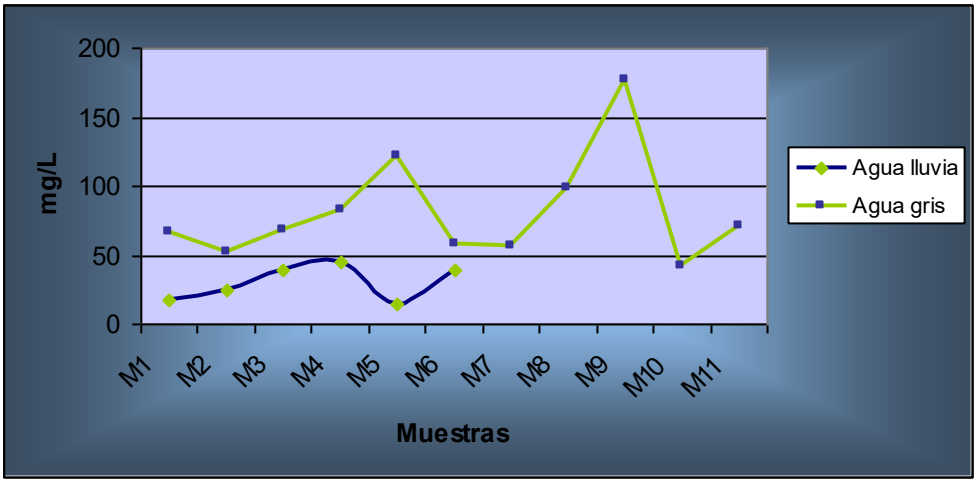
El agua lluvia tiende a ser ácida, mientras que las aguas grises tienden a ser alcalinas.

Figura 19. Turbidez



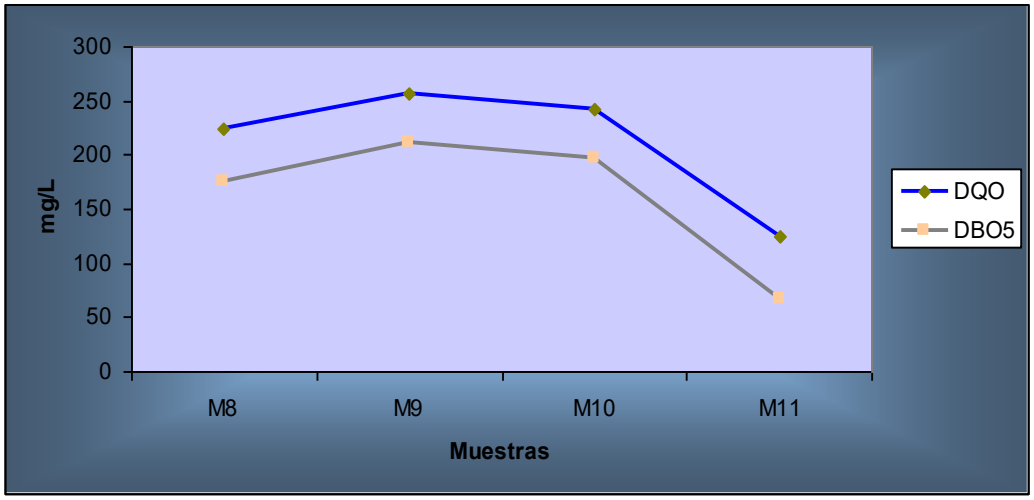
El agua lluvia presenta una turbidez más baja que la de las aguas grises , las cuales llegan a tener un pico de 20.1 UNT.

Figura 20. Sólidos Disueltos Totales



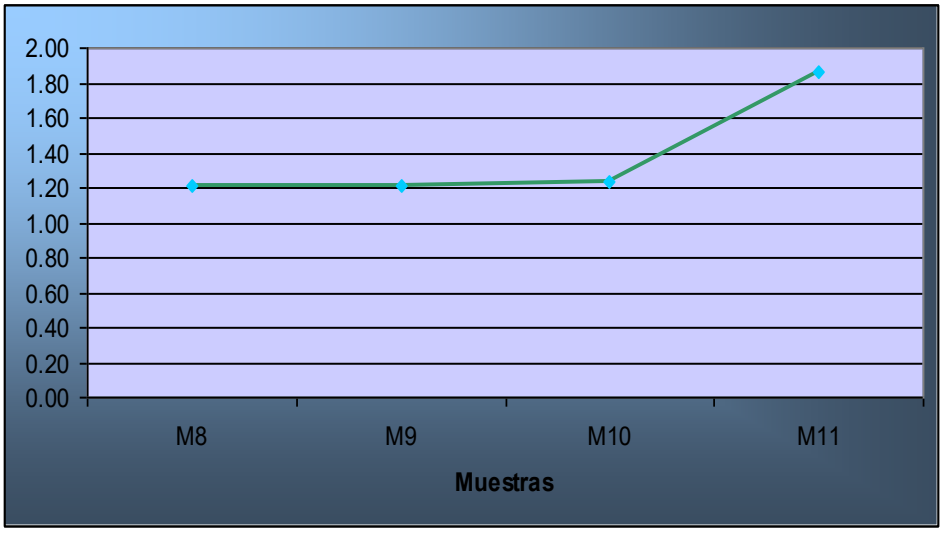
Se nota una concentración mayor de sólidos disueltos totales en las aguas grises que en las aguas lluvias, esta aguas están entre el rango de15 a 45.6 mg/L de SDT.

