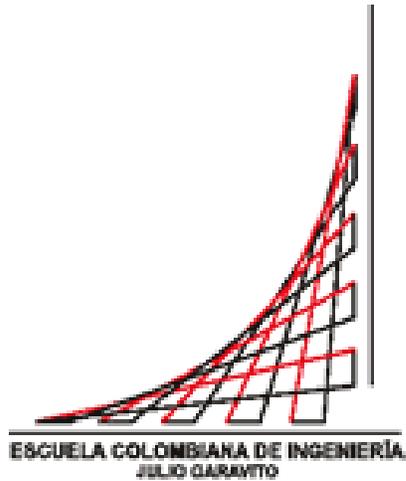


FACTIBILIDAD DE REÚSO DE AGUAS NEGRAS EN EDIFICACIONES



JOHN EDWIN CESPEDES ROMERO

**ESCUELA COLOMBIANA DE INGENIERÍA “JULIO GARAVITO”
MAESTRÍA EN INGENIERÍA CIVIL
ENFÁSIS EN RECURSOS HIDRÁULICOS Y MEDIO AMBIENTE
BOGOTÁ D.C
2013**

FACTIBILIDAD DE REÚSO DE AGUAS NEGRAS EN EDIFICACIONES

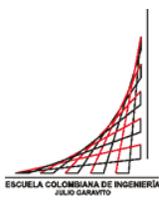
JOHN EDWIN CESPEDES ROMERO

**TESIS PARA OPTAR AL TÍTULO DE MAESTRÍA EN INGENIERÍA CIVIL CON
ENFÁSIS EN RECURSOS HIDRÁULICOS Y MEDIO AMBIENTE**

DIRECTOR

ING. JAIRO ALBERTO ROMERO ROJAS., I.C, MEEE

**ESCUELA COLOMBIANA DE INGENIERIA “JULIO GARAVITO”
MAESTRÍA EN INGENIERIA CIVIL
ENFÁSIS EN RECURSOS HIDRÁULICOS Y MEDIO AMBIENTE
BOGOTA D.C
2013**



NOTA DE ACEPTACIÓN

La tesis de grado titulada “Factibilidad de reúso de aguas negras en edificaciones” presentada por el ingeniero civil John Céspedes Romero, en cumplimiento de los requisitos exigidos por la Escuela Colombiana de Ingeniería “Julio Garavito” para optar al título de Maestría en Ingeniería Civil con énfasis en Recursos hidráulicos y medio ambiente, modalidad de profundización, fue aprobada por:

Jurado No. 1

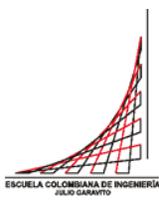
Dr. Germán Ricardo Santos

Jurado No. 2

Dr. Alfonso Rodríguez

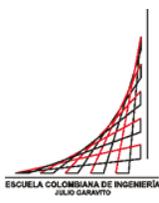
Director:

Ing. Jairo Alberto Romero Rojas



***“Las aguas negras urbanas son un valioso recurso que debería emplearse siempre que fuera posible, con las debidas medidas de protección sanitaria...”
(OMS 1990)***

A mi madre, mi hermana, amigos y profesores por su apoyo en la culminación de mis estudios y en especial de esta tesis de grado. Un agradecimiento muy especial a mi amiga y compañera Leidy Franco quien me apoyó, guió y ayudó en algunas materias.



AGRADECIMIENTOS

Esta tesis de grado es la culminación de una investigación y dedicación motivada especialmente por mi familia, mi madre, mi hermana. A ellos mi agradecimiento por su apoyo incondicional y motivación.

Jairo Alberto Romero Rojas, ingeniero civil y director de esta tesis, por su apoyo, dedicación y constantes aportes en la elaboración del documento, en la asesoría para las consultas e investigaciones, y en general, por los aportes, asesorías y orientaciones en cada una de las jornadas dedicadas a esta investigación. Es realmente gratificante que el Ing. Jairo Romero haya compartido sus experiencias y conocimiento en pro del avance de esta tesis.

Escuela Colombiana de Ingeniería “Julio Garavito” por colocar a disposición las instalaciones de la institución, en especial por los laboratorios de ambiental y por la financiación de su uso.

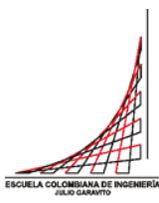
Es un orgullo para mí haber culminado mis estudios de maestría con tanto esfuerzo, dedicación y sacrificio, y quiero agradecer a todas y cada una de las personas que de alguna manera me ayudaron, apoyaron y aportaron para hacer realidad la culminación de esta tesis.

TABLA DE CONTENIDO

Introducción	09
Capítulo 1. Antecedentes.....	11
Capítulo 2. Caracterización de aguas negras	20
Orina	22
Características químicas de la orina	22
Características microscópicas de la orina	23
Formación de la orina	24
Usos de la orina para reúso	25
Heces fecales	26
Características de las heces fecales.....	27
Contenido de macronutrientes en la excreta	28
Caracterización de aguas negras	30
Capítulo 3. Opciones de reúso de aguas negras en edificaciones	32
Capítulo 4. Tratamiento de aguas negras en edificaciones	42
Contaminantes de las aguas residuales y formas de tratamiento y remoción	42
4.1 Reúso aguas negras ed. Water Gardens.....	44
4.2 Fay School:	45
4.3 Corporación EMC	46
4.4. Gillette Stadium.....	46
4.5. Fallingwater Conservación	47
4.6. Edificio privado en Japón	48
4.7. Estudio de Caso en Mercado de Filipinas	50
Conclusiones	52
Referencias bibliográficas	53

INDICE DE TABLAS

Tabla 1 Opciones de manejo de aguas negras	13
Tabla 2 Proyectos en proceso de certificación LEED en Colombia	17
Tabla 3 Características principales de la orina	23
Tabla 4 Composición típica de la orina	23
Tabla 5 Macronutrientes en la excreta en diversos países.....	29
Tabla 6 Contenidos principales en aguas negras.....	30
Tabla 7 Caracterización de aguas negras	31
Tabla 8 Guía de la OMS para reúso de aguas negras	35
Tabla 9 Reglamentación de reúso de aguas negras en Latinoamérica	35
Tabla 10 Criterios admisibles para destinación de aguas negras en zonas verdes	36
Tabla 11 Características de reúso de agua para zonas verdes	38
Tabla 12 Problemática del reúso de aguas negras para zonas verdes	38
Tabla 13 Reúso de agua en agricultura	39
Tabla 14 Criterios admisibles para uso agrícola (Dcto 1594 de 1984)	40
Tabla 15 Guía de la EPA para reúso de agua en riego de zonas verdes	40
Tabla 16 Parámetros mínimos exigidos para reúso de aguas negras en riego de zonas verdes ..	41
Tabla 17 Parámetros aguas residuales edificio Water Gardens Santa Monica, CA	44
Tabla 18 Parámetros calidad del agua típica. Corporación EMC	46
Tabla 19 Calidad del agua típica Fallingwater Conservation	48
Tabla 20 Requerimientos de calidad de agua regenerada Utilizados para el lavado higiénico (Ed. Japón)	49
Tabla 21 Calidad de agua observada en sistemas de tratamiento (Ed. Japón).....	49
Tabla 22 Requisitos de descarga de aguas residuales de Clase C de Filipinas.....	51



INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Riego de cultivo con aguas negras Masaya, Nicaragua	12
Figura 2. Tratamiento de aguas negras para reúso en edificios y conjuntos residenciales	42
Figura 3. Tratamiento de Aguas Negras edificio Water Gardens Santa Mónica California.....	44
Figura 4. Figura 3 Diagrama de flujo reúso de aguas residuales predio privado en Japón	49

INTRODUCCIÓN

Un 60% a 80% de las aguas de consumo per cápita son transformadas en agua residuales. El aporte de aguas negras (aguas de sanitarios y orinales) es muy importante porque son las que contienen la carga contaminante principal ya que mediante ellas se transporta la materia fecal y la orina con sus contaminantes principales representados en materia orgánica (DBO), sólidos suspendidos y probables organismos patógenos.

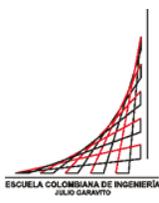
Las aguas negras se definen como las aguas que provienen de inodoros y orinales están contaminadas por la orina y las heces humanas y el uso más generalizado que se le da a las aguas negras tratadas es el de la irrigación de zonas verdes, jardines etc. Sin embargo, también pueden ser tratadas para usos que requieran una mayor calidad de agua, estos usos del agua tratada requerirán un sistema de tratamiento más avanzado y menos económico.

Los constituyentes convencionales presentes en aguas negras son: sólidos suspendidos y coloidales, materia orgánica e inorgánica medida como demanda química y bioquímica de oxígeno, carbono orgánico total, nitrógeno, fósforo, bacterias, protozoarios y virus. En general, las aguas negras presentan valores de pH alrededor de la neutralidad, con una concentración de materia orgánica variable (250-800 mg/L de DQO), se caracterizan por su alto contenido de patógenos bacterianos, sus altas cargas en materia orgánica y nutrientes, su color oscuro y un olor muy ofensivo.

Tienen como uso más conocido para reuso el de irrigación de jardines y zonas verdes. Los tipos y aplicaciones se clasifican de acuerdo con el sector o infraestructura que recibe el beneficio, siendo los principales: el urbano, que incluye irrigación de parques públicos, campos de atletismo, áreas residenciales y campos de golf.

La reutilización de las aguas negras data desde muchos años atrás, 1,000 años antes de Cristo las aguas negras de Jerusalén desembocaban en un estanque de sedimentación y se utilizaban para riego.

El reuso de las aguas negras dependerá de los parámetros y características de la normativa vigente, y la complejidad del sistema de tratamiento es, por tanto, función del objetivo de tratamiento. En las edificaciones y conjuntos residenciales



por tanto, es necesario contemplar un pretratamiento, tratamiento primario, tratamiento secundario y un tratamiento terciario o avanzado, dependiendo del uso propuesto

En el capítulo 1 se presentan las principales consideraciones sobre el manejo y reúso de aguas negras, así como algunos proyectos en búsqueda de certificación LEED pro implementación de ahorro y reúso de agua.

En el capítulo 2 se describen la características básicas de los componentes de las aguas negras: orina y materia fecal, y se incluyen los resultados experimentales de la caracterización de siete (7) muestras de aguas negras.

En el capítulo 3 se incluyen las opciones que generalmente se tienen de reúso de aguas negras en edificaciones así como también algunos criterios de normatividad para ellos.

CAPÍTULO 1 ANTECEDENTES

El agua residual doméstica se ha utilizado para regar cultivos, campos, etc. (figura No. 1). Con el pasar del tiempo se han establecido sistemas de tratamiento que permiten el reúso de estas aguas, de manera económica y sin riesgo para la salud pública ⁽¹⁾.

El empleo e importancia del agua dulce para el hombre no cesa de aumentar. Su abastecimiento se hace cada vez más difícil, por lo que el reúso del agua residual representa una interesante alternativa. Con esta práctica se han producido aspectos benéficos como el incremento en los rendimientos agrícolas debido al aporte de nutrientes y la disminución en el uso de fertilizantes químicos. Sin embargo, se han notado efectos negativos sobre la salud pública, ya que se han incrementado las infecciones gastrointestinales por el contacto con las aguas negras y el consumo y manejo de productos agrícolas regados con ellas, debido a su contenido de microorganismos patógenos. La Organización Mundial de la Salud (OMS)⁽²⁾, recomienda un estándar microbiológico, para el uso del agua residual tratada en el riego de cultivos de $\leq 0,1$ huevo de helminto/litro para cultivos que comúnmente se consumen crudos, para campos deportivos y para parques públicos, siendo el grupo expuesto los trabajadores y los consumidores.

Ejemplos del aprovechamiento de las aguas negras son el riego de cultivos de:

- Silvicultura (plantaciones forestales)
- Forrajes, hierbas, alfalfas, etc.
- Maíz, trigo, cebada
- Menta, algodón, tabaco

Para el riego de cultivos de frutas y legumbres se debe contar con un sistema de tratamiento con un mayor grado de remoción de elementos patógenos y un programa de monitoreo regular, para controlar la presencia de patógenos (parásitos y coliformes fecales)



*FIGURA 1. RIEGO DE CULTIVO CON AGUAS NEGRAS. MASAYA, NICARAGUA
FOTO CORTESÍA DE IVENNE MORAZON*

Un 60% a 80% de las aguas de consumo per cápita son transformadas en agua residuales. El aporte de aguas negras (aguas de sanitarios y orinales) es muy importante porque las aguas negras contienen la carga contaminante principal ya que mediante ellas se transporta la materia fecal y la orina con sus contaminantes principales representados en materia orgánica (DBO), sólidos suspendidos y probables organismos patógenos.

La cantidad de aguas negras que genera una persona depende de:

1. Su consumo de agua potable.
2. Hábitos de uso
3. Fugas y desperdicio de agua.

Aproximadamente un 30% de las aguas residuales domésticas son aguas negras (aguas de inodoros y orinales), 30% de la ducha, 35% del lavado de ropa, manos y platos, y un 5% de fugas. El promedio de agua doméstica residual está entre 100 a 200 litros por persona por día. El caudal que se produce varía a lo largo del día, siendo el más bajo a las 5:00 de la mañana y el más alto al medio día. ⁽³⁾

Los principales elementos de contaminación que se encuentran en las excretas y en las aguas negras, que provocan un impacto negativo a la salud y el ambiente, son los organismos causantes de enfermedades, sólidos suspendidos, materia orgánica disuelta y nutrientes.

