

INFORMACIÓN GENERAL DEL PROYECTO

**JORGE SIERRA ESCUDERO
MAURO MARTINEZ JIMENEZ
SILVIO VANEGAS ATENCIA**

Título:

**EVALUACIÓN DE SISTEMAS ALTERNATIVOS DE TRATAMIENTO
PROYECTADOS PARA LAS AGUAS RESIDUALES DOMESTICAS DE
LOS MUNICIPIOS DE COROZAL Y DE MORROA**

**UNIVERSIDAD DE SUCRE
FACULTAD DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO DE INGENIERIA CIVIL
SINCELEJO – SUCRE
NOVIEMBRE DE 2005**

INFORMACIÓN GENERAL DEL PROYECTO

**JORGE SIERRA ESCUDERO
MAURO MARTINEZ JIMENEZ
SILVIO VANEGAS ATENCIA**

Director:

GUILLERMO GUTIÉRREZ RIBÓN

Título:

**EVALUACIÓN DE SISTEMAS ALTERNATIVOS DE TRATAMIENTO
PROYECTADOS PARA LAS AGUAS RESIDUALES DOMESTICAS DE
LOS MUNICIPIOS DE COROZAL Y DE MORROA**

Línea de Profundización:

**EL DISEÑO Y CONSTRUCCION DE OBRAS CIVILES EN EL
DESARROLLO REGIONAL
Campo de Recursos Hídricos y Saneamiento Ambiental**

**UNIVERSIDAD DE SUCRE
FACULTAD DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO DE INGENIERIA CIVIL
SINCELEJO – SUCRE
NOVIEMBRE DE 2005**

NOTA DE ACEPTACIÓN

Presidente del Jurado

Jurado

Jurado

Director del Proyecto

Sincelejo, Noviembre 2005

Hay hombres que luchan un día y son buenos. Hay otros que luchan un año y son mejores. Hay quienes luchan muchos años y son muy buenos. Pero hay los que luchan toda la vida: esos son los imprescindibles.

Bertolt Brecht

“Únicamente los autores son responsables de las ideas expuestas en el presente trabajo”

AGRADECIMIENTOS

Los autores de este trabajo expresan sus más sinceros agradecimientos a todas aquellas personas que con su valioso aporte hicieron que este proyecto hoy fuera realidad.

En especial gracias a:

Al Ingeniero Civil, Magíster en Ingeniería Ambiental, Guillermo Gutiérrez Ribón, director del trabajo de grado, por su guía acertada en todo el desarrollo del trabajo.

A nuestro amigo y colega Oscar David Contreras Daza por condicional apoyo y colaboración en el desarrollo del proyecto.

A todos los que hicieron posible la culminación exitosa de esta carrera.

Y a la Universidad de Sucre por la gran oportunidad que nos brindo para hoy poder encontrarnos con esta hermosa realidad.

DEDICATORIAS

A Dios, por iluminarme en este proyecto.

A mi madre y mi padre por su paciencia y apoyo incondicional.

A mis hermanos por ser soporte y ayuda cuando lo necesite.

Y a mis compañeros de tesis por brindarme la oportunidad de conocerlos más.

JORGE

A dios porque fue mi compañero fiel desde el comienzo de esta carrera hasta el final.

A mi madre Quira Jiménez porque supo soportar todos los sacrificios de esta carrera.

A mi tía Yurbis Jiménez quien supo darme siempre una voz de ánimo cuando me sentía desalentado.

A Blanca Castaño por su constante apoyo, paciencia y sacrificio a lo largo de toda mi carrera.

A mis compañeros que fueron momentos gratos y difíciles que supimos compartir

MAURO

A nuestro Dios porque es el artífice de este trabajo.

A mi padre y madre, mil gracias aunque esta palabra es poca para su gran ayuda.

Por mis amigos que son el aliciente que me mueve a superarme.

A mis amigos por su paciencia y apoyo

SILVIO

TABLA DE CONTENIDO

	Pág.
RESUMEN	12
ABSTRACS	13
INTRODUCCION	14
OBJETIVOS DEL PROYECTO	17
Objetivos Generales	17
Objetivos Especificos	17
1. ESTADO DEL ARTE	18
1.1 CARACTERIZACIÓN DE AGUAS RESIDUALES	18
1.1.1 Fuentes de aguas residuales	18
1.1.2 Características de las aguas residuales	18
1.1.3 Efectos de la polución por las aguas residuales	19
1.1.4 Características significativas en aguas residuales	20
1.2 MUESTREO DE AGUAS RESIDUALES	31
1.2.1 Muestreo	31
1.3 ANÁLISIS DE RESULTADOS DE LA CARACTERIZACIÓN DE LAS AGUAS RESIDUALES	34
1.3.1 Métodos de análisis	34
1.3.1.1 Método A	35
1.3.1.2 Método B	36
1.4 OBJETIVOS DEL TRATAMIENTO DE LAS AGUAS RESIDUALES	36
1.4.1 Requisitos de tratamiento	38
1.5 PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DOMESTICAS	40
1.5.1 Generalidades	40
1.5.1.1 Tratamientos de contaminantes inorgánicos	43
1.5.1.2 Tratamientos de contaminantes orgánicos	47

1.6	INFORMACIÓN GENERAL DEL ÁREA DE ESTUDIO	48
1.7	PRINCIPIOS DEL TRATAMIENTO BIOLÓGICO	51
1.7.1	Procesos aerobios	51
1.7.2	Procesos anaerobios	53
1.7.3	Procesos anóxicos	54
1.7.4	Aspectos comparativos	54
1.7.5	Proceso ascensional de manto de lodos anaerobio, PAMLA	55
1.7.6	Laguna Facultativa	60
2.	METODOLOGIA	61
2.1	TRABAJO DE CAMPO	61
2.1.1	Localización y reconocimiento del área de estudio	61
2.1.2	Toma de muestras para laboratorio	61
2.2	TRABAJO DE OFICINA	62
2.2.1	Revisión bibliográfica	62
2.2.2	Diseño preliminar y evaluación de alternativas	62
3.	RESULTADOS	63
3.1	CÁLCULO DE CAUDAL DE DISEÑO	63
3.1.1	Parámetros de diseño	63
3.2	DISEÑO DE LAGUNA ANAEROBIA	67
3.2.1	Eficiencia del sistema	69
3.2.2	Área Mínima requerida por el Sistema	69
3.3	DISEÑO DE LAGUNA ANAEROBIA CUBIERTA	70
3.3.1	Área Mínima requerida por el Sistema	71
3.4	DISEÑO DEL SISTEMA TIPO PAMLA O RAFA (UASB)	71
3.4.1	Análisis de los datos de temperatura del ambiente	72
3.4.2	Cálculo del volumen y altura del reactor	72
3.4.3	Eficiencia del sistema.	75
3.4.4	Área Mínima requerida por el Sistema	75
3.5	DISEÑO LAGUNA FACULTATIVA Y DE MADURACIÓN	76
3.5.1	Área Mínima requerida por el Sistema	78

4.	CONCLUSIONES	79
5.	RECOMENDACIONES	80
	REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	82
	ANEXOS	83

LISTA TABLAS

	Pag.
1. Efectos Indeseados de la Aguas Residuales	19
2. Preservativos y Periodos Máximos de Almacenamiento	33
3. Procesos aplicables en el tratamiento de Aguas residuales	40
4. Calidades y Rendimientos obtenidos de los procesos de Tratamiento de Aguas Residuales	42
5. Principales Metales en Aguas Residuales Industriales	43
6. Principales Procesos de Tratamiento Biológico	55
7. Número de Reactores UASB	74
8. Asignación Nivel de Complejidad (Tabla A.3.1, RAS-2000)	63
9. Dotación Neta según Nivel de Complejidad del Sistema (Tabla B.2.2. RAS-2000)	64
10. Variación a la Dotación Neta según el Clima y el Nivel de Complejidad del Sistema (Tabla B.2.3, RAS-2000)	64
11. Coeficiente de Consumo Máximo Diario, K_1 , según Nivel de Complejidad del Sistema (Tabla B.2.5, RAS-2000)	65
12. Coeficiente de Consumo Máximo Horario, K_2 , según Nivel de Complejidad del Sistema y el tipo de Red de Distribución (Tabla B.2.6, RAS-2000)	65

LISTA DE FIGURAS (GRAFICOS Y FOTOS)

	Pag.
1. Procesos de Corrosión en Alcantarillas	30
2. Procesos de tratamiento de Aguas Residuales	41
3. Localización de los Municipios	50
4. Proceso Ascensional de Manto de Lodos Anaerobios PAMLA (UASB)	56
5. Reactores UASB	59
6. Esquema de laguna Anaerobia	70
7. Esquema de Laguna Anaerobia Cubierta	71
8. Modelo de Funcionamiento de un Reactor UASB	74

LISTA DE ANEXOS

	Pag.
Anexo 1. PROYECCION DE LA POBLACION PARA LOS MUNICIPIOS DE COROZAL Y MORROA	84
Anexo 2. REGISTRO FOTOGRÁFICO DE INSTALACIONES FISICAS DE P.T.A.R.s EN COLOMBIA	85
Anexo 3. REGISTRO FOTOGRÁFICO DE LOS PUNTOS DONDE SE TOMARON LAS MUESTRAS.	88

RESUMEN

El presente trabajo denominado “Evaluación de Sistemas Alternativos de Tratamiento Proyectados para las Aguas Residuales Domesticas de los Municipios de Corozal y de Morroa ”, contiene una síntesis descriptiva del área de influencia del proyecto en sus aspectos biofísicos y de la problemática ambiental generada por el vertimiento crudo de las ARD a los cuerpos de agua receptores, con significativa incidencia en el desarrollo social, económico y paisajístico de zonas muy sensibles del departamento de Sucre.

El Ministerio de Medio Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial (MMAVDT) de Colombia , desde el año 2000, viene promulgando la Normatividad pertinente y creando los mecanismos para que los entes territoriales como Corozal y Morroa emprendan estudios que produzcan proyectos ingenieriles cuyos alcances é implementación propicien niveles satisfactorios de mejoramiento de la calidad de vida humana y de saneamiento ambiental del entorno.

En éste trabajo se evalúan de manera preliminar cuatro diferentes alternativas de tratamiento de las aguas residuales domésticas de los municipios de Corozal y de Morroa, a nivel de estudios, que posibilitarán a las autoridades y a las comunidades inherentes, el logro de una solución tecnológica limpia, caracterizada por el cumplimiento de las normas ambientales y por la generación de residuos aprovechables, siendo así una importante contribución al desarrollo regional integral.

Los autores plantean esquemas de los procesos alternativos de tratamiento de aguas residuales domésticas para Corozal y Morroa, recomendando un sistema anaerobio basado en la utilización de Reactor PAMLA, sistema con el que se alcanzan las metas de eficiencia y de manejo integral normatizados.

ABSTRACTS

The present work compound number "Evaluation of Projected Alternative Systems of Treatment for the Waste waters Tames of the Municipalities of Corozal and of Morroa ", it contains a descriptive synthesis of the area of influence of the project in its biophysical aspects and of the environmental problem generated by the raw hurtle from the WWD (Waste Water Domestic) to the bodies of water receivers, with significant incidence in the social, economic and Environmental development of very sensitive areas of the department of Sucre.

The Ministry of Environment, Housing and Territorial Development of Colombia (MMAVDT, for their initials in Spanish), from the year 2000, it comes promulgating the pertinent regulation and creating the mechanisms so that the territorial entities as Corozal and Morroa undertake studies that engineering projects whose you reach and implementation take place they propitiate satisfactory levels of improvement of the quality of human life and of environmental reparation of the environment.

In this work is evaluated in way preliminary four different alternatives of treatment of the domestic waste waters of the municipalities of Corozal and Morroa, at level of studies that will facilitate to the authorities and the inherent communities, the achievement of a clean technological solution, characterized by the execution of the environmental norms and for the generation of profitable residuals, being this way an important contribution to the integral regional development.

The authors outline sketches of the alternatives processes of treatment of domestic waste waters for Corozal and Morroa, recommending a system anaerobe based on the use of Reactor UASB, system with which the goals of efficiency are reached and of handling integral regulated.

INTRODUCCIÓN

Colombia es uno de los pocos países en el mundo dotado de una gran riqueza natural en extensión. Por ejemplo, nuestro territorio ocupa aproximadamente el 0.7% de la superficie emergida de la tierra y aún así posee cerca del 10% de todas las especies animales y vegetales del planeta Tierra; también gracias a la variedad climática de nuestras regiones y a su ubicación geográfica posee grandes recursos hídricos como muy pocos países. Pero a pesar de estas maravillosas cifras nuestro país vive hoy día la sorprendente y triste paradoja de su ya notable destrucción debido a la creciente contaminación ambiental en los últimos años.

Según la Organización Mundial de la Salud, OMS y conclusiones de la Cumbre de Johannesburgo, de nuestra geografía nacional anualmente desaparecen 600 Hectáreas de cobertura boscosa presentando una de las mayores tasas de agotamiento de fuentes de agua.

Derrame de petróleos, productos relacionados con explotaciones tanto mineras como agrícolas, aguas residuales domésticas crudas, basuras de todo tipo y residuos industriales, están contaminando ríos, suelos y cuerpos de agua con índices extremadamente preocupantes según lo establece el Ministerio del Medio Ambiente Vivienda y Desarrollo Territorial, MMAVDT, creado a partir de la constitución de 1991 y mediante la Ley 99 de 1993 con el nombre de Ministerio de Medio Ambiente. Sólo desde hace diez años en Colombia se empiezan a crear los mecanismos legales para iniciar la implementación de acciones de control y asesoría orientadas a la protección y la conservación del entorno.

Pero sin duda, el factor preponderante de contaminación en nuestro país lo constituye la nula ó ineficiente disposición y tratamiento de las aguas residuales domésticas urbanas. Para regular la relación de las acciones ingenieriles

sanitarias con los recursos naturales, y evitar impactos ambientales sin control alguno, el hoy MMAVDT promulgó en el año 2000 el Reglamento Técnico del Sector Agua Potable y Saneamiento Básico (RAS – 2000), acompañado de la promulgación a través de las CAR 's de la Reglamentación de las Zonas Ambientales Territoriales, cuyo propósito es fijar los criterios básicos y requisitos mínimos que deben reunir los diferentes procesos involucrados en la conceptualización, el diseño, la construcción, la supervisión técnica, la puesta en marcha, la operación y el mantenimiento de los **sistemas de tratamiento de aguas residuales**, entre otros, que se desarrollen en la República de Colombia, con el fin de garantizar su seguridad, durabilidad, funcionalidad, calidad, eficiencia, **sostenibilidad** y redundancia dentro de un nivel de complejidad determinado.

En las ciudades de Corozal y Morroa el servicio de alcantarillado sanitario sin tratamiento de las aguas servidas en las áreas urbanas es la mayor problemática ambiental que presentan éstas comunidades, agudizada por el vertimiento de los residuos sólidos en los Arroyos Morroa y Grande, en el área de las jurisdicciones municipales. Las aguas residuales son vertidas directamente a los arroyos desde los colectores del sistema conjunto de alcantarillado sanitario de éstos dos municipios; aguas arriba, en el municipio de Sincelejo y en las Instalaciones de la Primera Brigada de Infantería de Marina, también son vertidas, igualmente sin tratamiento alguno y sin tratamiento óptimo, respectivamente.

Las aguas residuales generadas en la Escuela de Carabineros “ Rafael Núñez ”, es también otro foco contaminante; sus desechos los vierte al Arroyo El Floral y éste recorre gran parte de las zonas habitadas, afectando a varios barrios del sector Nororiental del municipio de Corozal. Sin atenuantes se necesita urgentemente que se solucionen ésta problemática.

Cabe resaltar que en el departamento de Sucre, las aguas superficiales son usadas exclusivamente en labores agropecuarias. En el caso puntual de los

municipios de Corozal y Morroa son las aguas subterráneas del acuífero Morroa la única fuente de abastecimiento de agua potable tal como acontece para la totalidad de los municipios de la Subregión Sabanas y parte de los municipios de la Subregión Montes de María. Por tal razón la protección, conservación y uso sostenible de éste recurso hídrico debe ser prioridad para garantizar la supervivencia de la población y su desarrollo económico. En tal sentido el análisis de diversas alternativas para el tratamiento de las aguas residuales producidas y vertidas en el área de Recarga del acuífero es una responsabilidad inmediata de los Gobiernos Nacional, Departamental y Municipal, alternativas que hemos adecuado en el presente trabajo a las características de los municipios de Corozal y Morroa con el fin de obtener los mejores resultados, como en efecto se logró.