Figura 21. DBO5 Aguas grises



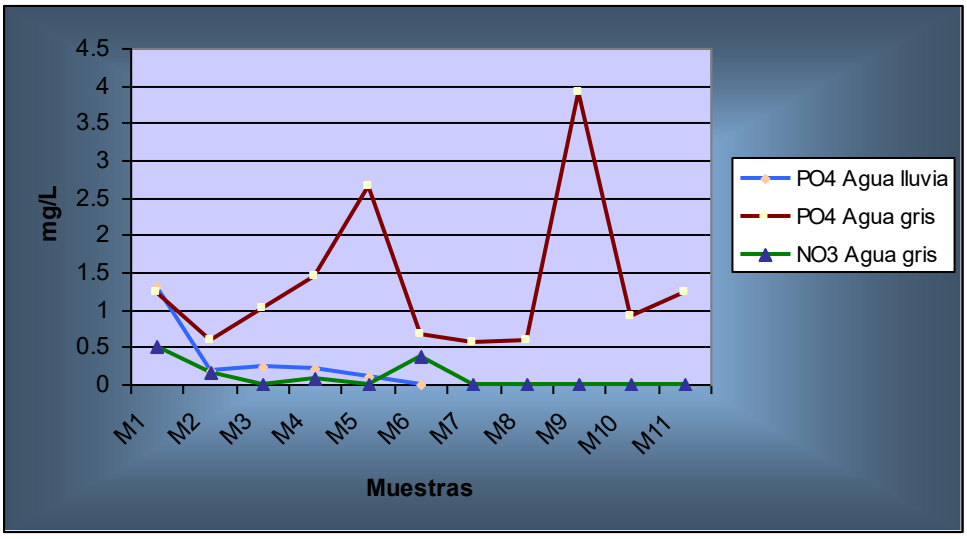
La DBO_5 de las agua grises de la universidad en cuatro muestras, varía entre 66 y 212 mg/L.

Figura 22. Relación DQO/DBO5



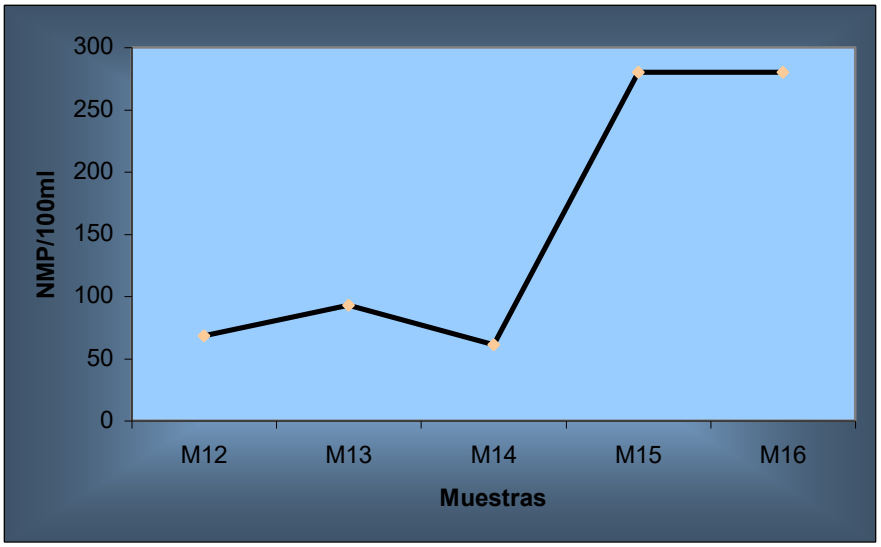
Esta relación en aguas residuales domésticas esta entre 2 y 3. Según la figura, en las aguas grises de la universidad varía entre 1.20 y 1.86.

Figura 23. Nutrientes potenciales



Los fosfatos y nitratos del agua gris, representan un mayor aporte de nutrientes.