Los procesos para reducir la contaminación por microorganismos patógenos, y el riesgo consecuente de las aguas negras incluyen tratamientos en sistemas con largos tiempos de retención (lagunas), desinfección (por ejemplo cloración), o realizando una aplicación de las aguas sobre suelos. En la tabla 1 se muestran algunas opciones comunes de manejo de aguas negras.

TABLA. 1 OPCIONES DE MANEJO DE AGUAS NEGRAS ⁽⁴⁾

ELEMENTO CONTAMINANTE	FUENTE TIPICA	IMPACTO POTENCIAL	OPCIONES DE MANEJO
Patógenos: * Nematodos * Hongos * Bacterias * Virus	* Excretas, aguas grises domesticas	*Salud: transmisión de enfermedad	* Buena higiene y adecuada disposición de excreta. *Manejo adecuado de lodos *En caso de inodoros con fosas sépticas, infiltración de efluente al suelo (sin estar cerca de agua subterránea o superficial) *En caso de alcantarillado, uso de lagunas u otro tipo de desinfección, o infiltración de efluente a suelos
Sólidos Suspendidos	* Varias	* Degradación de cuencas, acumulación de lodos, impacto en vida acuática	* Si no están mezclados con excretas, sumideros o zanjas de absorción. *Si están mezclados con excretas: fosa o zanja de absorción o planta de tratamiento
Elementos orgánicos disueltos	* Varias	*Olores, calidad de agua, impacto en sobrevivencia de vida acuática (peces y otros)	*No descargar aguas residuales o lodos a cuerpos acuáticos superficiales (letrinas o plantas de tratamiento con reúso) *Tratar aguas residuales a nivel secundario.
Nutrientes (nitrógeno, fosforo)	* Varias, incluyendo aguas de lluvia que corren por áreas agrícolas (fertilizantes)	*Olores, calidad de agua, crecimiento de algas y plantas invasoras. *Eutrofización del cuerpo receptor.	*No descargar aguas residuales o lodos a cuerpos acuáticos superficiales (letrinas o plantas de tratamiento con irrigación o infiltración), o *Tratar aguas residuales a nivel terciario.
Elementos tóxicos (metales, plaguicidas, etc.)	* Procesos industriales.	* Vida silvestre: acuática, y de animales que se alimentan de estas	* Reducir su uso o pre-tratarlos si es un proceso industrial

Uno de los mayores usos de las aguas negras ha sido la irrigación; el agua se aplica sobre superficies de terreno, que constantemente entrega a las plantas agua y nutrientes y en buena proporción infiltra el suelo o se evapora. Una parte finalmente se incorpora a las aguas subterráneas, y otra al tejido vegetal o es transpirada a la atmósfera.

Algunos ejemplos de reuso de aguas negras en edificaciones son⁽⁵⁾:

- HOTEL ARABELLA, ALEMANIA. Este edificio presenta reciclaje de aguas grises. En él las aguas de regaderas y tinas de las habitaciones son tratadas con unidades de contacto biológico rotativo y reusadas en los sanitarios, también, el agua lluvia es recolectada y reusada para irrigación de jardines del hotel.
- PROYECTO ERDOS-ECO TOWN, DONGSHENG, CHINA. Este proyecto contará con sanitarios secos separadores de orina y con sistema de colección de aguas grises y tratamiento en un sistema descentralizado y reuso de compost (heces y residuos orgánicos) y orina en agricultura
- EDIFICION DE LA KFW (ALEMANIA). Esta construcción cuenta con reciclaje de aguas grises, recolección de aguas lluvias y negras por vacío para tratamiento anaerobio desde el año 2003.
- CAMPO DE FUTBOL DE VILANOVA I GELTRU (BARCELONA). Posee un depósito encerrado de 16 m³ para la reutilización de aguas grises procedentes de las duchas y la recogida de las aguas pluviales. El agua depurada sirve para alimentar las cisternas de los inodoros y para regar el campo de futbol.
- EDIFICIO SOLAIRE (MANHATTAN). Considerado como el primer edificio verde de gran altura, ha generado atención alrededor del mundo, desde que en 2003 recibió la certificación LEED ORO porque entre otras características, hace reuso de las aguas negras.

En Colombia no se reportan aún casos de reuso de aguas negras (aguas de sanitarios y orinales) en edificaciones.

Los grandes proyectos que en Colombia han adoptado el reúso de aguas negras para actividades de aseo, riego de zonas verdes, lavado, descarga de sanitarios etc., son en su mayoría los proyectos que han establecido políticas ambientalistas dentro de su desarrollo urbanístico. Uno de los caminos que toman los proyectos para optar por políticas ambientalistas es la certificación de edificios sostenibles LEED (acrónimo de Leadership in Energy & Environmental Design) que se compone de un conjunto de normas sobre la utilización de estrategias encaminadas a la sostenibilidad en edificios de todo tipo. Se basa en la incorporación en el proyecto de aspectos relacionados con la eficiencia energética, el uso de energías alternativas, la mejora de la calidad ambiental interior, la eficiencia del consumo de agua, el desarrollo sostenible de los espacios libres de la parcela y la selección de materiales. El objetivo principal de la categoría USO EFICIENTE DEL AGUA es reducir el consumo de agua potable mediante la aplicación de las siguientes estrategias:

- Incrementar la eficiencia en el manejo del agua para reducir la carga requerida de los acueductos y de los sistemas de alcantarillado y drenaje municipales.
- Emplear estrategias que en conjunto generen un ahorro en el consumo de agua.
- Limitar o eliminar el uso de agua potable, de cualquier fuente natural o del subsuelo para labores de riego de áreas verdes (jardines, cultivos, etc.)

Y es precisamente para lograr el cumplimiento de prerequisites que se deben obtener para lograr la obtención de créditos en la categoría de “eficiencia del consumo de agua” que los constructores se incentivan a utilizar el recurso hídrico de la manera más eficiente, a través de la disminución del agua de riego, con la adecuada selección de especies y la utilización de artefactos sanitarios de bajo consumo, por ejemplo. Es allí donde algunos edificios implementan la metodología del reúso de aguas grises. Para conseguirlo, los constructores contemplan la opción de recircular las aguas provenientes de duchas y bañeras, lavadoras y aguas lluvias para regresarlas a las viviendas mediante un sistema de bombeo que permiten el posterior uso de estas en sanitarios y riego de zonas verdes así como también para aguas de lavados de patios, terrazas, zonas comunes, etc.

Las empresas constructoras colombianas están más conscientes de la importancia de la sostenibilidad. Cabe anotar que en los últimos dos años el país ha registrado un cambio profundo de sensibilidad y nivel de compromiso frente a las mejores prácticas de diseño, construcción y urbanismo sostenible. Este cambio del mercado derivó en un número creciente de proyectos que han optado por

certificarse con el sistema Leed, de propiedad del Consejo de Construcción Sostenible de Estados Unidos.

En Colombia el edificio de mayor tamaño ya construido que tiene la certificación Leed es la sede de Bancolombia, en Medellín, que tiene un área construida de 135.379 metros cuadrados y una capacidad para 4.200 empleados. Esta edificación tiene la certificación Leed-EB:OM v2009. Es decir, la certificación para edificios existentes: operaciones y mantenimiento. Este aval fue otorgado a principios de este año. Entre otras características, la sede permite el ahorro de 50% de la energía eléctrica gracias al manejo del flujo del aire y de la luz natural, pues cada trabajador del edificio tiene una entrada de luz cerca.

Este edificio, que obtuvo la segunda más alta categoría, la Oro, recibió 73 puntos de calificación por parte del U.S. Green Building Council, lo que lo convierte en el segundo mejor calificado de Latinoamérica, después de la sede del Hsbc en Argentina.

La segunda edificación LEED, por área construida es el centro de distribución de Avon en Guarne, Antioquia. Este establecimiento tiene un área de 27.400 metros cuadrados, y requirió una inversión de US\$50 millones. En él se albergan oficinas de distribución de los productos de la compañía y oficinas administrativas. Entre sus características, se destaca que del área total del terreno sólo se construyó en el 37% y se utilizaron materiales como grasspave y gramoquin, que permiten una mayor conservación ambiental que el asfalto y el concreto. La edificación también tiene una planta de tratamiento de aguas y un tanque de recolección de aguas lluvias, para ser utilizadas en unidades sanitarias.

Entre otros, además, se encuentran el Homecenter de Bucaramanga, tres almacenes de Falabella, Novartis, el Centro Técnico para Clientes de 3M y las oficinas corporativas de Contempo.

La certificación Leed se entrega en múltiples grados (Certificado, Plata, Oro, Platino) y en distintos segmentos de construcción. En Colombia, la primera edificación en tener la certificación de 'Interiores Comerciales' fue la de las oficinas de Grupo Contempo en el cuarto piso del Oxo Center. La primera construcción en obtener la certificación de 'Nuevas Construcciones' fue el edificio de oficinas de Novartis, construidas por Terranum. Por su parte, en la sección de 'Retail' los únicos establecimientos que han obtenido el reconocimiento han sido tres almacenes ancla de Falabella en el Centro Comercial Santafé de Medellín, en el Centro Comercial Centro Mayor y en el Parque Arboleda, en Pereira.

En la tabla 2 se encuentran los proyectos que se encuentran en proceso de certificación LEED, hasta el mes de febrero del año 2012.

TABLA 2. PROYECTOS EN PROCESO DE CERTIFICACIÓN LEED EN COLOMBIA ⁽⁶⁾

NOMBRE DEL PROYECTO	DIRECCION	CIUDAD	CERTIFICACION	REGISTRO
Agencia nacional de hidrocarburos	Av. El Dorado AC 26 No. 59-65 Lt 1b	Bogotá	En proceso	23/02/2009
Arquitectura e interiores oficina Bogotá	Carrera 14 No. 98-51 Piso 2	Bogotá	En proceso	22/12/2008
T-3 Ciudad Empresarial Sarmiento Angulo	Avenida 26 No. 59-51	Bogotá	En proceso	25/06/2009
Rochester School New Site Project	Lote Olguita, Autopista Medellín Norte Km 14	Chía	En proceso	02/12/2011
ALPINA Edificio corporativo Sopo	Vía Briceño-Sopo Km. 3	Sopo, Cund.	En proceso	08/07/2008
Centro empresarial deportivo Calle 53	Av. Carrera 30 No. 52A-77	Bogotá	En proceso	25/06/2009
GNB Sudameris	Carrera 7 No. 75-85	Bogotá	En proceso	07/05/2010
Hospital Univ. San Vicente de Paul	Calle 64	Medellín	En proceso	12/06/2009
Novartis New Building Bogotá	Carrera 16 No. 93A-95	Bogotá	Plata	22/07/2008
Zona Franca PLIC S.A	Zona industrial Cota	Cota-Bogotá	En proceso	18/02/2009
Falabella Parque Arboleda	Av. Circunvalar	Pereira	Oro	29/04/2011
Falabella Santafé Medellín	Carrera 43A	Medellín	En proceso	29/04/2011
Falabella Centro Mayor	Calle 38a sur	Bogotá	En proceso	18/11/2010
Colegio San José	Via 5 CUA 175 (Prolongación Kra 53)	Barranquilla	En proceso	05/09/2008
Argos oficinas Bogotá	Calle 24A No. 59-80	Bogotá	En proceso	02/11/2011
Concreto Sede Sao Paulo Medellín	Carrera 43A No. 18sur-135 piso 4 torre comercial	Medellín	En proceso	25/10/2010
Contempo Headquarters	Carrera 11A No. 94-45 of 401	Bogotá	En proceso	12/08/2009
Oficinas Coca-Cola	Carrera 45 (autopista norte) No. 103-60	Bogotá	En proceso	20/07/2011
Oficinas Unilever Bogotá	Calle 26 No. 69B-45 piso 7	Bogotá	En proceso	26/11/2010
Centro empresaria Colpatria Torre 2	Calle 127 No. 53A-73	Bogotá	En proceso	03/01/2012
Centro comercial la felicidad	AC 17 No. 72-12	Bogotá	En proceso	10/05/2011
Connecta el Dorado edificio 1	AC 26 No. 92-35	Bogotá	En proceso	17/07/2009
Da Vinci Bosque de Pinos	Carrera 5B No. 151A-21	Bogotá	En proceso	20/12/2011
Da Vinci parque 105	Carrera 17 No. 105 - 51	Bogotá	En proceso	25/11/2011
Earthly Bosque Empresarial	AC 26 No. 69-76	Bogotá	En proceso	29/06/2010
Green office corporativo Pijao	Carrera 11 ^a	Bogotá	En proceso	12/01/2011

TABLA NO. 2. PROYECTOS EN PROCESO DE CERTIFICACIÓN LEED EN COLOMBIA (CONTINUACION)

