

**PLANTEAMIENTO DEL PROGRAMA DE INVESTIGACIÓN
"PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS
UTILIZANDO EL CONTACTOR BIOLÓGICO ROTATIVO (RBC)
COMO TRATAMIENTO SECUNDARIO"
Y DESARROLLO DE LA FASE INICIAL**

**MARY ANDREA MANOSALVA CORTES
RODRIGO ANTONIO GALINDO BAYONA**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE CIENCIAS FISICO-MECANICAS
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
BUCARAMANGA
2005**

**PLANTEAMIENTO DEL PROGRAMA DE INVESTIGACIÓN
"PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS
UTILIZANDO EL CONTACTOR BIOLÓGICO ROTATIVO (RBC)
COMO TRATAMIENTO SECUNDARIO"
Y DESARROLLO DE LA FASE INICIAL**

**MARY ANDREA MANOSALVA CORTES
RODRIGO ANTONIO GALINDO BAYONA**

**Trabajo de Grado para optar el título de
Ingeniero Civil.**

**Director
HERNÁN PORRAS DÍAZ
M. Sc. Ph. D. Ingeniero Civil**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE CIENCIAS FISICO-MECANICAS
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
BUCARAMANGA
2005**

CONTENIDO

	pág.
INTRODUCCION.....	1
OBJETIVO GENERAL.....	3
OBJETIVOS ESPECIFICOS.....	3
1. PROGRAMA DE INVESTIGACION.....	4
1.1 SITUACION PROBLEMA.....	4
1.2 DESCRIPCIÓN DEL PROGRAMA DE INVESTIGACIÓN.....	5
1.2.1 Titulo	5
1.2.2 Objetivo general	5
1.2.3 Objetivos específicos.....	5
1.3 ALCANCE DEL PROGRAMA	6
1.4 IMPACTO Y VIABILIDAD	6
1.4.1 Impacto	6
1.4.2 Viabilidad.....	7
1.5 METODOLOGIA	7
1.6 PLAN DE TRABAJO.....	8
1.6.1 Fase inicial	8
1.6.2 Fase de investigación y desarrollo.	9
1.6.3 Fase de aplicación.	10

1.6.4	Fase de monitoreo y apoyo técnico.....	10
2.	GENERALIDADES	11
2.1	EL AGUA	11
2.1.1	El recurso agua.....	11
2.1.2	El agua en el mundo.....	13
2.1.3	El agua en Colombia.	18
2.2	EL AGUA CONTAMINADA	19
2.2.1	Alteraciones físicas	20
2.2.2	Alteraciones químicas	21
2.2.3	Substancias contaminantes del agua	22
2.2.4	Origen de la contaminación de las aguas.	24
2.2.5	Fuentes de contaminación en Colombia.	26
2.2.6	Contaminación de mares y costas.....	27
2.2.7	Concepto de eutrofización.	29
2.3	SISTEMAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES	31
2.4	SEGÚN EL PROCESO DE ELIMINACIÓN DE CONTAMINANTES	31
2.4.1	Procesos físicos.....	31
2.4.2	Procesos químicos.....	31
2.4.3	Procesos biológicos.	32
2.5	SEGÚN LA FASE O NIVEL DE DEPURACIÓN	32
2.5.1	Pretratamiento.	33
2.5.2	Tratamiento primario.....	33

2.5.3	Tratamiento secundario.....	33
2.5.4	Tratamiento terciario.....	33
2.5.5	Tratamiento avanzado.....	33
2.6	SEGÚN EL COSTO DE LA EXPLOTACIÓN.....	35
2.6.1	Tecnologías de bajo costo, métodos blandos o extensivos.....	35
2.6.2	Métodos convencionales.....	35
3.	TRATAMIENTO BIOLÓGICO.....	38
3.1	MICROBIOLOGÍA.....	38
3.1.1	Microorganismos.....	40
3.1.2	Microorganismos importantes en el tratamiento.....	41
3.2	BACTERIAS.....	42
3.2.1	Forma, estructura y disposición celular.....	42
3.2.2	Clasificación de las bacterias.....	43
3.3	METABOLISMO BACTERIANO.....	44
3.3.1	Reacción catabólica o energética.....	44
3.3.2	Reacción anabólica o biosintética.....	46
3.3.3	Intercambio energético.....	47
3.3.4	Importancia de las Enzimas.....	47
3.3.5	Elementos energéticos y constitutivos.....	48
3.3.6	Factores ambientales.....	49
3.4	CRECIMIENTO BACTERIANO.....	50
3.4.1	Fase de latencia.....	51

3.4.2	Fase de desarrollo exponencial o logarítmico.....	51
3.4.3	Fase estacionaria.....	52
3.4.4	Fase de declinación o muerte.....	53
3.5	BIOPELÍCULA.....	53
3.5.1	Formación de la biopelícula.....	53
3.5.2	El crecimiento de la biopelícula se podría decir que se desarrolla en seis etapas.....	54
3.5.3	Sistemas de Tratamiento biológico.....	55
3.5.4	Modelos conceptuales de la estructura de la biopelícula.....	56
3.5.5	Ventajas de los procesos de película fija.....	59
4.	CONTACTORES BIOLÓGICOS ROTATIVOS RBC.....	60
4.1	ANTECEDENTES.....	60
4.2	FUNCIONAMIENTO.....	61
4.3	COMPONENTES PRINCIPALES DE UN RBC.....	63
4.3.1	Eje.....	63
4.3.2	Medio (Disco o Cilindro).....	63
4.3.3	Mecanismos de transmisión.....	64
4.3.4	Tanque.....	65
4.4	ASPECTOS RELATIVOS AL DISEÑO.....	65
4.4.1	Distribución en etapas de las unidades de biodiscos.....	65
4.4.2	Criterios de carga.....	67
4.4.3	Clarificador.....	67

4.4.4	Forma geométrica	67
4.5	REQUISITOS PARA LA CONTRUCCION DE UNA PLANTA	67
4.6	VENTAJAS, DESVENTAJAS Y PROBLEMAS FRECUENTES	68
4.6.1	Ventajas	68
4.6.2	Desventajas	69
4.6.3	Problemas frecuentes	69
5.	LA LUFFA OPERCULATA	70
5.1	GENERALIDADES	70
5.1.1	Origen	71
5.1.2	Descripción y composición química	71
5.1.3	Usos	73
5.2	CLIMA, EPOCA DE CULTIVO Y SUELOS	74
5.3	CULTIVO	75
5.3.1	Clasificación	75
5.3.2	Propagación	76
5.3.3	Preparación del suelo	76
5.3.4	Ciclo de crecimiento de la Luffa	76
5.3.5	Manejo de la Plantación	77
5.4	COSECHA	80
5.5	PROCESADO	80
5.6	PLAGAS Y ENFERMEDADES	82
5.7	LA LUFFA OPERCULATA COMO MEDIO	83

5.7.1	Características importantes	83
5.7.2	Protocolos de laboratorio	84
5.7.3	Volumen aparente	84
5.7.4	Superficie específica	89
6. DISEÑO PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES		
DOMESTICAS UTILIZANDO RBC		94
6.1	DATOS BASICOS	94
6.1.1	Población a tratar (P)	95
6.1.2	Consumo por habitante (C)	95
6.1.3	Coefficiente de retorno (R).....	96
6.1.4	Aportes domésticos (AD).....	96
6.1.5	Caudal medio diario final de aguas residuales (QMDf)	96
6.1.6	Factor de mayoración (F).....	97
6.1.7	Caudal máximo horario (QMH).....	97
6.1.8	Área del municipio (Amunicipio)	98
6.1.9	Coefficiente de infiltración (Ci).....	98
6.1.10	Caudal de infiltración (Qi).....	99
6.1.11	Coefficiente de conexiones erradas (Cce).....	99
6.1.12	Factor multiplicador conexiones erradas (S).....	100
6.1.13	Caudal de conexiones erradas (Qce).....	101
6.1.14	Caudal de diseño (Qd).....	101
6.1.15	Caudal mínimo.....	101

