



Universidad Técnica De Manabí.
Facultad de Ciencias Matemáticas, Físicas y Químicas.
Carrera de Ingeniería Química.

Trabajo de titulación.
Previo al título de Ingeniero Químico.

Tema:

“Plaza universitaria como escenario de convergencia de actividades múltiples. – Matriz Universidad Técnica de Manabí, área de intervención sistema tricameral.”

Autores:

Ponce Intriago María Isabel.
Vera Vera Ángel Ricardo.

Director de tesis:
Ing. Carlos Moreira.

Portoviejo– Ecuador
2016

CLAUSULA DE CESIÓN DE DERECHO DE PUBLICACIÓN DE TESIS

Nosotros, Ponce Intriago María Isabel y Vera Vera Ángel Ricardo autores de la tesis titulada *“Plaza universitaria como escenario de convergencia de actividades múltiples. – Matriz Universidad Técnica de Manabí, área de intervención sistema tricameral.”*, mediante el presente documento dejamos constancia de que la obra es de nuestra exclusiva autoría y producción, que la hemos elaborado para cumplir con uno de los requisitos previos para la obtención del título de Ingeniero Químico en la Universidad Técnica de Manabí.

1. Cedo a la Universidad Técnica de Manabí, los derechos exclusivos de reproducción, comunicación pública, distribución y divulgación, durante 36 meses a partir de mi graduación, pudiendo por lo tanto la Universidad, utilizar y usar esta obra por cualquier medio conocido o por conocer, siempre y cuando no se lo haga para obtener beneficio económico. Esta autorización incluye la reproducción total o parcial en los formatos virtual, electrónico, digital, óptico, como usos en red local y en internet.

2. Declaro que en caso de presentarse cualquier reclamación de parte de terceros respecto de los derechos de autor/as de la obra antes referida, asumiremos toda responsabilidad frente a terceros y a la Universidad.

3. En esta fecha entregamos a la Secretaría General, el ejemplar respectivo y sus anexos en formato impreso y digital o electrónico.

Portoviejo, 14 de abril de 2016.

.....
Ponce Intriago María Isabel

.....
Vera Vera Ángel Ricardo

Resumen.

Las tendencias actuales en la educación se direccionan a métodos de integración colectiva entre los y las estudiantes, de donde surge la necesidad de crear áreas de esparcimiento como escenario de convergencia de actividades para los estudiantes de la Universidad Técnica de Manabí, en otro contexto las políticas medioambientales apuntan a la sostenibilidad del medio, lo que da lugar a la implementación de métodos para proteger los recursos naturales como el agua, la cual una vez utilizada se convierte en agua residual inapropiada para sus uso en otras actividades, pero con el debido tratamiento a la misma se puede reutilizar cumpliendo las normas estipuladas para descarga en cada operación.

Un sistema tricameral para la plaza universitaria de la Universidad Técnica de Manabí se convierte en una alternativa sustentable en la depuración de las aguas residuales generadas en la misma, teniendo en consideración el origen, las características y composición en la realización del respectivo diseño, se garantiza la reutilización de las aguas residuales tratadas bajo este sistema para el riego de áreas verdes, no siendo apta para consumo humano u otras actividades según lo estipulado en las normas.

El sistema está diseñado siguiendo las características generales de tratamiento de aguas, partiendo del tratamiento preliminar en el que se realiza un cribado, luego en el tratamiento primario mediante filtración se retienen las partículas en suspensión y por último como tratamiento secundario, filtración lenta en arena, dando así tratamiento biológico y reduciendo el contenido de carga orgánica presente en el agua.

Las aguas residuales que se generaran en la plaza universitaria son de carácter doméstico por lo que se determina que aplicando adecuadamente el sistema de tratamiento tricameral los parámetros en la descarga se encuentran en los rangos permisibles expuestos en la Norma de Calidad Ambiental y de Descarga de Efluentes para ser aplicadas en reguío de áreas verdes.

Palabras claves: plaza; diseño, tratamiento; reutilización

Summary.

Current trends in education are addressed methods of collective integration between the students, where the need to create recreational areas as convergence scenario of activities for students of the Universidad Técnica de Manabí, in another context arises policies environmental point to environmental sustainability, which leads to the implementation of methods to protect natural resources such as water, which once used becomes inappropriate wastewater for its use in other activities, but with proper treatment it can be reused to meet the standards stipulated for download in each operation.

A three-chamber system for university place at the Universidad Técnica de Manabí becomes a sustainable alternative in the treatment of waste water generated therein, taking into consideration the origin, characteristics and composition at the completion of the respective design, ensures reuse of treated wastewater under this system for irrigation of green areas, not being fit for human consumption or other activities as stipulated in the rules.

The system is designed following the general characteristics of water treatment, based on the preliminary treatment in which a screening, then the primary treatment by filtration is carried particles are retained in suspension and finally as a secondary treatment, slow sand filtration, thus giving biological treatment and reducing the content of organic load present in the water.

The wastewater generated in the university place are domestic so determined to properly implement the system tricameral treatment parameters in the discharge are in the allowable ranges set forth in the Statement of Environmental Quality and Effluent Discharge to be applied in reguío of green areas.

Keywords: square; design, treatment; reuse.

Índice de contenidos.

Resumen.....	III
Summary.....	IV
Índice de contenidos.....	V
Capítulo primero.....	10
Antecedentes.....	10
Justificación.....	11
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	12
Descripción de la realidad problemática.....	12
Delimitación de la investigación.....	13
a) Espacial.....	13
b) Temporal.....	13
Formulación del problema.....	13
OBJETIVOS.....	14
Objetivo general.....	14
Objetivos específicos.....	14
Capítulo segundo.....	15
Marco teórico.....	15
1. AMBIENTES DE APRENDIZAJE Y LA EDUCACIÓN.....	15
a) Plaza universitaria.....	16
b) Importancia de las áreas de esparcimiento.....	16
c) La infraestructura educativa para el bienestar y el desarrollo de las competencias en los estudiantes.....	17
d) Existencia de espacios educativos.....	17
e) Residuos generados en áreas de esparcimiento.....	18

2.	EL AGUA.....	19
	a) Contaminación de aguas.....	19
	b) Aguas residuales.....	19
	c) Tipos de agua residual.....	20
	d) Características de las aguas residuales domésticas (ARD).	23
	• Características físicas.....	23
	• Características químicas.....	23
	• Características biológicas de las aguas residuales.....	31
	e) Reutilización de las aguas residuales.....	33
	f) Criterios de calidad de aguas de uso agrícola o de riego.	33
	g) Métodos de tratamiento de las aguas residuales.....	36
	• Tratamiento preliminar.....	36
	• Tratamiento primario.....	37
	• Tratamiento secundario.....	37
	• Tratamiento terciario.....	38
3.	FILTRO LENTO CON ARENA.....	40
	a) Desinfección de agua en filtros lentos de arena.....	40
	b) Mecanismo de remoción.....	41
	• Mecanismo de transporte.....	41
	• Mecanismo de adherencia.....	42
	• Mecanismo biológico.....	42
	c) Maduración de filtros lentos en arena.....	43
	d) Rendimientos de los filtros lentos de arena.....	43
	e) Ventajas de los filtros lentos.....	45
	f) Desventajas de los filtros lentos.....	45

g) Consideraciones generales para el diseño de filtros lentos para un sistema tricameral.	46
4. VISUALIZACIÓN DEL ALCANCE DEL ESTUDIO.	48
• En lo social:	48
• En lo medioambiental:.....	48
• En lo económico:.....	48
• En lo científico:	48
Capítulo tercero.	49
Diseño metodológico.....	49
1. Hipótesis.	49
a) Operacionalización de las variables.....	50
Variable dependiente: Sistema tricameral.	50
Variable independiente: Plaza universitaria.	51
2. Nivel de investigación.	52
3. Método.....	52
4. Técnicas.....	53
5. Diseño.....	53
a) Diseño del sistema tricameral.....	53
• Proceso general del sistema tricameral.....	54
○ Tratamiento preliminar.....	54
○ Tratamiento primario.....	54
○ Filtro lento de arena.....	54
• Mantenimiento del sistema tricameral.....	55
• Cálculos del diseño.....	55
• Descripción de los equipos y materiales.	60
• Presupuesto para la implementación del sistema tricameral.	60

• Ubicación.....	62
Capítulo cuarto.	64
Conclusiones.....	64
Recomendaciones.	65
Capítulo quinto.	66
Presupuesto.....	66
Cronograma.	67
Bibliografía.....	68
Anexos.	72

Índice de tablas.

Tabla 1: Clasificación de las aguas residuales.....	21
Tabla 2: Características físicas de las aguas residuales.	24
Tabla 3: Características químicas de las aguas residuales.....	26
Tabla 4: Criterios de calidad admisibles para aguas de uso agrícola.....	34
Tabla 5: Parámetros de los niveles guía de la calidad del agua para riego.	35
Tabla 6: Unidades de tratamiento primario y su objetivo.....	36
Tabla 7: Clasificación de tratamientos biológicos.	38
Tabla 8: Criterios de diseño y operación de los filtros lentos y rápidos de arena.....	46
Tabla 9: Criterios de diseño de filtros lentos.	47
Tabla 10: Variable dependiente: Sistema tricameral.	50
Tabla 11: Variable independiente: Plaza universitaria.	51
Tabla 12: Caudal de descarga aproximado en bares.....	56
Tabla 13: Caudal de descarga aproximado en baños.....	57
Tabla 14: Caudal de descarga mínimo aproximado en bares.	57
Tabla 15: Caudal de descarga mínimo aproximado en baños.	57
Tabla 16: Cálculo de los tiempos de retención para volumen máximo.....	59
Tabla 17: Cálculo de los tiempos de retención para volumen mínimo.....	59
Tabla 18: Presupuesto para el lecho filtrante.....	60
Tabla 19: Presupuesto para el total de materiales.....	61
Tabla 20: Presupuesto global de materiales y mano de obra.....	61
Tabla 21: Presupuesto del proyecto.....	66
Tabla 22: Cronograma.....	67

Índice de gráficos.

Gráfico 1: Esquema general del sistema tricameral.....	53
Gráfico 2: Ubicación del sistema tricameral.....	63

Capítulo primero.

Antecedentes.

En la ciudad de Portoviejo, se encuentra ubicada la Universidad Técnica de Manabí, que es una Institución de Educación Superior, que desde su fundación en 1954 ha venido en constante desarrollo, tanto educacional como en infraestructura física, lo que le ha permitido sitiarse a la vanguardia de las universidades que se encuentran en la provincia. Respecto al proyecto planteado, cabe indicar que hasta la actualidad no se cuenta con espacios estudiantiles que cuenten con entornos donde los estudiantes tengan un área de encuentro para desarrollar sus distintas actividades y que a su vez sean proyectos innovadores que minimicen impactos ambientales como el tratamiento de las aguas residuales para su reutilización. Al momento la Universidad Técnica de Manabí no cuenta con sistemas de tratamiento de aguas residuales que aprovechen el recurso hídrico en sus instalaciones.

Justificación.

Ninguna de las Facultades de la Universidad Técnica de Manabí en este diagnóstico tiene oportunidades asociadas a la categoría de recurso humano y fortalecer la proyección social y la extensión amigable de contar con espacios con internet. Con este proyecto, se pretende posicionar una imagen y realizar en esta área, actividades compartidas para fortalecer entre los estudiantes los procesos educativos, el trabajo en equipo y sobre todo que se apliquen sistemas de tratamiento que garanticen la sostenibilidad del proyecto. En la actualidad se habla de la aplicación de sistemas que contribuyan al desarrollo sostenible de los proyectos, y la construcción de una plaza universitaria en donde las actividades humanas generarán residuos líquidos amerita una propuesta clara para aprovecharlos. Este trabajo comunitario e investigativo es de vital importancia para que la Universidad Técnica de Manabí aporte con el cuidado del medio ambiente y marcar tendencia en la aplicación de procesos de tratamiento de aguas residuales, tomando en cuenta que el sistema tricameral planteado es una alternativa de bajo costo de instalación y mantenimiento, de esta manera el agua a tratar se aprovechará para otras actividades como el riego de áreas verdes.

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.

Descripción de la realidad problemática.

Hoy la inmensa preocupación en el desarrollo sostenible está íntimamente relacionada con el protagonismo que se le reconoce a la educación como eje de transformación social. Acciones tales como la cobertura con calidad, la equidad, la inclusión como paradigma actual y la caracterización de la población en cada nivel de la formación, exigen un análisis detallado del proceso de enseñanza–aprendizaje. En este sentido, las instituciones de educación superior deben conocer en detalle las relaciones que establecen los grupos de interés o partes interesadas que interactúan en el proceso de enseñanza-aprendizaje. Además, con miras al logro de la excelencia académica, al uso eficiente de los recursos, al acceso a la educación y a la permanencia estudiantil es indispensable analizar las políticas y la normatividad existente con el objetivo de evaluar, de un lado, la posibilidad de expandir la cobertura con calidad, cohesionar el sistema nacional de educación y ajustarlo, de ser necesario, a estándares internacionales. En este sentido, las áreas de bienestar universitario que según la percepción para esta investigación y trabajo comunitario, en la Universidad Técnica de Manabí se han realizado con bajo nivel de eficiencia y por ende limitan o inhiben el logro de los objetivos del área en particular, de la sede en general y producen insatisfacción a los estudiantes.