Figura 24. Coliformes Totales

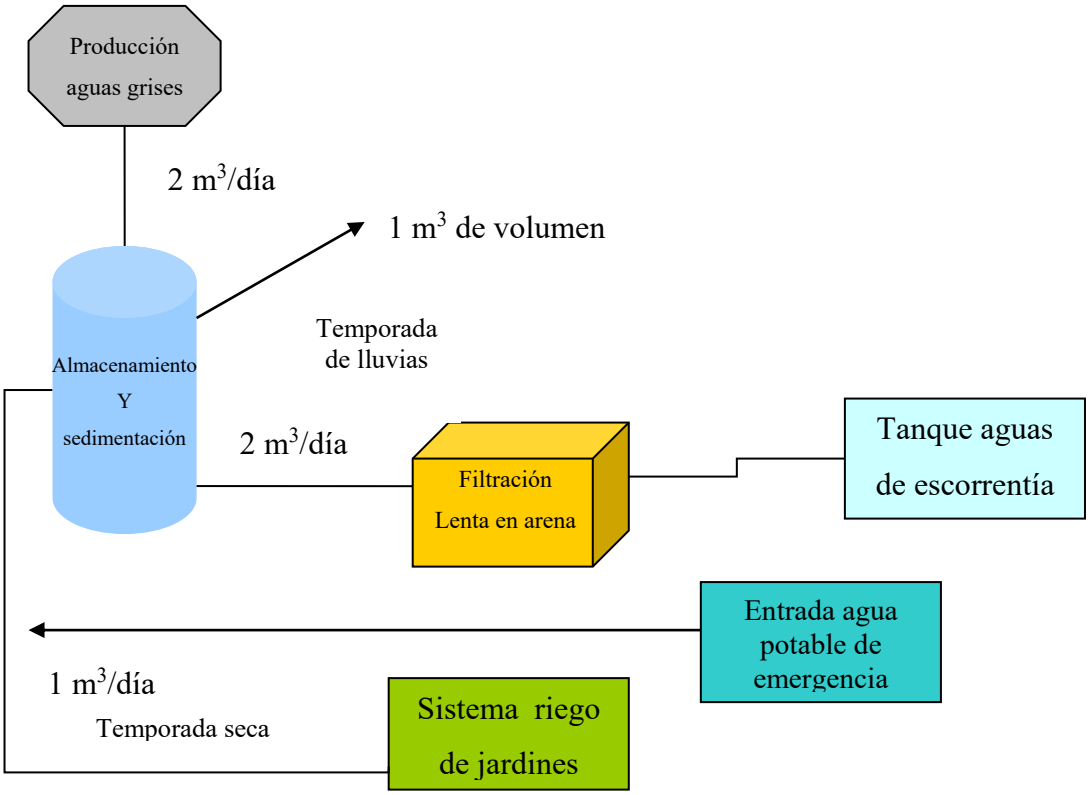


El numero más probabable (NMP) de coliformes totales (CT) en cinco muestras de agua gris de la universidad, varía entre 68 y 280 / 100 ml.

6.3 Esquematización y predimensionamiento del sistema de reutilización

6.3.1 Aguas grises

Figura 25. Esquema del sistema de reutilización de aguas grises

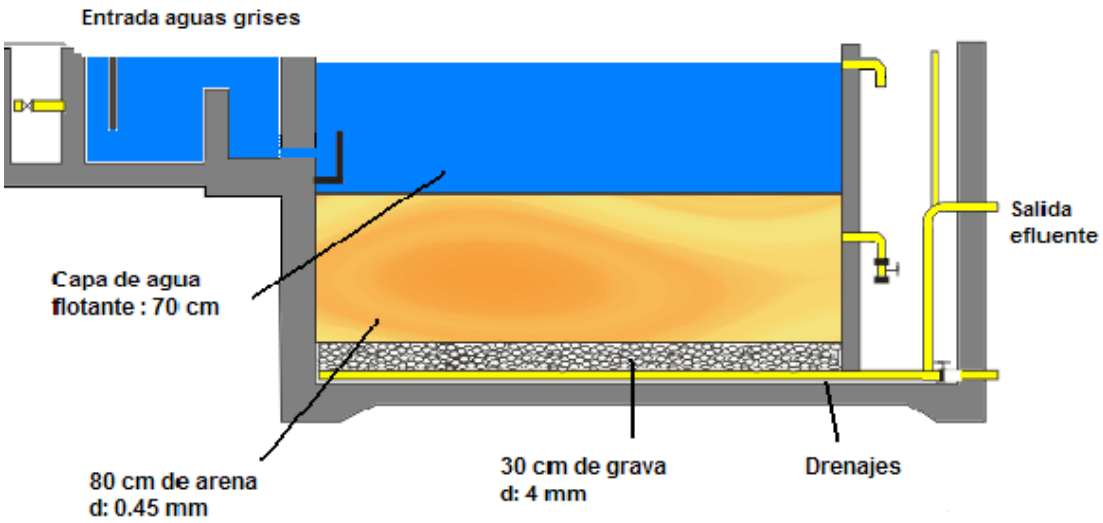


6.3.1.1 Funcionamiento

El agua gris producto de los enjuagues en los lavamanos de la universidad, es conducida por una tubería independiente de las aguas servidas, para luego ser captada en un tanque de almacenamiento y sedimentación, si el tiempo es seco, las aguas se emplean directamente para el riego de jardines a través de un sistema de riego de alta frecuencia, con emisores de bajo caudal y conos de distribución. Si el tiempo es lluvioso, y la escorrentía no es suficiente para abastecer lo que se requiere para usos no potables, el agua gris se pasa por un filtro de arena lento por gravedad (ver figura