6.1.16	Carga organica unitaria (COun)	101
6.1.17	Demanda bioquimica de oxigeno (DBO)	101
6.1.18	DBO ₅ calculada (DBO _{5cal})	102
6.1.19	DBO ₅ monitoreada	102
6.1.20	Eficiencia de remoción	102
6.2	TRATAMIENTO PRELIMINAR: CRIBADO Y DESARENADOR	102
6.2.1	Rejilla gruesa y fina	102
6.2.2	Desarenador	105
6.2.3	Vertedero Sutro	107
6.3	TRATAMIENTO SECUNDARIO: BIOROTOR.....	107
6.3.1	Criterios de diseño	107
6.3.2	Estructuras introducidas	108
6.3.3	Cálculo y Dimensionamiento	108
6.3.4	Dimensionamiento del modulo.....	109
6.3.5	Clarificador	110
6.4	POSTRATAMIENTO: SISTEMA DE CLORACIÓN	111
6.4.1	Criterios de Diseño	111
6.4.2	Calculo del consumo de cloro	112
6.4.3	Dimensionamiento del Tanque de Contacto	112
6.5	TRATAMIENTO DE LODOS: LECHOS DE SECADO.....	112
7	ESTUDIO DEL MUNICIPIO.....	114
7.1	SELECCIÓN DEL MUNICIPIO	114

7.2	MUNICIPIO DE SURATA	115
7.2.1	Reseña histórica	115
7.2.2	Localización y aspectos generales	116
7.2.3	Características físicas del área urbana	118
7.2.4	Características socioeconómicas del área urbana	119
7.2.5	Infraestructura de servicios existentes en el área urbana	119
7.2.6	Contaminación ambiental en el área urbana	120
7.3	ANALISIS DEL RECURSO AGUA	121
7.3.1	Caracterización del efluente	122
7.3.2	Producción de aguas residuales	122
7.3.3	Aportes per cápita	125
7.3.4	Calidad del cuerpo receptor	125
8	CONCLUSIONES	127
9	RECOMENDACIONES	129
	BIBLIOGRAFIA	130

LISTA DE TABLAS

	pág.
Tabla 1. Cantidad de agua necesaria para producir los principales alimentos	17
Tabla 2. Enfermedades producidas por microorganismos presentes en el agua residual	23
Tabla 3. Sustancias contaminantes por sector industrial	25
Tabla 4. Equivalente poblacional de algunas fuentes de contaminación	26
Tabla 5. Fuentes de contaminación en Colombia	26
Tabla 6. Sistemas de tratamiento, según los contaminantes que remueven del agua residual.	35
Tabla 7. Rendimientos típicos alcanzados en las diferentes etapas y procesos de tratamiento.	36
Tabla 8. Reinos Presiones que sufren los ecosistemas de agua dulce.	40
Tabla 9. Tamaño de las bacterias según su forma.	43
Tabla 10. Tratamientos según la fase o nivel de depuración	71
Tabla 11. Composición química de la Luffa operculata.	73
Tabla 12. Clasificación de la Luffa operculata.....	75
Tabla 13. Asignación del nivel de complejidad.	95
Tabla 14. Consumo por habitante según el nivel.....	96
Tabla 15. Coeficientes de retorno.....	96
Tabla 16. Coeficientes de infiltración.....	98

Tabla 17. Coeficientes de retorno.....	99
Tabla 18. Coeficiente de conexiones erradas.....	100
Tabla 19. Coeficiente de conexiones erradas con sistema pluvial.....	100
Tabla 20. Coeficiente de conexiones erradas sin sistema pluvial.....	100
Tabla 21. Características de rejillas de barras.....	103
Tabla 22. Características de rejillas de barras.....	103
Tabla 23. Características de rejillas de barras.....	103
Tabla 24. Criterios de diseño para desarenadores.....	106
Tabla 25. Geometría recomendada para desarenadores de diferente tipo.....	106
Tabla 26. Proyección de la población de municipios de jurisdicción de la CDMB.	114
Tabla 27. Problemas que causan el deterioro del recurso agua.....	121
Tabla 28. Mediciones de campo descarga final Municipio Surata.....	123
Tabla 29. Resumen de aportes per capita municipio Surata 1997.....	126
Tabla 30. a al cuerpo receptores del municipio Surata 1997.....	126

LISTA DE FIGURAS

	pág.
Figura 1. El ciclo hidrológico.	13
Figura 2. Relación entre la disponibilidad de agua y la población.....	14
Figura 3. Usos alternativos del agua según el nivel de ingreso de los países.	16
Figura 4. Tratamientos según la fase o nivel de depuración.....	34
Figura 5. Intercambio energético.	47
Figura 6. Fases de la curva de desarrollo bacteriano	50
Figura 7. Etapas en la formación de la biopelícula.	54
Figura 8. Modelo del canal de agua.....	57
Figura 9. Modelo del mosaico heterogéneo	57
Figura 10. Modelo película densa	58
Figura 11. Evolución del biopelícula.	59
Figura 12. Sistema de tratamiento con RBC.....	62
Figura 13 Configuraciones típicas de los sistemas RBC (a) Flujo paralelo al eje; (b) Flujo perpendicular al eje; (c) alimentación; y (d) alimentación graduada.	66
Figura 14. Flor femenina y masculina	72
Figura 15. Frutos de la <i>Luffa operculata</i>	73
Figura 16. Tina de lavado.	81
Figura 17. (a) Retiro de la cáscara, (b) Lavado y retiro de las semillas, (c) Aspecto después del lavado, (d) Secado a la sombra	81

Figura 18. Rodajas de Luffa.....	84
Figura 19. Pasos de la determinación de la densidad del agua en la prueba.....	85
Figura 20. Geometría de las barras.	104
Figura 21. Municipios que conforman la subregión de Surata.	117
Figura 22. Caudal domestico y total.....	124
Figura 23. Variación de caudales.....	124
Figura 24. Variación de temperatura y pH	124

LISTA DE ANEXOS

pág.

ANEXO A. Cuadro situación actual de la cobertura de alcantarillado y plantas de tratamiento en los municipios del Departamento de Santander.....	132
ANEXO B. Protocolo de laboratorio para los ensayos de caracterización preliminar de la Luffa Operculata.....	133
ANEXO C. Cuadro de diseño sistema de tratamiento de aguas residuales domesticas utilizando el RBC como tratamiento secundario	138
ANEXO D. Planos de los componentes del RBC y detalles de la estructura USM	143
ANEXO E. Tablas de medición de contaminantes en campo de los municipios menores pertenecientes al área de jurisdicción de la CDMB.....	155

RESUMEN

TITULO

PLANTEAMIENTO DEL PROGRAMA DE INVESTIGACIÓN "PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS UTILIZANDO EL CONTACTOR BIOLÓGICO ROTATIVO (RBC) COMO TRATAMIENTO SECUNDARIO" Y DESARROLLO DE LA FASE INICIAL*

AUTOR

MANOSALVA CORTES, Mary Andrea y GALINDO BAYONA, Rodrigo Antonio**

PALABRAS CLAVES

Agua residual, Contactor Biológico Rotativo, RBC, biopelícula, sistemas de tratamiento de agua residual, tratamiento biológico, diseño, Luffa Operculata, Suratá.