De este análisis se deriva que las facultades no cuentan con la infraestructura física que muestre como un factor determinante para la prestación de los servicios de bienestar de los estudiantes, hasta ahora no se cuenta con áreas de estar que cuenten con buenos espacios, sin embargo, el aprovechamiento inadecuado de éstos, es reportado como una debilidad no solo por quienes no cuentan con infraestructura adecuada, sino por algunos de los que cuentan con ella. Se debe considerar que toda actividad humana genera residuos, los mismos que deben ser manipulados de tal forma que disminuyan su impacto en el ambiente. En este sentido se evidencia carencia de nuevas políticas de gestión humana, para que los estudiantes cuenten con un área donde puedan reunirse, realizar trabajos grupales, realizar encuentros, resolver situaciones académicas y contar con espacios para alimentación, los mismos que deben prestar un entorno agradable y amigable con el medio ambiente.

Delimitación de la investigación.

a) Espacial.

La investigación de este trabajo comunitario se desarrollará en la Universidad Técnica de Manabí, específicamente en la plaza universitaria que se desarrollará en un área lateral a la estructura física de la Facultad de Administración de Empresas.

b) Temporal.

Para el desarrollo de este proyecto, se considerará información existente desde el 2010 y su desarrollo estará en base al cronograma valorado.

Formulación del problema.

¿De qué manera la carencia de un sistema tricameral de tratamiento de aguas residuales incide en el funcionamiento de la plaza universitaria en la Universidad Técnica de Manabí?

OBJETIVOS.

Objetivo general.

Realizar el diseño y estudio de pre factibilidad de un sistema tricameral para el tratamiento de aguas residuales de la plaza universitaria en la Universidad Técnica de Manabí.

Objetivos específicos.

- ✓ Implantar con bibliografía las posibles características y composición de las aguas residuales de la plaza universitaria de la Universidad Técnica de Manabí.
- ✓ Identificar las áreas de intervención para la ubicación del sistema tricameral en la plaza universitaria de la Universidad Técnica de Manabí.
- ✓ Establecer el presupuesto para la implementación del sistema tricameral para la plaza universitaria de la Universidad Técnica de Manabí.

Capítulo segundo.

Marco teórico.

1. AMBIENTES DE APRENDIZAJE Y LA EDUCACIÓN.

La educación va mucho más lejos de una mera transmisión de conocimientos. En los momentos presentes, es una acción integral, que amerita para su ejecución, de una adecuada comprensión e integración del proceso formativo, con el uso adecuado de las tics. (PÉREZ, 2013)

El objetivo de la educación será ofrecer una formación de calidad que favorezca la adquisición de competencias para seguir aprendiendo toda la vida y desenvolverse en la sociedad. (PÉREZ, 2013)

La sociedad le demanda a la educación en general que se articule con las necesidades actuales de la sociedad. Para responder a esta demanda están diseñando nuevas ofertas e incorporando la innovación tecnológica. (PÉREZ, 2013)

En el aprendizaje se identifican elementos que garantizan el logro de buenos resultados, como la inteligencia o capacidad para aprender, las motivaciones, qué me lleva a aprender, el método o sea cómo hago para aprender y dentro del método, están las técnicas, las cuales facilitan los procesos de aprendizaje, garantizando excelencia en los productos finales. (PÉREZ, 2013)

Dentro de todo lo anterior, nos falta hacer referencia al ambiente de aprendizaje, que lo dejamos sentir de manera implícita, pero que ahora lo desarrollaremos más ampliamente en estos párrafos siguientes, como elemento esencial para todo proceso efectivo de aprendizaje. (PÉREZ, 2013)

Un ambiente de aprendizaje es un escenario en el cual se desarrolla el proceso de enseñanza aprendizaje. Para llevar a cabo un proceso tan complejo se requieren de una serie de elementos que favorezcan el aprendizaje de los alumnos. (PÉREZ, 2013)

La infraestructura física. En el caso de la docencia presencial la misma requiera de un espacio físico adecuado y mobiliario y equipos apropiados para la docencia. En el caso de la educación virtual se requiere de una infraestructura tecnológica, con los

recursos y materiales adecuados para el proceso de enseñanza y aprendizaje. (PÉREZ, 2013)

Los recursos de aprendizaje. Estos deben estar diseñados de forma que propicien el auto aprendizaje, que generen un aprendizaje significativo y que permitan el desarrollo de competencias acorde a los nuevos tiempos. Además de los contenidos de aprendizaje, se deben considerar aquí recursos físicos y virtuales que motiven a los alumnos a aprender, coherentes con los objetivos de aprendizaje y propiciadores de interacción. (PÉREZ, 2013)

a) Plaza universitaria.

Los espacios útiles al esparcimiento estudiantil son espacios auxiliares de las salas y pabellones cuyas definiciones, dimensiones y esquemas pueden encontrarse en el punto exacto para dar facilidades a los estudiantes en el esparcimiento utilizando internet. Las unidades de obra de dicho proyecto habrán de reunir una serie de características y calidades para alcanzar un grado de funcionalidad académica y de gestión estudiantil adecuado, para lo cual el diseño del área de estar tendrá en cuenta criterios de índole funcional, ambiental, constructivo, de seguridad, de mantenimiento, de gestión y económico. Los criterios compositivos y estéticos del diseño serán de libre decisión del proyectista sin menoscabo de los restantes criterios y dentro de los límites presupuestarios que se hayan establecido. (CHANDRA, 2011)

b) Importancia de las áreas de esparcimiento.

El esparcimiento es un fenómeno humano valorado cada vez más en el mundo. Por esparcimiento podemos entender las experiencias que derivan gozo en las personas. Las personas gozan este tipo de vivencias por sí mismas y en ellas encuentran múltiples significados positivos (KELLY, 1987).

Las experiencias de esparcimiento no son solo un estado mental, sino que con ellas las personas actualmente viven y disfrutan algún tipo de acción. Las experiencias de esparcimiento son contextuales, moldeadas tanto por el entorno cultural y social de las personas, como por sus historias y ciclos de vida. Estas experiencias pueden ocurrir en todos los dominios de la vida. El esparcimiento puede ocurrir en medio de situaciones y entornos con normas y reglas particulares. No obstante, la evidencia empírica indica que

la noción de “libertad” y su actual ejercicio, es la dimensión central entre los múltiples significados que las personas valoran en asocio con el fenómeno. En las experiencias de esparcimiento, en la acción, las personas ejercitan su libertad. (KELLY, 1987)

- c) La infraestructura educativa para el bienestar y el desarrollo de las competencias en los estudiantes

La infraestructura de los estamentos universitarios comprende aquellos servicios y espacios que permiten el desarrollo de las tareas educativas. Las características de la infraestructura física contribuyen a la conformación de los ambientes en los cuales aprenden los estudiantes y, por tanto, funcionan como plataforma para prestar servicios educativos promotores del aprendizaje que garantizan su bienestar. Diversos estudios informan que el ambiente físico, conformado por la infraestructura, es en sí mismo una fuente rica de información para los estudiantes, pues éste influye en su aprendizaje y desarrollo integral. Además, dicha infraestructura es una condición para la práctica grupal o trabajo en equipo, pues es un insumo básico para los procesos educativos y su ausencia, insuficiencia o inadecuación pueden significar desafíos adicionales a las tareas académicas. Así, las características de la infraestructura se transforman en oportunidades para el aprendizaje y la enseñanza. (GARCIA, 2010)

- d) Existencia de espacios educativos.

Los espacios educativos son una condición necesaria, más no única o suficiente, para promover actividades educativas destinadas al desarrollo de las distintas competencias establecidas en el currículo. Una mayor dotación de este tipo de áreas brinda la posibilidad de una oferta diferenciada de actividades de aprendizaje a los alumnos. Además, puede facilitar la labor del colectivo docente. (INIFED, 2009)

En esta sección se exploran espacios educativos; salones de usos múltiples o de cantos y juegos; áreas verdes; plaza cívica, patio o canchas deportivas; chapoteadero o alberca; arenero y área de juegos. En relación con la plaza cívica, patio o canchas deportivas, se informa si los planteles cuentan con la existencia de cualquiera de éstos, pues se considera que podrían tener funciones similares en las actividades escolares. (INIFED, 2009)

e) Residuos generados en áreas de esparcimiento.

En las áreas de esparcimiento se frecuenta diversos tipos de actividad humana la misma que es la fuente principal de generación de residuos tanto sólidos como líquidos y gases, los cuales al no ser tratados adecuadamente originan contaminación y degradación del medio ambiente, desencadenando consecuencias ambientales, sociales y económicas. (AMBIENTUM, Mayo 2003)

La generación de residuos es una consecuencia directa de cualquier tipo de actividad desarrollada por el hombre; hace años un gran porcentaje de los residuos eran reutilizados en muy diversos usos, pero hoy en día nos encontramos en una sociedad de consumo que genera gran cantidad y variedad de residuos procedentes de un amplio abanico de actividades. En los hogares, oficinas, mercados, industrias, hospitales, etc. se producen residuos que es preciso recoger, tratar y eliminar adecuadamente. (AMBIENTUM, Mayo 2003)

El agua que está contaminada por aguas residuales o por excretas del hombre o animales, puede intervenir, directa o indirectamente, en la propagación de enfermedades, favoreciendo el desarrollo de artrópodos o moluscos, que son eslabones en sus cadenas epidemiológicas, o difundiendo agentes infecciosos procedentes de excretas de enfermos y portadores, que a través de ella pueden llegar al agua de bebida, o a las hortalizas, que son regadas con estas aguas, sin tratamiento previo. (ESPIGARES GARCÍA & PÉREZ LÓPEZ, 1985)

Además de los problemas ecológicos y sanitarios antes citados, el vertido de aguas residuales en los ríos, lagos y mares produce otro tipo de contaminación llamada psicosocial, ya que afecta al entorno natural del hombre, modificando la estética de su paisaje y haciéndolo cada vez más inhóspito. (ESPIGARES GARCÍA & PÉREZ LÓPEZ, 1985)

2. EL AGUA.

Según la Real Academia Española, el agua (del latín aqua) es la “sustancia formada por la combinación de un volumen de oxígeno y dos de hidrógeno, líquida, inodora, insípida, en pequeña cantidad incolora y verdosa o azulada en grandes masas. Es el componente más abundante en la superficie terrestre y más o menos puro, forma la lluvia, las fuentes, los ríos y los mares; es parte constituyente de todos los organismos vivos y aparece en compuestos naturales, y como agua de cristalización en muchos cristales”.

Agua, es una expresión que se aplica para definir el compuesto de hidrógeno y oxígeno en estado líquido siendo su fórmula H_2O . Es el componente principal de la materia viva constituyendo del 50 al 90% de la masa de todos los organismos vivos. Ha estado presente en la Tierra desde hace más de 3000 millones de años, ocupando las tres cuartas partes de la superficie del planeta. (ARBOLEDA, 2000)

Según el Programa de la Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA, 2003) el agua cubre el 75% de la superficie terrestre; el 95% del agua es salada, y sólo el 2,5% es agua dulce. Los casquetes y los glaciares contienen el 74% del agua dulce del mundo. El resto se encuentra en las profundidades de la tierra o encapsuladas en los componentes de la misma. Sólo el 0,3% del agua dulce del mundo se encuentra en los ríos y lagos. Para uso humano se puede acceder a menos de 1% del agua dulce superficial o subterránea del planeta. (GRANDA, 2007)

a) Contaminación de aguas.

Contaminación, a los efectos de la Ley de Aguas, es la acción y el efecto de introducir materias o formas de energía, o inducir condiciones en el agua que, de modo directo o indirecto impliquen una alteración perjudicial en su calidad en relación con los usos posteriores o con su función ecológica. (MUÑOZ, 2008)

b) Aguas residuales.

Se denominan aguas residuales a las aguas de composición variada provenientes de las descargas de usos municipales, industriales, comerciales, de servicios agrícolas, pecuarios, domésticos, incluyendo fraccionamientos y en general de cualquier otro uso,

que hayan sufrido degradación en su calidad original. (NORMA DE CALIDAD AMBIENTAL Y DE DESCARGA DE EFLUENTES: RECURSO AGUA. Libro VI, Anexo 1, 2008)

Los términos agua residual se utilizan para referirse al agua que presenta una composición variada de líquidos y residuos sólidos que provienen del sistema de abastecimiento de una población y que ha sido modificada debido a diversos usos en actividades como: domésticas, industriales, comerciales, de servicios, agrícolas, pecuarios, entre otros. Debido a la naturaleza de las aguas residuales al momento de su descarga, no pueden ser reutilizadas en los procesos que las generó, y al ser vertidas en varios cuerpos receptores sin un tratamiento previo pueden llegar a implicar una alteración de los ecosistemas terrestres y acuáticos o incluso afectar a la salud humana. (ARCE, CALDERÓN, & TOMASIN, 2009)

c) Tipos de agua residual.

Las aguas residuales pueden provenir de diferentes lugares, es así que dependiendo de su origen pueden ser clasificadas como: aguas residuales domésticas, aguas residuales industriales y aguas residuales municipales.

Tabla 1: Clasificación de las aguas residuales.