Como contribución de la Universidad de Sucre a la solución de esa problemática regional se realizó la presente investigación, como prerrequisito de grado para optar al título de Ingeniero Civil, con fundamentos científicos y tecnológicos, que permiten recomendar la implementación de acciones de tratamiento óptimas de las ARD en el marco de la sostenibilidad para el desarrollo de las comunidades, acciones que se deberán caracterizar por la minimización de la producción de residuos en el tratamiento, por los bajos consumos de energía en los procesos tecnológicos de tratamiento, por el aprovechamiento de los residuos finalmente producidos para su reincorporación a la cadena productiva regional.

OBJETIVOS DEL PROYECTO

Objetivo General

Evaluar sistemas alternativos propuestos para el tratamiento de las aguas residuales domésticas de la ciudad de Corozal y Morroa (Sucre), vertidas por el sistema de alcantarillado sanitario.

Objetivos Específicos

- Analizar los estudios y diseños existentes del sistema de tratamiento mediante lagunas de oxidación descubiertas.
- Realizar el diseño preliminar de los sistemas de tratamiento alternativos considerados:
 - Lagunas anaerobias cubiertas
 - Sistema Tipo PAMLA o RAFA (UASB)
 - Reactor anaeróbico
 - Lagunas Facultativa combinada con una de Maduración
- Analizar y comparar técnicamente los sistemas propuestos.
- Recomendar la alternativa óptima de tratamiento conjunto de las aguas residuales domésticas de Corozal y Morroa en el marco del reglamento RAS - 2000.

1. ESTADO DEL ARTE

1.1 CARACTERIZACIÓN DE AGUAS RESIDUALES

1.1.1 Fuentes de aguas residuales

Las aguas residuales son las aguas usadas y los sólidos que por uno ú otro medio se introducen en las cloacas y son transportados mediante el sistema de alcantarillado.

En general, se consideran aguas residuales domésticas (ARD) los líquidos provenientes de las viviendas ó residencias, edificios comerciales e institucionales. Se denominan aguas residuales municipales los residuos líquidos transportados por el alcantarillado de una ciudad o población y tratados en una planta de tratamiento municipal, y se llaman aguas residuales industriales las aguas residuales provenientes de las descargas de industria de manufactura.

Las aguas lluvias en ciudades modernas se recogen en alcantarillas separadas y se descargan directamente en el curso de agua natural sin ningún tratamiento. En ciudades que poseen un sistema de alcantarillado combinado se acostumbra a conducirlo a la planta de tratamiento.

1.1.2 Características de las aguas residuales

Las características de un agua residual, dependen de un programa de muestreo apropiado para asegurar representatividad de la muestra y un análisis de laboratorio de conformidad con normas estándar que aseguren precisión y exactitud en los resultados.

Aunque en la práctica existen caracterizaciones típicas de aguas residuales hay que recordar que cada agua residual es única en sus características y que en lo posible deben evaluarse en el laboratorio.

La cantidad y concentración de las aguas residuales es función de su origen y de sus componentes, por lo que las contribuciones por día varían de una ciudad a otra y de un país a otro.

1.1.3 Efectos de Polución por las Aguas Residuales

Toda agua residual afecta en alguna manera la calidad del agua de la fuente o cuerpo de agua receptor. Sin embargo, se dice que un agua residual causa polución solamente cuando introduce condiciones o características que hacen el agua de la fuente o cuerpo receptor inaceptable para el uso propuesto en la misma. En la siguiente tabla se muestra los efectos indeseados en las AR

Tabla 1 Efectos indeseados de las aguas residuales

Contaminante	Efecto
Materia orgánica biodegradable	Desoxigenación del agua, muerte de peces, olores indeseables.
Materia suspendida	Deposición en los lechos de los ríos; si es orgánica se descompone y flota mediante el empuje de los gases; cubre el fondo e interfiere con la reproducción de los peces o trastorna la cadena alimenticia.
Sustancias corrosivas, cianuros, metales, fenoles.	Extinción de peces y vida acuática, destrucción de bacterias, interrupción de la autpurificación.
Microorganismos patógenos	Las ARD pueden transportar organismos patógenos, los residuos de curtiembre ántrax.
Sustancias que causan turbiedad, temperatura, color, olor.	El incremento de temperatura afecta a los peces; el color, olor y turbiedad hacen estéticamente inaceptable el agua para uso público.
Sustancias o factores que trastoran el equilibrio biológico	Pueden causar crecimiento excesivo de hongos o plantas acuáticas, las cuales alteran el ecosistema acuático, causan olores, etcétera.
Constituyentes minerales	Aumentan la dureza, limitan los usos industriales sin tratamiento especial, incrementan el contenido de sólidos disueltos a niveles perjudiciales para los peces o la vegetación, contribuyen a la eutrofización del agua.

Fuente: Jairo Romero Rojas, Tratamiento de Aguas Residuales

1.1.4 Características de Importancia en Aguas Residuales

Dadas las características y variaciones en la descarga de aguas residuales (AR), al sistema de alcantarillado, los caudales de aguas residuales oscilan ampliamente durante el año, cambian de un día a otro y fluctúan de una hora a otra.

El conocimiento de las cargas hidráulicas, de la DBO y otros contaminantes presentes en las aguas residuales, es esencial para evaluar los factores de diseño y operación de una planta de tratamiento. En alcantarillado combinado se presenta una mayor concentración de material inorgánico que en alcantarillados separados, debido a la introducción de agua lluvias; así mismo, las variaciones de caudal y de concentración del AR son más extremas.

A continuación se expresan definiciones de las principales características, parámetros y pruebas de medición en relación con la calidad y tipo de aguas residuales

Acidez

La acidez de un agua es su capacidad cuantitativa de neutralizar una base fuerte a un pH de 8,2. La acidez se origina en la disolución de CO₂ atmosférico, en la oxidación biológica de la materia orgánica o en la descarga de aguas residuales industriales. Su efecto corrosivo en aguas residuales es de gran importancia, así como su posible efecto destructor o alterador de la flora y fauna de fuentes receptoras.

Ácido sulfhídrico

El ácido sulfhídrico (H₂S) es un producto de la descomposición anaerobia de las aguas residuales.

La corrosión de las alcantarillas y de las plantas de tratamiento está, a menudo, relacionada con la producción de H₂S. Al exponer el agua residual a la atmósfera se desprende H₂S y se detecta un claro olor ofensivo a huevo podrido.

Actinomicetes

Organismos heterotróficos, muy comunes en problemas operacionales de procesos de lodos activados, causantes de espumas en los tanques de aireación, pérdida de sedimentabilidad en los lodos y aumento de sólidos en el efluente.

Alcalinidad

La alcalinidad es una medida de su capacidad de neutralizar ácidos. La alcalinidad puede generarse por hidróxidos, carbonatos y bicarbonatos. Su capacidad para neutralizar ácidos y prevenir cambios bruscos de pH la hace importante en el tratamiento químico de aguas residuales, en los procesos de remoción biológica de nutrientes, en la remoción de amoníaco y en tratamientos anaerobios.

Algas

En lagunas fotosintéticas las algas proveen el oxígeno requerido para la actividad biológica aeróbica. Éstas usan los nutrientes y el dióxido de carbono producidos, estableciéndose una relación simbiótica algas-bacterias, responsable del tratamiento del agua.

Bacterias

Organismos eubacteriales procarióticos unicelulares. Son los organismos más importantes en la descomposición y estabilización de la materia orgánica. Así

mismo, los organismos bacteriales patógenos se pueden acompañar de excretas humanas las cuales originan uno de los problemas sanitarios más graves en áreas de malas condiciones sanitarias.

Bioensayos

El decreto 1594 de 1984 los define como el procedimiento por el cual las respuestas de organismos acuáticos se usan para detectar o medir la presencia o efectos de una o más sustancias, elementos, compuestos, desechos o factores ambientales solos o en combinación.

Los bioensayos, se usan para evaluar la toxicidad, propiedad que tiene una sustancia, elemento o compuesto, de causar daños en la salud humana o la muerte de un organismo vivo.

Carbohidratos

Grupos de compuestos de carbono, hidrógeno y oxígeno, en los cuales el hidrógeno y el oxígeno están en la misma relación que en el agua; muy comunes en aguas residuales.

Carbono orgánico total (COT)

Prueba instrumental para medir la cantidad total de carbono en el AR. Es otro medio para determinar la materia orgánica presente en el agua.

Cloruros

Son comunes en aguas residuales pues la contribución diaria por persona es de 6 a 9 gramos. Concentraciones altas pueden causar problemas de calidad de aguas

para riego y de sabor en aguas para reuso. En general, los métodos convencionales de tratamiento de aguas residuales no remueven cloruros. Los cloruros interfieren en el ensayo de la DQO. Los cloruros en concentraciones mayores de 15.000 mg/L son considerados tóxicos para el tratamiento biológico convencional.

Coliformes

Los organismos patógenos que pueden existir en las aguas residuales son difíciles de identificar. Por esta razón se prefiere utilizar a los coniformes como organismo indicador de contaminación.

Las bacterias coniformes son bacilos gram-negativos, aerobios y facultativos anaerobios, no formadores de esporas, que fermentan la lactosa con producción de gas en 48 +/- 3h a 35 o 37°C.

En la remoción de coniformes tiene efecto principal el tiempo de retención, la temperatura, la radiación ultravioleta, la concentración algas y el consumo por protozoos, rotíferos y dafnias.

Color

Las aguas residuales domésticas frescas son generalmente de color gris y a medida que el agua envejece cambia a color gris oscuro y luego a negro.

Compuestos orgánicos volátiles (C.O.V)

En aguas residuales es común encontrar compuestos orgánicos volátiles (COV), los cuales al ser emitidos a la atmósfera pueden constituirse en contaminantes

tóxicos para los usuarios o en gases orgánicos altamente reactivos, que pueden contribuir a la producción de ozono o de compuestos muy olorosos.

Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO)

La demanda bioquímica de oxígeno es la cantidad de oxígeno que requieren los microorganismos para oxidar (estabilizar) la materia orgánica biodegradable en condiciones aerobias.

La DBO es el parámetro más usado para medir la calidad de aguas residuales, para medir la cantidad de oxígeno requerido para estabilizar biológicamente la materia orgánica del agua, para diseñar unidades de tratamiento biológico, para evaluar la eficiencia en los procesos de tratamiento y para fijar las cargas orgánicas permisibles en las fuentes receptoras.

DBO nitrogenácea

La descomposición de la materia orgánica, produce material no carbonáceo como el amoníaco. Este material es oxidado por las bacterias nitrificantes en nitrito y nitrato, causando una demanda de oxígeno conocida como demanda bioquímica de oxígeno nitrogenácea.

Demanda química de oxígeno (DQO)

La demanda química de oxígeno (DQO) se usa para medir el oxígeno equivalente a la materia orgánica oxidable químicamente mediante un agente químico oxidante fuerte, en un medio ácido y a alta temperatura.

La DQO es útil como parámetro de concentración orgánica en aguas residuales industriales o municipales tóxicas a la vida biológica y se puede realizar en sólo tres horas.

Demanda teórica de oxígeno

Cundo se conoce la fórmula química de la materia oxidable del agua residual, es posible cuantificar estequiométricamente la demanda teórica de oxígeno (DTO).

Detergentes

Los detergentes son compuestos constituidos por moléculas orgánicas grandes, polares, solubles en agua y aceites, que tienen la propiedad de disminuir la tensión superficial de los líquidos en que se hallan disueltos.

Dióxido de carbono

Generalmente proviene de la atmósfera y de la descomposición microbial de sustancias orgánicas; disuelto en el agua reacciona para formar ácido carbónico.

Fenoles

Compuestos aromáticos comunes en aguas residuales de la industria del petróleo, del carbón, plantas químicas, fábricas de explosivos, de resinas y otras.

En aguas residuales se consideraron no biodegradables, pero se ha demostrado que son tolerables concentraciones hasta de 500 mg/L. Ejercen una alta demanda de oxígeno.

Fósforo

Es esencial para el crecimiento de protistas y plantas. Debido a los crecimientos indeseables de algas que ocurren en aguas superficiales, existe marcado interés en removerlo de las aguas residuales.

Grasas y aceites

Se consideran grasa y aceites los compuestos de carbono, hidrógeno y oxígeno que flotan en el agua residual, recubren las superficies con las cuales entran en contacto, causan iridiscencia y problemas de mantenimiento, e interfieren con la actividad biológica pues son difíciles de biodegradar.

Hongos

Los hongos son protistas aerobios, multicelulares, no fotosintéticos y heterotróficos. La mayoría se alimentan de materia orgánica muerta y constituyen, junto con las bacterias, los organismos principalmente responsables de la descomposición del carbono.

Materia orgánica

La materia orgánica de las aguas residuales es una combinación de carbono, hidrógeno, oxígeno y nitrógeno principalmente; con las proteínas, los carbohidratos, grasa y aceites como grupos más importantes.

Metales pesados

No existe una definición única de metales pesados que permita enumerarlos y clasificarlos. Algunos criterios usados para definirlos han sido:

- La densidad relativa del metal, mayor de cuatro o de cinco.
- La localización en la Tabla Periódica de los Elementos.
- La respuesta específica zoológica o botánica.
- La toxicidad del elemento.

Metano

Hydrocarburo combustible, incoloro e inodoro. Se produce en la descomposición anaerobia de la materia orgánica. En plantas de tratamiento de aguas residuales grandes se usa el gas de los digestores para generar electricidad y calentar los digestores.

Nitrógeno

Nutriente esencial para el crecimiento de protistas y plantas. Los datos del nitrógeno son necesarios para evaluar la tratabilidad de las aguas residuales por tratamiento biológico; un agua residual con contenido insuficiente de nitrógeno puede requerir la adición de nitrógeno para su adecuada biodescomposición.

Nocardia

Actinomiceto presente en tanques de aireación del proceso de lodos activados; se le asocia a problemas de espumas, lodo flotante e hinchado, e incremento de sólidos en el efluente.

Olor

Las aguas residuales frescas tienen un olor característico desagradable, mientras que las aguas residuales sépticas tienen un olor muy ofensivo.

Los olores de las aguas residuales constituyen una de las principales objeciones ambientales y su control en plantas de tratamiento es muy importante. Entre los problemas causados por la presencia en aguas de consumo se señalan pérdida del apetito por los alimentos, menor consumo del agua, dificultades respiratorias, náusea, vómito, perturbaciones mentales, deterioro de las relaciones humanas, entre otras.

Oxígeno disuelto

Gas de baja solubilidad en el agua, requerido para la vida acuática aerobia. La baja disponibilidad de oxígeno disuelto (OD) limita la capacidad autopurificadora de los cuerpos de agua y se hace necesario el tratamiento de las aguas residuales para su disposición en ríos y embalses.

Pesticidas

Los pesticidas son compuestos usados para impedir, destruir, repeler o controlar formas de vida tanto animales como vegetales.

pH

Medida de la concentración de ión hidrógeno en el agua, expresada como el logaritmo negativo de la concentración molar de ión hidrógeno.

POR

El potencial de oxidación reducción mide la cantidad relativa de materiales oxidados y reducidos, o la capacidad de ganar o perder electrones.

Proteínas

Compuestos de carbono, hidrógeno, oxígeno y nitrógeno de estructura química compleja e inestables, sujetos a muchas formas de descomposición, constituyen un componente esencial del protoplasma celular y de la dieta de todo animal.

Protozoos

Protista unicelular, aerobios o anaerobios. Los protozoos se alimentan de bacterias y otros microorganismos, por lo que son muy importantes en tratamiento biológico de aguas residuales, pues mejoran la calidad del efluente.

Sólidos

El contenido de sólidos de un agua afecta directamente la cantidad de lodo que se produce en el sistema de tratamiento o disposición.