DESCRIPCIÓN

El Contactor Biológico Rotativo (RBC) se clasifica como un proceso biológico aerobio de película adherida que proporciona tratamiento secundario. Entre sus ventajas se pueden destacar la baja producción de ruido, olores, espumas y aerosoles, se considera como una buena alternativa en el tratamiento de aguas residuales domésticas en poblaciones menores a 5000 habitantes, no requiere personal especializado para el mantenimiento y control del proceso. Estas características convierten al RBC en una excelente opción para los Municipios del Departamento de Santander. El objetivo del trabajo de grado es plantear un programa de investigación que permita el apropiamiento de la tecnología del RBC, con la finalidad de proporcionar las herramientas necesarias para el diseño de una planta de tratamiento de aguas residuales domésticas utilizando el RBC con tecnología nacional y materiales disponible en nuestro entorno, que se proyecte como un sistema de fácil mantenimiento y asequible a poblaciones de bajos recursos económicos, mejorando las condiciones de vida de los habitantes sin desmejorar la calidad de los cuerpos de agua. El programa de investigación propuesto se encuentra dividido en cuatro fases, Inicial, Investigación y desarrollo, Aplicación y Monitoreo y apoyo técnico. El desarrollo de la fase inicial contiene una recopilación bibliográfica en los capítulos 2, 3, 4 y 5, en los cuales se abordan los temas de: el agua, el agua residual, sistemas de tratamiento de agua residual y su clasificación, tratamiento biológico, Contactor Biológico Rotativo, y la Luffa Operculata, esta se preselecciono como medio de soporte para la biopelícula. En pruebas preliminares de caracterización, la Luffa, muestra una superficie específica de $315 \text{ m}^2/\text{m}^3$. En el capítulo 6 se muestra el procedimiento de diseño de la planta. En el capítulo 7 se realiza un estudio socio económico del Municipio de Suratá.

*Trabajo de grado en la modalidad de investigación

**Facultad de Ingenierías Físico Mecánicas, Escuela de Ingeniería Civil, Director: Ing. M. Sc. Ph. D. Hernán Porras Díaz

SUMMARY

TITLE

PROPOSAL OF THE INVESTIGATION PROGRAM "PLANT OF TREATMENT OF WASTEWATERS MAIDSERVANTS USING THE ROTATING BIOLOGICAL CONTACTOR (RBC) AS SECONDARY TREATMENT" AND DEVELOPING OF THE INITIAL PHASE*

AUTHOR:

MANOSALVA CORTES, Mary Andrea y GALINDO BAYONA, Rodrigo Antonio**

KEY WORDS:

Wastewater, Rotating Biological Contactor, RBC, biofilm, treatment systems wastewater, treatment biological, design, Luffa Operculata, Suratá.

DESCRIPTION:

The Rotating Biological Contactor (RBC) is classified as a biological aerobic process of stuck film that provides secondary treatment. Among their advantages It can be outlined the drop of noise production, scents, foams and aerosols, it is considered a good alternative in the treatment of domestic waste waters in populations with less than 5000 inhabitants, specialized personnel doesn't require for the maintenance and control of the process. These characteristics transform the RBC into an excellent option for the Municipalities of the Department of Santander. The objective of the thesis is to propose an investigation program that allows the appropriation of the technology of the RBC, with the purpose of providing the necessary tools for the design of a plant of treatment of wastewaters maidservants using the RBC with national technology and available materials in our medium that is projected as a system of easy maintenance and affordable to populations of low economic resources, improving the conditions of the inhabitants life without diminishing the quality of the of water bodies. The proposed investigation program is divided in four phases, Initial, Investigation and development, Application and Monitoring and technical support. The development of the initial phase contains a bibliographical summary in the chapters 2, 3, 4 and 5, in which the topics are approached of: the water, the wastewater, systems of treatment of wastewater and their classification, biological treatment, Rotating Biological Contactor, and the Luffa Operculata, this selection was chosen like medium of support for the biofilm. In preliminary tests of characterization, the Luffa, shows a specific surface of 315 m²/m³. In the capter 6 the design procedure of the plant is shown. In the capter 7 a social economic study of the Municipality of Suratá is carried out.

* Degree Project in character of investigation

** Physical-mechanical Engineer Faculty, Civil Engineering, Director: Eng. M. Sc. Ph. D. Hernán Porras Díaz

INTRODUCCION

"Un mundo nuevo no es más que un nuevo modo de pensar."
William C. Willian

Nuestro sistema solar esta compuesto por nueve planetas, todos son tan diversos en formas, tamaños y características que el encontrar varias diferencias con nuestro planeta seria muy fácil; entre ellas encontramos una que salta a la vista casi instantáneamente, la vida.

Nuestro planeta esta lleno de vida; en cualquier ambiente encontraremos numerosas formas vivientes; sin embargo en los más curiosos observadores surge una pregunta ¿Qué hace a nuestro planeta tan especial para albergar la vida?, en realidad la respuesta a esta pregunta puede tener muchos matices, desde los mas científicos hasta los teológicos, pero sin temor a equivocarnos podemos afirmar que uno de los factores que favorecieron la aparición y desarrollo de la vida es el agua.

Nuestro planeta es inmenso pero finito, aunque no nos percatemos de ello, el hombre parece creer que cuenta con recursos infinitos o al menos eso se podría pensar si se observan las estadísticas de crecimiento en el consumo de los recursos naturales. Estamos consumiendo nuestros recursos a un ritmo insostenible, existe la necesidad de comprender que nuestro planeta tiene límites y los estamos sobrepasando, sin embargo una sociedad sostenible es aun técnica y económicamente posible.

El crecimiento sin control no ha traído bienestar sino más miseria causado en gran parte por la desigualdad social que existe entre los países del mundo. La población actual es muy superior estamos cerca de los límites y posiblemente los sobrepasemos antes de que llegue la estabilidad esperada. El crecimiento es un proceso que necesita espacio y recursos, si somos concientes de nuestros limites sabemos que el crecimiento no puede ser indefinido; la naturaleza nos brinda un ejemplo con las bacterias, estas poseen un crecimiento exponencial hasta saturar el medio en el que se encuentran, luego su población permanece constante hasta que agotan los nutrientes del medio y posteriormente viene una etapa de decaimiento en la cual todas mueren. El desarrollo es un proceso que aboga por la optimización de los procesos y el uso racional de los recursos. Según esto el crecimiento no implica necesariamente desarrollo pero tampoco lo excluye.

El principal problema al que se ve enfrentado el planeta, es el agotamiento de sus recursos por la falta de conciencia, el hombre utiliza y derrocha sin ninguna previsión o control, aun sabiendo que estos recursos en algún momento van a

escasear. El continuo agotamiento de los recursos naturales y el crecimiento en la demanda de estos, va a generar una guerra por obtenerlos, además ocasionará entre los hombres diferencias sociales y económicas. La falta de políticas claras de uso y conservación de los recursos aumenta el problema.

A menos que encontremos una forma de procesar los desperdicios que producimos, o por lo menos la parte que la naturaleza no es capaz de procesar por si misma, dañaremos los recursos que no se han utilizado y esto disminuirá las reservas para un futuro.