TIPO DE AGUA RESIDUAL	DEFINICIÓN	COMPOSICIÓN
<p>Aguas Residuales Domésticas (ARD)</p>	<p>Proceden de las zonas de viviendas, edificios comerciales, instituciones, entre otros. Se generan por el metabolismo humano y varias actividades domésticas con fines higiénicos. Pueden ser tratadas y reutilizadas para el riego agrícola.</p> <p>Las aguas negras provienen de los inodoros. Transportan residuos humanos con una cantidad elevada de sólidos suspendidos, nitrógeno, y microorganismos (Coliformes fecales).</p> <p>Las aguas grises provienen de las tinajas, duchas, lavamanos, lavadoras, y otros. Aportan con cantidades grandes de DBO, sólidos suspendidos, fósforo, grasas, y microorganismos (Coliformes fecales).</p>	<p>Sólidos de origen orgánico: proteínas (65%), carbohidratos (25%) y lípidos (10%).</p> <p>Sólidos de origen inorgánico: residuos de minerales pesados, sales y metales.</p> <p>Su peso en agua es cerca de 99,9% y apenas del 0,1% son sólidos suspendidos, coloidales y disueltos, siendo esta pequeña fracción la que presenta mayores problemas para el tratamiento y disposición final del agua residual.</p>
<p>Aguas Residuales Industriales.</p>	<p>Se generan durante los procesos de producción, transformación o manipulación de productos o servicios que han sido desarrollados en las industrias o empresas.</p> <p>Incluyen los líquidos residuales, aguas de proceso y aguas de refrigeración. No se eliminan con un tratamiento convencional debido a su concentración elevada y su naturaleza química, por lo que deben ser reguladas con tratamientos especiales.</p>	<p>Compuestos orgánicos e inorgánicos que contienen sustancias contaminantes: compuestos órgano-halogenados, hidrocarburos, cianuros, biocidas, productos fitosanitarios, metales pesados, y otros. Son residuos orgánicos tóxicos, persistentes y bioacumulables que pueden llegar a alterar el medio ambiente.</p>

(BORJA, 2008)

TIPO DE AGUA RESIDUAL	DEFINICIÓN	COMPOSICIÓN
Aguas Residuales Municipales.	<p>Proviene de los centros urbanos, principalmente de la vivienda, y se mezclan con aguas residuales industriales y/o aguas de escorrentía pluvial.</p> <p>Se recogen en un sistema colector y son enviadas a una EDAR (Estación Depuradora de Aguas Residuales).</p> <p>Poseen una fracción insoluble líquida de aspecto lácteo, emulsionado y disuelto, que contiene partículas insolubles en el agua.</p>	<p>Su composición es heterogénea tanto química como físicamente: Compuestos orgánicos (carbohidratos, proteínas y lípidos). Compuestos inorgánicos (sales, residuos de materiales, tierra, papel).</p> <p>Microorganismos (virus, algas, protozoos, bacterias, hongos e insectos).</p>

Fuente: (BORJA, 2008)

d) Características de las aguas residuales domésticas (ARD).

La generación de las aguas residuales es un producto inevitable de toda actividad humana. Para lograr un tratamiento y disposición final apropiado de las mismas, es indispensable conocer sus características físicas, químicas y microbiológicas, la interpretación de los resultados obtenidos de los parámetros utilizados, y de sus efectos principales sobre la fuente receptora. (ARCE, CALDERÓN, & TOMASIN, 2009)

Todo cuerpo de agua tiene la capacidad de depurar, asimilar y transformar cierta cantidad de contaminantes, especialmente de origen orgánico. (ARCE, CALDERÓN, & TOMASIN, 2009)

Por tal razón se consideran a los ríos como los receptores naturales de las aguas residuales. Sin embargo, si se descargan aguas residuales a un cuerpo de agua, en exceso de la capacidad de asimilación de contaminantes del cuerpo de agua receptor, éste se verá disminuido en su calidad y aptitud para usos benéficos por parte del hombre. (ROMERO, 2009)

Las aguas residuales presentan características físicas, químicas y biológicas especiales a diferencia de otros tipos de aguas.

Conocer estas características es de vital importancia para poder establecer las diferentes cargas orgánicas y los sólidos que transportan, los efectos del vertimiento a un cuerpo de agua, la selección de procesos y operaciones resulten eficaces para el tratamiento de las mismas.

- Características físicas.

Entre las principales características físicas del agua residual están: temperatura, olor, color, turbiedad, sólidos y materia flotante. (*Ver Tabla 2*)

- Características químicas.

Entre las principales características químicas del agua tenemos: potencial hidrógeno, nitrógeno, fósforo, azufre, aceites y grasas, metales pesados, detergentes y materia orgánica (Demanda Química de Oxígeno y Demanda Bioquímica de Oxígeno). (*Ver Tabla 3*)

Tabla 2: Características físicas de las aguas residuales.

PARÁMETRO	DEFINICIÓN	IMPACTO AMBIENTAL
TEMPERATURA	<p>Es una magnitud física que expresa el nivel de calor de los cuerpos o del ambiente.</p> <p>Se la considera como el factor de medida para poder determinar la energía térmica como contaminante.</p> <p>Dentro del agua residual éste parámetro suele ser más elevado debido a la incorporación de agua caliente procedente de las casas e industrias.</p>	<p>El exceso de temperatura reduce la concentración de saturación de oxígeno en el agua por lo que afecta y altera la vida acuática.</p> <p>Acelera la descomposición de la materia orgánica aumentando el consumo de oxígeno para los procesos de oxidación y disminuyendo la solubilidad del oxígeno y de otros gases.</p> <p>Modifica la concentración de saturación de oxígeno disuelto, la velocidad de las reacciones químicas y la actividad bacterial.</p>
OLOR	<p>El agua residual reciente posee un olor desagradable. Generalmente es producido por el ácido sulfúrico (H₂S) proveniente de la descomposición anaerobia de los sulfatos o sulfuros.</p> <p>Constituye uno de los principales impactos ambientales y su control en las planta de tratamiento debe ser muy importante.</p>	<p>La presencia de olor ofensivo provoca dificultades respiratorias, náusea, vómito, pérdida del apetito, menor consumo de agua., perturbaciones mentales, y otros, afectando en gran medida el nivel social de la población.</p>

Fuente: (ROMERO, 2009)

PARÁMETRO	DEFINICIÓN	IMPACTO AMBIENTAL
COLOR	<p>Es causado por la presencia de sólidos suspendidos, material coloidal y sustancia en solución.</p> <p>Las aguas residuales frescas poseen un color grisáceo y a medida que el agua aumenta su tiempo de transporte en las redes de alcantarillado su color cambia de gris oscuro a negro debido a la formación de sulfuros metálicos.</p>	<p>La presencia de color en un agua residual puede indicar el origen de la polución. En el caso de industrias, indica el buen estado o el deterioro de los procesos de tratamiento.</p> <p>La presencia de color en un cuerpo de agua hace que sea estéticamente inaceptable para su uso público.</p>
TURBIEDAD	<p>Constituye una medida de las propiedades de transmisión de la luz en el agua. Permite determinar la calidad del agua vertida o del agua natural en relación con la materia coloidal y residual en suspensión.</p>	<p>Ya que las aguas residuales son generalmente turbias, en aguas residuales tratadas la turbiedad se considera un factor importante para el control de calidad.</p>
SÓLIDOS	<p>Son todas aquellas partículas que se encuentran en suspensión, coloidales y disueltos.</p>	<p>Afecta directamente a la cantidad de lodo que se produce en un sistema de tratamiento o disposición.</p> <p>Los sólidos de las aguas residuales se oxidan consumiendo el oxígeno disuelto en el agua, éstos a su vez se sedimentan al fondo de los cuerpos receptores en donde modifican el hábitat natural de la biota acuática.</p>
MATERIA FLOTANTE	<p>Se refiere a la materia en suspensión presente en el agua residual. Incluye compuestos orgánicos volátiles y material inorgánico.</p>	<p>Al ser vertida en un medio acuático sin un tratamiento adecuado, puede dar lugar al desarrollo de depósitos de fangos y de condiciones anaerobias.</p>

Fuente: (ROMERO, 2009)

Tabla 3: Características químicas de las aguas residuales.

PARÁMETRO	DEFINICIÓN	IMPACTO AMBIENTAL
<p>POTENCIAL HIDRÓGENO (pH)</p>	<p>Es el grado de acidez o alcalinidad de una disolución. Cuando el pH se encuentra entre 0 y 7 la disolución es ácida, y cuando está entre 7 y 14 la disolución es básica.</p> <p>Se lo considera como el factor de medida para poder determinar los iones de hidrógeno como contaminantes.</p>	<p>El aumento de pH en un cuerpo de agua sugiere un riesgo potencial para los organismos acuáticos.</p>
<p>NITRÓGENO (N)</p>	<p>Es un nutriente esencial para el crecimiento de microorganismos y plantas.</p> <p>Es un parámetro necesario para evaluar la tratabilidad de las aguas residuales por procesos biológicos.</p>	<p>Se lo puede encontrar en diferentes formas: nitrógeno amoniacal, nitrógeno de nitritos, nitrógeno de nitratos, o nitrógeno orgánico.</p> <p>La presencia de nitritos (NO₂) y nitratos (NO₃) indican la producción de procesos activos biológicos en el agua.</p>
<p>FÓSFORO (P)</p>	<p>Es un elemento esencial para el crecimiento de microorganismos y plantas.</p> <p>Está presente en diferente formas: ortofosfatos, polifosfatos, y fosfatos orgánicos, siendo éste último un nutriente indispensable de los microorganismos en el tratamiento biológico de las aguas residuales.</p>	<p>1g de fósforo presente en el agua superficial puede permitir la formación de más de 100g de biomasa o materia orgánica, lo cual necesita una DBO de 150g de oxígeno para su oxidación aeróbica completa; si no existiera estas condiciones generaría problemas de eutrofización.</p>

Fuente: (ROMERO, 2009)

PARÁMETRO	DEFINICIÓN	IMPACTO AMBIENTAL
FORMAS DEL AZUFRE (S)	<p>El ión sulfato es una de las diferentes formas químicas del azufre y uno de los aniones más comunes en las aguas naturales.</p> <p>Se encuentra en concentraciones que varían desde unos pocos hasta varios miles de mg/L.</p> <p>Se requieren para la síntesis de proteínas y se liberan en su descomposición.</p>	<p>El alto contenido de sulfatos tiende a formar incrustaciones.</p> <p>En aguas residuales la cantidad de sulfatos es un factor importante para la determinación de problemas que generan olor y corrosión en las alcantarillas.</p>
ACEITES Y GRASAS	<p>Son sustancias insolubles en el agua y solubles en solventes orgánicos como por ejemplo el hexano.</p> <p>Están formados por carbono, hidrógeno y oxígeno.</p> <p>Pueden ser de origen vegetal, animal o mineral y flotan en el agua en forma de películas o natas.</p> <p>De origen vegetal y animal son biodegradables y pueden ser tratadas con facilidad con plantas de tratamiento biológico.</p> <p>De origen mineral pueden no ser biodegradables y requieren de un pretratamiento para ser removidos antes de la aplicación de un tratamiento biológico.</p>	<p>Recubren las superficies con las que entran en contacto causando problemas estéticos, iridiscencia, e interferencias con la actividad biológica.</p> <p>Su transporte a lo largo del alcantarillado es muy complicado generándose altas cargas de polución difíciles de atacar biológicamente.</p> <p>Su cuantificación permite determinar la necesidad y tipo de pretratamiento, la eficiencia y los procesos de remoción, y el grado de polución ocasionado por estos compuestos.</p>

Fuente: (ROMERO, 2009)

PARÁMETRO	DEFINICIÓN	IMPACTO AMBIENTAL
<p>METALES PESADOS</p>	<p>Son un grupo de elementos que poseen una densidad relativa del metal mayor de 4 o 5.</p> <p>Incluyen: plata, bario, cadmio, cobre, zinc, cromo, cobalto, níquel, plomo, hierro, mercurio, titanio, vanadio, manganeso, y otros.</p>	<p>Generalmente son tóxicos en altas concentraciones.</p>
<p>DETERGENTES (Agentes Tensoactivos o Agentes Superficiales Activos)</p>	<p>Son compuestos constituidos por moléculas orgánicas polares, grandes y solubles en aguas y aceites.</p> <p>Tienen la propiedad de disminuir la tensión superficial de los líquidos en que se hallan disueltos.</p> <p>Se fabrican a partir de la mezcla del agente tensoactivo con sales sódicas como sulfatos, fosfatos, carbonatos, silicatos o boratos, llegando a ser de tres tipos de grupo polar hidrófilo: aniónicos, catiónicos y no iónicos.</p>	<p>Altera la tensión superficial del agua disminuyéndola a tal punto en que se forman espumas.</p> <p>La espuma se vuelve estable gracias a la interface aire-agua y la presencia de proteínas, partículas sólidas finas y sales minerales disueltas en el agua.</p> <p>En aguas residuales, la producción de espuma produce una gran cantidad de fósforo llegando a causar problemas de eutrofización.</p>

Fuente: (ROMERO, 2009)

PARÁMETRO	DEFINICIÓN	IMPACTO AMBIENTAL
MATERIA ORGÁNICA (DQO Y DBO)	<p>Formada por sólidos provenientes de varios residuos de animales, plantas y de las actividades humanas relacionadas con la síntesis de compuestos orgánicos.</p> <p>Entre los principales grupos de sustancias orgánicas que se encuentran presentes en el agua residual están: Proteínas (40-60%), Hidratos de Carbono (25-50%) y Aceites y Grasas (10%).</p> <p>Los sólidos suspendidos presentes en el agua residual pueden contener un 75% de materia orgánica, y los sólidos disueltos un 40%.</p>	<p>El agua residual con un alto contenido de materia orgánica, al ser descargada al ambiente sin un previo tratamiento, puede provocar una desestabilización biológica que disminuye las fuentes naturales de oxígeno y causa el desarrollo de condiciones sépticas.</p> <p>Grandes concentraciones de materia orgánica presentes en las aguas residuales, son medidas en términos de DQO* y DBO*.</p>
	<p>*Demanda Química de Oxígeno (DQO):</p> <p>Es un parámetro químico de polución que mide el material orgánico contenido en una muestra líquida mediante oxidación química. Se determina como la cantidad de oxígeno consumido por la porción de materia orgánica existente en la muestra y oxidable por un agente químico oxidante fuerte.</p> <p>Representa el contenido orgánico total de la muestra oxidable por dicromato en solución ácida. Esta oxidación se efectúa mediante la ebullición de la muestra con una mezcla de ácido sulfúrico y un exceso de dicromato de potasio. Durante el período de ebullición el material orgánico oxidable reduce una cantidad equivalente de dicromato. El dicromato restante se determina mediante titulación con sulfato ferroso amoniacal. La cantidad de dicromato reducida es una medida de la materia orgánica oxidada.</p>	

Fuente: (ROMERO, 2009)

	<p>*Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO):</p> <p>Es la medida de la cantidad de oxígeno utilizado por los microorganismos en la oxidación bioquímica de las sustancias orgánicas biodegradables en un tiempo y temperatura específicos, generalmente en 5 días, a 20 °C y en condiciones anaerobias.</p> <p>Depende de la disponibilidad de materia utilizada como alimento biológico y de la cantidad de oxígeno utilizado por los microorganismos durante la oxidación, las condiciones ambientales y los microorganismos.</p> <p>Se debe proporcionar los nutrientes necesarios para el desarrollo bacterial como el nitrógeno y el fósforo, y eliminar cualquier tipo de sustancia tóxica en la muestra.</p> <p>En las aguas residuales domésticas el valor de la DBO₅ representa en promedio un 65 a 70% del total de la materia orgánica oxidable.</p>
--	---

Fuente: (ROMERO, 2009)

- Características biológicas de las aguas residuales.