NOMBRE PROYECTO	DIRECCION	CIUDAD	CERTIFICACION	REGISTRO
Módulos Gold 3, 4, y 5	AC 26 No. 92-32	Bogotá	En proceso	30/09/2011
Oxo 69 Centro Empresarial y Hotelero	Carrera 7	Bogotá	En proceso	10/02/2012
Palacio de Justicia de Antioquia	Calle 42C y 41 entre carreras 52 y 53	Medellín	En proceso	12/10/2010
Panoramic Eco Business Club	Tv. 23 No. 94A-01	Bogotá	En proceso	01/04/2011
Ruta-N Torre C	Carrera 52 No. 67A-15	Medellín	En proceso	05/04/2011
San Antonio Plaza Comercial	Av. Circunvalar calle 19 Sur	Pitalito	En proceso	23/06/2011
Urban Plaza	Calle 90 con Carrera 11	Bogotá	En proceso	18/04/2011
World Business Center	Av. Ciudad de Cali No. 51-66	Bogotá	En proceso	22/03/2011
Centro de operaciones logísticas Unilever	Km 13 vía Cencar-Aeropuerto CALI	Palmira	En proceso	10/08/2011
Dirección General Bancolombia	Carrera 48 No 26-85	Medellín	ORO	20/04/2010
EPM Building	Carrea 58	Medellín	En proceso	10/06/2010
Homecenter Manizales	Calle 67 con Carrera 18	Manizales	En proceso	16/04/2011
Homecenter Montería	Calle 65 No. 10-19	Montería	En proceso	28/01/2011
3M Customer Technical center	Av EL dorado No. 75-93	Bogotá	En proceso	13/04/2010
Aloft Hotel Bogotá Airport	AC 26 No. 75-93	Bogotá	En proceso	08/10/2009
Avon Distribution Center	Medellín Bogotá Hwy	Guarne	ORO	22/10/2009
BIO Hotel Organics Suites	Carrera 7 Bis No. 124-36	Bogotá	En proceso	02/12/2011
Concesionaria Ruta del Sol Sector 2	Corregimiento de Morrison	Rio de Oro	En proceso	18/10/2011
Centro empresarial Mundial	Calle 19A No. 43B-41	Medellín	En proceso	21/09/2011
Centro internacional de convenciones	AK 40 No. 22-34	Bogotá	En proceso	08/02/2012
Dersa Vestier y cafetería	AK 36 No. 5C-49	Bogotá	En proceso	13/04/2011
Estación Sophia	Calle 63 Sur Troncal Caracas	Bogotá	En proceso	24/01/2012
Estación Metro Sabaneta	Municipio de Sabaneta	Sabaneta-Medellín	En proceso	17/06/2010
Fundación Juan Felipe Gómez Escobar	Calle 31 No 91-80	Cartagena	En proceso	05/05/2010
Homecenter Bucaramanga La Rosita	Carrera 21	Bucaramanga	PLATA	31/03/2010

TABLA NO. 2. PROYECTOS EN PROCESO DE CERTIFICACIÓN LEED EN COLOMBIA (CONTINUACION)

NOMBRE DEL PROYECTO	DIRECCION	CIUDAD	CERTIFICACION	REGISTRO
Homecenter Cedritos Bogotá	AV. 9 y calle 152	Bogotá	En proceso	12/10/2010
Hotel Avenida 100	Calle 100 No. 19A-70	Bogotá	En proceso	06/02/2012
Hotel Waya- ESC	km 2 vía Albania-Cuestecita	Albania	En proceso	19/08/2011
Hotel Waya Block 1	km 2 vía Albania-Cuestecita	Albania	En proceso	19/08/2011
Hotel Waya Master Site	km 2 vía Albania-Cuestecita	Albania	En proceso	19/08/2011
Incolmos Yamaha	km 20 de la autopista Norte	Girardota	En proceso	27/12/2011
Nueva Sede ISAGEN	Vía las palmas km 4	Medellín	En proceso	18/05/2010
Oxo Cartagena	Carrera 2 No. 9-54	Medellín	En proceso	05/08/2012
Planta PROENFAR	Km 22 autopista norte Tocancipa	Tocancipa	En proceso	22/02/2012
Ruta-N Torres A y B	Carrera 53 No. 67-100	Medellín	En proceso	10/03/2011
Suramericana Torre C	Calle 49 con Carrera 64A	Medellín	En proceso	25/03/2011
Universidad del Atlántico-Admisiones	Universidad del Atlántico	Barranquilla	En proceso	16/12/2010
Uraku Suites	Calle 65Bis No. 4-12	Bogotá	En proceso	05/12/2011
Yanbal Bogotá Keops	Autopista Medellín KM 9.5	Tenjo	En proceso	11/05/2011

Bogotá tiene 32 proyectos (tabla No. 2), ubicándola como la ciudad con mayor número de proyectos en búsqueda de certificación, para lo cual es necesario que se implementen metodologías de ahorro, manejo, y reutilización de las aguas negras.

CAPÍTULO 2

CARACTERIZACIÓN DE AGUAS NEGRAS

Las aguas negras se definen como las aguas que provienen de inodoros y orinales. Generalmente, están contaminadas por la orina y las heces humanas. Las aguas negras se caracterizan por su alto contenido de patógenos bacterianos, sus altas cargas de materia orgánica y nutrientes, su color oscuro y un olor muy ofensivo.

El uso más generalizado que se le da a las aguas negras tratadas es el de la irrigación subterránea del jardín. Sin embargo, también pueden ser tratadas para usos que requieran una mayor calidad de agua, como llenar las cisternas del lavabo. Estos usos del agua tratada requerirán un sistema de tratamiento más avanzado y menos económico.

Tal y como se mencionó anteriormente el mejor uso de las aguas, el reúso de estas, y la disminución de las tasas contaminantes en las redes de alcantarillado son los mayores aportes que pueden existir para disminuir la contaminación ambiental de cuerpos hídricos. Por tal razón, contemplar el reúso de las aguas negras es de vital importancia, sin embargo, por los altos costos que conllevan practicar tratamientos a las aguas negras, su opción de viabilidad de reúso en las edificaciones se ve limitada, pues las constructoras y administraciones de edificaciones, no tienen contemplado en sus rubros presupuestales opciones financieras de tratamiento y recirculación de las aguas para un posterior uso ya sea para riego, lavado de zonas comunes, de vehículos etc.

Las aguas negras contienen material suspendido y componentes disueltos, tanto orgánicos como inorgánicos. Los constituyentes convencionales presentes en aguas negras son: sólidos suspendidos y coloidales, materia orgánica e inorgánica medida como demanda química y bioquímica de oxígeno (DQO y DBO, respectivamente), carbono orgánico total (COT), nitrógeno (amoniaco, orgánico, nitritos y nitratos), fósforo, bacterias, protozoarios y virus (Metcalf y Eddy, 2003).

La cuantificación de estos componentes es condición necesaria para definir una estrategia de tratamiento que garantice técnica y económicamente una calidad del agua residual tratada adecuada para su uso posterior y para minimizar el riesgo potencial para la salud pública y el ambiente.

Debido a problemas como la predominancia de sistemas de alcantarillado combinados (aguas negras domésticas con aguas lluvias) y a la potencial mezcla con aguas negras industriales, pueden encontrarse constituyentes no convencionales (orgánicos refractarios, orgánicos volátiles, tensoactivos, metales, sólidos disueltos) o emergentes (medicinas, detergentes sintéticos, antibióticos

veterinarios y humanos, hormonas y esteroides, etc.). Los riesgos asociados con estas últimas sustancias pueden constituirse en la mayor amenaza para la salud pública en el largo plazo y ser de más difícil manejo que el riesgo causado por los agentes patógenos⁽⁷⁾.

En general, el agua residual doméstica presenta valores de pH alrededor de la neutralidad, con una concentración de materia orgánica variable (250-800 mg/L de DQO), según la forma de recolección y disposición de las aguas negras las cuales pueden ser: in situ, en seco, a través de redes de alcantarillado sanitario o combinado, y de aspectos de tipo climático, cultural, socioeconómico, etc.

En las aguas negras, las concentraciones de nutrientes varían entre 10 y 100 mg/l de N, 5 a 25 mg/l de P y 10 y 40 mg/l de K. El N es el nutriente de mayor dinámica en el suelo, cambiando rápidamente de una forma a otra (mineral, orgánico, diferentes formas iónicas, formas gaseosas y otras), lo que depende de diversos factores, como temperatura, humedad, aireación, ciclos de humectación y secado del suelo, tipo de material orgánico (relación C/N), pH, etc. La mayor parte del N del suelo se encuentra en la forma orgánica y apenas una pequeña cantidad, en formas disponibles de N amoniacal y nitrato⁽⁸⁾.

Es importante establecer la definición correcta de aguas negras, toda vez que es común que las personas confundan los conceptos. Las aguas negras de las edificaciones son únicamente las aguas provenientes de los orinales y sanitarios, es decir las producidas directamente por los humanos y las cuales no han sido mezcladas aún con jabones, detergentes, grasas, basuras, productos de aseo y limpieza y demás sustancias y/o elementos que al ser combinados con las aguas negras, las convierten de inmediato en aguas residuales.

ORINA⁽⁹⁾

Es un líquido acuoso transparente y amarillento, de olor característico, secretado por los riñones y eliminado al exterior por el aparato urinario.

A través de la orina se eliminan residuos del trabajo celular, sustancias indeseables y el exceso de agua en la sangre. Es un líquido de color más o menos amarillento, cuya densidad y cantidad dependen de cada organismo, de la cantidad de agua ingerida y de las actividades de consumo realizadas.

Por lo general, la orina de una persona sana está compuesta en un 95% por agua, la que a su vez contiene sustancias disueltas que el cuerpo no necesita y desecha. Destacan la urea (sustancia formada en el hígado derivada de la destrucción de las proteínas) que alcanza un 3%, mientras que el 2% restante corresponde a sustancias minerales, como el potasio, sodio, cloro, iones de fosfato y sulfato, ácido úrico y creatinina (desecho de la creatina, elemento muscular). Diariamente en condiciones normales, un adulto elimina entre 1.200 y 1.500 cm³ de orina.

CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS DE LA ORINA

- **Proteínas:** Se pueden encontrar varias clases de proteínas la más importante es la albúmina. Hay proteinurias llamadas fisiológicas asociadas a fiebres, exposición al frío, stress emocional, ejercicio intenso.
- **Hemoglobina:** Es una proteína sanguínea que no se debe encontrar en orinas normales. Su presencia puede ser causada por procesos hemolíticos, agentes tóxicos, accidentes transfusionales, quemaduras, etc. Fisiológicamente puede presentarse por ejercicio intenso. La presencia de hemoglobina y proteínas ambas altas indican que hay un daño glomerular.
- **Glucosa:** En condiciones normales se elimina por la orina cantidades no detectables por los métodos usuales, cuando el nivel de glucosa sobrepasa el umbral renal (180 mg/dl) se detecta.
- **Cetonas:** Cuando el metabolismo hepático se acelera por carencia de glucósidos, exceso de grasas o en diabetes, los cuerpos cetonicos aparecen en abundancia en la orina.
- **Bilirrubina y Urobilinógeno:** Es un producto resultante de la descomposición de hemoglobina, normalmente no se encuentra.
- **Nitritos:** Se deben analizar en orinas recién emitidas para que su valor tenga sentido de análisis.

CARACTERÍSTICAS MICROSCÓPICAS DE LA ORINA

- **Leucocitos:** Indican una pielonefritis, también se encuentran en enfermedades autoinmunes, lesión en vía renal o infecciones cerca al aparato urinario
- **Hematíes:** Indican sangrado a nivel de vías urinarias
- **Células epiteliales:** Se pueden encontrar algunas células en la orina como consecuencia del desprendimiento normal de células envejecidas, un aumento puede indicar inflamación del conducto del tracto urinario.

TABLA 3. CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES DE LA ORINA¹⁰

Agua presente en la orina	95%
Sólidos en dilución	4%
Urea por litro	20 g
acido úrico	0,5 g
Volumen:	750-2000mL/24h
Olor:	Sui generis
Color:	Incoloro-amarillo
Turbidez:	Ausente
Gravedad específica:	1.003-1.035 g/ML
Químicas	
PH	4.7-7.8
Proteínas	Ausentes
Cuerpos cetónicos	Ausentes
Hemoglobina	Ausente
Bilirrubina	Ausente
Nitritos	Ausente
Estereasa leucocitaria	Ausente
Glucosa	Ausente

TABLA 4. COMPOSICIÓN TÍPICA DE LA ORINA⁽¹¹⁾

NH ₄ -N	4900 mg/L
PO ₄ -P	240 mg/L
SO ₄ ⁼	700 mg/L
Cl-	3800 mg/L
Na ⁺	2000 mg/L
K ⁺	1700 mg/L
CO ₃ ⁼	0,25 mol/lit 15000 mg/L
DQO	4700 mg/L

FORMACIÓN DE LA ORINA ⁽¹²⁾

La nefrona tiene un papel vital en la formación de los desechos urinarios. Es allí donde realmente se seleccionan las sustancias que más tarde, tras recorrer un sinuoso camino, se transformarán en orina.

El filtrado de la sangre comienza cuando los capilares glomerulares alojados en la cápsula de Bowman filtran por primera vez la sangre. Tras este proceso, la sangre conserva sus células y algunas macromoléculas (como la albúmina). El líquido resultante se denomina orina primaria, la que cuenta con una baja concentración.

Posteriormente, el filtrado glomerular pasa por el tubo contorneado proximal, lugar donde se reabsorben cerca del 80% de las sustancias filtradas y que continúan transitando, por nuestro torrente sanguíneo. Entre ellas destacan el sodio, agua, glucosa, aminoácidos, calcio, fosfato y potasio.

Siguiendo su recorrido de limpieza, nos encontramos con el asa de Henle. En su porción descendente reabsorbe agua, mientras que en la ascendente se encarga de captar algunos iones. El filtrado que llega al tubo contorneado distal ya ha perdido todas las sustancias vitales para el organismo y solo conserva los residuos y el exceso de agua. En conjunto, estos dos últimos componentes formarán la orina, que en la parte final del conducto urinífero se volverá más concentrada.