26) y su efluente se envía al tanque de almacenamiento de aguas de escorrentía para suplir el déficit en la demanda para usos no potables. El sistema cuenta con una entrada de agua potable de emergencia para suplir al aguas gris en el riego de jardines en la eventualidad de que se presente un problema con la captación y almacenamiento de aguas grises, o cuando se le este haciendo mantenimiento al tanque de captación. El agua potable se usa también para hacer lavados quincenales de las tuberías de riego, para remover la biopelicula de microorganismos que se pueda formar.

Figura 26. Filtro lento de arena, por gravedad parar tratar las aguas grises de la universidad



Dimensiones

Largo = 0,65 m

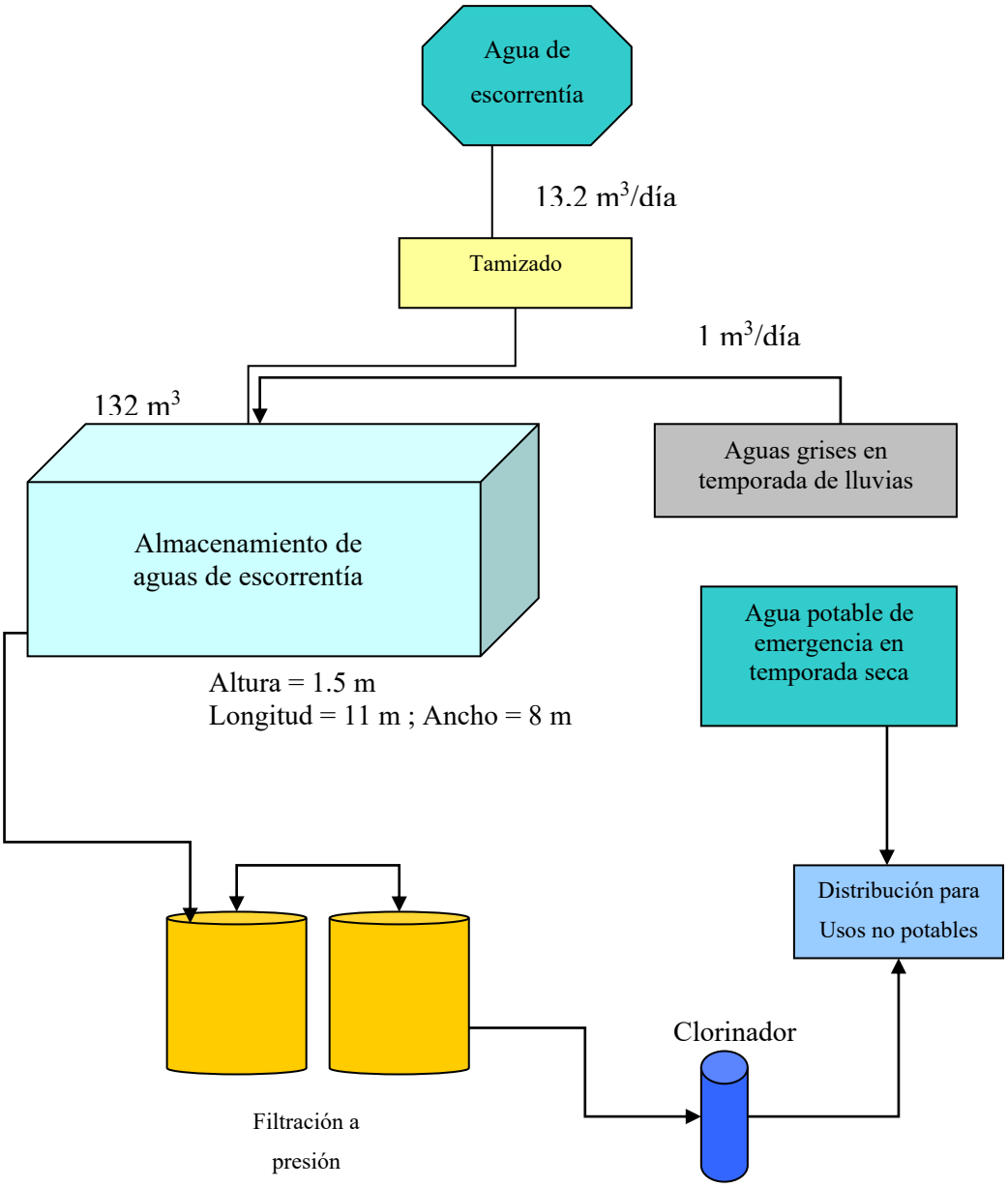
Ancho = 0,65m

Altura = 1.90 m

Posterior al proceso de sedimentación el agua gris pasa al filtro lento por gravedad, en donde se controla el caudal a la entrada y se reduce la energía de entrada del agua a través de un disipador de energía, el agua gris pasa primero la capa de arena en donde va quedando el material removido y luego va descendiendo a la capa de grava para luego ser recogida por los drenajes y dirigirse a una sola salida.