Las aguas residuales contienen un gran número de microorganismos vivos cuya función es la de descomponer, transformar, y fermentar la materia orgánica utilizando o no el oxígeno disuelto por medio de procesos aerobios o anaerobios. Estos microorganismos pueden ser de origen vegetal: plantas, semillas, helechos; de origen animal: microorganismos vertebrados e invertebrados; o de origen protista: bacterias, hongos, protozoos y algas. También están presentes varios microorganismos patógenos como los coliformes los cuales mueren rápidamente al encontrarse en un hábitat extraño. Cada uno de estos grupos de microorganismos, constituyen un papel primordial como indicadores de la calidad del agua residual. (ROLIM, 2000)

Las aguas residuales, dependiendo de su composición y concentración, pueden llevar en su seno gran cantidad de organismos. También influyen en su presencia la temperatura y el pH, puesto que cada organismo requiere unos valores determinados de estos dos parámetros para desarrollarse. (ESPIGARES GARCÍA & PÉREZ LÓPEZ, 1985)

A continuación se describen los principales grupos de organismos que se pueden encontrar.

- Bacterias: pueden ser de origen fecal o bacterias implicadas en procesos de biodegradación, tanto en la naturaleza como en las plantas de tratamiento.

En las aguas residuales brutas, predominan las especies pertenecientes a los grupos: *Escherichia*, *Salmonella*, *Streptococos fecales*, *Proteus*, *Pseudomonas*, *Aeromonas*, *Serratia*, *Bifidobacterium*, *Clostridium*, *Zooglea*, *Flavohacterium*, *Nocardia*, *Achromobacter*, *Alcaligenes*, *Mycobacterium*, *Nitrosomonas*, *Nitrobacter*, etc. (ESPIGARES GARCÍA & PÉREZ LÓPEZ, 1985)

Las bacterias coliformes se utilizan como indicador de polución por vertidos de origen humano, ya que cada persona elimina diariamente de 100.000 a 400.000 millones de coliformes a través de las heces, además de otras clases de bacterias. (ESPIGARES GARCÍA & PÉREZ LÓPEZ, 1985)

Virus: proceden de la excreción, por parte de individuos infectados, ya sean humanos o animales. Poseen la capacidad de adsorberse a sólidos fecales y otras materias

particuladas, favoreciendo de esta forma su supervivencia durante tiempos prolongados en las aguas residuales.

Se pueden encontrar virus pertenecientes a distintos grupos: *Poliovirus*, *virus Echo*, *Coxsackievirus A y E*, virus de la hepatitis, agente de Norwalk, *Rotavirus*, *Reovirus*, *Adenovirus* y *Parvovirus*. (ESPIGARES GARCÍA & PÉREZ LÓPEZ, 1985)

La gran supervivencia de los virus origina la resistencia a algunos tratamientos de aguas residuales, constituyendo un peligro para las aguas receptoras. Durante los tratamientos, los virus se adsorben a la superficie de los flocúlos y de esta forma son separados de las aguas residuales, pero no inactivados. Algunos quedan en el efluente, siendo un peligro para la salud, aunque el mayor riesgo lo constituyen aquellos que quedan en el fango, en mayores cantidades, sobre todo si este fango se utiliza como fertilizante sin tratamiento previo. (ESPIGARES GARCÍA & PÉREZ LÓPEZ, 1985)

- Algas: su crecimiento está favorecido por la presencia en las aguas residuales de distintas formas de fósforo y nitrógeno, así como de carbono y vestigios de elementos tales como hierro y cobalto, dando lugar a procesos de eutrofización. Este fenómeno esta producido principalmente por algas de los géneros *Anacystis*, *Anabaena*, *Gleocystis*, *Spirogyra*, *Cladophora*, *Enteromorpha*, *Stigeoclonium*₂ *Ulothrix*, *Chlorella*, *Euglena* y *Phormidium*, etc. (ESPIGARES GARCÍA & PÉREZ LÓPEZ, 1985)

- Protozoos: los que se encuentran más frecuentemente en las aguas residuales son amebas, flagelados y los ciliados libres y fijos. Estos organismos juegan un papel muy importante en los procesos de tratamiento biológico, especialmente en filtros percoladores y fangos activados. Pueden eliminar bacterias suspendidas en el agua, ya que éstos no sedimentan, evitando la producción de efluentes con turbidez. (ESPIGARES GARCÍA & PÉREZ LÓPEZ, 1985)

- Hongos: la mayoría son aerobios estrictos, pueden tolerar valores de pH relativamente bajos, y tienen baja demanda de nitrógeno. Esto les hace desempeñar una función importante en el tratamiento de aguas residuales industriales. Los géneros que pueden encontrarse son: *Geotrichium*, *Mucor*, *Aureobasidium*, *Subbaromyces*, *Fusarium*, *Sepedonium* y *Sphaerotilus*. (ESPIGARES GARCÍA & PÉREZ LÓPEZ, 1985)

En el tratamiento con fangos activados, los hongos, junto a bacterias filamentosas, pueden dar lugar a un problema conocido como bulking, debido a que su presencia

dificulta la sedimentación de los fangos. (ESPIGARES GARCÍA & PÉREZ LÓPEZ, 1985)

e) Reutilización de las aguas residuales.

El agua regenerada constituye una fuente idónea para sustituir recursos de primera ordenación en usos que no requieren un grado de calidad tan alto. Muchas aplicaciones urbanas, comerciales, industriales y, por supuesto, agrícolas del agua, pueden satisfacerse con calidad inferior a la potable. El riego de césped, parques y medianas de las vías públicas; el agua empleada en acondicionamiento de aire y torres de refrigeración, en algunos procesos industriales, en la higiene de servicios sanitarios, en la construcción, labores de limpieza y mantenimiento; las aguas utilizadas en fuentes y otros usos ornamentales, en aplicaciones medioambientales y recreativas, son algunos ejemplos de usos potenciales del agua regenerada que requieren niveles de calidad de agua potable. La reutilización directa para consumo humano no es, todavía una opción disponible, dada su especial incidencia sobre la salud pública. (IGME, 2008)

La reutilización es una práctica que viene desarrollándose desde hace más de 2000 años, bien sea de modo organizado, espontáneo, directo o indirecto. Actualmente, son cada vez más los países que consideran la reutilización de las aguas residuales un elemento fundamental de sus políticas hídricas. Cabe citar a los Estados Unidos, Japón o Israel, como ejemplos de vanguardia en el aprovechamiento de agua regenerada. (IGME, 2008)

f) Criterios de calidad de aguas de uso agrícola o de riego.

Se entiende por agua de uso agrícola aquella empleada para la irrigación de cultivos y otras actividades conexas o complementarias que establezcan los organismos competentes. (NORMA DE CALIDAD AMBIENTAL Y DE DESCARGA DE EFLUENTES: RECURSO AGUA. Libro VI, Anexo 1, 2008)

Se prohíbe el uso de aguas servidas para riego, exceptuándose las aguas servidas tratadas y que cumplan con los niveles de calidad establecidos en la NORMA DE CALIDAD AMBIENTAL Y DE DESCARGA DE EFLUENTES: RECURSO AGUA.

Los criterios admisibles para las aguas destinadas a uso agrícola se presentan en la siguiente tabla.

Tabla 4: Criterios de calidad admisibles para aguas de uso agrícola.

Parámetros	Expresado como	Unidad	Límite máximo permisible
Boro (total)	B	mg/l	1,0
Cadmio	Cd	mg/l	0,01
Carbamatos totales	Concentración total de carbamatos	mg/l	0,1
Cianuro (total)	CN ⁻	mg/l	0,2
Cobalto	Co	mg/l	0,05
Cobre	Cu	mg/l	2,0
Cromo hexavalente	Cr ⁺⁶	mg/l	0,1
Flúor	F	mg/l	1,0
Hierro	Fe	mg/l	5,0
Litio	Li	mg/l	2,5
Materia flotante	Visible	mg/l	Ausencia
Manganeso	Mn	mg/l	0,2
Molibdeno	Mo	mg/l	0,01
Mercurio (total)	Hg	mg/l	0,001
Níquel	Ni	mg/l	0,2
Organofosforados (totales)	Concentración de organofosforados totales.	mg/l	0,1
Organoclorados (totales)	Concentración de organoclorados totales.	mg/l	0,2
Plata	Ag	mg/l	0,05
Potencial de hidrógeno	pH	mg/l	6-9
Plomo	Pb	mg/l	0,05
Selenio	Se	mg/l	0,02
Sólidos disueltos totales		mg/l	3000,0
Transparencia de las aguas medidas con el disco secchi.			Mínimo 2.0 m
Vanadio	V	mg/l	0,1
Aceites y grasa	Sustancias solubles en hexano	mg/l	0,3
Coniformes totales	Nmp/100 ml		10000
Huevos de parásitos		Huevos por litros	Cero
Zinc	Zn	mg/l	2,0

Fuente: NORMA DE CALIDAD AMBIENTAL Y DE DESCARGA DE EFLUENTES: RECURSO

AGUA. Libro VI, Anexo 1, 2008.

Además de los criterios indicados, la Entidad Ambiental de Control utilizará también las siguientes guías para la interpretación de la calidad del agua para riego y deberá autorizar o no el uso de agua con grado de restricción severo o moderado.

Tabla 5: Parámetros de los niveles guía de la calidad del agua para riego.

PROBLEMA POTENCIAL	UNIDADES	*GRADO DE RESTRICCIÓN.			
		Ninguno	Ligero	Moderado	Severo
Salinidad (1): CE (2) STD (3)	Milimhos/cm mg/l	0,7 450	0,7 450	3,0 2000	>3,0 >2000
Infiltración (4): RAS= 0-3 y CE RAS= 3-6 y CE RAS= 6-12 y CE RAS= 12-20 y CE RAS= 20-40 y CE		0,7 1,2 1,9 2,9 5,0	0,7 1,2 1,9 2,9 5,0	0,2 0,3 0,5 1,3 2,9	< 0,2 < 0,3 < 0,5 < 1,3 < 2,9
Toxicidad por ión específico (5): -Sodio Irrigación superficial RAS (6) Aspersión -Cloruros Irrigación superficial Aspersión -Boro	meq/l meq/l meq/l mg/l	3,0 3,0 4,0 3,0 0,7	3,0 3,0 4,0 3,0 0,7	9 10,0 3,0	> 9,0 > 10,0 > 3,0
Efectos misceláneos (7): -Nitrógeno (N-NO3) -Bicarbonato (HCO3)	mg/l meq/l	5,0 1,5	5,0 1,5	30,0 8,5	>30,0 >8,5
pH	Rango normal	6,5-8,5			

Fuente: NORMA DE CALIDAD AMBIENTAL Y DE DESCARGA DE EFLUENTES: RECURSO AGUA. Libro VI, Anexo 1, 2008.

*Es un grado de limitación, que indica el rango de factibilidad para el uso del agua en riego.

- (1) Afecta a la disponibilidad de agua para los cultivos.
- (2) Conductividad eléctrica del agua: regadío (1 milimhos/cm = 1000 micromhos/cm).
- (3) Sólidos disueltos totales.
- (4) Afecta a la tasa de infiltración del agua en el suelo.
- (5) Afecta a la sensibilidad de los cultivos.
- (6) RAS, relación de absorción de sodio ajustada.
- (7) Afecta a los cultivos susceptibles.

g) Métodos de tratamiento de las aguas residuales.

El termino tratamiento de aguas es el conjunto de operaciones unitarias de tipo físico, químico o biológico cuya finalidad es la eliminación o reducción de la contaminación así como la de las características no deseables de las aguas, bien sean naturales, de abastecimiento, de proceso o residuales llamadas, en el caso de las urbanas, aguas negras. (CASTELLANOS HERNÁNDEZ & FRANCIA PÉREZ, 2015).

El objetivo del tratamiento es producir agua limpia (o efluente tratado) o reutilizable en el ambiente, y un residuo sólido o lodo que con un proceso adecuado sirve como fertilizante orgánico para la agricultura o jardinería. (CASTELLANOS HERNÁNDEZ & FRANCIA PÉREZ, 2015).

De manera general se estudian cuatro tipos de tratamiento: preliminar, primario, secundario y terciario. Estos tratamientos son aplicados de acuerdo al tipo de agua residual.

- Tratamiento preliminar.