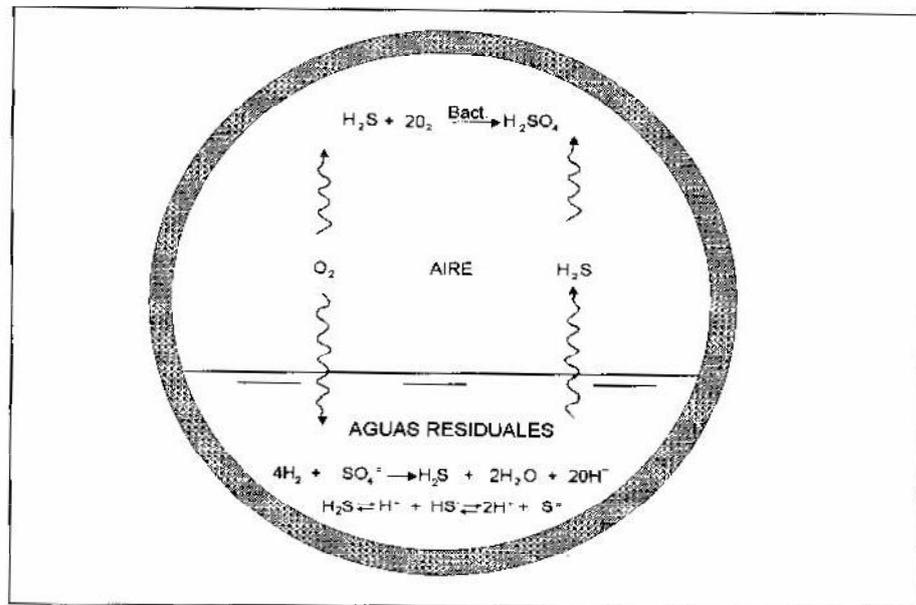
Sulfatos

Ión común en aguas residuales. En condición anaerobia origina problemas de olor y corrosión de alcantarillas.

Sulfuros

Las bacterias anaerobias reductoras de sulfatos utilizan el oxígeno de los sulfatos y producen ácido sulfhídrico. El ácido sulfhídrico es oxidado por las películas microbiales formadas en las paredes de los tubos, en sulfuros o en ácido sulfúrico. La formación microbiana de ácido sulfúrico puede causar problemas serios de corrosión y rotura de los tubos del alcantarillado. A continuación se muestra el proceso de corrosión en alcantarillas

Figura 1. Proceso de corrosión en Alcantarillas



Fuente: Jairo Romero Rojas, Tratamiento de Aguas Residuales

Temperatura

Es un parámetro importante en aguas residuales por su efecto sobre las características del agua, sobre las operaciones y procesos de tratamiento, así como sobre el método de disposición final.

La temperatura afecta y altera la vida acuática, modifica la concentración de saturación de oxígeno disuelto y la velocidad de las reacciones químicas y de la velocidad bacteriana.

Turbiedad

Constituye una medida óptica del material suspendido en el agua. En aguas residuales tratadas puede ser un factor importante de control de calidad.

Virus

Constituyen uno de los riesgos más importantes para la salud; se considera que para exterminarlos con cloro se requieren dosis superiores a la del punto de quiebre, lo cual hace necesario declorar las aguas residuales desinfectadas como fase del postratamiento antes del vertimiento.

1.2 MUESTRAS DE AGUAS RESIDUALES

1.2.1 Muestreo

Para la evaluación de las diferentes características de un agua residual se deben seguir los métodos normales o estándar, además esta requiere una técnica apropiada de muestreo que asegure resultados representativos del caudal global. Las muestras pueden ser simples o compuestas.

Las muestras instantáneas o muestras simples representan las características del ARD solamente para el instante de muestreo y en la mayoría de casos no es representativo. Las muestras simples son deseables cuando el flujo de agua no es continuo o cuando la descarga de contaminantes es intermitente o cuando el parámetro que se va a analizar puede cambiar de manera significativa; en general se usan para análisis de OD, Cloro residual, temperatura, pH, alcalinidad y acidez, coliformes, grasas y aceites.

Las muestras compuestas son preferibles cuando se desean conocerse resultados promedio. Esta muestra consta de una mezcla de muestras individuales simples tomadas a intervalos constantes de tiempo, para luego mezclar en proporción directa al caudal aforado en cada instante de muestreo y generar una sola muestra representativa.

Las consideraciones básicas para ejecutar con éxito un programa de muestreo son:

1. Definir el objetivo específico de la muestra.
2. Revisar la información existente sobre el agua que se va a muestrear.
3. Identificar las fuentes de los contaminantes.
4. Definir la variabilidad de la muestra.
5. Seleccionar la localización más representativa.
6. Establecer el horario representativo de la variabilidad de la muestra.
7. Definir las normas requeridas para satisfacer el objetivo propuesto.
8. Revisar los resultados y la necesidad eventual de muestras adicionales.
9. Elaborar un informe breve que permita satisfacer el objetivo propuesto y correlacione las concentraciones determinadas con los caudales observados.

Las muestras compuestas tienen en cuenta las variaciones de caudal y de características del agua residual, además de estos minimizan los costos de los análisis; estos resultados serían similares a los que se obtendrían en una muestra de un tanque de mezcla completa para el caudal muestreado.

Preservativos

Ciertas características del agua, especialmente de aguas residuales industriales, requieren para su determinación apropiada, que se agreguen preservativos que impidan la alteración del parámetro que se quiere analizar. Los preservativos se agregan al recipiente de muestreo antes de obtener la muestra o inmediatamente después de tomarla. Algunos de los preservativos usados y de los tiempos de almacenamiento máximo para diferentes parámetros se presentan en la siguiente tabla

Tabla 2. Preservativos y Periodos máximos de Almacenamiento

Parámetro	Preservativo	Período máximo de almacenamiento
Acidez - alcalinidad	Refrigeración a 4 ^o C	24 h
Calcio	Ninguno	7 d
Cianuros	NaOH para pH > 10	24 h
Cloruros	Ninguno	7 d
Color	Refrigeración a 4 ^o C	24 h
Conductancia específica	Ninguno	7 d
DBO	Refrigeración a 4 ^o C	6 h
DQO	2 mL de H ₂ SO ₄ /L	7 d
Dureza	Ninguno	7 d
Fenoles	1 g CuSO ₄ /L + H ₃ PO ₄ para pH 4,0	24 h
Fluoruros	Ninguno	7 d
Fósforo	40 mg HgCl ₂ /L	7 d
Grasas y aceites	2 mL H ₂ SO ₄ /L a 4 ^o C	24 d
Metales, disueltos	3 mL HNO ₃ 1+1/L filtrado	6 meses
Metales, total	5 mL HNO ₃ /L	6 meses
Nitratos	40 mg HgCl ₂ /L	7 d
Nitritos	40 mg HgCl ₂ /L	2 d
Nitrógeno amoniacal	40 mg HgCl ₂ /L a 4 ^o C	7 d
Nitrógeno Kjeldahl	40 mg HgCl ₂ /L	Inestable
OD	Determinar <i>in situ</i>	Ninguno
pH	Determinar <i>in situ</i>	Ninguno
Sólidos	Ninguno	7 d
Sulfatos	Refrigeración a 4 ^o C	7 d
Sulfuros	2 mL de acetato de zinc/L	7 d
Turbiedad	Ninguno	7 d

Fuente: Jairo Romero Rojas, Tratamiento de Aguas Residuales

Volumen de la muestra

La cantidad de muestra requerida para el análisis depende del número de parámetros que se desee determinar. En general, para el análisis de un solo constituyente se requiere por lo menos, 100 mL; para análisis de rutina de muestras simples, 2L y muestras compuestas, 4L.

1.3ANÁLISIS DE RESULTADOS DE LA CARACTERIZACIÓN DE LAS AGUAS RESIDUALES

La variabilidad de los flujos de aguas residuales, en cantidad y en composición, obliga a determinar sus características estadísticas para predecir o valorar los valores máximos, mínimos y promedios, así como su posible ocurrencia durante la operación del sistema de tratamiento. Estas características varían de una comunidad a otra y a través del tiempo, debido a diferencias en clima, consumos de agua, hábitos nutricionales y de vida.

El análisis estadístico de los diferentes parámetros de volumen, masa y calidad del agua sirve de base para elegir valores de diseño. Por ejemplo, para seleccionar el caudal de diseño se acostumbra a escoger el valor que garantice una capacidad hidráulica de la planta en exceso del caudal del 99%, mientras que para otros parámetros se usan valores para una frecuencia del 50%. Los gráficos sobre papel de probabilidad permiten cuantificar el valor del promedio de la mediana y de la desviación estándar de un conjunto de datos. Por otra parte, permiten desechar valores extremos máximos o mínimos que, de otra manera, desviarían el valor del promedio. En la preparación de los datos, y en su análisis, es conveniente recordar la metodología y el significado de los principales parámetros estadísticos usados para dicho propósito.

1.3.1 Métodos de Análisis

El papel de probabilidad es una de los más usados para la presentación de datos de calidad de agua. En el papel normal de probabilidad se grafica en la ordenada el parámetro de interés y en la abscisa el porcentaje de probabilidad o porcentaje de los valores del parámetro de interés que son iguales o menores a un valor determinado, si los datos obedecen a una distribución normal, los datos estarán ubicados todos sobre una recta. El gráfico sobre papel de probabilidad es muy útil

por que permite determinar la probabilidad de que un valor sea excedido o no, así como el valor de un parámetro para una determinada probabilidad.

Dos son los métodos recomendados para análisis y valoración estadística de datos de caudal, parámetros de calidad y cargas contaminantes del agua residual mediante el papel de probabilidad.

1.3.1.1 Método A

Se usa para un número de datos (n) menor de 20. el procedimiento es el siguiente.

1. se tabulan los datos en tres columnas.
2. en la primera columna se coloca el número de orden de cada dato (m), o número de posición dentro de la serie ascendente de datos, comenzando con el número 1.
3. en la segunda columna se ordenan los datos, en forma ascendente de magnitud.
4. en la columna 3 se calculan la frecuencia, probabilidad o porcentaje de ocurrencia del dato correspondiente, por la fórmula $f = \frac{(m-0.5)100}{n}$; en donde m y n representa número de orden de cada dato y número de datos consecutivamente.
5. sobre papel normal de probabilidad se grafica el valor del dato observado contra la frecuencia o probabilidad y se hace una regresión lineal de los datos mediante ajuste por mínimos cuadrados. En algunos casos la distribución correlaciona mejor, con una recta, sobre papel Log normal de probabilidad, indicando que distribución no es normal sino sesgada y que el promedio estadístico corresponde mejor con el promedio geométrico de los datos.

6. se determinan las características estadísticas de los datos, de acuerdo con la correlación obtenida.

1.3.1.2 Método B

Se usa para un número de datos (n) mayor de 20. el procedimiento es prácticamente el mismo del método A, pero para facilitar la elaboración del gráfico se clasifican los datos en aproximadamente 20 clases, agrupadas por incrementos iguales, y se grafica en la ordenada el valor promedio aritmético de los datos de cada clase y en la abscisa la frecuencia calculada por la formula $f = \frac{100m}{n+1}$; en donde m y n representa número de orden de cada dato y número de datos consecutivamente.

1.4 OBJETIVO DEL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

De acuerdo con los diferentes estudios y caracterizaciones, se ha afirmado que las cantidad total de excrementos humanos húmedos es aproximadamente de 80 a 270 gramos por persona por día, que la cantidad de orina es de 1 a 1.3 kilogramos por persona por día y que un 20% de materia fecal y un 2.5% de la orina son material putrescible; por consiguiente el agua residual doméstica cruda es putrescible, olorosa, ofensiva y un riesgo para la salud. Si se arrojan aguas crudas a un río o un cuerpo de agua, en exceso de la capacidad de asimilación de contaminantes del agua receptora, éste se verá disminuido en su calidad y su aptitud para los usos benéficos por parte del hombre.

El objetivo básico del tratamiento de aguas residuales es proteger la salud y promover el bienestar de los individuos miembros de la sociedad.

el crecimiento de la población, aumenta la necesidad de proveer sistemas de tratamiento o renovación que permita eliminar los riesgos para la salud, ya que todos estos desechos son vertidos a ríos o cuerpos e aguas receptoras generando este el problema de la polución del agua estos se consideran receptores naturales de la aguas residuales, con su correspondiente carga de contaminantes y nutrientes y estos constituyen el objeto de la regulación, por parte de la leyes, decretos y normas, para establecer la calidad apropiada del agua. En la legislación colombiana está expresada en el Reglamento Técnico RAS-2000 y en el Decreto 1594 de 1984.

Existen diferentes objetivos al concebir un sistema de tratamiento de aguas residuales, en los cuales se debe tener en cuenta la disponibilidad de recursos económicos y técnicos; los objetivos del sistema serian los siguientes:

- Remoción del DBO
- Remoción de sólidos suspendidos
- Remoción de patógenos

Posteriormente ha sido común agregar:

- Remoción de nitrógeno y fósforo

Finalmente se involucra:

- Remoción de sustancias orgánicas refractarias como los detergentes, fenoles y pesticidas.
- Remoción de trazas de metales pesados.
- Remoción de sustancias inorgánicas disueltas.

La complejidad del sistema de tratamiento es, por tanto, función de los objetivos propuestos. Teniendo en cuenta el gran número de operaciones y procesos

disponibles para tratamiento de aguas, es común hablar de pretratamiento, tratamiento primario, tratamiento secundario y tratamiento terciario o avanzado de aguas residuales.

1.4.1 Requisitos de tratamiento

La capacidad y eficiencia del sistema de tratamiento de aguas residuales las determina su diseño.

La variable de mayor influencia en un sistema de tratamiento de aguas residuales, es la cantidad y concentración de los residuos industriales. Las descargas individuales deben ser reguladas con el objetivo de controlar los vertimientos de aguas residuales industriales para garantizar un eficiente y aceptable sistema; estos controles consisten en la prohibición de descarga de materiales que pueden causar taponamiento, su corrosión o producir riesgos de explosión. Para la protección del sistema biológico de tratamiento secundario es necesario controlar el flujo de contaminantes orgánicos e inorgánicos tóxicos.

Las limitantes principales, para protección de las alcantarillas son las características siguientes:

- Acidez o alcalinidad excesiva, las cuales pueden causar reacciones químicas.
- Gases tóxicos y reactivos como el ácido sulfhídrico, el dióxido de azufre y los óxidos de nitrógeno.
- Sustancias explosivas.
- Grasas, aceites y sólidos suspendidos.
- Sustancias inflamables o tóxicas.

En lo referente a protección del sistema de tratamiento, las restricciones se refieren principalmente a:

- DBO y SS excesivamente altos.
- pH indeseable, menor de cinco y mayor de nueve.
- Temperatura excesiva.
- Sustancias Grasas y aceites en concentración excesiva.
- tóxicas inhibitorias del proceso biológico.

Artículo 72: Todo vertimiento a un cuerpo de agua deberá cumplir, por lo menos, con las siguientes normas:

Referencia	Usuario Existente	Usuario Nuevo
pH	5 a 9 unidades	5 a 9 unidades
Temperatura	< 40°C	< 40°C
Material flotante	Ausente	Ausente
Grasas y aceites	Remoción > 80% en carga	Remoción >80% en carga
Sólidos suspendidos, Domésticos o industriales	Remoción > 50% en carga	Remoción >80% en carga
DBO Para desechos Domésticos	Remoción > 30% en carga	Remoción >80% en carga
Para desechos Industriales	Remoción > 20% en carga	Remoción >80% en carga

1.5 PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DOMESTICAS

1.5.1 Generalidades

La selección de un proceso de tratamiento de aguas residuales, o de la combinación adecuada de ellos, depende principalmente de:

- Las características del agua cruda.
- La calidad requerida del efluente.
- La disponibilidad de terreno.
- Los costos de construcción y operación del sistema de tratamiento.
- La confiabilidad del sistema de tratamiento.
- La facilidad de optimización del proceso para satisfacer requerimientos futuros más exigentes.