La producción de la orina se divide en los siguientes pasos:

1. **Filtración:** Tiene lugar en una de las múltiples nefronas que hay en los riñones, concretamente en los glomérulos. La sangre, al llegar a las nefronas, es sometida a gran presión extrayendo de ella agua, glucosa, aminoácidos, sodio, potasio, cloruros, urea y otras sales. Esto equivale a, aproximadamente, el 20% del volumen plasmático que llega a esa nefrona, es aproximadamente 180 litros/día, que es 4,5 veces la cantidad total de líquidos del cuerpo, por lo que no se puede permitir la pérdida de todos estos líquidos, pues en cuestión de minutos el individuo acusaría una deshidratación grave.

2. **Reabsorción:** Cuando este filtrado rico en sustancias necesarias para el cuerpo pasa al túbulo contorneado proximal, es sometido a una reabsorción de glucosa, aminoácidos, sodio, cloruro, potasio y otras sustancias. Esta equivale, aproximadamente, al 65% del filtrado. Aunque la mayor parte se absorbe en el túbulo contorneado proximal, este proceso continúa en el asa de Henle y en el túbulo contorneado distal para las sustancias de reabsorción más difícil. Los túbulos son impermeables al filtrado de la urea.

3. **Secreción:** En el túbulo contorneado distal ciertas sustancias, como la penicilina, el potasio e hidrógeno, son excretadas hacia la orina en formación. Después el cerebro manda una señal para cuando esté lista la orina.

USOS DE LA ORINA PARA REÚSO ⁽¹³⁾

La orina como fertilizante contiene nutrientes útiles para las plantas como grandes cantidades de nitrógeno en forma de urea y una pequeña cantidad en forma de ácido úrico, puede ser recomendada para riego de la mayoría de cultivos. Al ser especialmente rica en N, es aconsejable dar prioridad a los cultivos que tienen un gran valor y responden bien al N, como la espinaca, coliflor, plantas ornamentales y maíz. No obstante, no existe ninguna razón para no usar la orina, si existe suficiente, como fertilizante en otros cultivos, ya que las experiencias muestran buenos resultados.

Para poder hacer uso de la orina en los cultivos, los usos y aplicaciones, deben estar basadas en las recomendaciones locales para la fertilización de cultivos. Las dosis de aplicación para fertilizantes minerales nitrogenados (urea o amonio) pueden ser usadas como base para las recomendaciones del uso de la orina. Antes de traducir dichas recomendaciones a la orina, su concentración de nitrógeno (N) debe ser analizada. De otro modo, se puede estimar una concentración de nitrógeno de 3-7 g por litro. De no ser posible la obtención de recomendaciones locales, una regla general es aplicar la orina producida por una persona durante un día (24 horas) a un metro cuadrado de terreno. Si toda la orina es recolectada, esta alcanzará para fertilizar de 300 a 400 m² de cultivos por persona por año con N a una dosis razonable.

La orina contiene también una gran cantidad de fósforo, suficiente para fertilizar hasta 600 m² de cultivo por persona y temporada de crecimiento, si la dosis de aplicación se escoge para sustituir al fósforo removido.

La composición de la orina varía según la alimentación. La producida por animales herbívoros suele ser más alcalina, contiene más potasio y menos nitrógeno y es la más adecuada para usar como fertilizante. La de los humanos contiene más sodio, que las plantas no necesitan en grandes cantidades por lo que podría perjudicarlas. El nitrógeno se encuentra principalmente en forma de urea, que se convierte bastante rápido en amoníaco. Si la concentración es excesiva puede perjudicar a las plantas. Los microorganismos del suelo convierten parte en nitratos y nitritos.

A pesar del asco que produce la orina, es un líquido estéril como el semen o la sangre y contiene menos bacterias que la saliva o las heces por lo que sólo en caso que el animal o persona esté enfermo ésta puede ser fuente de enfermedades. Es posible almacenarla durante un tiempo para que la subida del pH al formar amonio, mate los posibles patógenos.

Aunque al poco tiempo de ser expulsada la orina huele muy fuerte a amoníaco, al utilizarla como abono en dosis adecuadas no debería oler.

HECES FECALES ⁽¹⁴⁾

Las heces son los desperdicios sólidos producidos por los seres vivos como producto final de la digestión. Las heces son los restos de los alimentos no absorbidos por el tubo digestivo así como células del epitelio intestinal que son descaídas en el proceso de absorción de nutrientes, microorganismos, así como otras sustancias que no son capaces de atravesar el epitelio intestinal.

Las heces son el resultado de la digestión y absorción de los alimentos están constituidas por:

- Restos alimenticios no absorbibles como la celulosa.
- Células muertas del intestino.
- Restos de jugos intestinales procedentes del hígado y páncreas.
- Enzimas no destruidas.
- Leucocitos.
- Productos nitrogenados procedentes de las proteínas.
- Sales minerales y agua.
- Grandes cantidades de bacterias.

Sus características son variables dependiendo de la dieta y de cada individuo, sin embargo, las principales características son:

Pueden ser líquidas, blandas o duras. La consistencia varía de un individuo a otro, por alteraciones del ritmo intestinal (diarrea, estreñimiento), o por la dieta. Las heces blandas sugieren tránsito rápido y las pequeñas y duras sugieren un tránsito lento. El esfínter anal realiza con mayor dificultad su función de continencia cuando las heces son muy líquidas, como ocurre en ocasiones en la diarrea.

El color normal también es variable pero suelen ser marrón-amarillento. La mayor parte de los cambios de color son debidos a la dieta o a fármacos. (Las espinacas producen un color verdoso, la remolacha rojo, el hierro negro, etc.). Cambios de color que no se deban a la dieta pueden sugerirnos alguna alteración. Por ejemplo, unas heces grasas de color claro pueden indicar una alteración pancreática, y unas heces de color negro pueden sugerir un exceso de bilis¹⁵

CARACTERÍSTICAS DE LAS HECES FECALES

Las heces fecales pueden ser duras, blandas o líquidas. Se tienen 4 tipos de clasificación de acuerdo a la dureza de las heces, en orden de más sólido a más blando es: sólida, blanda, pastosa y acuosa.

Las heces grasas de color claro pueden indicar una alteración pancreática, y unas heces de color negro pueden sugerir un exceso de bilis. Unas heces de color amarillento indican que el paciente sufre una infección conocida como Giardiasis,

Las heces amarillentas puede ser el llamado Síndrome de Gilbert. Esta enfermedad está condicionada por brotes de ictericia y de hiperbilirubinemia.

Esta afección ocurre cuando hay un exceso de bilirrubina en la sangre. También ocurre que las heces puedan ser negras. Esto pasa si hay sangre coagulada presente en el aparato digestivo que deriva de un sangrado anterior.

En los análisis de materia fecal (el más común de ellos es el llamado coproparasitoscópico o parasitológico), indispensables para el diagnóstico de muchos padecimientos tanto gastrointestinales como de otros tipos, la interpretación de los resultados toma en cuenta, entre otros datos, la edad del paciente. Esto debido a que en los niños el excremento tiene color y solidez diferentes a los de la materia fecal adulta.

Otros puntos a tener en consideración son: unas heces grasas de color claro pueden indicar una alteración pancreática, y unas heces de color negro pueden sugerir un exceso de bilis. Unas heces de color amarillento indican que el paciente sufre una infección conocida como giardiasis, nombre derivado del de un parásito microscópico llamado *Giardia*, que habita naturalmente en el organismo humano. Si el parásito produce una infección en el intestino (por alguna razón, su concentración en el intestino puede aumentar), esto desembocará en una grave diarrea de color amarillo.

Otra causa del color amarillento de las heces puede ser el llamado síndrome de Gilbert. Esta enfermedad está condicionada por brotes de ictericia y de hiperbilirubinemia y ocurre cuando hay un exceso de bilirrubina en la sangre.

También puede ocurrir que las heces sean negras, debido a la presencia de sangre coagulada presente en el aparato digestivo, derivada de un sangrado anterior (principalmente debido a gastritis erosiva o úlcera gástrica o duodenal). Si las heces adquieren un color rojo, será necesario recibir atención profesional de inmediato.

Para hacer un cultivo de deposiciones humanas, con objeto de analizarlas para detectar enfermedades (patologías), es necesario colocar una muestra del material en un recipiente que contenga aditivos especiales, tales como el *extracto de alga de MacConkey*, que dificulta la proliferación de bacterias Gram

positivas pero que permite la aparición de algunos organismos patógenos. Al dejar estos aditivos en contacto con la materia fecal durante un periodo determinado, crecerán colonias de bacterias de un tipo específico.

Los nutrientes consumidos abandonan el cuerpo humano con la excreta, una vez que este ha concluido su desarrollo. Mientras el cuerpo continua creciendo, algunos nutrientes son tomados e integrados en los tejidos del cuerpo humano. El N es acumulado en las proteínas, el P principalmente en los huesos y músculos y el K en los nervios y músculos. Sin embargo, sólo una porción pequeña de los nutrientes es retenida en el cuerpo aun cuando los niños y los adolescentes crecen rápidamente. Según cálculos realizados de la dieta promedio y peso ganado por los adolescentes suecos entre los 2 y 17 años de edad (Becker, 1994) y la composición del cuerpo humano (Garrow, 1993), la retención en el cuerpo en desarrollo durante este período es aproximadamente 2%, 6% y 0,6% de N, P y K respectivamente. Una vez que el esqueleto y los músculos alcanzan su talla completa, no se retienen ni acumulan más nutrientes en el cuerpo.

Es así que, la cantidad de nutrientes excretados es esencialmente igual a la consumida. Esto tiene tres implicaciones importantes: 1) La cantidad de nutrientes excretados puede calcularse a partir de la ingesta de alimentos, en la que la información es a la vez mejor y más fácilmente disponible que en la excreta. 2) Si la excreta y los residuos orgánicos, así como el estiércol animal y los residuos de los cultivos, son reciclados, entonces la fertilidad de la tierra cultivable puede mantenerse, ya que los productos reciclados contienen la misma cantidad de nutrientes que fueron utilizadas por los cultivos. 3) Las diferencias en la composición de la excreta entre diversas regiones refleja las diferencias en el consumo de los cultivos ingeridos y por consiguiente en la necesidad de nutrientes requeridos para mantener la fertilidad. Independientemente de las cantidades y las concentraciones de los nutrientes en la excreta, una recomendación importante al fertilizar es tratar de distribuir los fertilizantes de la excreta en un área similar a la que fue usada para producir los alimentos.

CONTENIDO DE MACRONUTRIENTES EN LA EXCRETA ⁽¹⁶⁾

Existen pocas mediciones de las cantidades y la composición de la excreta humana y por ende es necesario contar con un método para calcular la composición de la excreta a partir de una información que sea fácil de obtener. Un método, que usa las estadísticas de la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO) sobre el suministro de alimentos disponible en varios países, ha sido desarrollado por Jönsson y Vinnerås (2004) ⁽¹⁷⁾. Este método utiliza ecuaciones derivadas de las estadísticas de la FAO y una estimación de la excreción media de la población sueca, donde extensas mediciones en la excreta han sido realizadas.

TABLA 5. MACRONUTRIENTES EN LA EXCRETA EN DIVERSOS PAISES

Pais		Nitrógeno Kg/cap.año	Fósforo Kg/cap.año	Potasio Kg/cap.año
China, total		4.0	0.6	1.8
	Orina	3.5	0.4	1.3
	Heces	0.5	0.2	0.5
Haití, total		2.1	0.3	1.2
	Orina	1.9	0.2	0.9
	Heces	0.3	0.1	0.3
India, total		2.7	0.4	1.5
	Orina	2.3	0.3	1.1
	Heces	0.3	0.1	0.4
Sudáfrica, total		3.4	0.5	1.6
	Orina	3.0	0.3	1.2
	Heces	0.4	0.2	0.4
Uganda, total		2.5	0.4	1.4
	Orina	2.2	0.3	1.0
	Heces	0.3	0.1	0.4

En la tabla 5, la excreción total ha sido dividida entre orina y heces, usándose para esto datos suecos. En Suecia, aproximadamente el 88% del N y 67% del P excretados se encuentran en la orina y el resto en las heces. La distribución de los nutrientes entre la orina y las heces depende de que tan digerible es la dieta, ya que los nutrientes digeridos entran en el metabolismo y son excretados con la orina, mientras que las fracciones no digeridas son excretadas con las heces. Es así, que para países donde la dieta es menos digerible que en Suecia, la orina contendrá un porcentaje menor al 88% de N y 67% de P excretados. Por ejemplo, la información de China (Gao et al., 2002)⁽¹⁸⁾ indica que la orina contiene aproximadamente el 70% del N y entre 25-60% del P excretados. Para reducir la incertidumbre de cómo los nutrientes, especialmente el P, están distribuidos, se requieren más mediciones de la composición de la excreta en países con dietas menos digeribles.

La digestibilidad también influencia la cantidad de heces excretada. En Suecia esta cantidad es estimada en 51 Kg de masa húmeda (Vinnerås, 2002)⁽¹⁹⁾, en China se ha medido como 115 Kg/persona por año y en Kenia como hasta 190 Kg/persona por año (Pieper, 1987)⁽²⁰⁾. La masa seca fecal en Suecia es alrededor de 11 Kg y en China 22 Kg/persona por año. Las concentraciones de nutrientes son estimadas por la cantidad de nutrientes en la materia fecal y su masa.