Está destinado a la preparación o acondicionamiento de las aguas residuales con el objetivo específico de proteger las instalaciones y asegurar el adecuado funcionamiento de las mismas, separando sólidos de gran tamaño, sólidos inorgánicos, como arenas, y cantidades excesivas de grasas y aceites. (CASTELLANOS HERNÁNDEZ & FRANCIA PÉREZ, 2015)

A continuación las unidades de tratamiento primario y su objetivo:

Tabla 6: Unidades de tratamiento primario y su objetivo.

PROCESO	OBJETIVO
Rejas o tamices	Eliminación de sólidos gruesos
Trituradores	Desmenuzamiento de sólidos
Desarenadores	Eliminación de arenas y gravilla
Desengrasadores	Eliminación de aceites y grasas
Preaireación	Control de olor y mejoramiento del comportamiento hidráulico

Fuente: (ROJAS, 2002)

- Tratamiento primario.

Conocido como sedimentación primaria, (ROJAS, 2002) dice “Tiene como objetivo la remoción por medios físicos o mecánicos de una parte sustancial del material sedimentable o flotante”. Según (CASTELLANOS HERNÁNDEZ & FRANCIA PÉREZ, 2015) elimina entre el 25% al 40% del DBO y entre el 50% y el 65% de los sólidos suspendidos.

La sedimentación primaria separa del agua las partículas sólidas en función de la diferencia de peso específico entre estas y el líquido. Dichas partículas se sedimentan, es decir, se dirigen al fondo del tanque por efecto de la acción de la gravedad (CASTELLANOS HERNÁNDEZ & FRANCIA PÉREZ, 2015).

Según (ROJAS, 2002) se citan los siguientes tipos de tratamiento primario:

- Sedimentación primaria
 - Flotación
 - Precipitación química
 - Filtración gruesa.
 - Oxidación química
 - Coagulación, floculación, sedimentación y filtración.
- Tratamiento secundario.

El tratamiento secundario se refiere a los procesos de tratamiento biológico de las aguas residuales, en los que los microorganismos consumen (degradan) la materia orgánica transformándola en sustancias más sencillas, tales como bióxido de carbono, metano, nitrógeno amoniacal, nitratos y agua, según sea el proceso, aerobio o anaerobio, incrementándose a su vez la masa microbiana. En el proceso, la materia orgánica disuelta coloidal presente en el agua residual se transforma en un floc biológico sedimentable que puede ser removido en tanques de sedimentación secundaria (CASTELLANOS HERNÁNDEZ & FRANCIA PÉREZ, 2015)

La reducción de los compuestos orgánicos presente en el agua residual, acondicionada previamente mediante tratamiento primario, se realiza exclusivamente por procesos biológicos.

Según (ROJAS, 2002) “Los tratamientos biológicos de esta categoría tienen una eficiencia remocional del DBO entre el 85% al 95%”, y están compuestos por:

Tabla 7: Clasificación de tratamientos biológicos.

PROCESOS BIOLÓGICOS	TIPOS DE PROCESOS BIOLÓGICOS
Filtración biológica	-Baja capacidad (Filtros clásicos) -Alta capacidad: Filtros comunes. Biofiltro. Aero-filtros Accelo-filtros
Lodos activados	-Convencional. -Alta capacidad. -Contacto estabilización. -Aeración prolongada
Lagunas	-Estabilización: Aerobia. Facultativa. Maduración. -Aerada: Mezcla completa Aerada facultativa. Facultativa con aeración mecánica Difusión de aire.
Otros	-Anaeróbicos: Contacto. Filtro anaerobio. Reactor anaeróbico de flujo ascendente. -Oxígeno puro: Unox/Linde. -Discos rotatorios.

Fuente: (ROJAS, 2002)

- Tratamiento terciario.

Tiene como objetivo complementar los procesos anteriormente indicados para lograr efluentes más puros, con menor carga contaminante. (ROJAS, 2002).

Según (ROJAS, 2002) los contaminantes comúnmente removidos son:

fosfatos y nitratos, huevos y quistes de parásitos, sustancias tensas activas, algas, bacterias, y virus (desinfección), radionúclidos, sólidos totales y disueltos, temperatura.

Los procesos más comunes se enumeran a continuación:

- Arrastre de amoníaco.
- Filtración.
 - Múltiple.
 - Diatomea.
 - Microfiltro.
- Destilación.
- Flotación.
- Congelación.
- Separación de fase gas.
- Aplicación en suelo.
- Ósmosis inversa.
- Carbón activado.
- Precipitación química.
- Precipitación química en lodo activado.
- Intercambio iónico.
- Electroquímico.
- Electrodialisis.
- Oxidación química.
- Reducción.
- Asimilación bacteriana.
- Desnitrificación.
- Lagunas.
- Nitrificación-desnitrificación.

3. FILTRO LENTO CON ARENA.

La filtración lenta en arena es un método conveniente, de bajo costo, para tratar agua superficial que no esté altamente contaminada (ORGANIZACIÓN PANAMERICANA DE LA SALUD, 1988)

Según (JIMÉNEZ CISNEROS, 2005) “La filtración lenta en arena es de las técnicas de tratamiento más antiguas, fue desarrollada para producir agua de consumo en la mayoría de las ciudades por ejemplo Londres (1830) y Hamburgo (1890)” (pág. 220)

(THE NATIONAL ENVIRONMENTAL SERVICE CENTER, 1998) En la revista “Tecnología en Breve”, Afirma: “Un filtro lento consiste en un tanque, una cama de arena fina, una capa de grava que soporta la arena, un sistema de sub-drenajes para recoger el agua filtrada”. Por otra parte (CÁNEPA DE VARGAS, Plantas de tratamiento de filtros lentos, 1993) afirma: “Un filtro lento consta de un tanque que contiene una capa sobrenadante de agua cruda, lecho filtrante de arena, drenaje y un juego de dispositivos de regulación y control”. Conceptos parecidos que definen a los filtros lentos. Esto refleja que un filtro lento no es un sistema complejo, lo que representa una ventaja a la hora de aplicar este sistema.

Sobre los dimensionamientos de los filtros lentos (WEBER, 2003) dice: “Un filtro lento de arena consiste en un tanque impermeable al agua, que contiene una capa de arena de 0.9 a 1.5 m de espesor, soportada por una capa de grava de 0.15 a 0.30 m de espesor”. Esto se puede tomar como parámetros de diseño de un filtro lento de arena.

a) Desinfección de agua en filtros lentos de arena.

La filtración lenta de arena consiste en un conjunto de procesos físicos y biológicos que destruyen los microorganismos patógenos presentes en el agua no apta para consumo humano. (TORRES PARRA & VILLANUEVA PERDOMO, 2014).

Según (THE NATIONAL ENVIRONMENTAL SERVICE CENTER, 1998) “Una capa pegajosa de la materia biológica (...) se forma en la superficie de la arena, donde las partículas de materia orgánica es biológicamente degradada” (RAMÍREZ MEDINA & PÉREZ DUARTE , 2000) explica que “Se desarrollan formaciones gelatinosas conocidas como “schmutzdecke”, que confieren a la capa de arena el poder de retener impurezas finas, como materias coloidales, suspensiones finas y bacterias”.

Se encuentra que ambos autores coinciden en la presencia de una capa gelatinosa y se expresa que la función de esta capa es retener impurezas y posteriormente degradarlas.

Siguiendo el anterior proceso, la materia orgánica degradable presente en el agua problema se descompone progresivamente en agua, bióxido de carbono y sales como sulfatos, nitratos y fosfatos, los cuales son descargados en el efluente del filtro (BLACIO ORDOÑEZ & PALACIOS PÉREZ, 2011)

b) Mecanismo de remoción.

Existen tres mecanismo de remoción: transporte, adherencia y biológico. A continuación se explica en qué consisten:

- Mecanismo de transporte.

Esta etapa de remoción básicamente hidráulica ilustra los mecanismos mediante los cuales ocurre la colisión entre las partículas y los granos de arena. (CÁNEPA DE VARGAS, Filtración lenta como proceso de desinfección, 1994)

Estos mecanismos son: cernido, intercepción, sedimentación, difusión y flujo intersticial (Canepa y Pérez, 1992). Citado por (BLACIO ORDOÑEZ & PALACIOS PÉREZ, 2011)

- Cernido.

El mecanismo de cernido actúa exclusivamente en la superficie de la arena y sólo con aquellas partículas de tamaño mayor que los intersticios de la arena. Su eficiencia es negativa para el proceso porque colmata rápidamente la capa superficial, acortando las carreras de filtración. (CÁNEPA DE VARGAS, Filtración lenta como proceso de desinfección, 1994)

- Intersección.

Mediante este mecanismo, las partículas pueden colisionar con los granos de arena. (BLACIO ORDOÑEZ & PALACIOS PÉREZ, 2011)

La intercepción solamente puede ocurrir si la partícula conducida por las líneas de flujo se acerca al grano de arena, de modo que roce la superficie de éste. Cuando más grande es la partícula, será más factible que ocurra la intercepción. (CÁNEPA DE VARGAS, Filtración lenta como proceso de desinfección, 1994)

- Sedimentación.

Este mecanismo permite que las partículas sean atraídas por la fuerza de gravedad hacia los granos de arena, lo que provoca su colisión. (BLACIO ORDOÑEZ & PALACIOS PÉREZ, 2011)

- Difusión.

Es el tercer mecanismo de transporte representativo en la filtración lenta. La energía térmica de los gases y líquidos se pone de manifiesto en un movimiento desordenado de sus moléculas. Cuando esas moléculas colisionan con una pequeña partícula, ésta también empieza a moverse en forma descontrolada, en una serie de pasos cortos, a menudo denominados de “andar desordenado”. (CÁNEPA DE VARGAS, Filtración lenta como proceso de desinfección, 1994)

- Flujo intersticial.

Este mecanismo se refiere a las colisiones entre partículas debido a la unión y bifurcación de líneas de flujo que devienen de la tortuosidad de los intersticios del medio filtrante. Este cambio continuo de dirección del flujo crea mayor oportunidad de colisión. (BLACIO ORDOÑEZ & PALACIOS PÉREZ, 2011)

- Mecanismo de adherencia.

Mientras no se produce la adherencia, no hay remoción. (..) Investigaciones al respecto sugieren que el desarrollo de la película biológica proporciona a los granos de arena una superficie absorbente que favorece la adherencia. (CÁNEPA DE VARGAS, Filtración lenta como proceso de desinfección, 1994)

Otra suposición es que las enzimas extracelulares coagulan las partículas permitiendo así la adherencia. (CÁNEPA DE VARGAS, Filtración lenta como proceso de desinfección, 1994)

- Mecanismo biológico.

La remoción total de partículas en este proceso se debe al efecto conjunto, tanto del mecanismo de adherencia, como del mecanismo biológico. (CÁNEPA DE VARGAS, Filtración lenta como proceso de desinfección, 1994)

La filtración biológica se consigue al hacer circular el agua cruda a través de un manto poroso de arena. Durante el proceso las impurezas entran en contacto con la

superficie de las partículas del medio filtrante y son retenidas, desarrollándose adicionalmente procesos de degradación química y biológica que reducen la materia retenida a formas más simples. (BLACIO ORDÓÑEZ & PALACIOS PÉREZ, 2011)

Es necesario que para que el filtro opere como un verdadero sistema de desinfección, la capa biológica se encuentre establecida y bien formada. Solo cuando esta situación se presenta, el sistema de filtración funciona como un depurador de la contaminación microbiológica contenida en un agua problema y podrá operar correctamente. Entonces se dice que el filtro maduró, lo que puede tardar 4 y 5 semanas, en donde se recomienda no consumir el agua que sale del sistema de filtración debido a que la capa está en su etapa de estabilización (Canepa y Pérez, 1992). Citado por (TORRES PARRA & VILLANUEVA PERDOMO, 2014)

c) Maduración de filtros lentos en arena.

De acuerdo con Collins (1993), la maduración del filtro se refiere a la edad del desarrollo microbiológico de la biomembrana y del medio filtrante, generalmente cuantificado por reducciones en la calidad efluente, medida en términos de turbiedad y contenido bacterial. Otros indicadores de maduración propuestos por Collins (1993) incluyen también, reducción en color, oxígeno disuelto y pH (para agua de baja alcalinidad) en el efluente del filtro al compararse con el afluente. Citado por (SÁNCHEZ , LATORRE, & GALVIS , 1999)

El filtro se considera “maduro” cuando la película biológica ha llegado a su máximo desarrollo para las condiciones existentes. El límite máximo de desarrollo de la película biológica no está aún definido, necesitándose mayor investigación al respecto para obtener esta importante información. (CÁNEPA DE VARGAS, Filtración lenta como proceso de desinfección, 1994)

d) Rendimientos de los filtros lentos de arena.

El filtro lento se utiliza principalmente para eliminar la turbiedad del agua, siempre y cuando esta maneje unos indicadores medios (de 10 a 20 NTU), pero si se diseña y opera apropiadamente, puede ser considerado como un sistema de desinfección del agua. (TORRES PARRA & VILLANUEVA PERDOMO, 2014)

El rendimiento de este tipo de filtros se ve afectado por ciertos elementos, según (WEBER, 2003) “El filtro lento de arena lento (...). Es eficaz para separar la mayor parte de materia en suspensión excepto las arcillas finas y otros sólidos coloidales. Por otra parte “demuestran constantemente su efectividad en el resto de partículas suspendidas con 1 NTU, alcanzando de un 90 a más de 99% de reducción en bacterias y virus” (THE NATIONAL ENVIRONMENTAL SERVICE CENTER, 1998)

Se conoce que elimina quistes, (ARANGO RUÍZ, 2004) dice “El tamaño efectivo de los granos de arena es de 0,2 mm y esto retiene efectivamente todas las partículas mayores a 0,02 mm. Los quistes de *Giardia* son de aproximadamente este tamaño siendo así filtrados en la capa biológica”.