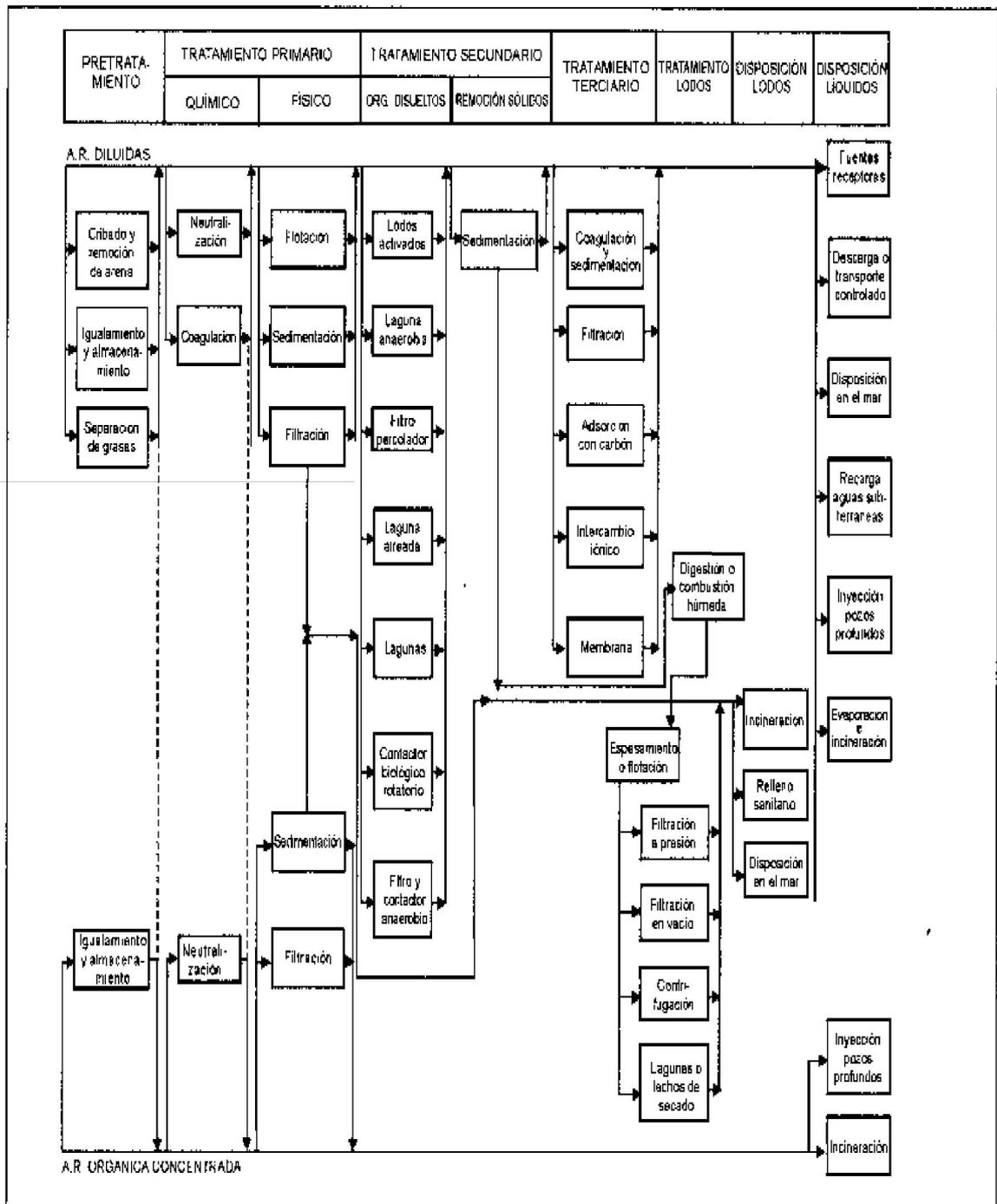
La mejor alternativa de tratamiento se selecciona con base en el estudio individual de cada caso, de acuerdo con las eficiencias de remoción requeridas y con los costos de cada una e las posibles soluciones técnicas. Para la selección del sistema de TAR se incluyen tabla

Tabla3. Procesos Aplicables en el tratamiento de Aguas Residuales

Contaminante	Proceso
DBO	Lodos activados, lagunas aireadas, filtros percoladores, unidades de contacto biológico rotatorio o biodiscos, lagunas facultativas aireadas o fotosintéticas, lagunas anaeróbicas, filtros anaeróbicos, proceso anaeróbico de contacto, reactores anaeróbicos de flujo ascensional (PAMLA o UASB).
Sólidos suspendidos	Sedimentación, flotación, cribado, filtración.
Compuestos orgánicos refractarios	Adsorción con carbón, intercambio iónico, electrodiálisis, ósmosis inversa.
Nitrógeno	Nitrificación - desnitrificación, intercambio iónico
Fósforo	Precipitación química, coprecipitación biológica, intercambio iónico.
Metales pesados	Intercambio iónico, precipitación química.
Sólidos disueltos inorgánicos	Intercambio iónico, electrodiálisis, ósmosis inversa.

Fuente: Jairo Romero Rojas, Tratamiento de Aguas Residuales

Figura 2. Procesos de tratamiento de Aguas residuales



Fuente: Jairo Romero Rojas, Tratamiento de Aguas Residuales

En la siguiente tabla se resumen las características de los efluentes y las eficiencias obtenibles de los principales procesos cuando operan en condiciones apropiadas.

Tabla 4. Calidades y Rendimientos obtenidos de los Procesos de Tratamiento de Aguas Residuales

Proceso	SS	DBO	DGO	BACT	N	NH ₃ -N	P	ABS	LAS	*
Adsorción con carbón, mg/L	<1	<2	<10	-	-	-	-	-	-	119
Cribado fino - % de remoción	2-20	5-10	5-10	10-20	-	-	-	-	-	67
Desarenadores - % de remoción	0-10	0-5	0-5	-	-	-	-	-	-	89
Sedimentación - % de remoción	50-65	30-40	30-40	-	10-20	0	10-20	-	-	89
Sedimentación - % de remoción	50-90	10-30	-	-	-	-	-	-	-	34
Sedimentación - % de remoción	40-70	25-40	20-35	25-75	-	-	-	-	-	67
Tanque séptico - % de remoción	-	-	-	-	-	-	-	2-3	2-3	68
Tanque séptico + campo de percolación - % de remoción	-	-	-	-	-	-	-	9,2	11,8	68
Tanque Imhoff - mg/L	80	120	350	-	35	25	9	74	97	68
Precipitación química - % de remoción	70-90	50-85	40-70	40-80	-	-	-	-	-	69
Precipitación química - mg/L	<10	-	-	-	-	-	<1	-	-	24
Flotación - % de remoción	70-95	10-50	-	-	-	-	-	-	-	34
Filtros percoladores tasa baja, mg/L	25	18	100	-	25	1	7	-	-	69
Filtros percoladores tasa baja, %	30	20	100	-	30	25	7	35	85	68
Filtros percoladores tasa alta, mg/L	60-85	65-80	60-80	-	15-50	8-15	8-12	-	-	69
Filtros percoladores tasa alta, %	-	-	-	-	-	-	-	-	-	89
Filtros percoladores, % de remoción	50-92	50-95	50-80	90-95	-	-	-	19	71	68
Biorreactores, mg/L	30	20	100	-	30	25	7	-	-	67
Biorreactores, % de remoción	80-85	80-85	80-85	-	15-50	8-15	10-25	-	-	69
Biorreactores, mg/L	25	18	100	-	25	3	7	-	-	69
Lodos activados, % de remoción	80-90	80-95	80-85	-	15-50	8-15	10-25	-	-	89
Lodos activados, % de remoción	55-95	55-95	50-80	90-98	-	-	-	45-50	95	68
Lodos activados, M.C., mg/L	20	15	90	-	25	20	7	-	-	67
Lodos activados, E y C, mg/L	20	15	90	-	25	20	7	-	-	69
Lodos activados, A.P., mg/L	20	15	90	-	30	2	7	-	-	69
Laguna aireada, mg/L	20	15	90	-	30	2	7	-	-	69
Zanjón de oxidación, mg/L	20	15	90	-	30	2	7	-	-	69
Lagunas anaerobias, mg/L	100	40	140	-	20	1	4	-	-	69
Lagunas facultativas, mg/L	120	40	160	-	20	1	4	-	-	69
Lagunas facultativas, % de remoción	85-95	90-95	70-80	95-98	-	-	-	<40	93	68
Disposición s/suelo, mg/L	-	-	-	-	-	-	-	-	-	67
• Riego	2	4	80	-	6	1	0-5	-	-	69
• Flujo sobre el suelo	4	6	90	-	10	4	3	-	-	69
• Infiltración - percolación	2	4	50	-	10	1	0-5	-	-	69
Cloración, % de remoción	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
A.R. crudas	-	15-30	-	90-95	-	-	-	-	-	-
A.R. tratadas	-	-	-	99	-	-	-	-	-	-

Fuente: Jaime Romero Rojas, Tratamiento de Aguas Residuales

1.5.1.1 Tratamiento de contaminantes inorgánicos

La presencia de metales pesados provenientes de aguas residuales industriales, como los indicados en la siguiente tabla, y de otros tóxicos inorgánicos, en concentraciones apreciables causan problemas de inhibición del tratamiento biológico así como la disposición de los lodos provenientes del sistema de tratamiento.

Tabla 5. Principales Metales en Aguas Residuales Industriales

Industria	As	Ba	B	Cd	Cr	Co	Cu	Fe	Pb	Mn	Hg	Ni	Se	Ag	Zn
Aleación	x			x		x									
Alimentos y bebidas								x						x	
Baterías	x			x											
Cerámica	x	x	x	x	x				x	x		x			
Cincado de metales			x	x	x	x	x	x	x	x		x		x	x
Cola animal					x										
Colorantes	x	x		x	x		x	x				x	x		
Cosméticos y farmacéuticos			x								x				
Curtiembres	x		x		x			x							
Desinfectantes			x								x				
Detergentes	x	x									x			x	
Eléctrica y electrónica		x					x				x		x		
Estirado de alambre			x				x	x							
Explosivos		x							x		x				
Fertilizantes	x		x	x			x	x		x					
Fotografía			x	x	x				x		x			x	x
Fundición		x					x	x		x		x	x		x
Fundición no ferrosa	x			x	x		x		x			x	x		x
Fungicidas				x							x				
Herbicidas	x		x												
Joyas							x							x	
Mechas									x	x					
Metalmúrgica	x	x	x	x	x		x	x	x	x	x	x	x	x	x
Minería de metales	x			x			x	x	x	x		x	x	x	x
Pesticidas	x										x		x		
Petróleo	x						x	x	x						
Pigmentos	x			x	x	x	x		x				x		x
Pinturas		x		x	x		x		x	x	x	x	x		x
Plástico				x							x				
Porcelana	x		x	x			x	x	x	x		x	x	x	x
Preservativos de madera	x		x		x		x				x				
Preservativos del cuero	x										x				
Pulpa, cartón y papel			x				x				x		x		x
Química inorgánica	x			x	x		x	x	x			x			x
Química orgánica	x			x				x							
Tapetes			x	x									x		
Textiles				x			x	x					x		x
Tintas					x					x				x	
Tipografía				x					x			x			x
Tuods de televisión				x					x						x
Vidrio	x	x	x	x	x	x				x			x		

Fuente: Jairo Romero Rojas, Tratamiento de Aguas Residuales

A continuación se describen los métodos convencionales para la remoción de los principales contaminantes inorgánicos, según investigaciones realizadas y promulgadas en el libro Tratamiento de Aguas Residuales de Jairo Romero

Arsénico

El tratamiento se hace mediante precipitación con cal o sulfuros, o por coprecipitación en la coagulación, con el hidróxido de aluminio o de hierro, este proceso genera grandes cantidades de lodo difícil de desaguar. El tratamiento más efectivo requiere una etapa previa de oxidación del arsénico en arsenato, mediante cloro, seguida de la precipitación y la sedimentación.

Bario

El sulfato de bario es relativamente soluble, por lo cual su remoción es por medio de la coagulación, agregando, en exceso sulfato de hierro o de sodio se puede lograr su sedimentación.

Cadmio

El proceso principal para remover cadmio es el de precipitación a pH entre 9 y 12. estos residuos contienen cianuro por lo cual se debe realizar un pretratamiento para destruir este elemento completamente y así precipitar luego el cadmio, la cual se puede realizar con cal o soda cáustica; para una buena remoción se debe realizar una filtración.

Cianuro

El método más usado para tratamiento es el de cloración alcalina. El proceso se realiza en dos etapas. La primera para maximizar la conversión de cianuro en cianato, el cual se remueve mediante la cloración adicional en la segunda etapa.

Cobre

El método convencional de tratamiento es el de precipitación, el cual se logra usando mucho la cal y la soda cáustica y un pH óptimo de 9 a 10.3 aunque se han reportado pH de operación muy inferiores.

Cromo hexavalente

El método más usado para remover cromo hexavalente es el de reducirlo de Cr^{+6} a Cr^{+3} y luego precipitarlo como hidróxido. Algunas industrias utilizan intercambio iónico para removerlo y usarlo; el procedimiento convencional consiste en reducir, con H_2SO_4 , el pH a un valor entre 2 y 3 para obtener ácido crómico y posteriormente convertir el cromo hexavalente en cromo trivalente con un agente reductor como el dióxido de azufre, el bisulfito de sodio o el sulfato ferroso.

Cromo total

El cromo total es la suma del cromo hexavalente más el cromo trivalente. En el control del cromo, mediante el proceso de reducción y precipitación, se requiere la ejecución efectiva de tres etapas secuenciales: reducción del cromo hexavalente a cromo trivalente, precipitación del cromo trivalente y remoción del cromo precipitado.

Fluoruros

La tecnología dominante para control de fluoruros industriales es la de precipitación con cal para formar fluoruro de calcio. Como se requiere un pH mayor de 12 y dosis altas de cal, no se recomienda usar filtración para prevenir riesgos de cementación del filtro.

Hierro

Muchas aguas residuales industriales son ácidas y, por consiguiente, poseen grandes cantidades de hierro ferroso soluble. La secuencia principal de tratamiento supone oxidación de hierro ferroso en hierro férrico, precipitación y clarificación.

Manganeso

Sólo las sales manganosas y el anión permanganato heptavalente son apreciablemente solubles. El permanganato es un oxidante fuerte que, en circunstancias normales, se reduce a dióxido de manganeso insoluble. La tecnología para remoción de manganeso incluye la conversión del ion manganoso soluble en un precipitado insoluble por oxidación de ion manganoso y su separación como óxido e hidróxido insoluble por sedimentación y filtración.

Mercurio

Para remoción de mercurio se utiliza tratamiento por intercambio iónico o por coagulación. El intercambio iónico supone la formación de cloruro mercurio, con carga negativa, mediante la adición de cloro hipoclorito. El proceso de coagulación, para remover mercurio, se ha empleado con éxito para mercurio orgánico e inorgánico. Tanto sales de hierro como de aluminio producen remoción de mercurio, aunque la coagulación con hierro forma flor de mejor asentamiento.

Níquel

El procedimiento convencional para control de níquel en residuos industriales es el de precipitación, aunque también se ha usado ósmosis inversa. La precipitación óptima ocurre a pH mayor de 9.5 aunque con tratamiento con cal, el hidróxido de

níquel tiene malas características de sedimentabilidad y, por tanto, requiere sedimentación prolongada y filtración.

Plata

La plata se remueve, básicamente por su valor económico y no por razones de limitación de calidad del efluente. Entre los procesos utilizados se mencionan la evaporación, coprecipitación con cloruro férrico e intercambio iónico.

Plomo

Las aguas residuales con plomo precipitan bien con cal y tiene una sedimentabilidad excelente. Las aguas residuales con plomo tratadas con soda cáustica requieren filtración para alcanzar un buen efluente.

Selenio

La forma más común, en aguas residuales de la industria del papel y de minería del sulfuro metálico, es el ion selenioso. El selenio se remueve por precipitación como sulfuro a un pH de 6.6, obteniendo efluentes con 0.05mg/L.

Zinc

El método común para remover zinc es el de precipitación. Para la precipitación se usan cal y soda cáustica; el proceso requiere aplicación de una dosis adecuada para lograr pH óptimo, acompañada de sedimentación y filtración.

1.5.1.2 Tratamiento de contaminantes orgánicos

La materia orgánica en aguas residuales se constituye básicamente de proteínas (40 a 60%), carbohidratos (25 a 50%), y grasas a aceites (8 a 12%). La urea, el

mayor constituyente de la orina, es otro componente orgánico importante que hace parte de las aguas residuales frescas. En la actualidad los estudios de presencia de materia orgánica en aguas residuales incluye los siguientes parámetros; según lo establece el decreto 1594 del año 1984.

- **Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO)**

La DBO es el método mas usado con mayor frecuencia en el campo de tratamiento de las aguas residuales. Si existe suficiente oxígeno disponible, la descomposición biológica aerobia de un desecho orgánico continuara hasta que el desecho se haya consumido.

- **Demanda Química de Oxígeno (DQO)**

Es la medida de la cantidad de oxígeno requerido para oxidación química de la materia orgánica del agua residual, usando como oxidantes sales inorgánicas de permanganato o dicromato en un ambiente ácido y a altas temperaturas.