La contaminación no solo afecta el planeta, nos afecta directamente. Disminuye nuestra calidad de vida, acaba los recursos que necesitamos para subsistir, como el agua y los alimentos. La solución no son nuevos basureros, ni otro lugar que nos permita esconder lo que estamos haciendo, la solución esta en darles un tratamiento adecuado. En la actualidad el tratamiento de desperdicios esta optando por la utilización de procedimientos biológicos mejorados, los cuales consisten en aprovechar los organismos encargados de la descomposición natural, aumentando su capacidad de procesamiento, nos falta bastante pero los logros obtenidos hasta ahora muestran una buena oportunidad. Como ejemplos de este nuevo tipo de tecnologías podemos citar biodigestores, biorotores, lodos activados, filtros lentos, entre otros.

Solo queremos recalcar la importancia de analizar todas nuestras acciones, enmarcadas en los límites planetarios a los que estamos sujetos. El sobrepasamiento se produce por la conjunción de dos factores, la velocidad del cambio y la pobre interpretación de las señales de alerta que nos brinda el medio, he aquí entonces un reto para nosotros, descifrar el lenguaje de nuestro planeta e identificar estos límites demarcándolos. Dejemos de un lado la arrogancia y pensemos que nuestras decisiones actuales repercutirán en el futuro.

OBJETIVO GENERAL

Desarrollar un programa de investigación, que permita encaminar los esfuerzos de un grupo de trabajo interdisciplinario, en el apropiamiento de la tecnología del Contactor Biológico Rotativo RBC, con la finalidad de diseñar una planta de tratamiento de aguas residuales domésticas.

OBJETIVOS ESPECIFICOS

1. Recopilar y analizar información sobre los sistemas de tratamiento de agua residual, tratamiento biológico y biopelícula.
2. Preseleccionar una fibra natural que posea las características necesarias para cumplir las funciones del medio.
3. Desarrollar un procedimiento básico de diseño de una planta de tratamiento de aguas residuales domésticas utilizando el RBC como tratamiento secundario.
4. Definir las fases de investigación que contribuyan al apropiamiento de la tecnología del RBC.
5. Definir las investigaciones a realizar en cada una de las áreas de investigación propuestas.
6. Realizar el estudio, sobre alguna población perteneciente al área de jurisdicción de la CDMB, que muestre su entorno social y político y la situación de sus recursos hídricos.

1. PROGRAMA DE INVESTIGACION

En estos momentos uno de los propósitos de una adecuada gestión de los recursos hídricos esta dirigida al control de los vertimientos mediante el tratamiento de las aguas residuales. Las principales fuentes de contaminación debidas a un mal manejo de los cuerpos de agua son: las aguas residuales domesticas, efluentes industriales, actividades agrícolas, erosión y los residuos sólidos orgánicos. Llevando a la modificación del equilibrio de los ecosistemas hídricos.

Basados en esta problemática, los esfuerzos deben estar orientados a la investigación y desarrollo de sistemas de tratamiento de aguas residuales que posean tecnologías limpias que no causen contaminación adicional.

Entre las tecnologías actuales, el RBC se perfila como el sistema de tratamiento de aguas residuales más apropiado para las características de nuestra región, sin embargo, se hace necesario implementar un programa de investigación que permita el apropiamiento de esta tecnología.

El programa de investigación se ve enfrentado a dos grandes desafíos; el primer desafío importante es obtener el desarrollo del sistema con base en tecnología nacional; y por ultimo ahondar en el conocimiento de los materiales autóctonos, cuyas características sean apropiadas para ser empleados como medios de soporte de la biopelícula.

1.1 SITUACION PROBLEMA

El panorama en los municipios de Santander respecto al tratamiento de las aguas residuales, se mueve desde la ausencia de sistemas de tratamiento, hasta el total abandono de algunas plantas existentes. Esta situación se ve acentuada por factores económicos que impiden la adquisición de sistemas de tratamiento de agua residual, que proporcionen porcentajes de remoción aceptable, o costear sus gastos de operación y mantenimiento. Provocando una contaminación de los recursos hídrico de la región.

Esta situación no es ajena a los demás municipios del país, y como respuesta a esta problemática, en Colombia se han desarrollado decretos tales como el decreto 1594 de 1984, que establece los parámetros de calidad para los vertimientos de aguas residuales y su utilización, también se encuentra la Ley 99 de 1993, que crea el Ministerio del Medio Ambiente y las corporaciones

autónomas regionales. En el país existen 36 Corporaciones Autónomas Regionales con carácter de autoridad ambiental, como la Corporación Autónoma Regional para la Defensa de la Meseta de Bucaramanga, CDMB y la Corporación Autónoma Regional de Santander, CAS.

La CDMB es “un ente corporativo de carácter público, descentralizado, con patrimonio propio y personería jurídica, encargada por la ley de administrar dentro del área de jurisdicción, el medio ambiente y los recursos naturales renovables y propender por su desarrollo sostenible”, adicionalmente entre sus funciones se encuentra la de controlar y hacer seguimiento a la calidad y cantidad de los vertimientos en los cuerpos receptores y velar por su mejoramiento. Su área de jurisdicción se encuentra en la Cuenca Alta del Río Lebrija y comprende los municipios de Bucaramanga, Floridablanca, Piedecuesta, Girón, Lebrija, Rionegro, Matanza, Suratá, Charta, Vetas, California, Tona y El Playón.

Con base en su función de velar por el mejoramiento de los recursos hídricos la CDMB en el año de 1997 contrato un estudio con la firma ASA FRANCO & CIA, en el cual se hace un diagnóstico del manejo de residuos sólidos y líquidos en los municipios menores. En dicho informe se evidencia la continua contaminación de los cuerpos receptores debido a la inexistencia de plantas de tratamiento de aguas residuales.

En su estudio ASA FRANCO propone como la alternativa mas viable al problema la utilización del RBC como tratamiento secundario, sin embargo esta tecnología es patentada, debe ser importada y acarrea problemas en el servicio técnico. Para reducir estos costos se hace necesario utilizar tecnología nacional y materiales autóctonas como medio.

1.2 DESCRIPCIÓN DEL PROGRAMA DE INVESTIGACIÓN

1.2.1 Título PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS UTILIZANDO EL CONTACTOR BIOLÓGICO ROTATIVO (RBC) COMO TRATAMIENTO SECUNDARIO

1.2.2 Objetivo general Desarrollar una serie de estudios organizados, que permitan avanzar en el apropiamiento de la tecnología del Contactor Biológico Rotativo RBC, utilizando tecnología nacional y materiales autóctonos.

1.2.3 Objetivos específicos

1. Apropiarse de la tecnología del Contactor Biológico Rotativo RBC.

2. Seleccionar y evaluar materiales para ser empleados como medio de soporte de la biopelícula.
3. Estudiar el comportamiento de los componentes del sistema ante las sollicitaciones mecánicas.
4. Definir un modelo matemático que contemple las variables relacionadas con el funcionamiento del sistema.

1.3 ALCANCE DEL PROGRAMA

El programa busca el desarrollo de una serie de investigaciones que permita la apropiación de la tecnología del Contactor Biológico Rotativo, para permitir la implementación de un sistema de tratamiento de aguas residuales domesticas utilizando el RBC como tratamiento secundario,

El programa esta orientado al desarrollo de un sistema que no requiera materia prima de difícil consecución, de fácil manejo, con bajos costos de mantenimiento y operación. Si unimos estas variables tenemos un programa de investigación de alto impacto social que beneficiaría a los municipios más pobres de nuestra región y del país.