Respecto a los flujos con los que trabaja estos filtros “Estos procesan agua a una velocidad de 3 a 4 L/min.m²” (GLYNN & GARY, 1996). El agua pasa por efecto de la gravedad razón por la cual es un flujo lento.

Uno de los factores más importante en la eficiencia del filtro es la tasa superficial o velocidad de filtración. Bellamy (1985) demostró la influencia de la tasa de filtración en la remoción de bacterias y quistes. Citado por (CÁNEPA DE VARGAS, Filtración lenta como proceso de desinfección, 1994)

La eliminación de color no es significativa con tasas de separación sólo del orden del 25%, la disminución de turbidez con altas tasas y valores que se reducen a 0,5 UNT.

- Papel relativo del schmutzdecke y de la arena en la eficiencia del filtro.

La mayor parte de la literatura existente sobre filtración lenta adjudica al schmutzdecke toda la eficiencia microbiológica del filtro. (CÁNEPA DE VARGAS, Filtración lenta como proceso de desinfección, 1994)

La acción intensiva de estos microorganismos atrapa, digiere y degrada la materia orgánica contenida en el agua. Al mismo tiempo se degradan compuestos nitrogenados, se oxigena el nitrógeno, (...) (Huisman, 1974) citado por (RAMÍREZ MEDINA & PÉREZ DUARTE , 2000)

Bellamy y colaboradores, en un estudio efectuado en 1985, con una tasa hidráulica de 0.12 m/h indican una remoción de bacterias coliformes totales de tres niveles logarítmicos cuando el lecho estaba maduro; sin embargo, después de raspada la superficie del filtro, la remoción fue de dos logaritmos, indicando que el schmutzdecke

no era el responsable de toda la eficiencia del filtro, ni siquiera de la mayor parte de ésta. (CÁNEPA DE VARGAS, Filtración lenta como proceso de desinfección, 1994)

e) Ventajas de los filtros lentos

Según (THE NATIONAL ENVIRONMENTAL SERVICE CENTER, 1998) varias de las ventajas son:

- Mínimos problemas de manejo de lodo.
- No es necesaria la supervisión cercana del operador.
- Los sistemas pueden hacer uso de materiales y de mano de obra disponible localmente.

La simplicidad de diseño y operación, así como los requerimientos mínimos de compuestos químicos y energía hacen que el filtro lento de arena sea una técnica apropiada para el retiro de materia suspendida orgánica e inorgánica. (THE NATIONAL ENVIRONMENTAL SERVICE CENTER, 1998)

Los filtros lentos de arena reducen drásticamente el número de virus (total), bacterias (99 - 99.9%), protozoarios o huevos de nemátodos (hasta 99.99%) dañinos para la salud (Visscher et al, 1998, Van Dijk, 1978). Citado por (GONZALES , MARTÍN, & FIGUEROA , 1999).

La filtración lenta con arena reduce las bacterias, la nubosidad y los niveles orgánicos, reduciendo así la necesidad de desinfección y consecuentemente, la presencia de subproductos de desinfección en el agua final. (THE NATIONAL ENVIRONMENTAL SERVICE CENTER, 1998).

f) Desventajas de los filtros lentos.

Estos requieren de una superficie grande, grandes cantidades del medio del filtro y de mano de obra para su limpieza. (THE NATIONAL ENVIRONMENTAL SERVICE CENTER, 1998).

El agua con niveles altos de turbiedad puede tapar rápidamente la arena fina de estos filtros. (THE NATIONAL ENVIRONMENTAL SERVICE CENTER, 1998).

Las aguas con muy bajo contenido de nutrientes pueden perjudicar el retiro de la turbiedad. (THE NATIONAL ENVIRONMENTAL SERVICE CENTER, 1998).

Los filtros lentos de arena no retiran completamente todos los químicos orgánicos, sustancias inorgánicas disueltas, como metales pesados o precursores del trihalometano (THM), compuestos químicos que pueden formar THMs cuando se mezclan con el cloro. (THE NATIONAL ENVIRONMENTAL SERVICE CENTER, 1998)

Presentan limitaciones por las frecuentes salidas de operación por limpieza y presencia de períodos de maduración que pueden afectar la calidad del agua efluente. (SÁNCHEZ , LATORRE, & GALVIS , 1999).

Los filtros lentos de arena son menos efectivos al retirar microorganismos del agua fría porque a medida que la temperatura decrece, la actividad biológica dentro de la cama de filtro disminuye. (THE NATIONAL ENVIRONMENTAL SERVICE CENTER, 1998)

- g) Consideraciones generales para el diseño de filtros lentos para un sistema tricameral.

Para diseñar un sistema tricameral es necesario basarse al diseño de los filtros lentos como tal, posteriormente se determina de qué manera circula el flujo de agua en la disposición de los tres filtros lentos que se emplean en el sistema tricameral.

En la siguiente tabla se resumen aspectos del diseño de filtros lentos expuesto por (GLYNN & GARY, 1996). (Fragmento de tabla 1)

Tabla 8: Criterios de diseño y operación de los filtros lentos y rápidos de arena.

ASPECTOS	FILTROS LENTOS
Velocidad de filtración	0.1 a 0.2 a 0.4 m/h
Tamaño de filtro	Grande, 2000 m ²
Profundidad del lecho	30 cm de grava, 90 a 110 cm de arena normalmente reducida a no menos de 50 cm a 80 cm por el respaldo
Distribución del tamaño de arena en el filtro	No estratificado
Pérdidas de carga	6 cm al inicio a 120 cm al final
Duración de la corrida entre limpieza	20 a 30 a 60 días
Método de limpieza	Quitando la capa superficial de arena mediante raspado y lavado y almacenando la arena limpia para restablecerla nuevamente.

ASPECTOS	FILTROS LENTOS
Cantidad de agua usada en la limpieza de la arena	0.2 a 0.6 % del agua filtrada.
Tratamiento preparatorio del agua	Generalmente ninguno cuando la turbiedad del agua cruda es menor de 50 NTU.
Tratamiento adicional	Cloración.
Costo de construcción	Relativamente bajo.
Costo de operación	Relativamente bajo cuando se limpia la arena en el lugar.
Costo de depreciación	Relativamente bajo.

Fuente: (GLYNN & GARY, 1996)

A continuación se presenta una tabla que presenta criterios del diseño de filtros lentos citado por (CALIJURI & FERNANDES CUNHA , 2010)

Tabla 9: Criterios de diseño de filtros lentos.

FILTRO LENTO - FL	
Tamaño medio del filtro(m ³ /m ² .día)	<6
Medio filtrante	Arena
Espesor de medio filtrante (m)	0.6 a 0.9
Tamaño de arena (mm)	0.08 a 1.0
Tamaño efectivo – D ₁₀ (mm)	0.15 a 0.30
Coefficiente de desuniformidad	2 a 4

Fuente: SABOGAL PAZ (2007,2010) citado por (CALIJURI & FERNANDES CUNHA, 2010)

Se puede leer que ambos autores difieren en ciertos aspectos, aunque es difícil hacer una comparación por la diferencia en el número de datos, se complementan entre sí ayudando a ampliar un criterio más completo de aspectos a considerar en el diseño.

4. VISUALIZACIÓN DEL ALCANCE DEL ESTUDIO.

- En lo social: Este proyecto contribuye a la mitigación de los impactos negativos en la salud pública causados por el no tratamiento o tratamiento inadecuado de aguas residuales descargadas al entorno, lo que genera una serie de problemas directos como la afectación de la estética del paisaje por la degradación del medio ambiente e indirectos como la propagación de ambientes propicios para la reproducción de especies vectores de enfermedades que ponen en riesgo la salud humana.

- En lo medioambiental: Se ejerce una menor presión sobre los cursos de aguas naturales que son receptores de las aguas residuales contribuyendo a su recuperación y reduciendo el aporte de contaminantes a los mismos.

Con la reutilización de las aguas residuales en riego de áreas verdes también se reutilizan los nutrientes que contiene y que no han sido destituidos en los procesos de tratamiento, logrando mejores resultados en el crecimiento de las plantas.

- En lo económico: El diseño del sistema de tratamiento tiene un costo relativamente bajo en la implementación, operación y mantenimiento de la unidad, el consumo de agua se reduciría y con ello las facturas por pago del servicio.

La operación del sistema es económica debido a que los parámetros de calidad para agua con fines de riego de áreas verdes son inferiores a los del agua potable por lo que se aplica un tratamiento sencillo y de bajo costo.

- En lo científico: Los conocimientos adquiridos en el proceso de formación de la carrera ayudó a elaborar el proyecto, el diseño y definir los requerimientos técnicos, fortaleciendo la formación científica y desempeño profesional.

Capítulo tercero.

Diseño metodológico.

1. Hipótesis.

Un sistema tricameral de tratamiento de aguas residuales aportará en el desarrollo sostenible de la plaza universitaria de la Universidad Técnica de Manabí.

a) Operacionalización de las variables.

Variable dependiente: Sistema tricameral.

Tabla 10: Variable dependiente: Sistema tricameral.

CONCEPTUALIZACIÓN	CATEGORÍA	INDICADOR	ÍTEMES	TÉCNICA
Es un sistema de tratamiento de aguas residuales que consiste en tres biodegestores o cámaras.	Aguas residuales.	Generada por la actividad humana.	Reutilización de aguas residuales tratadas.	Revisión bibliográfica.
	Sistemas de tratamiento de agua residual.	Depuración de aguas residuales.	Filtros lentos para tratamiento de aguas residuales.	Revisión bibliográfica.
			Filtros rápidos para tratamiento de aguas residuales.	

Variable independiente: Plaza universitaria.

Tabla 11: Variable independiente: Plaza universitaria.

CONCEPTUALIZACIÓN	CATEGORÍA	INDICADOR	ITEMS	TÉCNICA
Lugar destinado para realizar actividades sociales y estudiantiles dentro de una institución universitaria.	Diseño plaza universitaria	Plaza universitaria.	Verificación de las áreas del diseño de la plaza universitaria.	Análisis del diseño arquitectónico.
	Espacios educativos.	Escenario de convergencia de actividades múltiples.	Características de los espacios educativos que sirvan para fortalecer los aprendizajes y la instancia estudiantil.	Revisión bibliográfica.

2. Nivel de investigación.

La investigación de campo, definida como el proceso que, utilizando el método científico, permite obtener nuevos conocimientos en el campo de la realidad social (Investigación pura), o bien estudiar una situación para diagnosticar necesidades y problemas a efectos de aplicar los conocimientos con fines prácticos (investigación aplicada). Este tipo de investigación es también conocida como investigación in situ ya que se realiza en el propio sitio donde se encuentra el objeto de estudio. Ello permite el conocimiento más a fondo del investigador, puede manejar los datos con más seguridad y podrá soportarse en diseños exploratorios, descriptivos y experimentales, creando una situación de control en la cual manipula sobre una o más variables dependientes (efectos). Por tanto, es una situación provocada por el investigador para introducir determinadas variables de estudio manipuladas por él, para controlar el aumento o disminución de esas variables y sus efectos en las conductas observadas. Con estos antecedentes se utilizará un tipo de investigación de campo, por cuanto esta investigación corresponde a un tipo de diseño de investigación, que se basa en informaciones obtenidas directamente de la realidad. En otras palabras, se efectuará una medición de los datos; en el caso propuesto, permitirá obtener información respecto a la implementación de un diseño de tratamiento de aguas residuales para la plaza universitaria de la Universidad Técnica de Manabí, mediante el estudio de factibilidad del sistema tricameral.

3. Método.

El método seleccionado es hipotético-deductivo, puesto que se plantean hipótesis que se pueden analizar mediante revisión bibliográfica, ampliando los conceptos a partir de un caso particular. Es necesario recordar que una de las características de este método es la combinación de otros métodos así: el inductivo, el deductivo y el experimental. Por tanto las fortalezas que se le reconocen a fin de facilitar la comprensión de este tema, está la aplicación del diseño de estudios similares, obteniendo datos experimentales que permiten concluir en base a los objetivos planteados.

4. Técnicas.

- Revisión bibliográfica.
- Análisis del diseño arquitectónico.

5. Diseño.

a) Diseño del sistema tricameral.

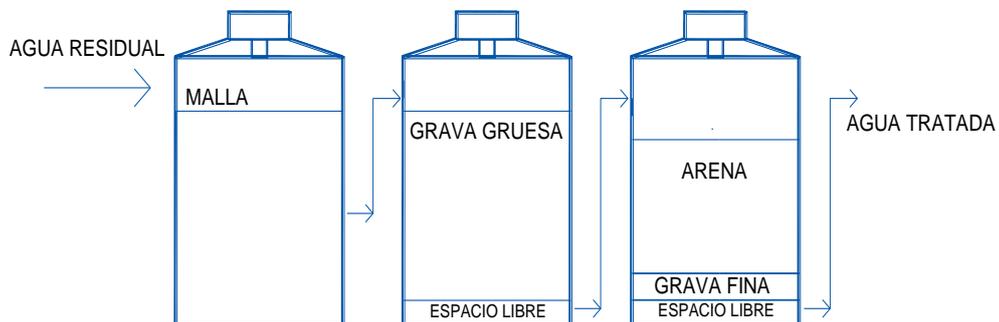
Al hablar de sistema tricameral se menciona un mecanismo de tratamiento de aguas residuales sencillo. Este sistema consiste en la disposición en serie de tres cámaras, el primero consiste en un tratamiento preliminar de separación de sólidos, el segundo contiene grava gruesa, el tercero es el más importante, es un filtro lento de arena.