1.6 INFORMACIÓN GENERAL DEL ÁREA DE ESTUDIO

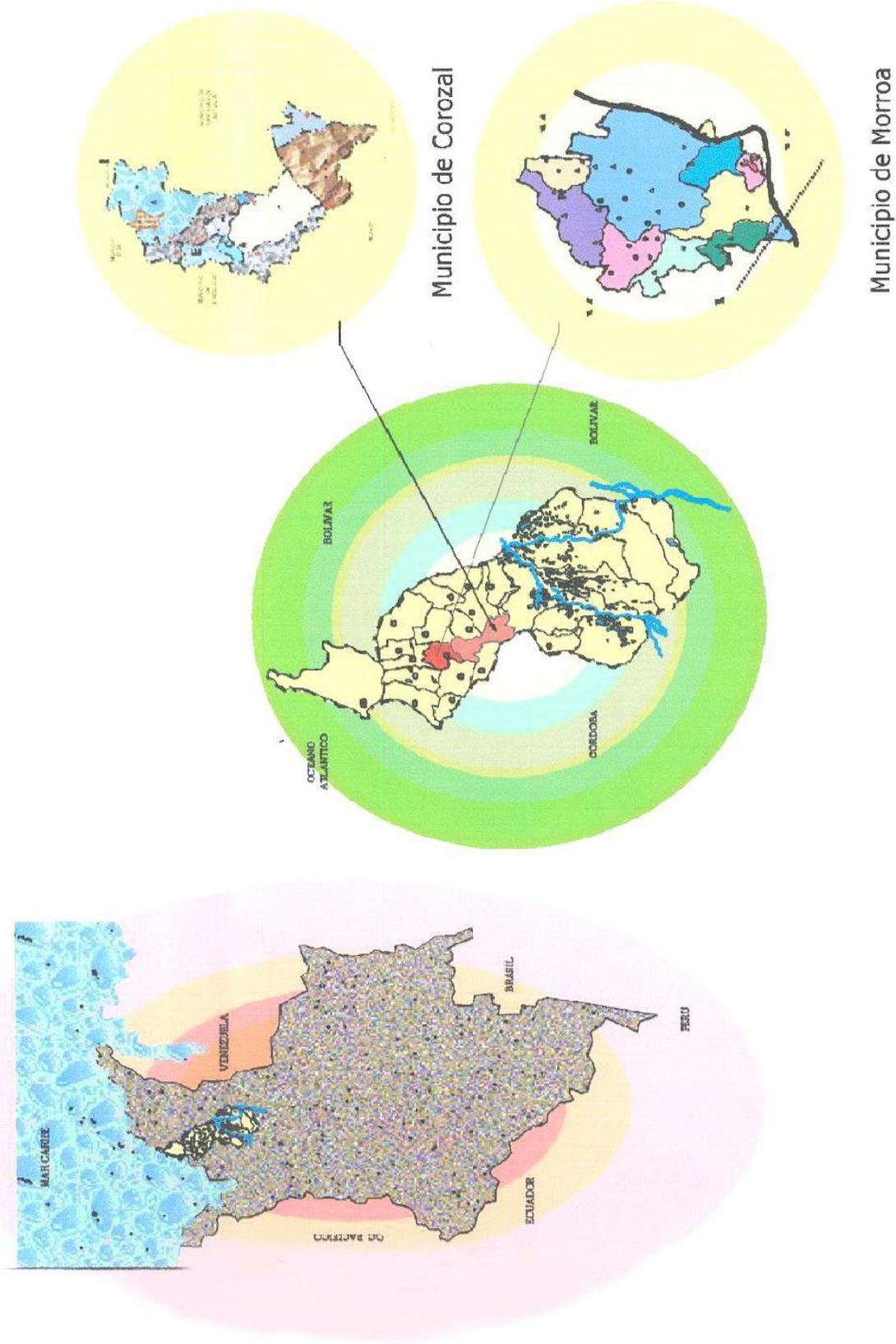
El área de investigación está localizada en los municipios de Corozal y Morroa en el Departamento de Sucre. Limita por el Norte con los Municipios Los Palmitos, por el Este con los municipios San Juan de Betulia y Sincé, por el Sur con el municipio del Roble y por el Oeste con los municipios de Sincelejo y Sampués. La cabecera municipal de Corozal se encuentra a 174 m.s.n.m. Dista de la ciudad de Cartagena 195 Km y 956 Km de la capital de la república. El área municipal de Corozal cuenta con una extensión de 203.33Km² de los cuales el 4.1% pertenece a suelo urbano y el 95.9% pertenece a suelo rural; la cabecera municipal de Morroa se encuentra a 160 m.s.n.m., el área municipal cuenta con una extensión de 172 km² de los cuales es el 1.53% del área total del departamento. Los municipios se encuentran construidos en las extensas sabanas de la llanura del caribe, al pie de las últimas y bajas estribaciones de la serranía de San Jerónimo.

El territorio en general es plano, bañado por un buen número de arroyos. La temperatura media de Corozal y Morroa es de 27.2°C y se mantienen precipitaciones medias anuales de 1105.6 mm.

De acuerdo con el censo nacional de población y vivienda realizado en 1993, por el Departamento Administrativo Nacional de Estadísticas DANE, se estableció que la población total correspondiente a la cabecera de los municipios de Corozal y Morroa era de 32.887 y 3713 habitantes, respectivamente y con el método geométrico de proyección de población determinamos que la cantidad de pobladores para el año 2005 es de 41417 para Corozal con una tasa de crecimiento del 1.12% y 7067 habitantes para Morroa con una tasa de 5.75% (datos obtenidos del P.O.T. de Corozal y el EOT de Morroa).

Actualmente en el departamento de Sucre y más concretamente en los municipios de Corozal y Morroa, el sistema recomendado en materia de tratamiento de aguas residuales domésticas consta básicamente de una serie de procesos físicos y biológicos, los cuales fueron diseñados teniendo como base las condiciones ambientales y topográficas del lugar, así como las capacidades financieras y técnicas de la región, pero estos diseños que reposaban en la Alcaldía de Corozal fueron realizados en año 1993 y como ha la fecha no se ha construido el sistema éste debe revisarse debido al aumento de la población en estos 12 años y la posterior reglamentación técnica en el sector sanitario en Colombia. Inicialmente de había concebido realizar sistemas de tratamientos separados (Morroa y Corozal). En Morroa se había iniciado la construcción del sistema el cual estaba basado en lagunas, pero este proyecto fue suspendido debido a que no cumplía con la reglamentación (cercanía de zona urbanizada), en la actualidad las aguas servidas son vertidas parcialmente al Arroyo Morroa y en parte conectada al sistema de alcantarillado del municipio de Corozal y estas a su vez vertidas al Arroyo Grande de Corozal. Las administraciones municipales convinieron unir sus sistemas de recolección de aguas residuales con el fin de reducir costos económicos y ambientales.

Figura No. 3 Localización



El terreno destinado por la administración municipal de Corozal para la construcción de una planta de tratamiento de aguas residuales está localizado al extremo oriental del municipio, aguas abajo de la confluencia de los colectores nororiental y sur, este último recogerá las aguas de Morroa y parte de las ARD de Corozal; el colector nororiental se encargará de recoger el resto de las ARD del municipio. La zona destinada para el sistema se localiza a la margen izquierda de la carretera al municipio de Betulia, a una distancia aproximada de 5 Km. del centro urbano de Corozal.

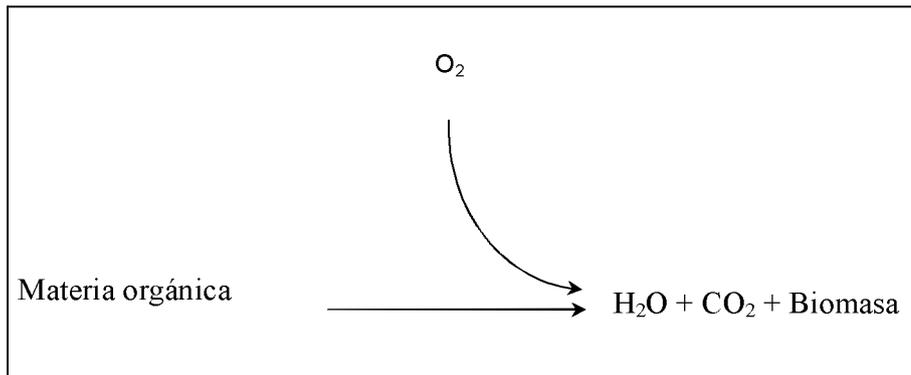
1.7 PRINCIPIOS DEL TRATAMIENTO BIOLÓGICO

El tratamiento de aguas residuales mediante la actividad biológica, busca principalmente remover contaminantes, sustancias orgánicas biodegradables, coloidales o disueltas, del agua residual, mediante su conversión en gases que se dispersan a la atmósfera y en biomasa extraíble mediante procesos de sedimentación. La actividad biológica también se usa para remover nitrógeno y fósforo del agua residual.

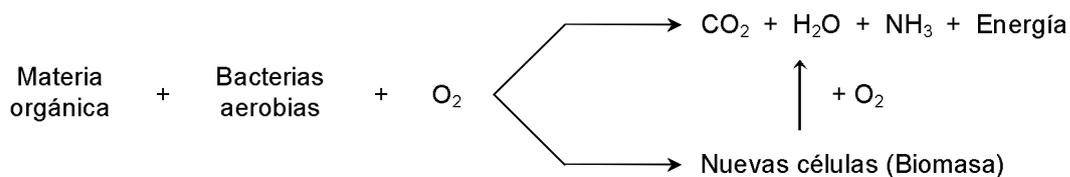
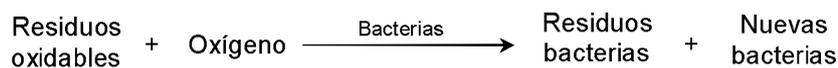
Según la presencia o ausencia de oxígeno libre, los procesos biológicos pueden clasificarse en cuatro grupos principales: *aerobios*, *anaerobios*, *anóxicos* y *combinados*, anóxicos con aerobios o con anaerobios.

1.7.1 Procesos aerobios.

Son procesos de respiración de oxígeno en los cuales el oxígeno libre es reducido, siendo finalmente el aceptador de electrones y el carbono presente en la materia orgánica e inorgánica, es oxidado. Todos aquellos organismos que emplean oxígeno libre como aceptador de electrones son aerobios.



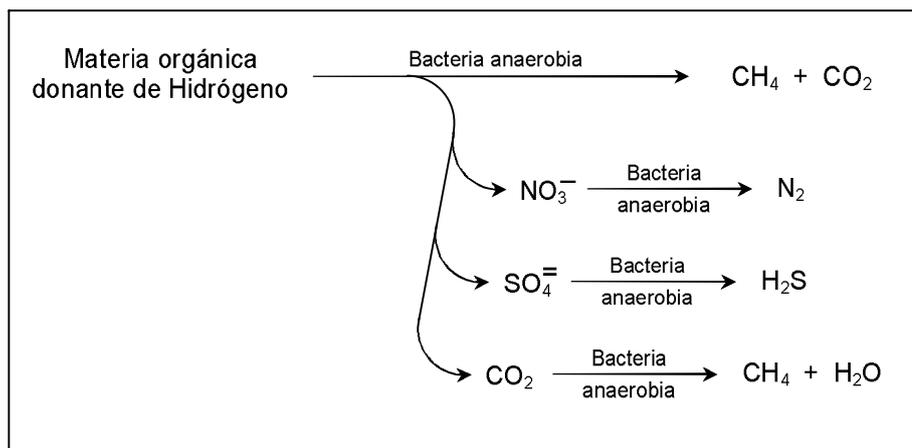
Debido a que el metabolismo microbioal comprende una serie de reacciones de gran complejidad, podemos representar el proceso de oxidación aerobia mediante las siguientes ecuaciones verbales.



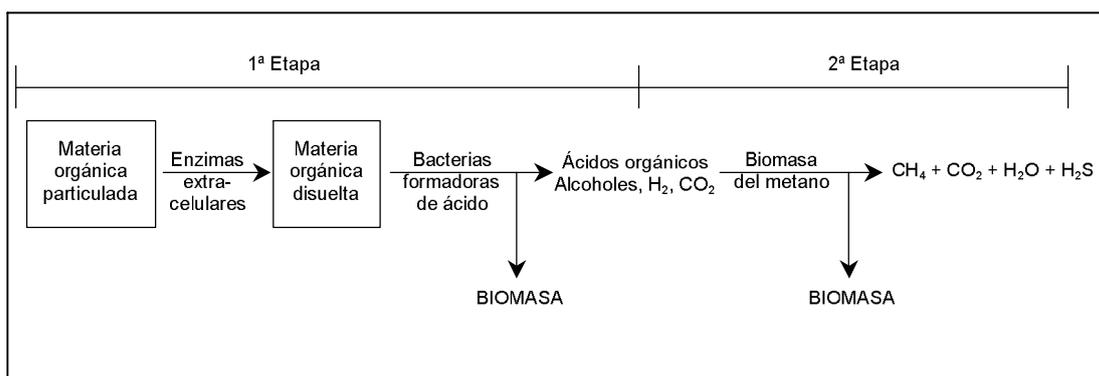
Debido al papel que desempeñan en el tratamiento aerobio de aguas residuales, bacterias tales como *Zooglea ramigera*, *Pseudomonas*, *Flavobacterium* y *Aicaligenes*, se constituyen como los organismos más importantes de todo el proceso debido a que son excelentes oxidadores de la materia orgánica y crecen bien en aguas de tal tipo, siendo capaces de formar una capa floculenta gelatinosa de muy buenas características para la remoción de la materia orgánica.

1.7.2. Procesos anaerobios

A este proceso también se le conoce como fermentación y es la descomposición u oxidación de compuestos orgánicos en ausencia de oxígeno libre de tal manera que se pueda obtener la energía requerida para el crecimiento y mantenimiento de los organismos anaerobios. Este proceso puede representarse esquemáticamente de la siguiente manera.



El proceso microbio anaerobio también es muy complejo y está integrado por múltiples reacciones paralelas y en serie, interdependientes entre sí. Pero podemos considerar el proceso anaerobio de descomposición de la materia orgánica integrado por dos etapas: fermentación de ácidos y fermentación de metano, que ocurren simultáneamente.



1.7.3 Procesos Anóxicos

También conocidos como fermentación anóxica o proceso de respiración de nitrato y consiste en una serie de reacciones que buscan la reducción del nitrato o nitrito utilizándolos como aceptadores de electrones, en ausencia de oxígeno libre. Este proceso también se conoce como desnitrificación anaerobia, pero como las vías principales de conversión bioquímica no son anaerobias sino una modificación de las vías aerobias, se ha optado por denominarlo apropiadamente como proceso anóxico.

La única diferencia entre la respiración anóxica y la aerobia radica en la enzima que cataliza la transferencia final de electrones. Para lograr la desnitrificación debe excluirse el oxígeno pues de existir simultáneamente nitrato y oxígeno, los microorganismos prefieren el oxígeno como aceptador de electrones.

En la actualidad se conocen catorce géneros de bacterias desnitrificantes, los grupos más citados son *Bacillus*, *Pseudomonas*, *Methanomonas*, *Paracoccus*, *Spirillum* y *Thiobacillus*.

1.7.4 Aspectos comparativos

Una de las ventajas y quizás la más importante del proceso anaerobio es su baja tasa de síntesis o bajo porcentaje de conversión de materia orgánicas en células biológicas. En el proceso aerobio no hay malos olores, la mineralización de los componentes oxidables es total, se requiere energía externa para aireación y mezcla y existe una producción alta de biomasa o sea de lodos de desecho. En el proceso anaerobio, el sustrato no es completamente mineralizado, la energía se almacena en el metano y se obtiene menor biomasa.

Para sintetizar una unidad de masa celular, aerobia o anaerobiamente, se requiere la misma cantidad de energía y las mismas cantidades de carbono, hidrógeno,

nitrógeno, fósforo y demás nutrientes. Como la energía obtenida por transferencia de electrones en el proceso aerobio es mucho mayor que en el proceso anaerobio, por tanto este último produce menos biomasa. En síntesis, la producción de biomasa anaerobia es 19 veces menor que la producción aerobia.

1.7.5 Proceso ascensional de manto de lodos anaerobio, PAMLA

El reactor o proceso de flujo ascensional y manto de lodos anaerobio, conocido en inglés como UASB y en español como RAFA o PAMLA, es un proceso en el cual el agua residual se introduce por el fondo del reactor y fluye a través de un manto de lodos conformado por granos biológicos o partículas de microorganismos.

El tratamiento se efectúa por contacto del agua residual con el lodo granulado o floculento, en el cual se deben desarrollar bacterias con buenas características de sedimentación, bien mezcladas por el gas en circulación. La concentración de SSV en el manto de lodos puede alcanzar los 100g/lt.

Tabla 6. Principales procesos de tratamiento biológico.