6.3.2 Aguas de escorrentía

Figura 27. Esquema del sistema de tratamiento de aguas de escorrentía



6.3.2.1 Funcionamiento

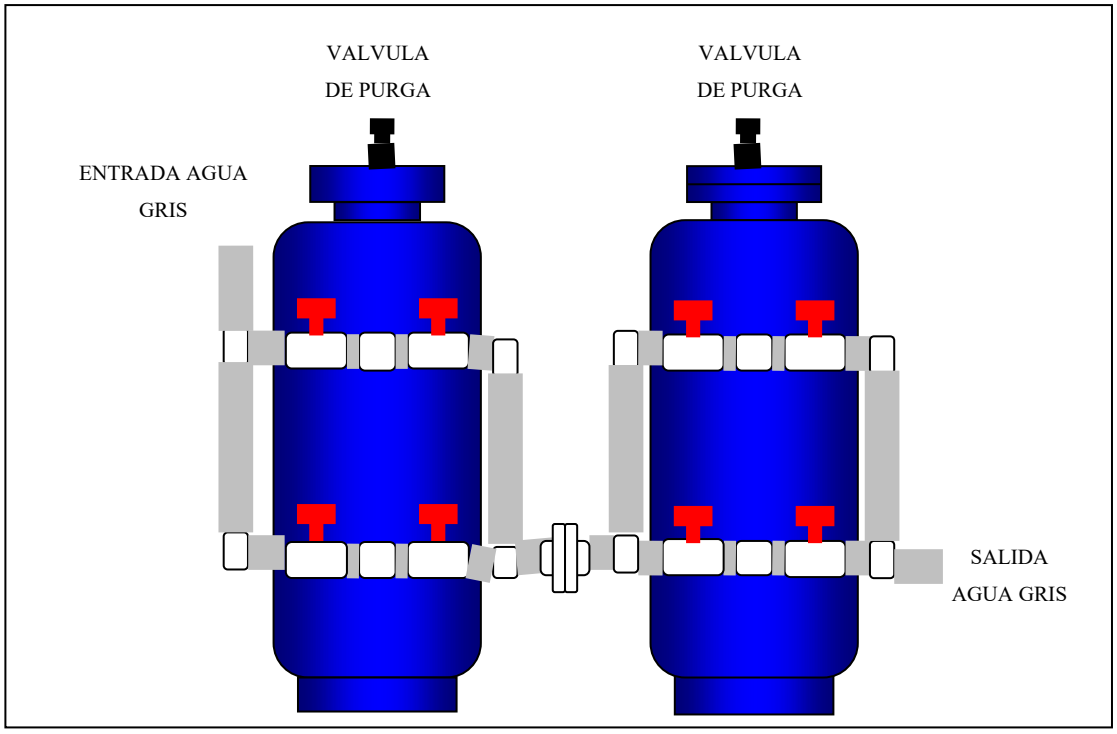
Las aguas de escorrentía son captadas en los techos de la universidad y dirigidas por tubería hacia el tanque de almacenamiento, 2 m antes del tanque de almacenamiento pasan por un tamiz con barras metálicas separadas 10 mm, en donde se retiene el material particulado de tamaño grande. En el tanque de almacenamiento se controla el caudal y se va enviando el agua a los filtros de arena a presión, en donde un sistema de bombeo y válvulas permite realizar el proceso, posterior a la filtración, el agua pasa a un clorinador en donde se hace la desinfección del agua (ver figura 28) para dejar listo un efluente con condiciones optimas y emplearlo en usos no potables. El sistema posee una entrada de emergencia de agua potable, para abastecer el sistema en tiempo seco cuando no se cuente con la precipitación suficiente.