En general un filtro básicamente consiste en un lecho poroso contenido en un recipiente por el cual se hace circular un fluido con el objetivo de purificarlo.

El proceso de filtración depura el agua al retirar flóculos restantes con material granular, generalmente arena. Los filtros se diferencian por su índice de filtración. (FERNÁNDEZ BENAYAS, 2010).

A continuación en la gráfica se observa el esquema general del sistema tricameral.

Gráfico 1: Esquema general del sistema tricameral.



Fuente: Los autores.

Ver el diseño completo con las respectivas especificaciones en *Anexo 1*.

- Proceso general del sistema tricameral.

El proceso de tratamiento empieza cuando el agua a tratar ingresa a la primera cámara, en el cual se detienen los sólidos de gran tamaño mediante un cribado, se considera un tratamiento preliminar en el sistema. Luego el agua por acción de la gravedad ingresa al segundo filtro de grava gruesa que atrapa los sólidos en suspensión o sólidos sedimentables de menor tamaño, considerado como tratamiento primario. El tratamiento secundario se da en el filtro lento de arena donde la materia orgánica se degrada por un mecanismo biológico.

- Tratamiento preliminar.

Para realizar el tratamiento preliminar se ha considerado el cribado como técnica de separación de sólidos grandes en suspensión, consiste en un tanque o recipiente impermeable al agua de 2,5 m³ con una rejilla de ½ pulgada en su interior a 1 m de altura del fondo del tanque, esta cámara actúa también como recepción de las aguas residuales.

- Tratamiento primario.

El filtro de grava gruesa empleado en este tratamiento está formado por un tanque o recipiente impermeable al agua, en su interior se encuentra el lecho filtrante de grava gruesa de 1/4 pulgada, que aproximadamente ocupa el 75% del volumen del tanque, tiene una entrada de agua en la parte superior y en la parte inferior un sistema de salida de agua que por diferencia de altura pasa al siguiente filtro.

La función de este filtro es la retención de sólidos que impedirán el funcionamiento del tratamiento en la etapa secundaria.

- Filtro lento de arena.

El filtro de arena consiste en un lecho filtrante de arena de 0,65m de altura, contenido en un tanque o recipiente impermeable, con un espacio libre de fondo y un soporte de grava gruesa de 1/8, separado entre capas por una geomembrana.

El agua que sale de este proceso pasa a una cisterna de almacenamiento de agua tratada y presenta las condiciones idóneas para el uso inmediato en riego de áreas verdes.

- Mantenimiento del sistema tricameral.

El mantenimiento del sistema se lo realiza cada 30 a 60 días, en la primera cámara se retiran los sólidos que se han separado en el cribado, en la segunda cámara se retiran 15 cm de la grava y se la reemplaza con material nuevo, este mismo procedimiento se aplica en la tercera cámara de tratamiento mediante raspado de la capa superficial y lavado y almacenado de la arena limpia.

Es importante dar el mantenimiento respectivo para obtener resultados esperados en la descarga, de lo contrario el agua tratada no cumpliría las condiciones establecidas en las normas para el riego de áreas verdes.

- Cálculos del diseño.
 - Consideraciones generales para los caudales.

Para el cálculo de descarga de agua residual se calcula un caudal medio de diseño para esto se empieza por determinar el caudal medio que está determinado por la fórmula (Ecuación. 1):

$$Ec. (1): Q_m = \frac{Pob. Consumidora * Descarga}{86400} = L/s$$

Para definir el caudal máximo de descarga se multiplica el caudal medio por un factor que en termino porcentuales se amplía aumentando el caudal máximo dejando un margen de error. Se considera un 30% de margen de error por lo que el factor en 1.3, la fórmula es (Ecuación 2):

$$Ec. (2): Q_{max} = K1 * Q_m = L/s$$

$K1 = \text{Factor de margen de error}$

A este caudal máximo se lo multiplica por un factor de frecuencia ($K2$), tal valor se estima en un 26% y se lo multiplica por el caudal medio máximo obteniendo el caudal aproximado de descarga, dado por la siguiente fórmula (Ecuación 3):

$$Ec. (3): Q_{aprox} = K2 * Q_{max} * t = L$$

$t = \text{Tiempo de operación.}$

Entonces, con las ecuaciones planteadas se observa que el caudal aproximado de descarga está en función del número de personas que acudirán a la plaza universitaria de la Universidad Técnica de Manabí.

- Consideraciones para determinar la descarga de aguas residuales en los bares.

En los bares las descargas residuales presentes se originan básicamente del lavaplatos, se consideran 4 personas por bar y la descarga es 15 L/hab./día.

- Consideraciones para determinar la descarga de aguas residuales en las baterías sanitarias.

La estimación se basa en el número de personas que acudirían a cada bar, considerando 200 personas máximas y 100 mínimas por jornada, según el estudio realizado para el diseño arquitectónico, se conoce de la ubicación de 11 bares según el plano arquitectónico, cada persona en promedio utiliza entre letrina y urinario 15 L y lavamanos 2 L de agua, basado en las especificaciones de descarga de los aparatos de uso sanitario, sumando 17 L/hab/día de descarga de agua residual.

Con los datos considerados y las ecuaciones planteadas se da paso al cálculo caudales máximos y mínimos aproximados.

- Cálculo de caudal para 200 personas por bar.

Tabla 12: Caudal de descarga aproximado en bares.

CAUDAL DE DESCARGA APROX. EN BARES	
Trabajadores por bar	4
Número de bars	11
Población consumidora	44 Personas
Descarga (L/hab/día)	15,14 L/hab/día
Caudal medio	0,00771 L/s
Caudal max.	0,01002 L/s
Coefficiente de regulación	26%
Jornada (12h) (s)	43200
Caudal aproximado	112,58 L

Tabla 13: Caudal de descarga aproximado en baños.

CAUDAL APROX. EN BAÑOS	
Usuarios por bar	200
Número de bars	11
Población consumidora	2200 PERSONAS
Descarga (L/hab/día)	17,00 L/hab/día
Caudal medio	0,43287 L/s
Caudal max.	0,56273 L/s
Coefficiente de regulación	26%
Jornada (12h) (s)	43200
Caudal aproximado	6320,60 L

CAUDAL TOTAL APROX.	6433,18 L
---------------------	-----------

- Cálculo de caudal para 100 personas por bar.

Tabla 14: Caudal de descarga mínimo aproximado en bares.

CAUDAL APROX. EN BARES	
Trabajadores por bar	4
Número de bares	11
Población consumidora	44 PERSONAS
Descarga (L/hab/día)	15,14 L/hab/día
Caudal medio	0,00771 L/s
Caudal max.	0,01002 L/s
Coefficiente de regulación	26%
Jornada (12h) (s)	43200
Caudal aproximado	112,58 L

Tabla 15: Caudal de descarga mínimo aproximado en baños.

CAUDAL APROX. EN BAÑOS	
Usuarios por bar	100
Número de bars	11
Población consumidora	1100 PERSONAS
Descarga (L/hab/día)	17,00 L/hab/día
Caudal medio	0,21644 L/s
Caudal max.	0,28137 L/s
Coefficiente de regulación	26%
Jornada (12h) (s)	43200
Caudal aproximado	3160,30 L

CAUDAL TOTAL APROX.	3272,88 L
---------------------	-----------

- Cálculos de tiempo de retención.

Está dado por la siguiente ecuación (Ecuación 4):

$$\text{Ec. (4): } Tr = \frac{V}{Q} * f$$

Tr = Tiempo de retención.

V = *Volumen del tanque.*

Q = *Caudal.*

f = *Fracción de espacios vacíos.*

Se considera la fracción de espacios vacíos en la criba 1, para la grava 0,5 y para la arena 0,35.

Se calcula el tiempo de retención para cada cámara y se suman al final como tiempo de retención total.

Con el tiempo de retención total podemos calcular el caudal en los filtros, (Ecuación 5)

$$\text{Ec. (5): } v = \text{Volumen día}/Tr$$

v = *caudal global en filtros.*

A su vez se establece la tasa de filtración del sistema tricameral para los caudales mínimos y máximos calculados anteriormente, con la Ecuación 6:

$$\text{Ec. (6): } T = v/A$$

T = *Tasa de filtración.*

A = *Área del filtro.*

Tasa de filtración para volumen aproximado máximo.

DATOS

Caudal (m ³ /d)	6,43
Volumen Tanque (m ³)	2,3
Area filtro (m ²)	1,5386
Factor de espacios	
Cribado	1
Grava	0,5
Arena	0,35

Tabla 16: Cálculo de los tiempos de retención para volumen máximo.

Tiempos de retención (días)	
Tr1	0,3575214
Tr2	0,1787607
Tr3	0,1251325
Total Tr (días)	0,6614146
Total Tr (h)	15,8739509

Caudal global (m ³ /h)	0,40526653
-----------------------------------	------------

Tasa de filtración (m ³ /m ² h)	0,26339954
---	------------

- Tasa de filtración para volumen aproximado mínimo.

DATOS

Caudal (m ³ /d)	3,27
Volumen Tanque (m ³)	2,3
Area filtro (m ²)	1,5386
Factor de espacios	
Cribado	1
Grava	0,5
Arena	0,35

Tabla 17: Cálculo de los tiempos de retención para volumen mínimo.

Tiempos de retención (días)	
Tr1	0,7027448
Tr2	0,3513724
Tr3	0,24596067
Total Tr (días)	1,3000778
Total Tr (h)	31,2018673

Caudal global (m ³ /h)	0,10489376
-----------------------------------	------------

Tasa de filtración (m ³ /m ² h)	0,06817481
---	------------

Con ambas tasas de filtración podemos sacar un promedio:

Tasa de filtración promedio: 0,16579 m³/m²h.

Según lo citado en el marco teórico la tasa de filtración de un filtro lento comprende entre 0,1 a 0,2 a 0,4 m³/m²h, esto indica que 0,16579 m³/m²h está dentro de las especificaciones de este parámetro de operación.

- Descripción de los equipos y materiales.

Para la implementación del sistema tricameral propuesto se deberá contar con los siguientes materiales:

Cámaras:

- 3 tanques de 2.5 m³ de capacidad.
- Cisterna de hormigón de 8 m³
- Rejilla de 1/2 pulgada.
- Rejilla 1/8.

Lechos filtrantes:

- Grava gruesa de 1/4 de pulgada.
- Grava fina de 1/8 pulgada.
- Arena de

Instalaciones de carga y descarga de agua.

- Tubería de PVC 110mm

- Presupuesto para la implementación del sistema tricameral.

Para el cálculo del presupuesto del sistema tricameral se han considerado precios vigentes en el mercado en el 2015, expresados en dólares americanos.

- Lechos filtrantes.

Tabla 18: Presupuesto para el lecho filtrante.

MEDIO FILTRANTE.	UNIDAD	CANTIDAD	P.U. \$	SUBTOTAL \$
Grava de 1/4"	m ³	1,60	12,00	14,42
Grava 1/8"	m ³	0,46	12,00	1,60
Arena 0,30mm	m ³	1,00	10,00	7,12
Transporte de material				20,00
TOTAL \$				43,14

- Costo total de materiales.

Se considera el costo total del lecho filtrante, los materiales necesarios en las instalaciones de carga y descarga, las cámaras de tratamiento y los soportes requeridos en las cámaras de tratamiento.

Tabla 19: Presupuesto para el total de materiales.

MATERIALES	UNIDAD	CANT.	P.U. \$	SUBTOTAL \$
Piedra bola	m ³	2,82	9,00	25,38
Contrapiso de H.S f'c=180kg/cm ² e=5cm	m ²	6,23	7,00	43,58
Tubería de PVC 110mm	Global	1,00	48,00	48,00
3 Tanque de PVC 2,5 m ³	Global	1,00	600,00	1800,00
Capas filtrantes	Global	1,00	43,14	43,14
Lastre hidrocompactado	m ³	10,22	2,00	20,45
Hormigón simple en cisterna	m ³	3,84	88,00	337,92
Acero de refuerzo	Kg	145,00	1,50	217,50
SUBTOTAL \$				2007,01
I.V.A. \$				240,84
TOTAL \$				2247,85

- Presupuesto global de materiales y mano de obra.

El cálculo de mano de obra se realizó por operación, incluyendo el costo de materiales empleados en cada una.