Tipo	Crecimiento	Proceso	Uso principal
Aerobios	Suspendido	Lodos activados Convencional Mezcla completa Aireación escalonada Estabilización y contacto Oxígeno puro Tasa alta Aireación prolongada Proceso Krauss Zanjón de oxidación	Remoción de DBO y nitrificación
		Lagunas aireadas	Remoción de DBO y nitrificación
		Digestión aerobia	Remoción de DBO - estabilización
		Lagunas aerobias	Remoción de DBO y nitrificación
	Adherido	Filtros percoladores Tasa baja Tasa alta	Remoción de DBO y nitrificación

		Torres biológicas	Remoción de DBO y nitrificación
		Unidades rotatorias de contacto biológico	Remoción de DBO y nitrificación
		Reactores de lecho fijo	Remoción de DBO y nitrificación
Anóxicos	Suspendido	Bardenpho	Remoción de DBO, N y P
		Desnitrificación	Remoción de nitrógeno
	Adherido	Desnitrificación	Remoción de nitrógeno
Anaerobios	Suspendido	Digestión anaerobia	Remoción de DBO - estabilización
		Anaerobio en contacto	Remoción de DBO
	Híbrido	Lagunas Anaerobias Manto de lodos – flujo Ascensional (PAMLA) o UASB	Remoción de DBO - estabilización Remoción de DBO y SS
	Adherido	Filtro anaerobio	Remoción de DBO - estabilización
		Lecho expandido	Remoción de DBO - estabilización

Fuente: Jairo Romero Rojas en tratamiento de Aguas residuales

Figura 4. Proceso Ascensional de manto de Lodos Anaerobios Pamla



Los gases de la digestión anaerobia se adhieren a los granos o partículas biológicas o causan circulación interna para proveer la formación de más granos. El gas libre y las partículas con gas adherido se elevan hacia la parte superior del reactor. Las partículas que se elevan chocan con el fondo de las pantallas desgasificadoras para que el gas se libere. Los granos desgasificados caen de nuevo sobre la superficie del manto de lodos y el gas libre se captura en los domos localizados en la parte superior del reactor. La porción líquida fluye al sedimentador donde se separan los sólidos residuales del líquido. Esta recirculación interior de sólidos removidos permite edades de lodos prolongadas y hace innecesaria la recirculación externa de lodos.

El mecanismo de formación de lodo granulado aún no está claramente definido; sin embargo, se considera que aguas residuales diluidas con concentraciones de SST menores de 1000 a 2000 mg/lit dan origen a un manto de lodos mejor.

Estudios realizados por Lettinga y Hulshoff ¹ demuestran que la eficiencia del sistema PAMLA no se ve afectada por la formación de un lecho de lodos granular o floculento.

Este sistema de tratamiento de aguas residuales domésticas requiere una temperatura óptima del proceso de 20 a 30°C, razón por la cual no ha sido usado en Europa pero en Colombia la Universidad del Valle inició estudios en 1981 con una planta piloto para el tratamiento de aguas residuales con asesoría holandesa. Con base en tales estudios las empresas municipales de Cali y la Corporación Autónoma Regional para la Defensa de la Meseta de Bucaramanga (CDMB) iniciaron la construcción de plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas del tipo PAMLA.

¹ Holanda, 1980.

Existen ventajas significativas en el uso de UASB, notablemente el tamaño compacto de dicho tipo de sistema, sin prácticamente ningún equipo en el recipiente anaeróbico. Esto resulta en menores costos de construcción y operación, menor consumo de energía y menor producción de lodo en exceso.

Pero en síntesis, las principales ventajas son:

- Sistema compacto, utilizando un área de superficie pequeña.
- Prácticamente no se requiere ningún equipo en el proceso anaeróbico, con costos bajos de construcción y operación.
- Consumo de energía muy bajo.
- Se produce poco lodo en exceso.
- El lodo en exceso tiene una buena concentración (aproximadamente 5 a 6%), con buenas características de secado.
- No se requieren aparatos de calefacción en climas cálidos (como el de Brasil).

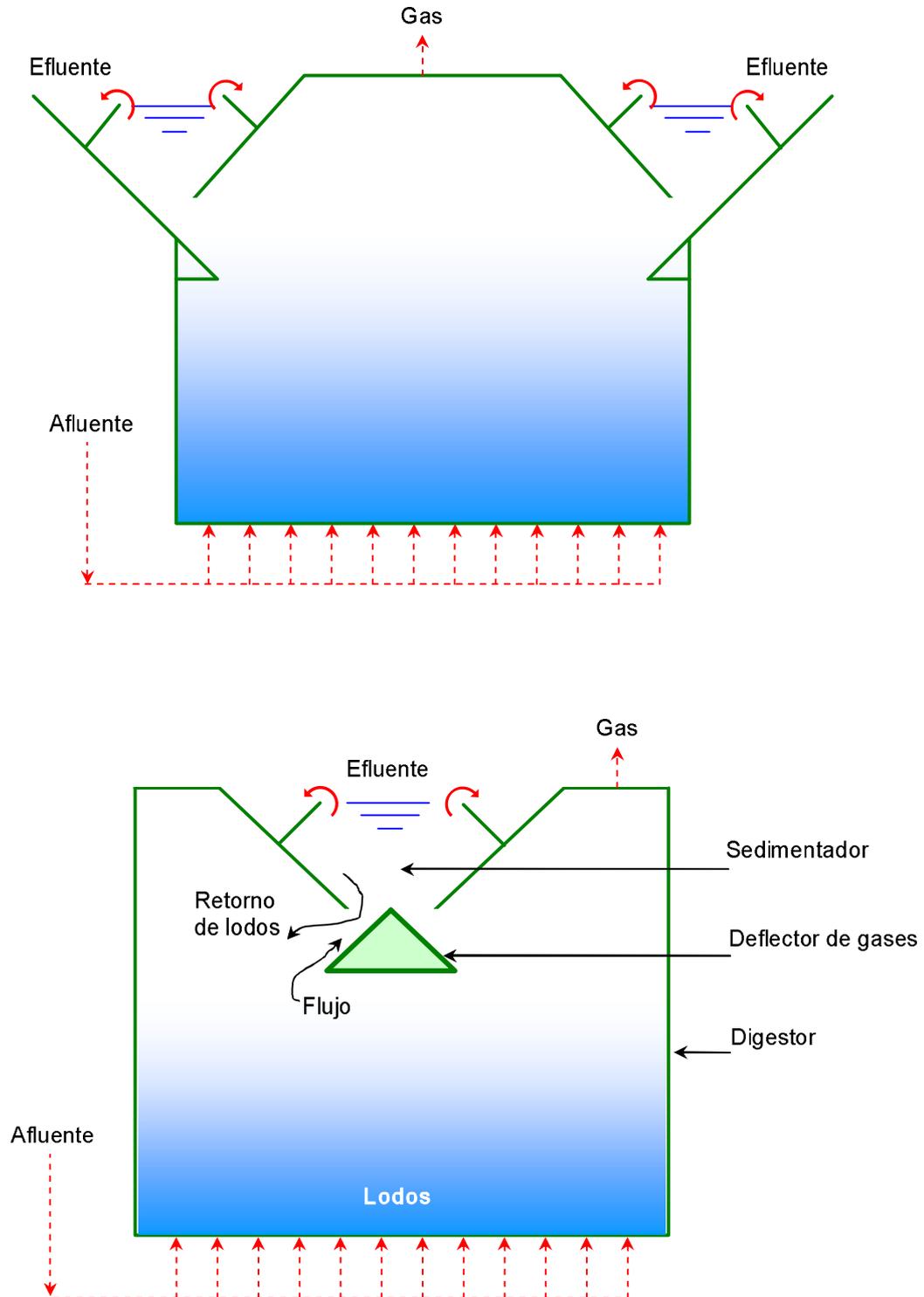
Como principales desventajas se encuentran:

- Posibilidad de malos olores, particularmente en el caso de un mal diseño o fallas operacionales, ya que éste es un proceso con un alto potencial de generación de H_2S .
- Baja capacidad para recibir cargas tóxicas (por lo general no es el caso para las aguas de alcantarilla domésticas).
- El arranque requiere inoculación simiente.

En general, existe una variedad de ventajas importantes, incluyendo el hecho de que los clarificadores primarios, espesadores de lodo, y digestores anaeróbicos, pueden ser reemplazados por un reactor UASB, sin ningún equipo mecánico (excepto por pantallas y cámaras desarenadoras que siempre serán indispensables). Las unidades secundarias son reducidas en aproximadamente la

mitad del volumen, ya que el reactor UASB reduce alrededor del doble de la DOB, en comparación con el tratamiento convencional primario.

Figura 5. Reactores PAMLA.



Asimismo, el costo de dicho tratamiento UASB y aeróbico es menos de 80% del costo de un tratamiento convencional secundario y la producción de lodo es menor que en los procesos convencionales, con la gran ventaja de que el lodo en exceso de la fase aeróbica puede ser regresado al reactor UASB; Por último, el lodo en exceso resultante, tomado del UASB, es bien digerido, y tiene buenas propiedades de secado.

1.7.6 Laguna Facultativa

Las características principales de este tipo de lagunas son el comensalismo entre las algas y bacterias en el estrato superior y la descomposición anaerobia de los sólidos sedimentados en el fondo.

Su utilización como unidad de tratamiento en un sistema de lagunas puede ser:

1. como laguna primaria única (caso de climas fríos en los cuales la carga de diseño es tan baja que permite una adecuada remoción de bacterias) o seguida de una laguna secundaria y/o terciaria (normalmente referida como laguna de maduración).
2. como una unidad secundaria después de lagunas anaerobias o aireadas, para cumplir el propósito de procesar sus efluentes a un grado mayor.

2. METODOLOGÍA

Para lograr cumplir adecuadamente con los objetivos trazados al inicio de este proyecto, se hizo estrictamente necesario adelantar dos actividades paralelas que a continuación detallamos.

2.1 TRABAJO DE CAMPO

2.1.1 Localización y reconocimiento del área de estudio

Se realizaron frecuentes visitas de campo a sectores y tramos del emisario final del alcantarillado de Morroa y a puntos de vertimientos del sistema de alcantarillado al arroyo grande de Corozal, con el fin de identificar la localización general del área de interés y además para observar algunos aspectos ambientales que más tarde sirvieron para disponer los puntos para el posterior muestreo

2.1.2 Toma de muestras para laboratorio

En base a la sección E.2.3. del RAS - 2000. Se tomaron manualmente tres (3) muestras puntuales de aguas residuales domésticas del sistema de alcantarillado de los municipios de Corozal y Morroa (ver anexo 2), en los puntos de vertimiento hacia el arroyo Grande de Corozal u en el emisario final respectivamente; con el fin de medir en el laboratorio los parámetros planteados en el Reglamento Técnico del Sector Agua Potable y Saneamiento Básico, RAS 2000 a saber DBO5, DQO, Sólidos suspendidos totales y Oxígeno disuelto. Este último parámetro se determinó en el campo, el día de la recolección de las muestras. Una vez recogida cada muestra se vertieron en recipientes plásticos recubiertos con bolsas de polietileno.

Las muestras fueron tomadas en el mes de Mayo y fue enviada al laboratorio de la empresa Aguas de Cartagena de la ciudad de Cartagena para la medición

inmediata de los parámetros antes mencionados. Los resultados y demás se anexan al final del presente documento.

2.2 TRABAJO DE OFICINA

2.2.1 Revisión bibliográfica

Se consultó información disponible en textos relacionados con el manejo de las aguas residuales domésticas, tesis de grado de la Universidad de Sucre referentes a residuos sólidos, tratamientos de aguas residuales y documentos de dominio público y privado existentes en el entorno departamental así como también diferentes páginas web afines con el propósito de reforzar los conocimientos existentes acerca del diseño de plantas de tratamiento de aguas residuales. Toda esta información reposa de manera detallada en las referencias bibliográficas.

2.2.2 Diseño preliminar y evaluación de alternativas

Se realizaron los diseños de acuerdo con las metodologías propuestas por el reglamento de aguas y saneamiento básico de Colombia (RAS 2000) haciendo uso además de las ecuaciones de textos afines consignados en las referencias bibliográficas al final de este documento; además se determinó que sistema es técnico y económicamente más viable de acuerdo de las ecuaciones costo – beneficio.

3. RESULTADOS

3.1 CALCULO DEL CAUDAL DE DISEÑO (Qd)

El cálculo de las alternativas para tratamiento de las aguas residuales domiciliarias de los municipios de Corozal y Morroa vertidas por el emisario final, se realizó para un período de diseño de 20 años fundamentado en el Reglamento de Agua y Saneamiento Básico Colombiano RAS 2000.

3.1.1 Parámetros de diseño.

Proyección de la población (Corozal y Morroa) a 20 años: 73358 hab. ²

Nivel de complejidad: La población en la zona urbana es mayor de 60.000 hab. Lo que indica un nivel de complejidad *Alto*.

Tabla 8. Asignación Nivel de Complejidad

Nivel de complejidad	Población en la zona urbana ⁽¹⁾ (habitantes)	Capacidad económica de los usuarios ⁽²⁾
Bajo	< 2500	Baja
Medio	2501 a 12500	Baja
Medio Alto	12501 a 60000	Media
Alto	> 60000	Alta

Notas : (1) Proyectado al periodo de diseño, incluida la población flotante.

(2) Incluye la capacidad económica de población flotante. Debe ser evaluada según metodología del DNP.

Dotación neta de uso residencial: Determinamos la dotación neta residencial teniendo en cuenta el nivel de complejidad alto, obteniendo *150 lt/hab-día*.

Tabla 9. Dotación Neta según Nivel de Complejidad del Sistema

Nivel de complejidad del sistema	Dotación neta mínima (L/hab·día)	Dotación neta máxima (L/hab·día)
Bajo	100	150
Medio	120	175
Medio alto	130	-
Alto	150	-

Corrección a la dotación: La variación de la dotación por clima se determina en base al nivel del complejidad, como en nuestro medio el es clima es cálido y nivel alto, el % de corrección es del 20% mas de la dotación neta (*30 lts/hab-aía (+20%)*).

Tabla 10. Variación a la Dotación Neta según el Clima y el Nivel de Complejidad del Sistema

Nivel de complejidad del sistema	Clima cálido (Mas de 28°C)	Clima templado (Entre 20°C y 28°C)	Clima frío (Menos de 20°C)
Bajo	+ 15 %	+ 10%	No se admite Corrección por clima
Medio	+ 15 %	+ 10 %	
Medio alto	+ 20 %	+ 15 %	
Alto	+ 20 %	+ 15 %	

Corrección por uso industrial e institucional: Incrementamos un 15% la dotación neta por uso Industrial e Institucional (*22,5 lts/hab-aía (+15%)*).

Dotación neta, d_{neta} : *202,5 lts/hab-aía.*

Caudal medio diario, Q_{md} : *171.93 lts/seg.*

$$Q_{md} = \frac{p \cdot d_{bruta}}{86400} \quad (B.2.2)$$

² Información tomada del P.O.T. de Corozal y E.O.T. de Morroa (Ver Anexos).

Caudal máximo diario, QMD: 206.3 lts/seg. Tomando un coeficiente de consumo k_1 con valor de 1,20 según Nivel de Complejidad Alto.

Tabla 11. Coeficiente de Consumo Máximo Diario, K_1 , según Nivel de Complejidad del Sistema

Nivel de complejidad del sistema	Coeficiente de consumo máximo diario - k_1
Bajo	1.30
Medio	1.30
Medio alto	1.20
Alto	1.20

$$QMD = Q_{md} \cdot k_1 \quad (B.2.3)$$

Caudal máximo horario, QMH: 309.47 lts/seg. Tomando un coeficiente de consumo k_2 con valor de 1,50 según Nivel de Complejidad Alto para redes de distribución matrices

Tabla 12. Coeficiente de Consumo Máximo Horario, K_2 , según Nivel de Complejidad del Sistema y el Tipo de Red de Distribución

Nivel de complejidad del sistema	Red menor de distribución	Red secundaria	Red matriz
Bajo	1.60	-	-
Medio	1.60	1.50	-
Medio alto	1.50	1.45	1.40
Alto	1.50	1.45	1.40

$$QMH = QMD \cdot k_2 \quad (B.2.4)$$

Caudal durante periodos de lluvias

Los aportes asociados a periodos de lluvias deben ser tomados en consideración al determinar el caudal de diseño, por lo que en este caso se escogió el siguiente criterio como caudal de infiltración (QI), 0.1 lts/seg/Ha (según RAS 2000 E.2.2.2).