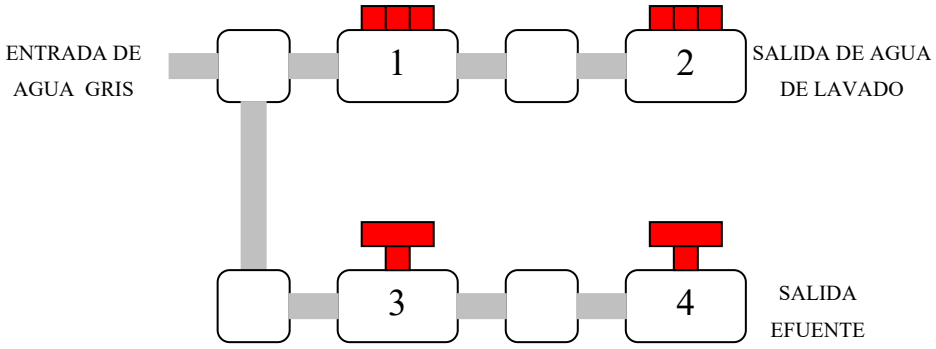
Figura 28. Filtración y desinfección

Filtro en arena a presión *Clorinador*

Fotografías Aguafilter j.f.

Figura 29. Esquema funcionamiento del filtro a presión





FILTRACIÓN:
ABRIR REGISTROS 1 Y 4.
CERRAR REGISTROS 2 Y 3.

RETROLAVADO:
ABRIR REGISTROS 2 Y 3.

Esquema : Aguafilter j.f.

7 DISCUSIÓN

Para el caso de agua potable, los datos obtenidos corresponden a 5 años (1999-2003) consecutivos de consumo en los edificios del predio 1. Temporalmente hablando, este quinquenio representa el mayor crecimiento de la universidad en términos no solo de facultades, sino del número de estudiantes, docentes y personal administrativo; Junto con una expansión del área del campus universitario. Dentro de estos 5 años de datos se consideró para el análisis el año 2002. Lo anterior obedece a que durante este periodo de tiempo se tiene (a) consistencia estadística de datos, (b) se llega a un consumo estable y (c) se cuenta con adecuada facturación.

El consumo de agua ha disminuido 24 L /hab/día, por cambio de tecnologías, principalmente los fluxometros (de bajo consumo), que fueron instalados paulatinamente, esto incide y se ve representando en una estabilidad en el consumo en el año 2002. El consumo de 14.11 L/hab/día del predio 1 de la universidad el Bosque para el año 2002, es bajo en comparación con el consumo promedio de 70 L/hab/día en universidades de USA estimado por Crites, Tchobanoglous (2000), y con el consumo promedio de 50 L/hab/día para instituciones colombianas, determinado por Carmona (2002). La producción de aguas grises y la oferta de aguas de escorrentía es mayor a lo que la universidad requiere para disponerla en usos no potables, no hay déficit de aguas para reutilizar, lo que justifica la futura implementación del proyecto para abastecer el 60 % del consumo que representa los usos no potables.

En general la calidad físico química de las aguas de escorrentía cumple con lo dispuesto en la norma EPA de 1992 para reutilización de aguas en entornos urbanos. El agua gris presenta una mayor contaminación y aunque cumple con algunos de los parámetros de la norma EPA, en parámetros como la DBO_5, la turbidez y coliformes totales, se ubica por encima de lo señalado en la norma, lo que indica que hay que realizar un tratamiento antes de su reutilización para remover los sólidos suspendidos totales y reducir la carga de materia orgánica.

De acuerdo a la calidad físico química de las aguas de escorrentía y las aguas grises, y a lo señalado por el RAS (2000), la filtración lenta en arena es el tratamiento más indicado para obtener efluentes seguros y que cumplan con la norma RAS 2000 del Ministerio de Desarrollo Económico, se toman estas normas, ya que en Colombia no existe una norma que regule el uso de las aguas grises y no existen indicadores nacionales que sirvan para verificar su cumplimiento. Los filtros lentos en arena, han sido y son, según Arboleda (2000), una de las tecnologías costo-efectividad con mejores resultados en el tratamiento de las aguas.

Los 14.4 m^3/día, de agua requeridos para reutilizar en usos no potables representan 7'446901 pesos/año de ahorro bruto para la universidad. Con los costos del tratamiento de ambas aguas y lo que se logra ahorrar al no consumir agua potable para los usos no potables de la universidad, el ahorro neto anual es de 6'401651 pesos. El beneficio que se presenta es positivo y la inversión inicial para el tratamiento de las aguas, se puede recuperar en un año, lo que hace que el proyecto sea viable económicamente. Técnicamente el proyecto también es viable, ya que la tecnología seleccionada es una de las más sencillas en el área del tratamiento de las aguas debido a su sencilla fabricación, adquisición y mantenimiento.