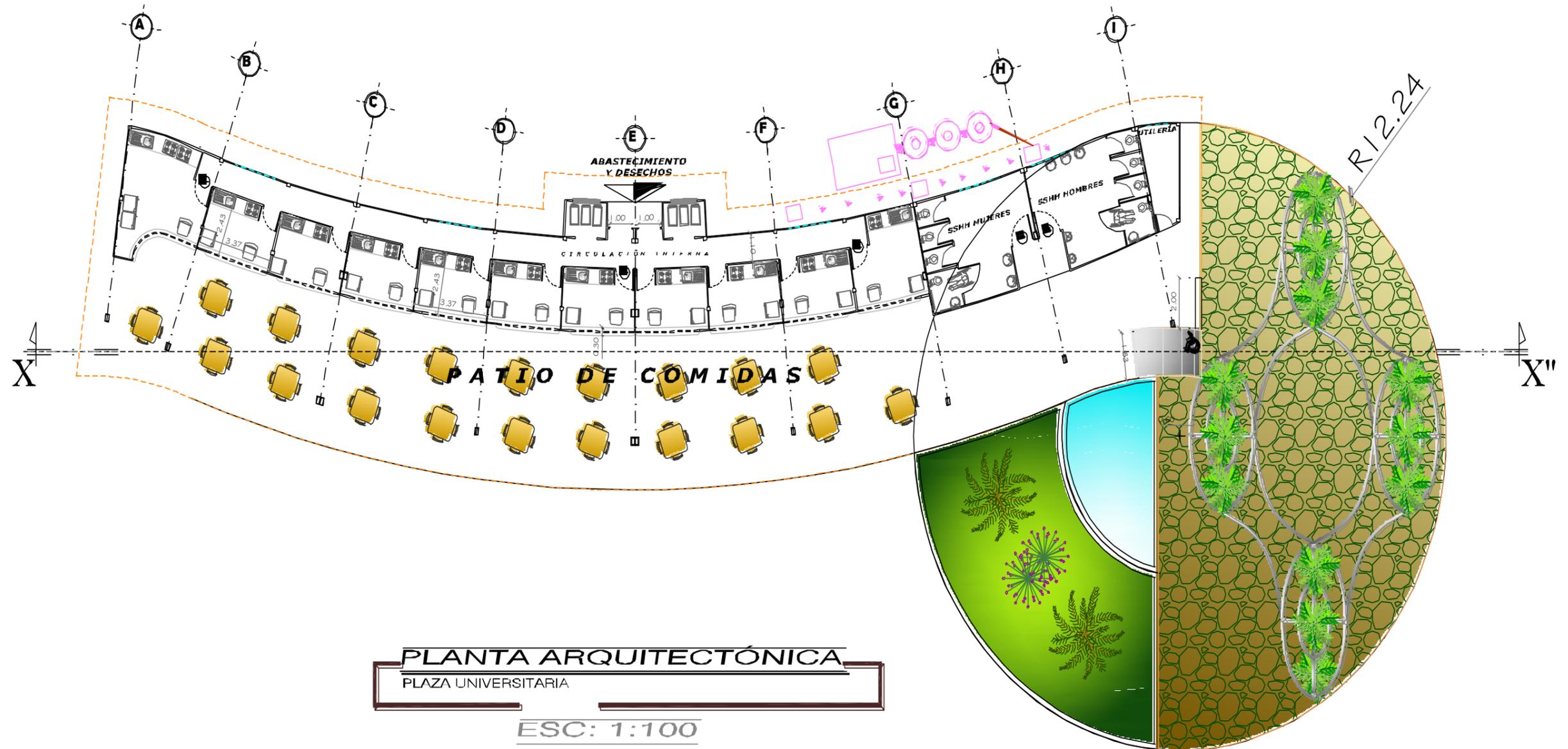
Tabla 20: Presupuesto global de materiales y mano de obra.

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANT.	P.U. \$	SUBT. \$
Excavación y desalojo	m ³	23,81	7,32	123,01
Relleno de piedra bola	m ³	2,82	21,60	26,89
Contrapiso de H.S f'c=180kg/c m ² e=5cm	m ²	6,23	16,26	101,25
Colocación de tubería de PVC 110mm	Global	1,00	88,73	88,73
Colocación de tanque de PVC 2,5 m ³	Global	1,00	2300,50	2300,50
Colocación de capas filtrantes	Global	1,00	100,00	100,00
Relleno de lastre hidrocompactado	m ³	10,22	13,48	137,84
Hormigón simple en cisterna	m ³	3,84	182,00	698,88
Acero de refuerzo	Kg	145,00	2,50	362,50
SUBT. \$				4024,84
I.V.A. \$				482,98
TOTAL \$				4507,82

- Ubicación.

En el siguiente gráfico (Gráfico 2), se presenta la ubicación en el plano arquitectónico del sistema tricameral en la plaza universitaria de la Universidad Técnica de Manabí, el cual se encuentra en la parte posterior de las baterías sanitarias.

Gráfico 2: Ubicación del sistema tricameral.



Capítulo cuarto.

Conclusiones.

Se presenta un diseño tricameral que cumple con la capacidad necesaria para tratar el agua residual que pueda generar la plaza universitaria de la Universidad Técnica de Manabí en su producción máxima.

El sistema tricameral, es un sistema simple con ventajas económicas debido a que no necesita personal para la operación de los filtros y el costo de mantenimiento es bajo.

Se evaluó de acuerdo a las actividades de la plaza universitaria el tipo de descarga que recibiría el sistema tricameral determinando que el agua residual sería de carácter doméstico.

Se determinó la mejor ubicación del sistema tricameral en la plaza universitaria de la Universidad Técnica de Manabí analizando los planos arquitectónicos incluidos en el trabajo de titulación, comprende la parte posterior de las baterías sanitarias por la disponibilidad de espacio y la cercanía a las fuentes de descarga.

La cisterna tiene un límite de almacenamiento que supera la producción máxima de agua tratada pero al recibir un flujo continuo se colapsará sino se realiza la evacuación de agua.

Recomendaciones.

Realizar pruebas pilotos para determinar los tiempos de retención hidráulica y determinar de manera experimental la fracción de espacios vacíos que pueda presentar el material filtrante.

Es importante la caracterización de las aguas residuales antes y después del tratamiento, para verificar el porcentaje de remoción y el cumplimiento de las normas.

Al aplicarse el sistema tricameral se debe hacer cumplir la función de utilizar el agua para riego como se ha descrito, de esta manera el sistema operará sin inconvenientes.

Por seguridad se debe realizar análisis al agua tratada cada vez que se realice mantenimiento en el sistema y verificar el cumplimiento de la norma de calidad ambiental para descarga de agua para riego de áreas verdes.

Capítulo quinto.

Presupuesto.

Tabla 21: Presupuesto del proyecto.

DESCRIPCIÓN.	PRECIO \$
Papel	5,00
CDs, USB	12,00
Fotocopias	15,00
Internet	60,00
Impresiones	25,00
Viáticos	50,00
Gastos varios	20,00
TOTAL \$	187,00

Cronograma.

Tabla 22: Cronograma.

ACTIVIDADES \ TIEMPO	MESES					
	Noviembre	Diciembre	Enero	Febrero	Marzo	Abril
Recopilación de información	X					
Aplicación de las técnicas		X				
Análisis de datos			X			
Tema y planteamiento de problema	X					
Desarrollo del marco teórico			X			
Visualización del alcance de estudio			X			
Elaboración de hipótesis y definiciones de variables				X		
Desarrollo y diseño de la investigación				X	X	
Reporte de los resultados (conclusiones y recomendaciones)						X

Bibliografía.

- AMBIENTUM. (Mayo 2003). Suelos y residuos. *Ambientum. Revista de medio ambiente*.
- ARANGO RUÍZ, Á. (2004). La biofiltración, una alternativa para la potabilización del agua. *Lasallista de Investigación*, 61-66. Obtenido de <http://www.webdelambiente.com/pdf/test/filtracion%20lenta2.pdf>
- ARBOLEDA, J. (2000). *Teoría y práctica de la purificación del agua*. 3 ed. Bogotá-Colombia: NOMOS.
- ARCE, A., CALDERÓN, C., & TOMASIN, A. (2009). *Serie autodidáctica de medición de la calidad del agua. Fundamentos Técnicos para el Muestreo y Análisis de Aguas Residuales*. México.
- BLACIO ORDOÑEZ , D., & PALACIOS PÉREZ, J. (2011). *Filtros biológicos para la potabilización del agua, posibilidades de FLA (Filtros lentos de arena) con agua superficial de la región*. Cuenca, Ecuador: Universidad de Cuenca.
- BORJA, M. (2008). *Diseño de PTAR para la ciudad de Guaranda. Informe de vigilancia tecnológica.-Tratamientos avanzados de aguas residuales industriales*. Guaranda.
- CALIJURI, M., & FERNANDES CUNHA , D. (2010). *Engenharia Ambienta*. Brasil: CAMPUS.
- CALIJURI, M., & FERNANDES CUNHA, D. (2010). *ENGENHARIA AMBIENTA*. Brasil: CAMPUS.
- CÁNEPA DE VARGAS, L. (1993). *Plantas de tratamiento de filtros lentos*. Lima: Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria Y Ciencias del Ambiente. Obtenido de <http://www.itacanet.org/esp/agua/Seccion%206%20Tratamiento%20de%20agua/introduccionfiltracionarena.pdf>
- CÁNEPA DE VARGAS, L. (1994). *Filtración lenta como proceso de desinfección*. Lima: CEPIS OPS.
- CASTELLANOS HERNÁNDEZ, M., & FRANCIA PÉREZ, D. (2015). Evaluación de un reactor anaerobio y humedal artificial para el tratamiento de aguas residuales. *JOVENES CIENCIA*, 1913-1917. Obtenido de

- <http://www.jovenesenlaciencia.ugto.mx/index.php/jovenesenlaciencia/article/view/284/pdf1>
- CHANDRA, P. (2011). *Servicio de la seguridad y salud en el trabajo, Departamento de condiciones y medio ambiente de trabajo*. Lima.
- ESPIGARES GARCÍA, M., & PÉREZ LÓPEZ, J. (1985). *Aspectos sanitarios del estudio de las aguas*. Granada. Universidad de Granada.: Servicio de Publicaciones.
- FERNÁNDEZ BENAYAS, A. (2010). *Agua suficiente y limpia para todos*. España. Obtenido de <https://books.google.com.ec/books?id=2AxdAgAAQBAJ&printsec=frontcover&hl=es#v=onepage&q&f=false>
- GARCIA, A. (2010). *Infraestructura universitaria de México. D.F.: INEE*. México.
- GLYNN, H., & GARY, H. (1996). *Ingeniería Ambiental*. México: MEG WEISS. Obtenido de <https://books.google.com.ec/books?id=ToQmAKnPPzIC&printsec=frontcover&hl=es#v=onepage&q&f=false>
- GONZALES , A., MARTÍN, A., & FIGUEROA , R. (1999). *Tecnologías de tratamiento y desinfección del agua para uso y consumo humano*. MÉXICO: INSTITUTO MEXICANO DE TECNOLOGÍA DEL AGUA.
- GRANDA, I. (2007). *Diseño de un sistema de tratamiento de agua en la comunidad de la Región Amazónica de Timpoqa. Escuela de Ingeniería Química. Politécnica Nacional. Tesis*. Quito-Ecuador.
- IGME. (2008). *Reutilización de las aguas residuales. Cap. 2*. Obtenido de http://www.igme.es/actividadesigme/lineas/HidroyCA/publica/libro33/pdf/lib33/cap_2_a.pdf
- INIFED. (2009). *Normas y especificaciones para estudios, proyectos, construcción e instalaciones. Vol. 3. Tomo I*. México, D.F.
- JIMÉNEZ CISNEROS, B. (2005). *La contaminación ambiental en México: causas, efectos y tecnología apropiada*. México: LIMISA NORIEGA.
- KELLY, A. (1987). *Documentación en recreación*. Cali.
- MUÑOZ, C. A. (2008). *Caracterización de agua residual. Monografía Universidad autónoma del estado de Hidalgo*. Hidalgo.

- NORMA DE CALIDAD AMBIENTAL Y DE DESCARGA DE EFLUENTES: RECURSO AGUA. Libro VI, Anexo 1. (2008). En *4.1.4 Criterios de calidad de aguas de uso agrícola o de riego*. (págs. 311-313). Ecuador.
- ORGANIZACIÓN PANAMERICANA DE LA SALUD. (1988). *Guías para localidad del agua potable*. Washintong: Organización Panamericana de la Salud. Obtenido de <https://books.google.com.ec/books?id=X9QgncMbnsYC&printsec=frontcover&hl=es#v=onepage&q&f=false>
- PÉREZ, I. E. (8 de Marzo de 2013). *Equilibrio Centro Psicológico y Educativo*. Obtenido de <http://elio-manuel.blogspot.com/2013/03/importancia-de-los-ambiente-de.html>
- PNUMA. (2003). *Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente*.
- RAMÍREZ MEDINA , L., & PÉREZ DUARTE , N. (2000). Uso de filtros lentos para el tratamiento de agua de domicilio. En *Ingeniería Hidraulica y Ambiental* (págs. 44-49). Cuba. Obtenido de <http://www.bvsde.paho.org/bvsacd/cd19/collazo/usodfilt.pdf>
- ROJAS, R. (2002). *Sistemas de tratamiento de aguas residuales*. CEPIS/OPS-OMS. Obtenido de http://datateca.unad.edu.co/contenidos/358003/AVA_II-SEM-2014/Contenidos_del_curso/Material_complementario/2002_Sistema_de_trata
- ROLIM, M. S. (2000). *Sistemas de lagunas de estabilización. Primero edición, McGraw Hill*. Colombia.
- ROMERO, R. J. (2009). *Tratamiento de aguas residuales*. Guaranda.
- SÁNCHEZ , L., LATORRE, J., & GALVIS , E. (1999). *Periodo de ,aduración: Efecto de la limpieza de la biomembrana en un filtro lento de arena*. Río de Janeiro: ABES. Obtenido de http://www.infoandina.org/sites/default/files/publication/files/Luis_dario_sanchez1.pdf
- THE NATIONAL ENVIRONMENTAL SERVICE CENTER. (1998). Filtración lenta con arena. *Tecnología en breve*, 1-4.
- TORRES PARRA, C., & VILLANUEVA PERDOMO, S. (2014). *El filtro lento de arena: Manual para el armado, instalación y monitoreo*. Bogotá, Colombia: Universidad Piloto de Colombia.

WEBER, W. (2003). *Control de la calidad del agua. Procesos fisicoquímicos*. Barcelona:
Reverté S.A. Obtenido de
[https://books.google.com.ec/books?id=TLpzh5HQYvgC&printsec=frontcover&
hl=es#v=onepage&q&f=false](https://books.google.com.ec/books?id=TLpzh5HQYvgC&printsec=frontcover&hl=es#v=onepage&q&f=false)

Anexos.

Anexo I: Diseño del sistema tricameral.