1.4 IMPACTO Y VIABILIDAD

1.4.1 Impacto

- **Impacto técnico.** El brindar una experiencia de este tipo en nuestro país, aportara criterios de comparación en el desempeño de las plantas de RBC en climas tropicales y bajo condiciones muy diferentes a las manejadas en la literatura. Adicionalmente se estandarizaran algunos procedimientos que permitan realizar mas experiencias comparables entre si.

Adicionalmente el desarrollo de un estudio de este tipo, intenta servir de guía para la estructuración de futuras investigaciones, enmarcadas en un programa de investigación coordinado con proyección social.

- **Impacto económico.** La disminución de costos de construcción e instalación de las plantas de tratamiento de RBC es uno de las principales metas del programa de investigación, logrando que pequeñas poblaciones de escasos recursos tengan acceso al tratamiento del agua residual.

- **Impacto social.** El mayor impacto redundara en mejorar las condiciones de salubridad de la población que reside a orillas de los cuerpos receptores, por el mejoramiento de la calidad del agua que reciben, la disminución de la tasa de enfermedades y mortalidad infantil por enfermedades gastrointestinales.

- **Impacto ambiental.** Al disminuir la cantidad de materia orgánica se evitara la eutrofización de corrientes y lagos, una de las principales causas del envejecimiento prematuro y deterioro de la fauna acuática, por proliferación de la flora que consume todo el oxígeno disponible.

El desarrollo de una tecnología limpia que mejora la calidad de los cuerpos receptores, repercutirá indudablemente en la fauna y flora de estos ecosistemas afectados por las descargas directas.

1.4.2 Viabilidad

- **Viabilidad técnica.** El conocimiento teórico en el cual se basa el programa de investigación, ofrece la información suficiente para el desarrollo y apropiamiento de la tecnología del RBC. Los elementos que se requieren están a nuestra disposición, las partes y piezas que componen el sistema se pueden encontrar fácilmente, solo se necesitan su correcta selección.

- **Viabilidad social.** Las repercusiones en la sociedad son solo positivas al eliminar factores como la producción de olores y espumas. Además mejorar los sistemas de saneamiento e higiene de las comunidades, involucrándolas en los procesos de funcionamiento y mantenimiento de la planta por su fácil sistema de operación.

1.5 METODOLOGIA

La determinación de la metodología nos permite definir de antemano los pasos requeridos para la consecución de los objetivos planteados, nos brinda una serie de etapas que al seguir con rigor científico permite demostrar las hipótesis planteadas.

La metodología a seguir en este proyecto esta regida bajo los mismos principios o leyes empleados en el Método Científico que son:

- Proviene de la experiencia
- Son demostrables en la practica
- Tienen aplicación de orden practico

Este tipo de método de investigación se puede dividir en las siguientes etapas: planteamiento del problema, formulación de hipótesis y predicciones, experimentación y recopilación de datos, interpretación de datos y conclusiones. Con la aplicación de este método se puede probar si una afirmación es o no válida.

1.6 PLAN DE TRABAJO

Siguiendo con la metodología descrita anteriormente, el plan de trabajo del proyecto estará dividido en cuatro grandes fases:

- Fase Inicial
- Fase de Investigación y Desarrollo
- Fase de Aplicación
- Fase de monitoreo y apoyo técnico.

En este punto se debe aclarar que tan solo se describirán los puntos de mayor relevancia en el desarrollo del programa, en ninguna de las fases se descarta el desarrollo de investigaciones adicionales que aumenten el alcance e impacto del proyecto, o que no se hayan mencionado y se requiera, así mismo el programa contempla el desarrollo de investigaciones fruto de inquietudes surgidas en etapas anteriores.

1.6.1 Fase inicial. El objetivo principal de esta fase es recopilar la información necesaria sobre la contaminación del agua, sistemas de tratamientos de agua residual, teoría del tratamiento biológico, biopelícula y Contactor Biológico Rotativo. También comprende la preselección de una fibra natural que posea las características necesarias para que cumpla las funciones de medio en el RBC, así como el desarrollo de un procedimiento básico de diseño de una planta de tratamiento de aguas residuales domesticas utilizando el RBC como tratamiento secundario. El desarrollo de esta fase sirve como base para el desarrollo del proyecto.

Las salidas de esta fase son:

- Recopilación bibliografía.
- Procedimientos preliminares para la caracterización del medio.
- Resultados de las pruebas de laboratorio.
- Procedimiento básico de diseño PTAR RBC
- Dimensionamiento de las estructuras del sistema.
- Programa de investigación.

1.6.2 Fase de investigación y desarrollo. El objetivo principal de esta fase es comprobar experimentalmente el comportamiento de los componentes que hacen parte del RBC. Al finalizar esta fase se deben conocer los desempeños las relaciones existentes entre las variables de diseño y la eficiencia del sistema.

Se desarrollara por áreas de investigación las cuales son:

AREA: Relación Medio de soporte y Biopelícula

El objetivo de esta área es la caracterización de los medios de soporte escogidos para el estudio y la evaluación de la relación Medio-Biopelícula.

En la fase inicial se preseleccionó la Luffa Operculata como medio para iniciar las investigaciones en esta área.

Se proponen dos investigaciones iniciales:

- Caracterización de las propiedades de la Luffa Operculata, como medio en el Contactor Biológico Rotativo.
- Evaluación de la relación Medio-Biopelícula en la Luffa Operculata.

AREA: Análisis mecánico del RBC

El objetivo de esta área es el estudio del comportamiento mecánico de los componentes del Contactor Biológico Rotativo. El enfoque inicial de esta área será el análisis del eje del biorotor y el control de las variables del proceso.

Se propone inicialmente la realización de la siguiente investigación:

- Determinación de los esfuerzos torsionales en el eje del Contactor Biológico Rotativo, producidos por el crecimiento no uniforme de la biopelícula.
- Aplicación de microcontroladores al proceso del Contactor Biológico Rotativo.

AREA: Modelamiento matemático del proceso del RBC.

El objetivo de esta área es el establecer el modelamiento matemático del proceso biológico que se desarrolla en el Contactor Biológico Rotativo.

El modelo matemático que se plantee deberá permitir la retroalimentación con el desarrollo de las investigaciones posteriores del programa de investigación.

Se propone inicialmente la realización de la siguiente investigación:

- Modelamiento del proceso biológico del Contactor Biológico Rotativo.

Las salidas de esta fase son:

- Definición de las relaciones medio biopelícula.
- Diseño mecánico del sistema.
- Sistemas de control del proceso por medio de microcontroladores.
- Modelo matemático preliminar del proceso.
- Procedimiento definitivo de diseño PTAR RBC.

1.6.3 Fase de aplicación. En esta fase se busca aplicar la investigación, con el diseño y construcción de una planta de tratamiento de aguas residuales domesticas utilizando el RBC como tratamiento secundario en una población del departamento de Santander.

Las salidas de esta fase son:

- Planta de Tratamiento de RBC.

1.6.4 Fase de monitoreo y apoyo técnico. El objetivo principal de esta fase es realizar el seguimiento de la PTAR establecida en la fase anterior y evaluar el desempeño, así mismo retroalimentar el modelo matemático. Y ofrecer el apoyo técnico y asesoría en la operación y mantenimiento de la planta.

Las salidas de esta fase son:

- Modelo matemático ajustado.
- Memoria de desempeño de la PTAR.
- Ajustes al procedimiento de diseño.