RECOMENDACIONES

Se recomienda hacer pruebas piloto con aguas grises antes de la construcción del filtro de arena lento por gravedad para seleccionar el tamaño de arena y grava más adecuado; Replantear el diseño de los edificios por construir, del Plan de Desarrollo de la universidad, para incluir en el diseño hidráulico de los edificios, la separación de las tuberías de aguas de lavamanos de las aguas de descargas sanitarias y dirigirlas a un solo punto de salida para que puedan ser tratadas allí; Realizar las modificaciones que sean necesarias para ampliar las canaletas actuales de los techos, de acuerdo al caudal de aguas de escorrentía estimado en este trabajo, que requiere la universidad y dirigirlas igualmente a un tanque de almacenamiento para ser tratadas. Incluir la entrada de las aguas lluvias y grises tratadas, por una tubería independiente, para utilizarlas en las descargas sanitarias, lavado de pisos y mantenimiento de desagües. Así mismo, se recomienda que se determine la vegetación de la Universidad el Bosque que soporta condiciones alcalinas y posteriormente sean reemplazadas aquellas que se vean afectadas por las características alcalinas de las aguas grises que van a ser utilizadas para el riego de jardines; por ultimo, la decisión de automatizar este sistema de reutilización sería una opción a evaluar a priori, si se prevén los beneficios que ello podría aportar al sistema, o posterior a sus construcción, dependiendo de los resultados con la operación manual del sistema.

CONCLUSIONES

El trabajo realizado demostró que la Universidad el Bosque posee una producción de aguas grises y oferta de aguas de escorrentía, que cubren con suficiencia, la demanda de agua para usos no potables; el análisis físico químico y microbiológico de las aguas grises indicó que se requiere de un tratamiento para su reutilización, así mismo se encontró conveniente hacerle un tratamiento a las aguas de escorrentía, para obtener un efluente libre de partículas grandes que aseguren el correcto funcionamiento del sistema hidráulico. El tratamiento seleccionado para las aguas grises fue la filtración lenta en arena por gravedad y para las aguas de escorrentía la filtración en arena a presión.

El consumo de agua potable del predio 1 de la Universidad el Bosque, no representa actualmente una alta presión sobre el recurso agua que sea una amenaza para los ecosistemas de la región, ya que su consumo per cápita, está por debajo de los promedios estimados para instituciones universitarias en Colombia. Aún así se consideró que la reducción de la demanda de agua reutilizando el agua gris y aprovechando las aguas de escorrentía puede tener un efecto positivo a futuro sobre la problemática del recurso agua y puede además generar beneficios económicos para la Universidad el Bosque al mediano y largo plazo específicamente, con el ahorro de agua que se puede lograr si estos sistemas de reutilización se planean desde antes de las construcción de las futuras edificaciones del campus universitario.

REFERENCIAS

[1] Anderson, J, 2003. The environmental benefits of water recyling and reuse.Water Science and Technology Magazine. Vol. 3 N° 4. P 1- 10.

[2] Arboleda , V. 2000. Teoría y práctica de la purificación del agua. Ed. Mc Graw Hill, 3ª edición. (Colombia). P 536-541, 552-564.

[3] Asano, T, 1998. Wastewater reclamation and reuse. Water Quality Management, N° 10, Technomic Publishing Company.

[4] Bower, H , 2000. Integrated water management: Emerging issues and challenges. N° 45. P 217-228.

[5] Carmona, 2002. Diseño de instalaciones hidrosanitarias y de gas para edificaciones. Ed ECOE, 2ª edición.(Colombia). P 7-12.

[6] Cicek, N, 2003. A review of membrane bioreactors and their potential application in the treatment of agricultural wastewater. *Biosystems Engineering Magazine,* N°45, University of Manitoba (Canada). P 6.37-6.49.

[7] Crites, R, , Tchobanoglous, G, 2000. Tratamiento de aguas residuales en pequeñas poblaciones. Ed. Mc Graw Hill (Colombia). P 82, 172, 176.

[8] Domínguez, A, 1993. Química orgánica fundamental. Ed. Limusa.(Colombia). P 214, 240.

[9] Department of Public health, NSW, 2000. Greywater reuse in sewered single domestic premises. (Western Australia). 19p.

[10] Edward, K and Martin, L. 1995. A methodology for surveying domestic water consumption . Ed Inst. Water. P 477-488.

[11] Empresa de acueducto y alcantarillado de Bogotá, EAAB, 1995. Plan maestro de abastecimiento de agua de la ciudad de Bogotá. P 1, 2.

[12] Environmental Protection Agency of the United Estates, EPA, 1992. Normas para el reuso del agua.

[13] Gardner, E, 2003. Some examples of water recycling in Australia urban environments: a step towards environmental sustainability. Water Science and Technology Magazine. Vol. 3 N° 4. P 21- 31.

[14] Glynn, J, Gary, W, 1999 .Ingeniería Ambiental. Ed. Prentice Hall, 2ª edición.(México). P 146, 422-428, 274.

[15] Hills, S, Birks, R and Mckenzie, B, 2002. The Millenium Dome: Watercycle, experiment to evaluate water efficiency and customer perception at a recycling scheme for 6 millions visitors. Water Science and Technology, Vol 4 N°6. P 233-240.