El contenido de metales pesados y otras sustancias contaminantes como los residuos de plaguicidas son generalmente bajos o muy bajos en la excreta, y dependen de las cantidades presentes en los productos consumidos. Los niveles de metales pesados en la orina son muy bajos (Jönsson et al., 1997; Jönsson et al., 1999; Johansson et al., 2001; Vinnerås, 2002; Palmquist et al., 2004)⁽²¹⁾. El contenido de estas sustancias es mayor en las heces en comparación con la

orina. La causa principal de esto es que las heces consisten básicamente en materiales no metabolizados combinados con algunos materiales metabolizados. La proporción principal de micronutrientes y otros metales pesados pasa a través del intestino sin ser afectada (Fraústo da Silva y Williams, 1997) ⁽²²⁾. Aún así, las concentraciones de sustancias contaminantes en las heces son usualmente más bajas que en los fertilizantes químicos (por ejemplo, el cadmio) y en el estiércol de aves de corral (por ejemplo, el cromo y el plomo) ⁽²³⁾

TABLA 6. CONTENIDOS PRINCIPALES EN AGUAS NEGRAS ⁽²⁴⁾

	HECES	ORINA
HUMEDAD	66% - 80%	93% - 96%
MATERIA ORGANICA	88% - 97%	65% - 85%
NITROGENO	5% - 7%	15% - 19%
FOSFORO	3% - 5.4%	2.5% - 5%
POTASIO	1% - 2.5%	3% - 4.5%
CARBONO	44% - 55%	11% - 17%
CALCIO	4.5%	4.5% - 6%

La tabla 6, muestra las características principales de las aguas negras (heces fecales y orina). Generalmente las aguas negras tienen una relación aproximada de: $DBO_5 / DQO = 0.5$ y de $DBO_U / DBO_5 = 1.5$

CARACTERIZACIÓN DE AGUAS NEGRAS

PREPARACIÓN DE MUESTRAS

Se prepararon siete (7) muestras con el producto de una deposición y una descarga de orina diaria. Se recogieron, en la semana del 21 de Diciembre del año 2012; una muestra diaria tomada en una hora promedio de 6:00 am a 6:30 am. Para la toma de las muestras se usó un recipiente plástico (clínicamente conocido como “pato”) lo cual permitió separar la muestra de todo contacto con agua residual, detergente, etc. Una vez la muestra estaba en el recipiente plástico, se guardó en otro recipiente plástico el cual tenía una capacidad de 6 litros. Después, en este mismo recipiente, se agregaba una descarga de orina y por último se llenaba el recipiente plástico con agua de la llave hasta completar los 6 litros. Se tomó la decisión de completar a 6 litros ya que esa es la capacidad de los tanques de los sanitarios comunes.

Una vez se completaron los 6 litros en el recipiente plástico, se transportaron al laboratorio de la Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito para iniciar posteriormente sus análisis.

Los resultados de los análisis realizados, de acuerdo con los métodos estándar se incluyen en la tabla 7.

TABLA 7. CARACTERIZACIÓN DE AGUAS NEGRAS

PARÁMETRO	UNID.	M. 1	M. 2	M. 3	M. 4	M. 5	M. 6	M. 7	PROM	INTERVALO
Temp.	°C	18	18	19	18	18	18	18	18	18-19
Turbiedad	UTN	>4000	2009	>4000	>4000	1835	2305	1600	1937	1600- >4000
PH		8.38	8.17	8.74	8.51	8.1	9.39	7.12	8	7.12-9.39
Alcalinidad	mg/L- CaCO ₃	800	600	1,100	900	700	900	700	814	600-1100
Dureza	mg/L- CaCO ₃	360	220	180	100	320	500	400	297	100-500
Hierro	mg/L	ND	ND	ND	ND	ND	54	53	54	53-54
Manganeso	mg/L	91	22	136	45	38	71	91	74	22-136
Cloruros	mg/L	91	45	182	181	137	137	200	139	45-200
Sólidos Suspendidos Totales	mg/L	433	626	1,000	950	386	525	720	679	525-1000
Sólidos sedimentables – 1 hora.	mL	1	0.6	7	6	2	3	5	3	0,6-7
DBO ₅	mg/L- O ₂	1672	1194	1731	2000	1800	1200	1700	1449	1194- 2000
DQO	mg/L- O ₂	2933	2400	1800	1280	933	1500	2200	1869	933-2400
Densidad	g/L	1070	1030	1047	1010	1016	1046	1018	1034	1018- 1070
Coliformes Fecales	UFC/100 mL	>2x10 ¹¹	>>2x10 ¹¹	>2x10 ¹¹						

ANÁLISIS DE RESULTADOS

Como se observa en la tabla 7 las aguas negras analizadas se pueden clasificar como aguas residuales fuertes, muy turbias, de alcalinidad alta, relativamente duras, con alta concentración de hierro, manganeso, materia orgánica y coliformes fecales. Exhiben una relación promedio de DBO/DQO de 0,78 que confirma su composición por materia orgánica biodegradable. En general, dependiendo del uso requerido, son aguas que responden al tratamiento biológico y que hace necesario removerles turbiedad, hierro y manganeso, así como coliformes fecales.

CAPÍTULO 3

OPCIONES DE REÚSO DE AGUAS NEGRAS EN EDIFICACIONES ⁽²⁵⁾

Las aguas negras caracterizadas por su alto contenido de patógenos bacterianos, sus altas cargas en materia orgánica y nutrientes, su color oscuro y un olor muy ofensivo, tienen como uso común más conocido para reúso el de irrigación de jardines y zonas verdes. Los tipos y aplicaciones se clasifican de acuerdo con el sector o infraestructura que recibe el beneficio, siendo los principales: el urbano, que incluye irrigación de parques públicos, campos de atletismo, áreas residenciales y campos de golf; el industrial, en el que ha sido muy empleado durante los últimos años, especialmente en los sistemas de refrigeración de las industrias, y el agrícola, en la irrigación de cultivos. Este último es el principal uso (Gutiérrez, 2003) ⁽²⁶⁾.

La actividad agrícola demanda agua residual por la necesidad de un abastecimiento regular que compense la escasez del recurso, por causa de la estacionalidad o la distribución irregular de la oferta de otras fuentes de agua a lo largo del año (Lara y Hernández, 2003) ⁽²⁵⁾; adicionalmente, el uso de aguas negras presenta beneficios asociados al mejoramiento de la fertilidad de los suelos agrícolas por el aporte de materia orgánica, macronutrientes (N y P) y oligoelementos, como Na y K, permitiendo reducir, y en algunos casos eliminar, la necesidad del uso de fertilizantes químicos y trayendo beneficios económicos al sector (Hoek et al., 2002, citados por Medeiros et al., 2005). La preservación del medio ambiente se favorece también, al evitar el vertimiento directo de las aguas negras o al reducir los costos de su tratamiento, conservando la calidad del agua y la recarga de los acuíferos de aguas subterráneas (Moscoso, 93; Cepis, 04) ⁽²⁷⁾.

Las aguas negras domésticas son aprovechadas en muchas partes del mundo especialmente para:

- Riego agrícola (a veces en forma directa y a veces al extraerla de los ríos donde esas aguas se habían descargado)
- Riego de árboles y plantas en “corredores de transporte” o corredores biológicos.
- Riego de césped por ejemplo en campos de golf, en jardines de hoteles, escuelas etc.
- Procesos industriales (enfriamiento de equipos)
- Funcionamiento de inodoros
- Recarga de acuíferos
- Mitigación de impactos ambientales (creación de humedales artificiales)
- Usos estéticos / paisajísticos

El reúso de aguas negras para riego de zonas verdes en proyectos de urbanismo y edificaciones, brinda las ventajas de ser un recurso de agua estable y constante, que adicionalmente contiene nutrientes para las plantas. El reúso de agua también puede ser una forma de prevenir la contaminación de aguas superficiales con nutrientes y presenta la oportunidad de reservar agua de más alta calidad para el consumo humano, de otros seres vivos y la producción de otros alimentos. Sin embargo, las aguas negras contienen agentes infecciosos o contaminantes peligrosos para la salud, por lo que su reúso debe ser manejado con precaución, relacionando el nivel de tratamiento que se le vaya a dar con el tipo de reúso, respetando normas establecidas con esos propósitos.

En Alemania, Francia, España, etc., se han utilizado las aguas negras en riego sin ocasionar daños a los suelos. Actualmente, muchos países desarrollados utilizan aguas negras no solamente en riego sino en otras actividades lógicamente utilizando adecuados pre-tratamientos.

En general, con adecuados tratamientos, el uso de aguas negras domésticas en riego no ocasiona deterioro de los suelos ni de las aguas subterráneas, se obtienen productos de calidad, no se ha observado acumulación de metales en los cultivos, no incrementa la salinidad de los suelos, etc.⁽²⁸⁾

En edificaciones y conjuntos residenciales las posibles formas de reúso de aguas negras serían:

- Riego de parques, jardines, zonas viales, campos deportivos de recreación
- Mantenimiento de lagos, estanques, ríos
- Usos domésticos (no potable)
- Abastecimiento de sanitarios

El reúso de las aguas negras dependerá de los parámetros y características de la normativa vigente, pero como se ha mencionado el uso de las aguas negras domésticas tratadas no ha demostrado problemas posteriores al reúso.

En muchos países existen diferentes regulaciones para el reúso de aguas negras; así por ejemplo: en agricultura son diversas las exigencias dependiendo al tipo de cultivo, hábito de crecimiento, periodo vegetativo, forma de consumo, de igual manera para otros usos la normativa es específica para cada cual.⁽²⁹⁾

En los países industrializados la demanda de aguas esta alrededor de 100 a 150 (litros/persona/día) del cual de un 60% a 70% es transformada en aguas grises y negras. Si se reúsan estas aguas para descarga de sanitarios, se puede reducir en las edificaciones un consumo de 40 L/persona*día

Las principales guías que regulan el reúso son las directrices de la Organización Mundial de la Salud (OMS), sobre calidad microbiológica de aguas negras para irrigación, clasificadas en tres categorías, según sus niveles de parásitos y coliformes fecales, indicadores de la presencia de patógenos (virus, bacterias, protozoos y helmintos) en las aguas negras domésticas (OMS, 1989) ⁽³⁰⁾, y las físico-químicas para calidad de las aguas de riego de la FAO (1999) ⁽³¹⁾.

En 2006, la OMS publicó nuevas guías de uso de aguas negras, excretas y aguas grises (WHO, 2006), que son una herramienta de manejo preventivo de aguas negras en agricultura para maximizar la seguridad para la salud pública. La guía incluye el análisis microbiano, esencial para el análisis del riesgo, que comprende la recolección de información relativa a patógenos presentes en aguas negras, campos y cosechas regados. Estos factores varían según la región, clima, estación, etc. y deben ser medidos siempre que sea posible, sobre un sitio específico. La guía no da valores sugeridos para patógenos virales, bacteriales o protozoarios, únicamente valores para huevos de helmintos ($\leq 1/L$) para riego sin restricción. Para el riego por goteo, en cultivos de alto crecimiento, no da recomendación alguna. A través de un análisis cuantitativo del riesgo microbiano se puede lograr la remoción de patógenos requerida para no superar el riesgo aceptable por infección (Tabla 5).

La Agencia estadounidense de Protección Ambiental (EPA) clasificó el reúso en ocho categorías, de acuerdo con la calidad del agua: urbano, áreas de acceso restringido, agrícola para cultivos consumidos crudos y para cultivos no consumidos crudos, recreacional, industrial, recarga de acuíferos e indirecto potable (EPA, 2004; Metcalf y Eddy, 2003) ⁽³²⁾.

Adicionalmente, figuran las directrices físico-químicas de la FAO para interpretar la calidad de las aguas de riego. En ellas se clasifica el grado de restricción de uso en tres niveles, de acuerdo con el problema potencial definido por características físico-químicas del agua, como la conductividad.

TABLA 8. GUÍA DE LA OMS, PARA EL REÚSO DE AGUAS NEGRAS⁽³³⁾

Categoría	Condiciones de reutilización	Grupo expuesto	Parásito intestinal ^a (número de huevos, media aritmética, por litro)	Coliformes fecales (media geométrica, por cada 100 ml)	Tratamiento de aguas residuales, supuesto para alcanzar la pauta microbiológica requerida
A	Irrigación de cultivos que probablemente serán consumidos crudos, campos deportivos, parques públicos.	Trabajadores, consumidores, público	1	1 000	Una serie de lagunas o tratamiento para lograr calidad microbiológica indicada.
B	Irrigación de cultivos industriales, forraje pasto y árboles. ^b	Trabajadores	1	Ningún estándar recomendado	Retención de 8 a 10 días en lagunas o eliminación equivalente de helmintos y coliformes fecales.
C	Irrigación localizada de cultivos en categoría B si no hay exposición a trabajadores ni al público.	Ninguno	No aplicable	No aplicable	Mínimo de sedimentación primaria

^a Especies: Áscaris, Trichuris y Anquilostomas

^b En el caso de árboles frutales, la irrigación debería cesar dos semanas antes de la recolección de la fruta, y ninguna fruta debería ser recolectada del suelo.

En general, los países que tienen una normatividad sobre el reúso de las aguas negras han tomado como referencia lo establecido por la EPA, en términos de la clasificación por tipos del REÚSO, y las directrices de la OMS y de la FAO en lo relacionado con límites máximos permisibles de algunas sustancias.