2. GENERALIDADES

2.1 EL AGUA

2.1.1 El recurso agua. La evolución de cierta forma ha girado alrededor del agua. Todas las formas de vida de nuestro planeta necesitan de ella, desde los organismos unicelulares en los que su citoplasma es una disolución de compuestos en agua; hasta el elefante, el animal terrestre más grande del mundo, que consume 190 litros de agua al día. Esta es un constituyente fundamental en los organismos vivos en los cuales representa entre un 50% y 90% de su masa, como es de esperarse nosotros no escapamos a esta realidad, nuestro cuerpo contiene aproximadamente un 70% de agua, cuyas funciones son innumerables e indispensables, por esto no podemos vivir mas de tres días sin beber agua en contraste con las casi dos semanas que resistimos sin comer.

El agua es un compuesto con características únicas, de gran significación para la vida, el más abundante en la naturaleza y determinante en los procesos físicos, químicos y biológicos que gobiernan el medio natural. El agua pura se encuentra presente en toda la biosfera, es conocida como el solvente universal, transporta la mayoría de los nutrientes esenciales, es un líquido inodoro, incoloro e insípido. Tiene un matiz azul, que sólo puede detectarse en capas de gran profundidad. A la presión atmosférica, 760 mm de mercurio, 1 atm, o sea al nivel del mar, el punto de congelación del agua es de 0° C y su punto de ebullición de 100° C. El agua alcanza su densidad máxima a una temperatura de 4° C, a esta temperatura un centímetro cúbico de agua pesa un gramo y se expande al congelarse. Su calor específico es igual a una caloría. Como muchos otros líquidos, puede permanecer en estado líquido aunque su temperatura esté por debajo de su punto de congelación; se puede enfriar fácilmente a unos -25° C sin que se congele.

Ciclo Hidrológico. El agua se formó en nuestro planeta hace aproximadamente 3.800 millones de años, desde entonces el volumen de agua de la tierra ha permanecido constante pero en continuo movimiento para satisfacer las necesidades de agua fresca de los seres vivos, la naturaleza dispuso un sistema que permite reciclarla continuamente, este sistema es conocido como ciclo hidrológico.

El ciclo hidrológico no solo se constituye como una forma en la que fluye el agua a través de las diferentes esferas, hidrosfera, litosfera, biosfera, antroposfera y litosfera, otra de sus funciones es el intercambio de energía, la cual se libera o absorbe en las transformaciones de fase del agua.

El ciclo hidrológico es la continua interacción del agua entre la litosfera y la atmósfera. Este proceso consta de 4 etapas: evapotranspiración, precipitación, infiltración y escorrentía.

Evapotranspiración. Se divide en dos procesos, la evaporación producida por la acción de la radiación solar y el viento; y la transpiración realizada por las plantas que absorben el agua del suelo y la libera posteriormente a la atmósfera. En estos procesos el agua líquida se transforma en vapor de agua. Se estima que la evaporación anual de agua es de 430.000 Km³ en el mar y de 70.000 Km³ en la superficie terrestre.

Precipitación. La precipitación tiene lugar cuando el vapor de agua contenido en la atmósfera, proveniente de la evapotranspiración, se condensa. La precipitación se puede presentar en fase líquida, lluvia, o en fase sólida, nieve o granizo, en cualquier caso una parte de la precipitación, se evapora mientras desciende y se incorpora nuevamente a la humedad atmosférica. La precipitación efectiva sobre el mar y sobre la superficie terrestre es, respectivamente, de 390.000 Km³ y 110.000 Km³.

El agua precipitada al llegar a la superficie terrestre, puede ser absorbida por el suelo, infiltración, o drenar hasta los cuerpos de agua, escorrentía. La cantidad de agua que sigue cada uno de estos procesos es determinada por la intensidad de la lluvia, lluvia antecedente, porosidad, permeabilidad del suelo, pendiente del terreno, cobertura vegetal, entre otros.

Infiltración. Este proceso es efectuado por el suelo donde el agua es retenida. El agua infiltrada desciende hasta la zona de saturación. Una parte del agua depositada en la zona de saturación, por medio del fenómeno de capilaridad, asciende a capas superiores para ser absorbida por las plantas, otra parte penetra a capas inferiores en un proceso conocido como percolación, donde forma acuíferos. La función del agua infiltrada es la de abastecer a las plantas y fuentes superficiales de agua en épocas de estiaje.

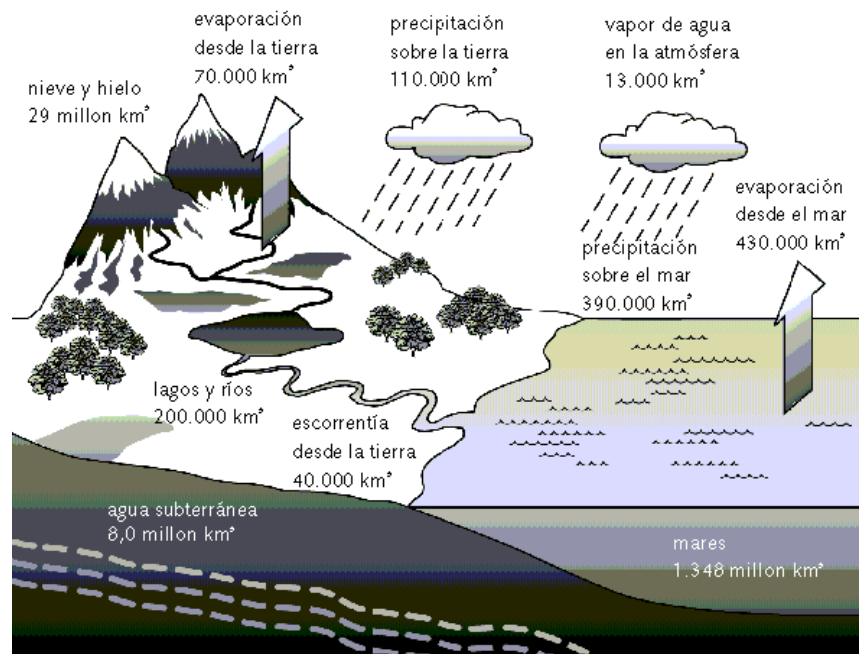
Escorrentía. El agua de escorrentía es aquella que no fue infiltrada por el suelo y drena sobre la superficie del terreno hasta los ríos, lagos y arroyos. Durante este proceso el agua puede arrastrar elementos como suelo, material vegetal y piedras entre otros.

Uno de los factores que cabe resaltar por su influencia en el ciclo hidrológico es la cobertura vegetal. Los procesos de deforestación generados por el hombre están acrecentando los problemas de sequía de la humanidad, se pueden identificar los siguientes aspectos sobre la influencia de la cobertura vegetal: al disminuirse la densidad de vegetación se estará disminuyendo la evapotranspiración y por consiguiente la lluvia en la región; la desprotección del suelo incrementa la cantidad de sedimentos en los ríos y genera un aumento de los desastres

naturales producidos por avalanchas de lodo; adicionalmente se debe recalcar su efecto regulador en las fuentes de agua.

En la actualidad se incorporan 40.000 Km³ de agua por año a los continentes, en forma de lluvia, granizo o nieve, sin embargo por ser un recurso estacional se estima que cerca de 28.000 Km³ fluye por los ríos hacia el mar en épocas de abundancia, del restante unos 5.000 Km³ fluyen en zonas inhabitadas o inaccesibles y no son aprovechados, esto nos deja con cerca de 7.000 Km³ que puede ser utilizados. La Figura 1 El ciclo hidrológico.