[16] Instituto de estudios ambientales, IDEAM, 1998. Estudio nacional del agua. Bogotá. P 23-26.

[17] Instituto Juan de Herrera,.1999. Por un sistema de saneamiento más sostenible. (Google– aguas grises) http://habitat.aq.upm.es/boletin/n9/agarc_2.html.. (Con acceso el 4 de Marzo de 2004).

[18] Kiely, G, 1999. Ingeniería Ambiental: Fundamentos, entornos, tecnologías y sistemas de gestión. Ed. Mc Graw Hill. Vol 2. (España). P 630.

[19] Kimura, S, 1991. Japan's aqua renaissance ´90 project. Water Science and Technology Magazine, Vol 23, N° 7. P 1573-1582.

[20] Kee, 2003, Waste water treatment technologies: Rotating biological contactors, sumerged aerated filters. Ed. NuDisc™. P 2.

[21] Lazarova, V. 2001. Role of water reuse in enhancing integrated water management in Europe. ONDEO (France). P 708.

[22] Lazarova, V, Hills, S and Birks, R, 2003. Using recycled water for non-potable, urban uses: a review with particular reference to toilet flushing, Water Science and Technology.Magazine, Vol 3 No 4. P 69-77.

[23] Ludwig, A, 2003. Create an oasis with greywater. Ed Oasis design. 4th edition. (USA). 51p.

[24] Madigan, M, Martinko, J, Parker J, 1999.Biología de los microorganismos. Ed. Prentice Hall, 8ª edición (España). P 930.

[25] Marrison, R y Boyd, R, 1998. Química orgánica. Ed Pearson, 5ª edición (México). P 1247.

[26] Mendoza, 2003. Osmosis inversa. *Revista agua Latinoamérica*, Abril. P42-43.

[27] Metcalf y Eddy, 1996. Ingeniería de aguas residuales: Tratamiento vertido y reutilización. Vol I. Ed Mc Graw Hill, 3ª edición (España). P 20-29, 42.

[28] MINISTERIO DE DESARROLLO ECONÓMICO, MIN DESARROLLO, 2000. Reglamento técnico del sector de agua potable y saneamiento básico: Tratamiento de aguas residuales. Sección 2, Título E. (Bogotá). P E32-34, E68-E70.

[29] MINISTERIO DE DESARROLLO ECONÓMICO, MIN DESARROLLO, 2000. Reglamento técnico del sector de agua potable y saneamiento básico: Sistemas de potabilización. Sección 2, Título C. (Bogotá). P C62-C64, C68-C70, C72.

[30] MINISTERIO DEL MEDIO AMBIENTE, MMA, 1998. Lineamientos de la política para el manejo integral del agua. 1998. 30p.

[31] Montaigne, F, 2002. La presión del agua. Revista *Natinal Geographic*. Vol.11 N°03 (Washington). P 2-25.

[32] OFFICE OF WATER SERVICES,OFWAT, 2001. Leakage and the Efficient Use of Water. Report.

[33] ORGANIZACIÓN DE NACIONES UNIDAS, ONU, 2003. Informe mundial del agua. P 1-10.

[34] Postel, S, 1992. Last Oasis, Facing Water Scarcity. W.W, Norton and Company, 1th. edition (New York). P 239.

[35] Romero, R, 2002. Tratamiento de aguas residuales: Teoría y principios de diseño. Ed. ECI, 2ª edición (Colombia). P 907-929, 948-954.

[36] Romero, R, 2000. Acuiquímica. Ed. ECI (Colombia). P 57, 76, 107.

[37] Rose, J, Sun, G, Gerba, C, Sinclair, N, 1991. Microbial quality and persistence of enteric pathogens in greywater from various sources. *Wat. Res*. Vol 1 N° 25, P 37-42.

[38] Ruskin, H, 2001. Recolección de agua con cisternas: Dependencia de goteo. Revista Agua Latinoamerica, edición de Septiembre/Octubre (Colombia). P 11-16.

[39] Saldarriaga, J, 2001. Hidráulica de tuberías. Ed Mc Graw Hill. (Colombia). P

[40] Salgot, M, Vergés, C and Angelakis, A, 2003. Risk assessment in wastewater recycling and reuse.Water Science and Technology Magazine.Vol 3 No 4. P 301-309.

[41] Señales*,2003.*Agua: Urge proteger este recurso. Revista *Señales,* Edición N° 16. (Colombia). P11-17

[42] Shouler, M, Griggs J and Hall, J, 1998. Water conservation. British Research Establishment (BRE). (England). P 15.

[43] Terence, J, Mc Ghee, 2001. Abastecimiento de agua y alcantarillado. Ed. Mc Graw Hill, 6ª edición. (Colombia) P 257.

[44] Viessman, W, Hammer, M, 1993. Water suppy and polution control. Ed. Harper Collins, 5th edition (USA). P 282, 360.