TABLA 9. REGLAMENTACIÓN DE REÚSO DE AGUAS NEGRAS EN LATINOAMÉRICA

Costa Rica	Secretaría de recursos naturales y ambiente, 1997	Designan reglamentación del reúso de las aguas negras
México	Secretaría de medio ambiente, recursos naturales y pesca, 1997	
Salvador	Ministerio de medio ambiente y recursos naturales, 2000	
Colombia	Ministerio de Salud (Decreto No. 1594 de 1984)	Reglamenta los usos del agua y los residuos líquidos

En Colombia, el Decreto 1594 de 1984 del Ministerio de Salud reglamenta los usos del agua, establece los criterios admisibles para la destinación del recurso (capítulo IV, artículo 40)

Tabla No.10. CRITERIOS ADMISIBLES PARA DESTINACIÓN DE AGUAS NEGRAS EN ZONAS VERDES

Aluminio Al	5
Arsénico As	0.1
Berilio Be	0.1
Cadmio Cd 0.01 Cinc Zn	2
Cinc Zn	2
Cobalto Co	0.05
Cobre Cu	0.2
Cromo Cr + 6	0.1
Flúor F	1
Hierro Fe	5
Litio Li	2.5
Manganeso Mn	0.2
Molibdeno Mo	0.01
Níquel Ni	0.2
pH Unidades	4.5 - 9.0 unidades
Plomo Pb	5
Selenio Se	0.02
Vanadio V	0.1

En la tabla 10 se incluyen algunos criterios exigidos para el reuso de aguas negras en zonas verdes además, el boro deberá estar entre 0,3 y 4,0 mg B/L, dependiendo del tipo de suelo y de cultivo; el NMP de coliformes totales y fecales no deberá exceder de 5.000/100 mL y 1.000/100 mL, respectivamente, cuando se use el recurso para riego de frutas que se consuman sin quitar la cáscara y para hortalizas de tallo corto”

Los criterios de calidad para la irrigación con aguas negras en la agricultura dependen también del tipo de cultivo: cuando el reuso agrícola se realiza en cultivos que se consumen crudos y no se procesan comercialmente, como es el caso de las hortalizas frescas, el riego es restringido; cuando se aplica en cultivos que se consumen y se procesan comercialmente, como es el caso del tomate enlatado, y en cultivos que no se consumen por el hombre, como pastos, el riego es no restringido (OMS, 1989) ⁽³²⁾.

La calidad de un agua de riego para regar jardines o zonas verdes en edificaciones sólo será óptima si se cuenta con las condiciones y conocimientos necesarios para garantizar tanto la conservación de la fertilidad del suelo en caso de usar jardines extensos (características orgánicas, minerales e hidrogeológicas) como la obtención de productos que respondan a las calidades higiénicas y sanitarias exigibles según su destino, para lo cual es necesario que el aprovechamiento de aguas negras se realice de modo controlado.

Los elementos presentes en las aguas negras domésticas, que pueden limitar su uso en riego de las zonas verdes o jardines, son los siguientes:

Sólidos en suspensión: Su acumulación da lugar a depósitos de lodos que generan condiciones anaeróbicas en el suelo, pudiendo, además, provocar obturación en sistemas de riego localizados.

Materia orgánica biodegradable: Las proteínas, carbohidratos y grasas generan unas necesidades de oxígeno disuelto, medidas como DBO5 ó DQO (Demanda bioquímica y química de oxígeno), cuya no satisfacción da lugar al desarrollo de condiciones sépticas.

Patógenos: La presencia de virus (enterovirus, adenovirus, rotavirus), bacterias (coliformes, etc.), protozoos o helmintos de origen humano y su posible transmisión a través de los productos cultivados puede ser origen de diversas enfermedades.

Nutrientes: Los nutrientes como nitrógeno, fósforo ó potasio esenciales para el desarrollo vegetal, enriquecen las aguas para riego, pero una carga excesiva puede provocar efectos nocivos para el terreno y/o las aguas subterráneas.

Materia orgánica no biodegradable: Determinados productos tóxicos no degradables por los sistemas de tratamientos, tales como fenoles, pesticidas y órgano clorados, pueden limitar el uso en riego.

pH: El pH del agua afecta la solubilidad de los metales y pueden alterar el equilibrio del suelo.

En la tabla 11 a 16 se resumen las principales consideraciones a tener en cuenta para reúso de aguas negras.

Tabla 11. CARACTERÍSTICAS DE REUSO DE AGUA PARA ZONAS VERDES.

CALIDAD DEL AGUA	TIPO DE CULTIVO O ZONA APTA A REGAR	POSIBLE METODO DE RIEGO	OTRAS CONDICIONES QUE DEBEN CUMPLIRSE
Nematodos intestinales: <1/L Coliformes fecales: <200/100 MI	Riego de campos deportivos y zonas verdes de acceso publico	Cualquiera	El riesgo no debe realizarse en horas de afluencia al publico
Nematodos intestinales: <1/L Coliformes fecales: <1000/100 mL	Riego de cultivos de consumo en crudo	Cualquiera	
Nematodos intestinales: <1/L	Riego de cultivos industriales, madereros, forrajeros, cereales y semillas oleaginosas, viveros, cultivos destinados a industrias vegetales que se consuman cocinados y árboles frutales	Cualquiera excepto: Aspersión e inundación para el riego de hortalizas aspersión para el riego de árboles frutales	El riego de árboles frutales con este tipo de agua debe suprimirse al menos dos semanas antes de la recolección y la fruta no debe ser recogida de suelo. El riego de pastos para consumo en verde debe cesar al menos dos semanas antes de que se permita apacentar al ganado

TABLA 12. PROBLEMÁTICA DEL REÚSO DE AGUAS NEGRAS PARA ZONAS VERDES

Contaminante	Parámetro	Comentarios
Partículas en suspensión	SSV y SSF	Los SS pueden dar lugar a depósitos de fango y generación de condiciones anaeróbicas en un medio acuático. Una cantidad excesiva de materia en suspensión puede colmatar el suelo
Substancias orgánicas biodegradables	DQO Y DBO ₅	Estas sustancias están compuestas principalmente por proteínas, carbohidratos y grasas. Una vez vertidas en el medio ambiente, su descomposición biológica puede dar lugar al agotamiento del oxígeno disuelto en las aguas receptoras y a la aparición de condiciones anaerobias.
Microorganismos patógenos	Coliformes totales y coliformes fecales	El agua actúa como vehículo en la transmisión de bacterias, virus y parásitos, produciendo numerosas enfermedades.
Nutrientes	Nitrogeno, fosforo, potasio	El nitrógeno, el fósforo y el potasio son elementos nutritivos esenciales para el crecimiento de las plantas, y su presencia en el agua aumenta su valor para riego. Cuando se vierte nitrógeno o fósforo en el medio acuático, en el lado contrario puede producir eutrofización, y el nitrógeno puede llegar a contaminar las aguas subterráneas.
Acidez o alcalinidad	PH	El pH del agua residual afecta la solubilidad de los metales, así como la alcalinidad del suelo. El intervalo normal para el pH de un agua residual municipal se sitúa entre 6,5 y 8,5, aunque la presencia de agua residual industrial puede modificar el pH de forma significativa.
Metales pesados	Elementos conocidos, tales como Cd, Zn, Ni, Hg, Mn, etc	Algunos metales pesados se acumulan en el medio ambiente y son tóxicos para los animales y las plantas. Su presencia en el agua residual puede limitar su idoneidad para el riego.

TABLA 12. PROBLEMÁTICA DEL REÚSO DE AGUAS NEGRAS PARA ZONAS VERDES (CONTINUACION)

Productos disueltos (no orgánicos)	SD Conductividad Cationes: Na, B, Mg, Ca	Un grado excesivo de salinidad puede perjudicar ciertos cultivos. Determinados iones como los cloruros, el sodio y el boro son tóxicos para ciertas plantas. El sodio puede causar problemas de permeabilidad en los suelos.
Contenido en cloro	Cloro libre Cloro combinado	Una concentración excesiva de cloro libre daña a las plantas, principalmente las sensibles. Debe señalarse la preocupación de la contaminación de las aguas por compuestos organoclorados. El cloro combinado, en concentraciones normales no afecta a las plantas.

TABLA 13. REÚSO DE AGUA EN AGRICULTURA.⁽³⁴⁾

TIPO DE REÚSO	TRATAMIENTO REQUERIDO	CALIDAD DE AGUA
Cultivos alimenticios comercialmente no procesados	Secundario Filtración Desinfección	<2.2 Coliformes fecales/100 mL 1mg/lt Cl ₂ residual después de 30 min. Turbiedad '2NTU '10 mg/L BOD
Cultivos alimenticios comercialmente procesados como frutales y viñedos	Secundario Desinfección	'200 Coliformes fecales/100 mL 1mg/L Cl ₂ residual después de 30 min. '30 mg/L DBO '30 mg/L SS
Cultivos no alimentarios, pastos, forraje, fibras y semillas	Secundario Desinfección	'200 Coliformes fecales/100 mL 1mg/L Cl ₂ residual después de 30 min. '30 mg/L DBO '30 mg/L SS

Resumiendo, el reuso de aguas negras en edificaciones y conjuntos residenciales está limitado a riego de parques, jardines, zonas verdes, vías, campos deportivos, mantenimiento de lagos y abastecimiento de acuíferos. Los usos anteriores requieren que las aguas negras sean tratadas y cumplan una norma como la expuesta en los artículos 40 y 43 del decreto 1594 de 1984 del ministerio de Salud los cuales establecen los siguientes criterios de calidad:

TABLA 14. CRITERIOS ADMISIBLES PARA USO AGRÍCOLA (DCTO 1594 DE 1984)

Aluminio Al	5
Arsénico As	0.1
Berilio Be	0.1
Cadmio Cd 0.01 Cinc Zn	2
Cinc Zn	2
Cobalto Co	0.05
Cobre Cu	0.2
Cromo Cr + 6	0.1
Flúor F	1
Hierro Fe	5
Litio Li	2.5
Manganeso Mn	0.2
Molibdeno Mo	0.01
Níquel Ni	0.2
pH Unidades	4.5 - 9.0 unidades
Plomo Pb	5
Selenio Se	0.02
Vanadio V	0.1

TABLA 15. GUÍA DE LA EPA PARA REÚSO DE AGUA EN RIEGO DE ZONAS VERDES. ⁽³⁵⁾

Referencia	Expresado como	Valor
Coliformes fecales	NMP	200 microorganismos/100 ml
Coliformes totales	NMP	1.000 microorganismos/100 ml
Compuestos fenólicos	Fenol	0.002
Oxígeno disuelto	Mg/l	70% concentración de saturación
pH	Unidades	5.0 - 9.0 unidades
Tensoactivos	Sustancias activas al azul de metileno	0.5

TABLA 16. PARÁMETROS MÍNIMOS EXIGIDOS PARA REÚSO DE AGUAS NEGRAS EN RIEGO DE ZONAS VERDES ⁽³⁶⁾

PARAMETRO	UNIDAD	Valor Obtenido de muestras propias	Valor exigido por normatividad colombiana
PH	UNIDADES	8	5-9
COLIFORMES FECALES	UFC/100 mL	>2x10 ¹¹	1000 microorganismos/100 ml
DBO	Mg/L-O ₂	1449	200
SOLIDOS SUSPENDIDOS	Mg/L	679	<100
HIERRO	Mg/L	53	<5

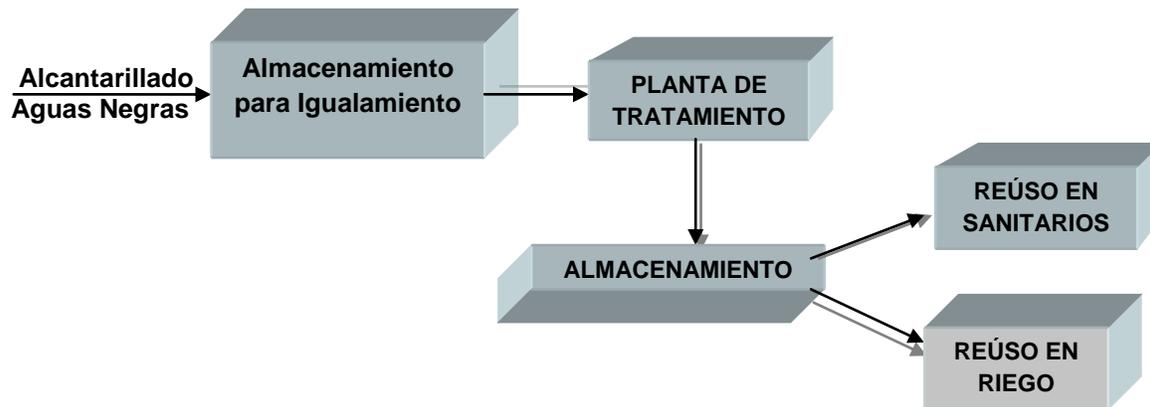
Como se observa en la tabla 13, una exigencia básica es que las zonas verdes, parques y/o jardines se rieguen con aguas negras tratadas que tengan menos de 1,000 coliformes fecales por 100 mL. Esto significa que los sistemas de tratamiento implementados por las edificaciones y conjuntos residenciales deben lograr remover de 4 a 5 unidades logarítmicas de coliformes fecales, empleando sistemas de tratamiento adecuados.

De igual manera, la normatividad exige unos estándares químicos muy exigentes para el reúso de aguas negras en riego de zonas verdes. Teniendo en cuenta los valores promedios obtenidos en este estudio (tabla 7), se concluye que las aguas negras requieren por lo menos tratamiento secundario y desinfección para cumplir con el estándar para riego de zonas verdes.

CAPITULO 4 TRATAMIENTO DE AGUAS NEGRAS EN EDIFICACIONES

Básicamente, el tratamiento requerido para reuso de aguas negras en edificaciones y conjuntos residenciales se puede resumir en la figura No. 2

FIGURA 2. TRATAMIENTO DE AGUAS NEGRAS PARA REÚSO EN EDIFICACIONES Y CONJUNTOS RESIDENCIALES.