Conexiones erradas

Estas conexiones junto con los caudales de infiltración aumentan innecesariamente el tamaño de la planta y por ende los costos; en alcantarillados existentes deben realizarse campañas de minimización de estos caudales antes de construir la planta de tratamiento, sin embargo se optó el siguiente criterio como caudal de conexiones erradas (QE) 0.1 lts/seg/Ha (según RAS 2000 E.2.2.2)

Caudal de diseño

El caudal de diseño sería la suma del caudal de aguas negras, la corrección por infiltración y conexiones erradas. El área urbana de los municipios de Corozal y Morroa proyectada proporcionalmente a la población actual y futura es aproximadamente igual a 809 Hectáreas, de lo cual asumimos que un 30% pertenece a parques y calles, y el 70% (566.3 Ha) restante pertenece al área servida con alcantarillado. Considerando un coeficiente de retorno CR = 80%, necesario para calcular el Caudal de Aguas Servidas.

▪ Lagunas

Caudal de Diseño (Qd) = Qmd * CR + (QE + QI) * área servida con Alcantarillado

Donde CR = coeficiente de retorno (80%)

$$Qmd = 171.93 \text{ Lts/seg}$$

$$QE = 0.1 \text{ Lts/seg/Ha}$$

$$QI = 0.1 \text{ Lts/seg/Ha}$$

$$\text{Área servida con alcantarillado} = 566.3 \text{ Ha}$$

$$\text{Caudal de diseño (Qd)} = 250.8 \text{ Lts/seg} \cong 21669 \text{ m}^3/\text{día}$$

▪ Reactor UASB

Caudal de Diseño (Qd) = QMH * CR + (QE + QI) * área servida con Alcantarillado

Donde CR = coeficiente de retorno (80%)

$$QMH = 386.86 \text{ Lts/seg}$$

$$QE = 0.1 \text{ Lts/seg/Ha}$$

$$QI = 0.1 \text{ Lts/seg/Ha}$$

$$\text{Área servida con alcantarillado} = 566.3 \text{ Ha}$$

$$\text{Caudal de diseño (Qd)} = 422.7 \text{ Lts/seg} \cong 36525.4 \text{ m}^3/\text{día}$$

3.2 DISEÑO DE LAGUNA ANAEROBIA

Para el diseño de las lagunas anaerobias se utilizan los parámetros recomendados por el RAS 2000 para el diseño de estas. De esta forma tenemos:

Temperaturas entre 25 – 30 °C = 1 – 2 días, con lo que se obtienen eficiencias de remoción de DBO entre 60 – 70 % (RAS 2000, tabla E.4.31)

Tomamos para nuestro caso un periodo de retención (t_d) = 2 días.

El caudal de diseño para los municipios es de 250.8 Lts/seg \cong 21669 m³/día

Con base en el período o tiempo de retención hidráulica se procede a calcular el volumen V_L de la laguna.

$$Q = V_L/T$$

$$V_L = Q * T$$

$$V_L = (21669 \text{ m}^3/\text{día}) * (2 \text{ días})$$

$$V_L = 43338 \text{ m}^3$$

Dimensionando de la laguna, tenemos:

$$V_L = \text{Largo} * \text{Ancho} * \text{Profundidad} = L * W * Z$$

Área superficial de la laguna

$$As_L = L * W$$

$$V_L = As_L * Z$$

$$As_L = V_L/Z$$

Assumiendo una profundidad $Z = 5\text{m}$, (RAS 2000, E.4.8.5.4) entonces :

$$As_L = 43338 \text{ m}^3 / 5\text{m}$$

$$\mathbf{As_L = 8667.6 \text{ m}^2}$$

Asumiendo una relación Largo-Ancho de 3 :1

$$As_L = L * W, \text{ pero } L = 3W,$$

Entonces:

$$As_L = 3W \times W = 3W^2$$

$$As_L = 8667.6(\text{m}^2) = 3W^2$$

$$W^2 = 8667.6(\text{m}^2) / 3$$

$$\mathbf{W = 53.75 \text{ m} \approx 60\text{m}}$$

$$L = As_L / W$$

$$L = 8667.6\text{m}^2 / 60\text{m}$$

$$\mathbf{L = 144.46 \text{ m} \approx 180\text{m}}$$

Tan importante es procurar una carga orgánica adecuada como lograr un balance hídrico apropiado. Entre más grande hagamos una laguna, más nos aseguramos desde el punto de vista de la carga orgánica, pero más la comprometemos desde el punto de vista del balance hídrico.

El balance hídrico suele ser dado por la ecuación:

$$Q_e = Q_a + (P_r + P_c) - (E + P_e) \quad (3)$$

Donde:

Q_e = Caudal del efluente.

Q_a = Caudal del afluente.

P_r = Precipitación que cae sobre la laguna.

P_c = Infiltración del agua subterránea hacia la laguna.

E = Evaporación.

P_e = Perdidas por percolación.

Asumiendo que el fondo de la laguna tendrá revestimiento ó cubierta de geomembrana, entonces la infiltración del agua subterránea hacia la laguna y las perdidas por percolación son nulas, esto es $P_c = P_e = 0$.

$$Q_e = Q_a + (P_r + P_c) - (E + P_e)$$

$$Q_e = Q_a + (P_r + 0) - (E + 0)$$

$$Q_e = Q_a + P_r - E$$

Ahora teniendo en cuenta que en nuestro medio geográfico la relación que existe entre las precipitaciones y la evaporación es aproximadamente 1:1 entonces el valor de la precipitación que cae sobre la laguna y la evaporación son iguales, esto es $P_r = E$.

$$Q_e = Q_a + E - E$$

$$Q_e = Q_a$$

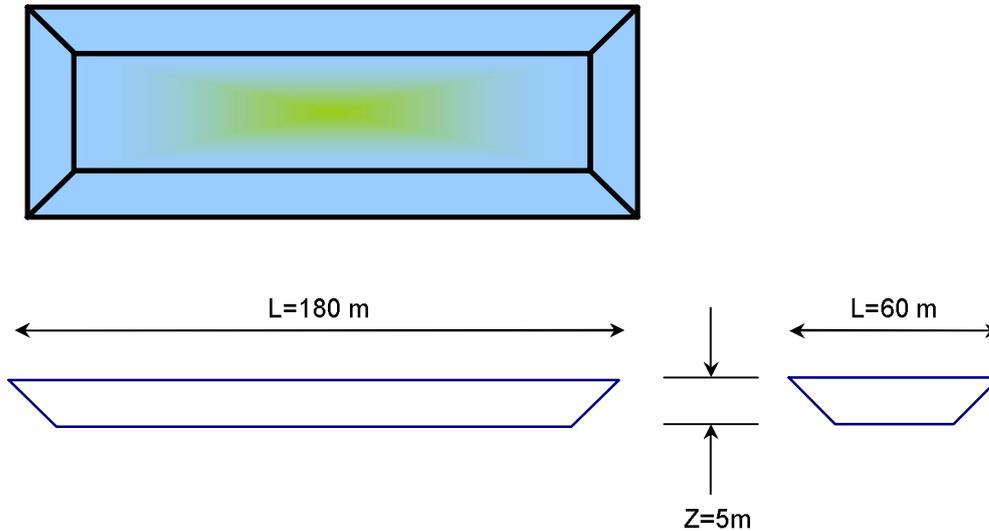
3.2.1 Eficiencia del sistema.

La eficiencia de este sistema la establecemos teniendo en cuenta lo establecido el reglamento RAS 2000, E.4.31, que presenta valores típicos para diferentes casos. Para una temperatura entre 25 – 30 °C y periodos de retención entre 1 – 2 días, la eficiencia se encuentra entre el 60 y 70%.

3.2.2 Área Mínima Requerida por el Sistema

Tomando como referencia el área neta del sistema anteriormente calculada (8667m²) y considerando un terreno libre alrededor de la(s) Laguna(s) de 100m como mínimo obtenemos un área mínima total de 98800 m² \cong 10 Ha. El área debe estar lo más alejada posible de urbanizaciones con viviendas ya existentes; para este sistema la distancia como mínimo debe ser de 1000 m. (RAS-2000, A.11.4.24)

Figura 6. Esquema de la Laguna Anaerobia.

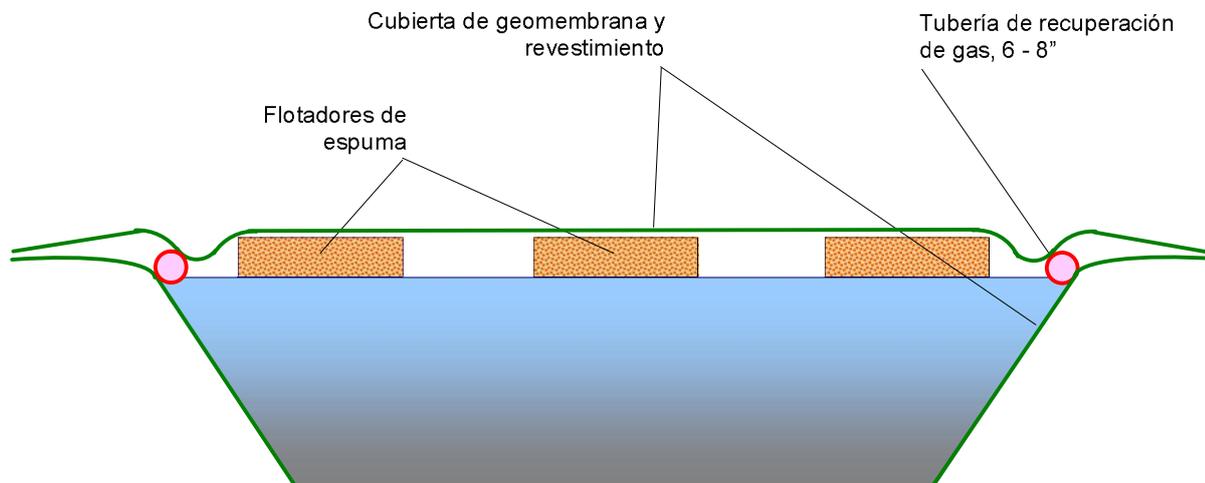


3.3 DISEÑO DE LAGUNA ANAEROBIA CUBIERTA

El objetivo de esta laguna es recuperar los gases que se producen en el proceso. Se logra colocando sobre toda la superficie de la laguna una capa impermeable de color negro preferiblemente, la cual queda separada del agua mediante unos flotadores y los gases se recogen mediante dos tuberías perforadas, colocadas longitudinalmente a lo largo de los extremos de la laguna.

Las dimensiones de esta laguna son las mismas que se calcularon inicialmente.

Figura 7. Esquema de la laguna anaerobia cubierta.



3.3.1 Área Mínima Requerida por el Sistema

Tomando como referencia el área neta del sistema anteriormente calculada (8667m^2) y considerando un terreno libre alrededor de la(s) Laguna(s) de 100m como mínimo obtenemos un área mínima total de $98800\text{ m}^2 \cong 10\text{ Ha}$. El área debe estar lo más alejada posible de urbanizaciones con viviendas ya existentes; para este sistema la distancia como mínimo debe ser de 500 m, ya que en este sistema por ser cubierto no está emitiendo gases al ambiente y por ende trabaja como un sistema anaerobio cubierto (RAS – 2000, A.11.4.24).

3.4. DISEÑO DEL SISTEMA TIPO PAMLA O RAFA (UASB)

Para el diseño del reactor UASB se ha tenido en consideración los parámetros básicos establecidos por el RAS é indicados por Romero Rojas Jairo en su libro Tratamiento de Aguas Residuales; el método se basa en el tiempo de retención hidráulico y los diseños en el Caudal Máximo Horario, debido a que el criterio asumido para el diseño del reactor UASB, es trabajar con bajas cargas orgánicas (ARD, $\text{DQO} < 1500\text{ mg/l}$) tiene como limitante del proceso a la carga hidráulica. La forma del reactor será cilíndrica.

3.4.1 Análisis de los datos de temperatura del ambiente

La temperatura es el factor ambiental de mayor importancia en la digestión anaerobia de aguas residuales, dependiendo esta del clima de la región; sin embargo, siempre tendrá un valor por debajo de la temperatura óptima para la digestión anaerobia.

De este modo el proceso es atractivo para regiones tropicales ó subtropicales, donde la temperatura del ARD no está por debajo de los 18°C.

3.4.2 Cálculo del volumen y altura del reactor

El Tiempo de Retención Hidráulico (TRH) depende de la temperatura y para el caso específico de Corozal y Morroa el promedio es de 27.2 °C. Definiéndose un TRH de 7 horas, (mayor a 6 h, valor recomendado por RAS 2000 (tabla E.4.26). El volumen del reactor se calcula de la siguiente forma:

Volumen del reactor (m³) = TRH medio (h) * Caudal de diseño (m³ /h)

Siendo el caudal de diseño de 1521.9 m³ /h, se tiene un volumen de:

Volumen de reactor = 10653.3 m³

El RAS 2000 (E.4.7.7.5) limita el volumen de los reactores a 500 m³, por lo que se necesitarían para un periodo de diseño 20 años, 22 reactores donde cada una de ellos estaría tratando un caudal de 1660.2 m³/d = 0.0192 m³/s

Cálculo de la altura del reactor

El parámetro que limita la altura del reactor es la velocidad media del líquido que según diferentes autores, normalmente debe estar cercana a 1 m/h, ya que una velocidad alta promueve mayor turbulencia y mejor contacto de la biomasa con el

agua residual, pero puede poner en peligro la retención del lodo y producir lavado del reactor.

Romero Rojas Jairo en Tratamiento de Aguas Residuales, recomienda que la altura de los reactores deben ser menor de 6 metros y asumiendo TRH = 7 h podemos calcular la velocidad ascensional del líquido a partir de la ecuación:

$$v_l = \frac{Qa}{A} = \frac{Vr}{TRH * A} = \frac{H}{TRH}$$

Siendo TRH = 7 h y la altura del reactor = 6 m se tiene una velocidad ascensional (v_l) = 0.86m/h; este valor es aceptable debido a que esta en el rango propuesto por varios autores.

Teniendo:

Volumen del modulo = 500m³

Altura del modulo = 6 m

Y como el diseño de los módulos será cilíndrico procedemos a calcular el área transversal.

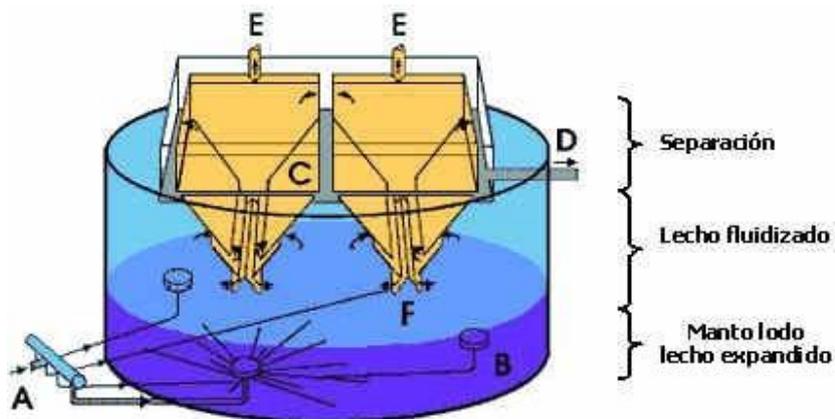
$$At = \frac{500m^3}{6m} = 83.33m^2 ; r = \sqrt{\frac{At}{\pi}} = 5.15m$$

Tabla 7. Número de Reactores UASB necesarios cada año (periodo de diseño)

AÑO	POBLACION		TOTAL	QMH (L/s)	QR+QI+QE. (m3/s)	# de REACTORES	NUMERO DE REACTORES POR ETAPA
	COROZAL	MORROA					
2005	41417	7067	48484	255,69	0,279	14,33	15 Reactores
2006	41881	7473	49354	260,27	0,284	14,59	
2007	42350	7903	50253	265,01	0,290	14,85	
2008	42825	8357	51181	269,91	0,295	15,13	16 reactores
2009	43304	8837	52141	274,97	0,300	15,41	
2010	43789	9345	53134	280,21	0,306	15,70	
2011	44280	9882	54162	285,63	0,312	16,01	
2012	44776	10450	55225	291,24	0,318	16,32	17 Reactores
2013	45277	11050	56327	297,05	0,325	16,65	
2014	45784	11685	57469	303,07	0,331	16,98	
2015	46297	12357	58654	309,32	0,338	17,33	19 Reactores
2016	46815	13067	59882	315,80	0,345	17,70	
2017	47340	13818	61158	322,52	0,352	18,07	
2018	47870	14612	62482	329,50	0,360	18,47	
2019	48406	15452	63858	336,76	0,368	18,87	
2020	48948	16340	65288	344,30	0,376	19,29	21 Reactores
2021	49497	17279	66775	352,14	0,385	19,73	
2022	50051	18272	68323	360,30	0,394	20,19	
2023	50611	19322	69933	368,80	0,403	20,67	22 Reactores
2024	51178	20432	71610	377,64	0,413	21,16	
2025	51752	21606	73358	386,86	0,423	21,68	

NOTA: el # de reactores se calculo dividiendo el caudal de retorno estimado para cada año entre la capacidad teórica de los reactores.