Figura 1. El ciclo hidrológico.



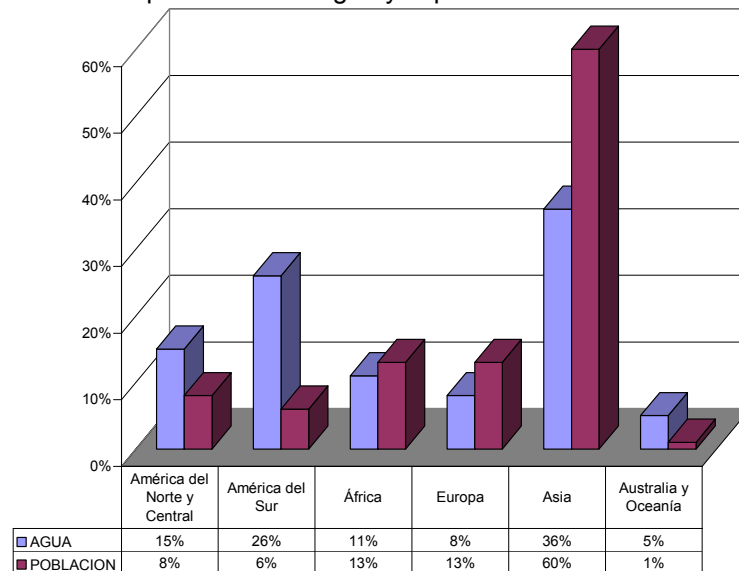
Fuente: Clarke, R. Water: The International Crisis. Londres, Earthscan, 1991.

2.1.2 El agua en el mundo. La superficie terrestre en un 80% de su extensión se encuentra cubierta de agua, este dato sugiere que es un recurso natural abundante, sin embargo los estimativos apuntan a que el 97% del agua es salada y se encuentra en grandes depósitos como los océanos, un poco más del 2% se encuentra en forma de hielo en los polos y nevados, cerca del 1% está representada en los ríos, lagos, aguas subterráneas y humedad atmosférica. Con lo anterior podemos afirmar que solo un 1% tiene el potencial de ser aprovechado por el hombre, sin embargo debido a la distribución espacio temporal de este recurso y al deterioro de la calidad del líquido como resultado de las actividades humanas este valor se ve reducido.

Distribución Espacial. Al analizar la distribución espacial del agua dulce encontramos que esta no corresponde con la distribución poblacional a diferentes escalas. A escala mundial, el 20% de la escorrentía media anual se produce en la cuenca del Amazonas cuya población es aproximadamente de 10 millones de habitantes, lo cual representa menos del 0.2% de la población mundial, en la Figura 2 podemos apreciar como el continente asiático que alberga más de la mitad de la población mundial, solo posee el 36% de los recursos hídricos disponibles. A escala nacional encontramos que en México menos del 10% de su territorio proporciona más de la mitad de la escorrentía total mientras que el resto de su territorio es árido.

El hombre como alternativa para afrontar el carácter espacial del agua, ha buscado transportarla de las fuentes naturales hasta los centros poblados, desde los egipcios que construyeron canales y acequias para regar sus cultivos, pasando por los romanos que construyeron acueductos de hasta 100 kilómetros que abastecían a Roma con agua.

Figura 2. Relación entre la disponibilidad de agua y la población



Fuente: UNESCO - PHI.

Distribución Temporal. Al analizar la distribución temporal del agua dulce se observa que esta se presenta en forma de lluvias estacionales, uno de los casos extremos se presenta en la India donde en la época de los Monzones se recibe el 90% de las precipitaciones y durante el resto del año apenas llueve, en esta época se presentan graves inundaciones en vastas zonas donde la gente construye sus casas sobre pilares previéndolas. Aún así, estas lluvias son esenciales para los cultivos. Cuando las lluvias monzónicas no son abundantes, se producen sequías y pérdida de cosechas.

Uno de los esfuerzos del hombre por enfrentar el carácter estacional del agua ha sido la construcción de presas, desde 1950 en los países desarrollados se impulsó la construcción de grandes presas para asegurar su abastecimiento de agua, pero no se han tenido en cuenta los grandes riesgos que generan la construcción de estas como son la perturbación de los ciclos de anegación, bloquear los canales fluviales y otra serie de efectos que ponen en peligro la vida vegetal y animal, como la eutrofización de las aguas entre otros. Las presas lograron aumentar en 3.000 Km³ la cantidad de agua disponible para el uso humano.

La Crisis Mundial del Agua. Un pensamiento generalizado es que el agua se está acabando, lo cual es falso, el volumen de agua que existe en la Tierra es invariable, la crisis del agua se debe al deterioro de las fuentes. Este deterioro se debe a la confluencia de varios factores como el crecimiento poblacional, los cambios climáticos,

Crecimiento poblacional. La cantidad de agua disponible pone límites a la población que puede sostenerse en una región, no obstante el hombre parece desconocer estos límites o hace caso omiso a las señales que la naturaleza le da. En algunos casos dispone del agua en un valor superior al consumo sostenible, causando posteriormente el agotamiento del recurso y ocasionando una futura escasez crónica en la región que está explotando. Sin tener en cuenta la distribución espacio temporal, el crecimiento exponencial de la población ha hecho que la dotación per capita de agua disminuya; en la actualidad se estima una dotación de 9000 m³ por persona al año y se proyecta que para 2025 este valor será de 5100 m³. Esto evidencia la escasez de recursos hídricos naturales.

Cambios climáticos. Los fenómenos como el calentamiento global y el ENSO afectan de manera directa la distribución espacio temporal de las lluvias. El grado de afectación que los cambios climáticos producen sobre los recursos hídricos es incierto, sin embargo, al respecto la UNESCO menciona, “Las estimaciones recientes sugieren que los cambios climáticos serán responsables de alrededor del 20% del incremento de la escasez global del agua”.

Contaminación. La continua contaminación de las fuentes de agua, debida a la poca o nula depuración de los vertimientos líquidos urbanos e industriales, es en la actualidad la principal causa de la disminución del suministro de agua dulce. La gestión que realice las instituciones gubernamentales es de importancia para el mejoramiento de la calidad de vida de los seres humanos buscando satisfacer las necesidades básicas. Este es uno de los siete desafíos que se aprobaron en la Declaración Ministerial de la Haya de marzo del año 2000, en el Segundo Foro Mundial del Agua como metas para el año 2015.

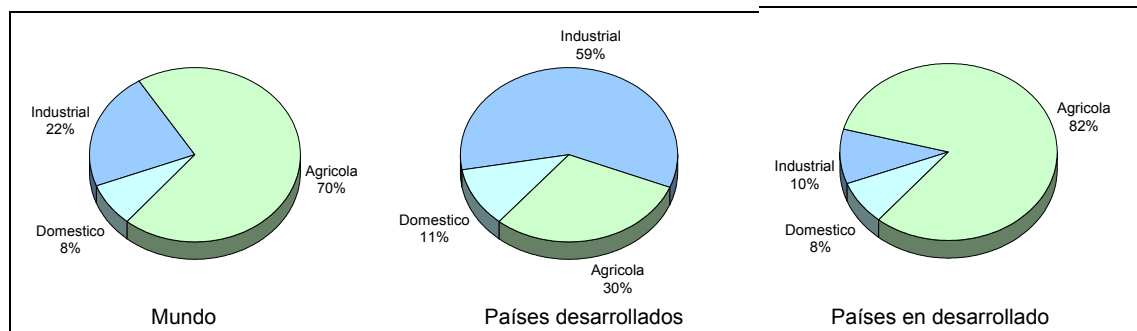
En América latina la situación del agua no tiene buenas perspectivas, según las estadísticas de la UNESCO en la región 1.200 millones de habitantes no tienen acceso a una fuente de agua potable segura, las enfermedades por aguas

contaminadas matan más de 4 millones de niños al año y el 20% de todas las especies acuáticas de agua fresca están extintas o en peligro de desaparecer.