CONTAMINANTES DE LAS AGUAS RESIDUALES Y FORMAS DE TRATAMIENTO Y REMOCIÓN ⁽³⁷⁾

SÓLIDOS SUSPENDIDOS

- Sedimentación
- Tamizado y desintegración
- Filtración
- Flotación
- Adición de polímeros
- Coagulación/sedimentación

ORGÁNICOS BIODEGRADABLES

- Lodos activados
- Filtros biológicos
- Discos rotatorios
- Lagunas de aeración
- Filtración en grava y arena
- Filtración en membrana

PATÓGENOS

- Cloración
- Ozonización
- Radiación uv
- Desinfección por calor

NUTRIENTES

NITRÓGENO

- Nitrificación y desnitrificación en lechos suspendidos
- Nitrificación y desnitrificación en lechos fijos
- Intercambio iónico
- Cloración a punto de ruptura

FÓSFORO

- Adición de coagulantes
- Coagulación y sedimentación con cal
- Remoción por procesos biológicos

ORGÁNICOS REFRACTARIOS

- Adsorción con carbón activado
- Ozonización

METALES PESADOS

- Precipitación química
- Intercambio iónico

SÓLIDOS INORGÁNICOS DISUELTOS

- Intercambio iónico
- Osmosis inversa
- Electro diálisis

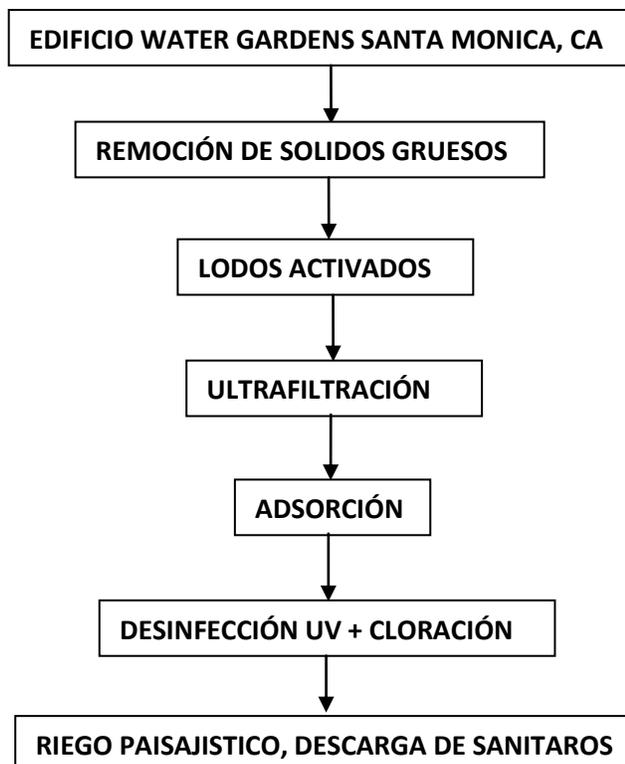
Los siguientes ejemplos ilustran metodologías usadas para reúso de aguas negras en edificios.

4.1. Edificio Water Gardens Santa Mónica, California. En este edificio se contemplo la construcción de una planta de tratamiento para reúso de aguas negras con fines de riego paisajístico y descarga de sanitarios, en la tabla 17 y en la figura 3 se ilustran las condiciones del proyecto.

TABLA 17. PARÁMETROS AGUAS RESIDUALES EDIFICIO WATER GARDENS SANTA MONICA, CA

EDIFICIO WATER GARDENS SANTA MONICA, CA		
PARAMETRO	AFLUENTE	EFLUENTE
DBO, mg/lt	600	5
SST, mg/lt	600	5
N, mg/lt	150	4
Turbiedad, UNT		0,2
CT, NMP/100 ml		<2

FIGURA 3. TRATAMIENTO DE AGUAS NEGRAS EDIFICIO WATER GARDENS SANTA MÓNICA CALIFORNIA



4.2 FAY SCHOOL ⁽³⁸⁾: La escuela FAY es una escuela privada y un internado para estudiantes de primaria y secundaria en Southborough, Massachusetts, el cual consta de 22 edificios que albergan 552 estudiantes y profesores. El 30 por ciento de los cuales reside en el campus como parte del internado. En 2011, la escuela estaba produciendo 7,900 gpd (30 m³/d) de aguas residuales y proyecta un crecimiento del 20 por ciento de estudiantes y profesores, lo cual resulta en una producción de aguas residuales en el futuro de (10.500 gpd) 40 m³/d. En esta escuela, se identificaron las oportunidades más significativas para la reutilización del agua incluido el ahorro y la reducción del uso del agua innecesaria, la conciencia ambiental y las oportunidades de enseñanza sostenible, y el potencial para la certificación LEED de oro.

Este proyecto fue parte de una expansión del campus que incluye la certificación LEED de edificios el uso de tecnologías "verdes" y las prácticas de construcción. El consultor trabajó con la estrecha colaboración de la escuela y el Departamento de Protección Ambiental (DEP) de Massachusetts en el sistema de reutilización de aguas residuales, en las pruebas de efluentes y los requisitos de calidad.

En el año 2009 se completó la construcción del biorreactor de membrana el cual trata (26.500 gpd) 100 m³/d. Una parte del agua reciclada se reutiliza para la cisterna del inodoro en cinco nuevas instalaciones compartidas y un nuevo edificio de mantenimiento. Con base en el recuento de accesorios, la demanda de reutilización de agua se estima en (40 gpm) 262 m³/d. Como todas las instalaciones de una escuela, la escuela Fay experimenta fluctuaciones significativas en la tasa de flujo de aguas residuales en el transcurso de un día y durante todo el año. Durante su diseño, una planificación cuidadosa y detallada era necesaria para que el tratamiento previo adecuado y las capacidades de post-tratamiento de los equipos en las instalaciones fueran capaces de hacer frente a estas fluctuaciones.

El sistema está diseñado para producir concentraciones de nitrógeno total en el efluente por debajo de 10 mg/L. Las membranas están diseñadas para producir efluente filtrado con menos de 2 UNT, como se requiere para su reutilización en el estado de Massachusetts. La desinfección ultravioleta está diseñada para cumplir con los límites de reutilización de menos de 14 UFC/100 ml como concentración de coliformes fecales media mensual.

4.3 CORPORACION EMC ⁽³⁹⁾

EMC fabrica sistemas electrónicos de almacenamiento de datos y cuenta con un plantel de un millón de pies cuadrados (92903 m²), ubicado en Hopkinton, Massachusetts. La empresa tiene principios verdes destinados para instalaciones de ingeniería y producción, los cuales se encuentran en las cuencas hidrográficas de Charles, Concord, y el río Blackstone.

La planta incluye un reactor discontinuo secuencial de lodos activados “proceso sluddeg” seguido de tela de filtración y desinfección UV antes de su almacenamiento en un depósito de agua tratada. La planta entró en servicio en el año 2000 y tiene una capacidad de aproximadamente de (83.000 gpd) 314 m³/d, y tiene la capacidad de recuperar 100 por ciento de las aguas residuales. Aproximadamente el 25 por ciento se utiliza para el lavado higiénico y el 75 por ciento restante se utiliza para la recarga de los acuíferos y en riego. Aproximadamente 4 millones de galones, 18.000 m³ de agua se regenera por año.

La calidad del agua regenerada excede los requisitos para su reutilización en Massachusetts. Se proporciona un resumen de las características del agua residual afluyente típicos y de calidad del agua regenerada en la tabla 18.

TABLA 18. PARÁMETROS CALIDAD DEL AGUA TIPICA. CORPORACION EMC

PARAMETRO	RANGO AGUAS RESIDUALES	EFLUENTE
DBO (mg/L)	221	<2
SST (mg/L)	286	<2
NT (mg/L)	64	<2
TURBIEDAD (mg/L)		<1

4.4. INODORO EN EL GILLETTE STADIUM ⁽⁴⁰⁾

Se prevé que el nuevo estadio Gillette aumente la demanda de agua potable hasta en 600,000 galones por día, 2.300 m³/d, durante los partidos en casa, en gran parte debido a la descarga de inodoros. El aumento de la demanda de agua supera la capacidad de los pozos de abastecimiento de agua y del sistema de almacenamiento; el correspondiente aumento de las aguas residuales producidas en el estadio sería mayor que la capacidad de la planta de tratamiento de aguas residuales de Foxborough.

Para reducir el impacto de los aumentos proyectados en el uso del agua potable y la demanda de las aguas residuales, los Patriots trabajaron con la ciudad y el Departamento de Protección Ambiental de Massachusetts para la construcción de una nueva planta de regeneración de agua que reduciría la demanda de agua potable. Los beneficios del nuevo sistema se pusieron en funcionamiento en 2002, cuando el nuevo estadio se abrió.

Se construyó una planta de regeneración de aguas residuales que trata 0,25 mgd 11 l/s, ampliable a 1,3 mgd, 57 L/s, junto con un sistema de percolación de una parte del agua reciclada. La planta incluye un biorreactor de membrana, ozono y desinfección UV.

El agua recuperada se bombea a un tanque de 1.900 m³ al sistema de eliminación subterránea. En promedio, un 60 por ciento del agua residual se reutiliza para aseo en el estadio. El agua recuperada restante se bombea al sistema de eliminación de subsuelo, donde se recarga a las aguas subterráneas.

La instalación vuelve a utilizar unos 10 millones de galones, 38.000 m³ de aguas residuales regeneradas por año

4.5 FALLINGWATER CONSERVACIÓN- DESCARGA CERO ⁽⁴¹⁾.

En 1999, el Pennsylvania Conservancy Western (WPC) puso en marcha un plan de reutilización de agua en cascada para promover los principios de diseño sostenible y reducir el uso de agua potable a través de un sistema de reutilización de aguas residuales de descarga cero. Fallingwater, la famosa "casa de la cascada", fue diseñada y construida por Frank Lloyd Wright, una de las obras arquitectónicas más importantes de diseño del siglo 20. Las principales mansiones se construyeron en la década de 1930 y la casa principal fue construida en voladizo sobre una cascada situada en Bear Run, una corriente de "valor excepcional", según la clasificación por el estado de Pennsylvania.

El centro de visitantes e instalaciones in situ produce aproximadamente 8.000 galones por día 30 m³/d de aguas residuales. El agua residual es bombeada a la planta de tratamiento, estructura de 1,800 pies cuadrados, 194 m² separada de la casa principal. El sistema recicla el 100 por ciento de las aguas residuales que se producen por 140.000 visitantes anuales de la instalación.

Los procesos de tratamiento incluyen un biorreactor de membrana seguido por adsorción con carbón y desinfección UV. El proceso produce una adecuada reutilización de efluentes de acceso público. Después del tratamiento, el agua regenerada se recicla para su uso como agua en el pabellón de los visitantes, y en otros edificios del sitio, el sistema también incluye sistema de irrigación para proporcionar capacidad de reutilización redundante durante los meses de invierno y los períodos húmedos.

TABLA 19. CALIDAD DEL AGUA TÍPICA FALLINGWATER CONSERVATION

PARAMETRO	RANGO DEL AGUA	EFLUENTE
DBO (mg/L)	350	<5
SST (mg/L)	350	<5
NT (mg/L)	75	<10
TURBIEDAD (mg/L)	-	<2

4.6 REÚSO DE AGUAS NEGRAS EN EDIFICIO PRIVADO EN JAPON ⁽⁴²⁾.

En Japón, existen alrededor de 2500 edificios con reutilización de aguas residuales urbanas y con techo cosecha para diversos fines. En varias grandes ciudades como Tokio, las regulaciones requieren un sistema de reutilización de aguas residuales o un sistema de recolección de escorrentía. Las aguas residuales recuperadas y agua de lluvia recolectada se utilizan para una variedad de propósitos. El agua se utiliza más comúnmente para la descarga de inodoros, pero también se puede utilizar para el riego de jardines, enfriamiento, limpieza de vehículos y protección contra incendios.

Un sistema de tratamiento para la recuperación de aguas residuales en un edificio individual debe ser compacto, fácil de mantener y resistente a las fluctuaciones de flujo de entrada de baja producción de olor y lodos. Los Biorreactores de membrana (MBR) pueden cumplir estos criterios y por lo tanto son de uso frecuente para la recuperación de aguas residuales en el lugar.

Un sistema MBR se instaló en un edificio del complejo de negocios en Tokio en el año 2007. La capacidad de tratamiento del sistema es 180.000 galones por día, 680 m³/día, y el agua recuperada se utiliza con el único fin de descarga de inodoros. Las aguas residuales regeneradas para el lavado higiénico incluyen aguas grises de los restaurantes. Las aguas grises de las oficinas y de purga del inodoro no se reciclan y está prohibido por los reglamentos locales. La figura 4

ilustra el sistema de tratamiento. Las tablas No. 20 y No. 21 muestran la norma de calidad exigida y observada en el edificio en Japón.