Figura 8. Modelo de funcionamiento de un Reactor UASB



3.4.3 Eficiencia del sistema.

El reactor UASB, según el RAS para TRH mayores a 6h puede lograr una remoción hasta del 80% de la DBO₅. Según Romero Rojas Jairo la eficiencia del sistema para remoción de DQO en ARD esta entre el 60% y 70%.

En nuestro caso, en consecuencia, esperamos una eficiencia de remoción de materia orgánica medida como DBO₅ del 70% dadas las características de las ARD típicas de la región y referenciadas para Colombia en la reglamentación RAS-2000

3.4.4. Área Mínima Requerida por el Sistema

En este sistema por módulos se ha considerado una distancia entre ellos de 5 m, cada módulo circular tiene un radio calculado de 5.2 m y considerando un terreno libre alrededor del sistema de 100 m como mínimo, obtenemos un área mínima total de 60412 m² \cong 6 Ha. El área debe estar lo más alejada posible de urbanizaciones con viviendas ya existentes; para este sistema la distancia como mínimo debe ser de 500. (RAS – 2000, A.11.4.24)

3.5 DISEÑO DE LAGUNA FACULTATIVA Y DE MADURACION

MUNICIPIOS DE COROZAL Y MORROA, SUCRE

VARIABLE	SIMBOLO	UNIDAD	VALOR	ECUACIONES Y REFERENCIAS (*)
DATOS GENERALES DE ENTRADA				
Período de deslose	PD	año	10	RAS – 2000
Población de Diseño	P	hab	73.358	Población para el año 2024
Dotación	D	l/hab/día	150	De acuerdo Cuadro de Caudales
Coefficiente de Retorno	CR		0,80	RAS – 2000
Conexiones Erradas	QE	l/seg/Ha	0,10	
Infiltración	QI	l/seg/Ha	0,10	De acuerdo Cuadro de Caudales
Área servida con alcantarillado	Ad	Ha	566,3	
Cobertura	Cob	%	100%	Cobertura total actual de servicio
Carga Per cápita	CP	gr.DBO/hab/día	50	Recomendado por el RAS - 98
Temperatura ambiente promedio del mes más frío	Tm	°C	26,50	Según calendario metereológico del IDEAM
Temperatura en la laguna	T	°C	28,50	T = Tm + 2 (Arthur, 1983) o medida
Coliformes Fecales Influentes	No	NMP/100 ml	6,00E+06	Estimado según Cuadro 5.0-1del Anexo 8
Constante de Remoción de DBO a 20 C	Ke	1/día	0,30	Mara & Pearson (1986).
Factor de Proporcionalidad (Ke a T)	@		1,05	Mara & Pearson (1986).
Factor de dispersión	d	---	0,50	Para relación L/W = 2
Tasa de mortalidad neta de Coliformes a 20 C	K	1/día	1,60	Para modelo de flujo disperso
Acumulación de Lodo	Lodo	m3/año/hab	0,04	Arthur (1983)
LAGUNA FACULTATIVA (LF)				
Caudal de Diseño	Q	m3/día	21669,00	$Q = Cob \times P \times (D \times CR + QE + QI) / 1000$
Carga Orgánica Total	Cot	Kg/día	3667,90	$Cot = CP \text{ recalculada} \times Cob \times P / 1000$
Concentración de DBO5 influente	So	gr/m3	280,00	$So = CP \times Cob \times P / Q$
Carga Orgánica Superficial Máxima	COSM	Kg/Ha/día	510,00	$COSM = 20 \times T - 60$, Arthur (1983)
Área espejo de agua requerida	Aer	Ha	7,99	$Aer = Cot / (COSM \times 0.9)$
Factor de pendiente horizontal (Talud)	K		2,0	
Profundidad útil de la Laguna	Hu	m	1,60	
Relación Largo / Ancho (L / W)	R		2,5	
Area fondo laguna requerido	Afr	Ha	5,94	$Afr = 2 * (\sqrt{Aer * 10.000 / R}) - 2 * K * Hu)^2 / 10.000$
Altura de Acumulación de lodos	HI	m	0,50	$HI = Cob \times P \times Lodo \times PD / (Afr \times 10,000)$
Profundidad Total de la Laguna	Htf	m	2,10	$Htf = Hu + HI$
Ancho del espejo de agua requerido	Wr	m	179	$Wr = \sqrt{Afr \times 10000 / R}$
Largo del espejo de agua requerido	Lr	m	448	$Lr = R * Wr$
Largo de espejo de agua adoptado	Lf	m	580	
Ancho de espejo de agua adoptado	Wf	m	230	
Área en la superficie	Af	Ha	13,34	$Af = Lf \times Wf / 10000$
Volumen de la Laguna	Vf	m3	273045,19	$V = (Htf / 6) * ((L * W) + (L - 2 * K * Htf) * (W - 2 * K * Htf) + 4 * (L - K * Htf) * (W - K * Htf))$
Tiempo de retención hidráulico	tdft	días	12,60	$tdft = Vf / Q$
Carga Orgánica Superficial aplicada *	COSa	Kg/Ha/día	454,82	$COSa = (10 \times So \times Q) / (Af \times 10000)$
LAGUNA DE MADURACION (LM)				
Tiempo de Detención Asumido	tdm	días	10	Recomendado RAS - 00
Profundidad Total	Htm	m	1,50	
Relación Largo / Ancho (L / W)	R		3,0	
Factor de pendiente horizontal (Talud)	K		2,0	
Volumen requerido	Vr	m3	216690,00	$Vr = Q \times tdm$
Área media requerida	Arm	Ha	14,45	$Arm = Vr / (Htm \times 10,000)$
Ancho medio requerido	Wrm	m	219,47	$Wrm = \sqrt{Arm \times 10000 / R}$
Largo medio requerido	Lrm	m	658,41	$Lr = R * Wrm$
Ancho del espejo de agua requerido	Wer	m	225,0	$We = Wrm + 2 \times K \times Htm$
Largo del espejo de agua requerido	Ler	m	675,0	$Ler = Wer \times R$
Ancho de espejo de agua adoptado	am	m	230,0	
Largo de espejo de agua adoptado	Lm	m	690,0	
Area en la superficie	Am	Ha	15,87	$Am = Lm \times am / 10,000$

Volúmen de la Laguna	Vm	m3	233928,00	$V=(Htm / 6) * ((L * W) + (L-2*K*Htm)*(W-2*KHtm)+4*(L-KHtm)*(W-KHtm))$
Tiempo de Detención Recalculado	tdmr	días	11	$tdmr = Vm/Q$
Area Total Suministrada	At	Ha	29,21	$At = Af + Am$
EFICIENCIA DE LAS LAGUNAS				
Constante de Remoción de DBO5 a T C	Kec	1/día	0,45	$Kec = Ke * @^{(T-20)}$
Const. de Remoción de Coliformes a T C	Kb	1/día	2,84	$Kb = K * 1.07^{(T-20)}$
Constante modelo de flujo disperso - LF	af	---	8,52	$af = RAIZ(1+4 * K * tdf * d)$
Constante modelo de flujo disperso - LM	am	---	7,90	$am = RAIZ(1+4 * K * tdm * d)$
Concentración de DBO5 Efluente (LF)	S1	gr/m3	41,98	$S1 = So / (1 + Kec * x * tdf)$
Concentración de Coliformes Efluente (LF)	N1	NMP/100 ml	1.223,16	$N1 = 4 * af * No * e^{-(1/2d)} / ((1+af)^2 * e^{(af/2d)} - (1-af)^2 * e^{(-af/2d)})$
Remoción Parcial de DBO5 (LF)		%	85,01	$100 * (So - S1) / So$
Remoción Parcial de Colif. Fecales (LF)		%	99,98	$100 * (No - N1) / No$
Concentración de DBO5 Efluente Final	S2	gr/m3	9,54	$S2 = S1 / [(1 + Kec * 0.7 * x * tdmr)]$
Concentración de Coliformes Efluente final	N2	NMP/100 ml	0,49	$N2 = 4 * af * N1 * e^{-(1/2d)} / ((1+am)^2 * e^{(am/2d)} - (1-am)^2 * e^{(-am/2d)})$
Remoción Final de DBO5	Rem.DBO5	%	96,59	$Rem.DBO = 100 * (So - S2) / So$
Remoción Final de Coliformes Fecales	Rem.CF	%	100,0	$Rem.CF = 100 * (No - N2) / No$

CONFIGURACION : Una (1) Laguna Facultativa conectada en serie con una (1) Laguna de Maduración .

	AREA EN EL FONDO		CHEQUEO CARGA SUP. APLICADA	
Largo	573,6 m	COSM	510,00	Kg/Ha/día
Ancho	223,6 m	COSA	454,82	Kg/Ha/día
Area fondo	12,83 Ha	%COS	89,00%	Kg/Ha/día
	ALTURA DE LODOS	0,23		Debe ser menor o igual al 90%

3.5.1 Área Mínima Requerida por el Sistema

Tomando como referencia el área neta del sistema de Laguna(s) Facultativa (133400m^2) y de Maduración (158700m^2) y considerando un terreno libre alrededor de las Lagunas de 100m como mínimo obtenemos un área mínima total de $636400\text{ m}^2 \cong 63.6\text{ Ha}$. El área debe estar lo más alejada posible de urbanizaciones con viviendas ya existentes; para este sistema la distancia como mínimo debe ser de 500 m, (RAS – 2000, A.11.4.24).

4. CONCLUSIONES

1. Con base en los cálculos realizados se observa claramente que entre los sistemas existe gran diferencia en relación con el Requerimiento de Terreno para su construcción; de esos resultados se puede concluir que entre los sistemas evaluados el que requiere menor área es el Proceso Ascensional de Manto de Lodos Anaerobio, PAMLA o UASB (6 ha); le siguen en requerimientos de área los sistemas de Laguna Anaerobia y de Laguna Anaerobia Cubierta (10 ha) y por último, con el mayor requerimiento de área, el sistema de Lagunas Facultativa y de Maduración en serie (33.5 ha). En todo esto se ha considerado que el área requerida para las instalaciones de Pretratamiento y Desinfección es la misma para todos los sistemas.
2. Teniendo en cuenta la distancia mínima que debe existir entre el sistema de tratamiento y las zonas urbanizadas (literal A.11.4.2.4, establecida en el Reglamento RAS-2000), se puede concluir que los sistemas de Lagunas Anaerobias Descubiertas generarían mayores Costos de Construcción, Operación y Mantenimiento del sistema de Emisario Final debido a que su mínima distancia sería mayor en una proporción significativa (2:1 aproximadamente).
3. Considerando la producción de lodos residuales en el sistema de tratamiento como parámetro calificador se observa que en los procesos Anaerobios se generan de un 80 a 90% de gases a partir de la materia orgánica y el sólo el resto de ella son Lodos, mientras que en los procesos Aerobios es obtenido un volumen de Lodos correspondiente al 80-90 % de la materia tratada. En ambos casos, en cumplimiento de la normatividad ambiental se deberán disponer y tratar éstos volúmenes de Lodos de tal manera que para los sistemas aerobios demanda una costosa inversión tecnológica en el tratamiento de esos residuos sólidos.

5. RECOMENDACIONES

Teniendo en cuenta la Flexibilidad reglamentada tanto del Plan de Ordenamiento Territorial de Corozal como del Esquema de Ordenamiento Territorial de Morroa, en relación con la necesidad de Ajustes periódicos ante las nuevas disposiciones legales locales sobre Usos del Suelo y Zonificación Ambiental, además de la implementación de la Política Ambiental Global y Nacional, con base en los resultados y conclusiones de éste trabajo de investigación se recomienda:

En lo General:

Implementar un sistema de tratamiento conjunto de las aguas residuales domésticas de los municipios de Corozal y de Morroa fundamentado en procesos de "producción limpia" consistentes en la Minimización de los Residuos a producir por el sistema, procedimientos que permitirán la minimización de ruidos, de olores, de material particulado en el aire, de lodos, de compuestos de cloro y otros químicos peligrosos, de aerosoles e insectos.

En lo Específico:

Implementar un Sistema de Tratamiento Anaerobio mediante el uso de Reactor tipo PAMLA complementado con sistema de Lagunas Facultativas- Maduración como fase secundaria.

Implementar un Sistema de Aprovechamiento de los residuos (emisiones) gaseosos y de los lodos removidos de tal modo que tecnológicamente se incorporen a la cadena productiva como Bio-gas y como Bio-abono, respectivamente.

Cumplir estrictamente la normatividad sanitaria y ambiental en relación con la Ubicación de las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales en Colombia, establecidas en el Reglamento Técnico de Agua Potable y Saneamiento Básico (Tabla E.4.1.- Matriz de Análisis para la Ubicación de una PTAR, RAS - 2000).

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

PLAN DE ORDENAMIENTO TERRITORIAL DE COROZAL. 2000.

ESQUEMA DE ORDENAMIENTO TERRITORIAL DE MORROA.

REGLAMENTO TECNICO DEL SECTOR DE AGUA POTABLE Y SANEAMIENTO BASICO. MINDESARROLLO. 2000

CRITES y TCHOBANOGLOUS. 2000. Tratamiento de aguas residuales en pequeñas poblaciones. Mc Graw-Hill.

PROGRAMA DE TASAS RETRIBUTIVAS. DESCONTAMINACION PARA LA VIDA. Corporación Autónoma Regional de Sucre. CARSUCRE. Sincelejo. 2002.

ROMERO ROJAS, Jairo Alberto. 2000. Tratamiento de Aguas Residuales. Teoría y principios de diseño. Escuela Colombiana de Ingeniería.

PAGINAS EN INTERNET

www.cepis.org.pe

www.minambiente.gov.co

www.carsucre.gov.co

www.acodal.com

ANEXOS

**Anexo 1. PROYECCION DE LA POBLACION PARA LOS MUNICIPIOS
DE COROZAL Y MORROA**

AÑO	POBLACIÓN DE COROZAL	POBLACION DE MORROA	POBLACION TOTAL
2005	41417	7067	48484
2006	41881	7473	49354
2007	42350	7903	50253
2008	42825	8357	51181
2009	43304	8837	52141
2010	43789	9345	53134
2011	44280	9882	54162
2012	44776	10450	55225
2013	45277	11050	56327
2014	45784	11685	57469
2015	46297	12357	58654
2016	46815	13067	59882
2017	47340	13818	61158
2018	47870	14612	62482
2019	48406	15452	63858
2020	48948	16340	65288
2021	49497	17279	66775
2022	50051	18272	68323
2023	50611	19322	69933
2024	51178	20432	71610
2025	51752	21606	73358

**Anexo 2. REGISTRO FOTOGRÁFICO DE INSTALACIONES FÍSICAS
DE P.T.A.R.s EN COLOMBIA**



Fotografía 1. Reactor UASB



Fotografía 2. Reactor UASB



Fotografía 3. Laguna de Maduración – tratamiento secundario



Fotografía 4. Lagunas Anaerobias



Fotografía 4. Construcción inconclusa de Lagunas de Oxidación en el municipio de Morroa



Fotografía 5. Construcción inconclusa de Lagunas de Oxidación en el municipio de Morroa

Anexo 3. REGISTRO FOTOGRÁFICO DE LOS PUNTOS DONDE

SE TOMARON LAS MUESTRAS.



Fotografía 1. Toma de Muestra 1, en el emisario final de alcantarillado del Municipio de Morroa



Fotografía 2. Toma de Muestra 2, desembocadura directa de línea de alcantarillado, en el Arroyo grande de Corozal, vía al corregimiento de las Palmas, Municipio de Corozal



Fotografía 3. Toma de Muestra 3, línea de alcantarillado rota, paralela al Arroyo grande de Corozal, vía a Betúlia, Municipio de Corozal



Fotografía 4., Zona de Campo de Infiltración en el punto de Toma de Muestra 3



Fotografía 5. Vertimiento de las Aguas Servidas al arroyo de Morroa