FIGURA 4 DIAGRAMA DE FLUJO REÚSO DE AGUAS RESIDUALES

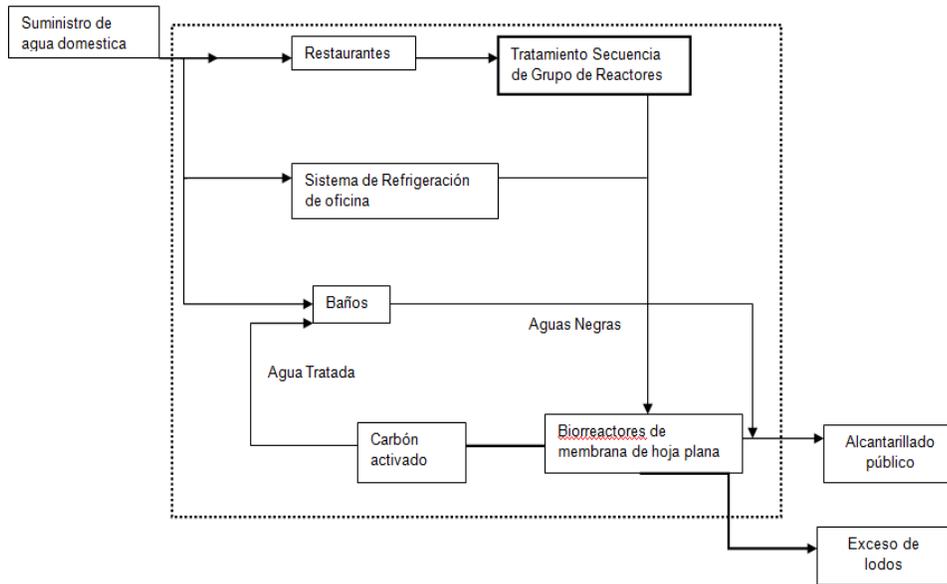


TABLA 20. REQUERIMIENTOS DE CALIDAD DE AGUA REGENERADA UTILIZADOS PARA EL LAVADO HIGIÉNICO.

PARAMETRO	RANGO DEL AGUA
pH	5.8 – 8.6
Olor	No Anormal
Color y Transparencia	Casi incoloro y transparente
E. Coli	No deben ser detectados
Cloro Residual (mg/L)	0.1 (libre) 0.4 (Combinado)
DBO (mg/L)	<20
DQO (mg/L)	<30

TABLA 21. CALIDAD DE AGUA OBSERVADA EN SISTEMAS DE TRATAMIENTO (ED. JAPON).

PARAMETRO	AGUAS RESIDUALES FUERTES	EFLUENTE
pH	6-8	7.7 (6-8)
Olor		No Anormal
E. Coli		No deben ser detectados
DBO (mg/L)	215	<1.0 (<10)
SS (mg/L)	215	<1.0 (<5)
n-Hex	43	<1.0 (<5)
Color (Unidades de Color)		4 (<10)
Turbiedad (Unidades de Turbiedad)		<1.0 (<2)

4.7 CASO DETECNOLOGÍA SOSTENIBLE APROPIADA EN LAS FILIPINAS (MERCADO) ⁽⁴³⁾

Los mercados públicos en las Filipinas y alrededor de Asia plantean retos importantes para el tratamiento de aguas residuales debido a la relativamente alta concentración de las descargas y a la variabilidad de los flujos.

Las aguas residuales generadas en el mercado público contienen niveles altos de materia orgánica (más de 600 mg/L de Demanda Bioquímica de Oxígeno) y de sólidos clasificándola como agua residual FUERTE. El sistema de tratamiento que se diseñó para la planta de tratamiento de aguas residuales del mercado público Muntilupa es una combinación innovadora de tratamiento anaeróbico y aeróbico junto con filtración para cumplir con los estándares locales de descarga.

Dado que la superficie de tierra disponible para el sistema de tratamiento era muy pequeña, la solución fue colocar el sistema de tratamiento de 5646 pies³, 160 m³, por debajo de un estacionamiento. El sistema de reciclaje de agua trata 0,055 lps (210 m³/día) de aguas residuales, de los cual 50 por ciento se descarga a la Laguna de Bay Lake y 50 por ciento se vuelve a utilizar para los inodoros, regar las plantas, y limpieza de calles. Esta tecnología se está aplicando en las Filipinas en otros lugares y es adecuado para otras localizaciones en la región.

La tecnología es de bajo costo y bajo mantenimiento, cuesta un tercio menos su construcción y casi la mitad de la operación mensual y de mantenimiento que los de una planta convencional (lodos activados). El sistema es un reactor anaeróbico UASB, seguido por filtración y desinfección.

Los reglamentos filipinos de 1990 (DAO-35), tabla No. 22, establecen los requisitos nacionales para la descarga de aguas residuales tratadas en varias clases de masas de agua receptoras. Industrias nuevas o en proyecto, y plantas de tratamiento de aguas residuales que se descargan a la clase C (aguas interiores) deberán cumplir las normas de efluentes (además de otros límites de compuestos tóxicos) de la tabla No. 22

TABLA No. 22. DAO-35 REQUISITOS DE DESCARGA DE AGUAS RESIDUALES DE CLASE C DE FILIPINAS

PARAMETRO	UNIDAD	REQUERIMIENTOS CLASE C
Color	Pt-Co units	<150
Temperatura (Aumento máximo en grados Celsius en RBW)	°C rise	<3
pH (rango)		6.5-9
COD	mg/L	<100
Sólidos sedimentables (1 hora)	mg/L	<0.5
5 – días 20°C DBO	mg/L	<50
Sólidos Suspendidos Totales	mg/L	<70
Sólidos disueltos totales	mg/L	<5.0
Aceite/Grasa (Extracto de ether de petróleo)	mg/L	<5.0
Sustancias Fenólicas como fenoles	mg/L	<0.1
Total coliformes	NMP/100 mL	<10.000

CONCLUSIONES

- Las aguas negras (aguas de orinales y sanitarios), contienen una alta concentración de hierro, manganeso, materia orgánica y coliformes fecales. Son aguas residuales fuertes que contienen un alto porcentaje de turbiedad, y una alcalinidad relativamente alta. Cualquier edificación que plantee un reúso de las mismas para algún propósito benéfico, deberán contemplar como mínimo, un sistema de tratamiento secundario que incluya: remoción de su turbiedad, hierro y manganeso, así como la eliminación de coliformes fecales y de materia orgánica.
- Las opciones de reúso más viables para una edificación y/o urbanización, son aquellas que no requieran un tratamiento terciario avanzado, por ejemplo:
 - Riego de zonas verdes.
 - Riego de jardines, materas, campos deportivos, etc.
 - Lavado de zonas comunes, patios, halls, terrazas
 - Recirculación y reúso en descarga de sanitarios.
- En todos los casos de reúso se deben tener en cuenta las normas pertinentes de calidad de la entidad reguladora.
- El reúso de aguas negras tratadas requiere aceptabilidad del usuario y beneficio económico.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- ¹ Tomado de: Pérez, M. A, Caranto R, y Caicedo J.R., El reúso de aguas residuales domesticas como bien económico, Seminario internacional sobre métodos naturales para el Tratamiento de Aguas Residuales, Universidad del Valle, 2003
- ² OMS (Organización Mundial de la Salud). 1989. Directrices sanitarias sobre el uso de aguas residuales en agricultura y acuicultura. Serie Informes técnicos, 778. Organización Mundial de la Salud (OMS), Ginebra. 93 p
- ³ Tomado de: Tchobanoglus, George y Burton, Franklin, Wastewater Engineering, Metcalf & Eddy, Third Edition, McGraw Hill, Inc., 1991.
- ⁴ Tomado de: Guía para el manejo de excretas y aguas residuales municipales. Dooren Brown Salazar, Proarca/Sigma, año Diciembre de 2004
- ⁵ Tomado de: <http://www.sadm.gob.mx/PortalSadm/jsp/prensa.jsp?id=87> visitada el 11 de febrero de 2013.
- ⁶ Tomado de: Documento “Proyecto de construcción con certificación LEED en viviendas de interés social en Colombia”, Daniel Obregón Luque, Colegio de estudios superiores de administración, marzo de 2012.
- ⁷ Tchobanoglus, George y Burton, Franklin, Wastewater Engineering, Metcalf & Eddy, Third Edition, McGraw Hill, Inc., 1991
- ⁸ Parreiras, S. 2005. Curso sobre tratamiento de esgoto por disposicao no solo. Fundação Estadual do Meio Ambiente (FEAM), Belo Horizonte (Brasil). 40 p
- ⁹ Tomado de: <http://www.ferato.com/wiki/index.php/Orina>. Fecha: 03/03/2012
- ¹⁰ Hakan Johnson, Anna Richert Stintzing, Eva Salomon, Lineamientos para el uso de la orina y Heces en la producción de cultivos. Reporte 2004-2. Universidad de Ciencias agrícolas de Suecia –SLU, 2004.
- ¹¹ W.Pronk et al., 2006 Treatment of souver separated urine by a combination of bipolar electrolysis and a gas transfer membrana. Wat. Sci Tech. Vol 53 No. pp 139-146.
- ¹² Tomado de: <https://es.wikipedia.org/wiki/Orina>, visitada el 11 de mayo de 2013.
- ¹³ Hakan Johnson, Anna Richert Stintzing, Eva Salomon, Lineamientos para el uso de la orina y Heces en la producción de cultivos. Reporte 2004-2. Universidad de Ciencias agrícolas de Suecia –SLU. 2004. Documento disponible en el sitio web www.ecosanres.org,
- ¹⁴ Salazar, publicación: “Guía para el manejo de excretas y Aguas residuales municipales”, 2003. Hakan Johnson, Anna Richert Stintzing, Eva Salomon, Lineamientos para el uso de la orina y Heces en la producción de cultivos. Reporte 2004-2. Universidad de Ciencias agrícolas de Suecia –SLU. www.ecosanres.org,
- ¹⁵ Tomado de: <http://www.tecuidamos.org/educa/educacion.html>. Visitada el: 11 de diciembre de 2012
- ¹⁶ Consultado en: www.fao.org Fecha: marzo, abril y mayo de 2013

- ¹⁷ Hakan Johnson, Anna Richert Stintzing, Eva Salomon, Lineamientos para el uso de la orina y Heces en la producción de cultivos. Reporte 2004-2. Universidad de Ciencias agrícolas de Suecia –SLU. www.ecosanres.org.
- ¹⁸ Gao, X. Zh., Shen, T., Zheng, Y., Sun, X., Huang, S., Ren, Q., Zhang, X., Tian, Y. y Luan, G. Practical manure handbook. (In Chinese). Chinese Agriculture publishing House. Beijing, China. 2002
- ¹⁹ Vinnerås, B., Björklund, A., y Jönsson, H. 2003a. Disinfection of faecal matter by thermal composting – laboratory scale and pilot scale studies. Bioresource Technology 88(1): 47-54.
- ²⁰ Pieper, W. 1987. Das Scheiss-Buch -Entstehung, Nutzung, Entsorgung menschlicher Fäkalien (The shit book – production, use, Entsorgung human faeces; in German). Der Grüne Zweig 123, Werner Pieper and the Grüne Kraft. Germany.
- ²¹ Vinnerås, B., Björklund, A., y Jönsson, H. 2003a. Disinfection of faecal matter by thermal composting – laboratory scale and pilot scale studies. Bioresource Technology 88(1): 47-54.
- ²² Fraústo da Silva, J.J.R. y Williams, R.J.P. 1997. The Biological Chemistry of the Elements -The Inorganic Chemistry of Life. Oxford, UK
- ²³ Metcalf y Eddy, libro: Wastewater Engineering: Treatment and Reuse, editorial McGraw-Hill's, 2003
- ²⁴ Tratamiento de aguas residuales, Catedra internacional de ingeniería-salud pública y Saneamiento Ambiental, Universidad Nacional de Colombia, junio 2008.
- ²⁵ Tomado de: Documento Reutilización de aguas y lodos residuales. Ing. Eduardo Torres Carranza. <http://www.bvsde.ops-oms.org/bvsaar/e/fulltext/gestion/lodos.pdf>.
- ²⁶ Gutiérrez, J. 2003. Reuso de agua y nutrientes. Centro de información, gestión y educación ambiental (Cigea). www.medioambiente.cu/revistama/articulo41.htm.
- ²⁷ Moscoso, J. 1993. Reuso de aguas residuales en Perú. Taller regional para América sobre aspectos de salud, agricultura y medio ambiente, México
- ²⁸ Ministerio del Medio Ambiente. 2001. Guía técnica para el desarrollo de proyectos de reuso de aguas residuales domésticas municipales. Bogotá.
- ²⁹ Gutiérrez, J. 2003. Reuso de agua y nutrientes. Centro de información, gestión y educación ambiental (Cigea).
- ³⁰ OMS (Organización Mundial de la Salud). 1989. Directrices sanitarias sobre el uso de aguas residuales en agricultura y acuicultura. Serie Informes técnicos, 778. Organización Mundial de la Salud (OMS), Ginebra. 93 p
- ³¹ FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations). 1999. wastewater treatment and use in agriculture. www.fao.org/docrep/T0551E/T0551E00.htm; consulta: enero de 2013
- ³² EPA (US Environmental Protection Agency). 2004. Guidelines for water reuse. Technology Transfer and Support Division, National Risk Management Research Laboratory, Office of Research and Development, Cincinnati, OH. 245p

³³ OMS (Organización Mundial de la Salud). 1989. Directrices sanitarias sobre el uso de aguas residuales en agricultura y acuicultura. Serie Informes técnicos, 778. Organización Mundial de la Salud (OMS), Ginebra. 93 p.

³⁴ Use of Reclaimed Water and Sludge in Food Crop Production, The National academies press, 1996

³⁵ Decreto 1594 de junio 26 de 1984. usos del agua y residuos líquidos. Ministerio de Salud, 26 de junio de 1984.

³⁶ Tomado de: <http://ingenieria.uao.edu.co/hombreymaquina/revistas/36%202011-1/Articulo%208%20-%20Jose%20L.%20Ramirez.pdf> Pagina No. 100.

³⁷ Tomado de: <http://www.oocities.org/edroch/residuales/tratamientobiologico4.pdf>, Visitada el 20 de Junio de 2013

^{38, 39, 40, 41, 42 y 43}. Tomado de: Guidelines for Water Reuse, International Case Studies, año 2012.