Usos del Agua. En el mundo se identifican tres usos principales del agua, agrícola, industrial y doméstico; mundialmente, el 70% del agua utilizada por el hombre es destinada a la agricultura (principalmente para riego); el uso industrial representa el 22% y el consumo doméstico tan solo un 8%.

Sin embargo, la disposición de los recursos hídricos varía entre regiones de una forma asombrosa, las regiones más desarrolladas utilizan más de la mitad de su agua en usos industriales en contraste con los menos desarrollados que ocupan sus recursos en la agricultura. Para dar una idea de estas variaciones se puede citar como ejemplo al continente Africano, donde la agricultura consume el 88% del agua a su disposición, mientras que el uso doméstico representa el 7% y la industria tan solo el 5%. En el continente Europeo, su industria consume el 54%, la agricultura el 33% y el uso doméstico el 13%. La Figura 3 muestra los usos alternativos de agua.

Figura 3. Usos alternativos del agua según el nivel de ingreso de los países.



Fuente: Banco Mundial, 2001.

Doméstico. El uso doméstico del agua se refiere a la cantidad de agua necesaria para satisfacer cuatro necesidades básicas, beber, saneamiento, bañarse y cocinar. Aunque mucho se ha dicho acerca de la cantidad mínima que requiere una persona para satisfacer sus necesidades básicas, no existe un consenso aún, según Peter Gleik, presidente del Pacific Institute for Studies in Development, Environment and Security, se considera que para beber y saneamiento, una persona necesita de 20 a 40 litros por día, si se incluye el volumen de agua para bañarse y cocinar la cifra varía entre 27 y 200 litros. La dificultad para definir una cifra universalmente aceptada, radica en que no solo depende de las necesidades mínimas y de la cantidad de agua disponible, también obedece a factores culturales, al nivel de desarrollo económico y el grado de urbanización, por ejemplo el volumen promedio de agua destinado para uso doméstico por persona

al día en África es de 47 litros, en Asia es de 87 litros y en zonas mas desarrolladas como el Reino Unido y Estados Unidos alcanzan los 334 litros y 578 litros, respectivamente. El aumento de la población mundial y la mayor exigencia de los consumidores en algunas regiones del mundo, aumentan la presión sobre los recursos hídricos disponibles; las aguas subterráneas no han escapado a este efecto, un ejemplo de esto es Ciudad de México, donde debido a la sobreexplotación de su acuífero se están presentando hundimientos en algunas zonas.

Agricultura. El consumo de agua en la agricultura alcanza el 70% del consumo mundial. La cantidad de agua necesaria para producir 2800 calorías por persona por día, requerida para una nutrición adecuada, es en promedio de 1000 m³ de agua al año. La cual incluye cultivos, ganados, piscicultura y silvicultura. El uso del agua en la agricultura es en gran parte responsable del agotamiento del agua subterránea disponible y del 70% de su contaminación. Las grandes plantaciones de cereales del mundo utilizan aguas subterráneas para riego, la cantidad extraída por plantaciones de la India, China, Estados Unidos, el Norte de África y la Península Arábiga, superan la recarga natural de los acuíferos en 160 km³ al año. En general el riego consume el 15% del agua que se destina para uso agrícola, llegando a 2000-2500 Km³ al año. Las zonas destinadas a la agricultura ocupan el 37% de la superficie terrestre y se estima que esta cantidad aumentara en los próximos años. En la Tabla 1 se pueden observar algunas estimaciones de la FAO sobre el volumen de agua requerido en la producción de algunos productos agrícolas.

Tabla 1. Cantidad de agua necesaria para producir los principales alimentos

Producto	Unidad	Agua equivalente en metros cúbicos
Bovino, ganado	Cabeza	4.000
Ovejas y cabras	Cabeza	500
Carne fresca de bovino	Kilogramo	15
Carne fresca de oveja	Kilogramo	10
Carne fresca de pollo	Kilogramo	6
Cereales	Kilogramo	1.5
Cítricos	Kilogramo	1
Aceite de palma	Kilogramo	2
Legumbres, raíces y tubérculos	Kilogramo	1

Fuente: FAO, 1997.

Industrial. Al analizar los patrones de uso se puede observar que los países desarrollados destinan más de la mitad del agua a su disposición, para la industria, en contraste con los países en vía de desarrollo los cuales destinan aproximadamente el 10%. En la actualidad los países en vía de desarrollo están implementando procesos tendientes al aumento de su sector industrial, es de esperar por lo tanto que se aumente el consumo de agua para uso industrial, según estimaciones de la UNESCO se tiene que el volumen de agua anual utilizado por la industria aumentará de los 752 km³ en 1995 a 1.170 km³ para el 2025, representando aproximadamente el 24% de la extracción total de agua dulce.

2.1.3 El agua en Colombia. En agosto de 2001 el IDEAM, publica un libro llamado “El Medio Ambiente en Colombia”, el cual ofrece un panorama de la situación de ambiental de Colombia; debido al valor de dicho estudio reproducimos un aparte que contempla el recurso hídrico de nuestro país.

“...La ubicación geográfica, la variada topografía y el régimen climático que caracterizan al territorio colombiano han determinado que posea una de las mayores ofertas hídricas del planeta. Sin embargo, esta oferta no está distribuida homogéneamente entre las diferentes regiones del país y, además, está sometida a fuertes variaciones que determinan la disponibilidad del recurso hídrico; razones por las cuales en el territorio continental de Colombia se presentan desde zonas deficitarias de agua hasta aquéllas con grandes excedentes, que someten a importantes áreas del país a inundaciones periódicas de duración considerable.

La riqueza hídrica colombiana se manifiesta: en una extensa red fluvial superficial que cubre el país en unas condiciones favorables de almacenamiento de aguas subterráneas, en la existencia de cuerpos de agua lénticos, distribuidos en buena parte de la superficie total, y en la presencia de enormes extensiones de humedales.

La presencia de altas montañas, abundantes precipitaciones, extensas sabanas y selvas húmedas, junto con la ubicación estratégica en la zona tropical, caracterizan al territorio nacional y determinan la existencia de ecosistemas con un potencial hídrico valioso y sistemas complejos de regulación.

Si bien se reconoce la riqueza hídrica nacional, tanto en la distribución espacial como temporal, este enorme potencial se restringe en su aprovechamiento por la confluencia de múltiples factores antrópicos que han generado efectos en los componentes del ciclo hidrológico y, en especial, sobre la calidad del agua por la incorporación de residuos a las fuentes que los abastecen. También lo afectan en buena medida los patrones de aprovechamiento, caracterizados por mecanismos de uso poco eficiente del recurso hídrico...”

Usos del Agua. El decreto 1594 de 1984 en el Capitulo III, Artículo 29 muestra la clasificación de los usos de agua en Colombia, esta clasificación es usada para la determinación de parámetros de calidad, como los coliformes fecales, esta clasificación se muestra continuación:

- a. Consumo humano y doméstico
- b. Preservación de flora y fauna
- c. Agrícola
- d. Pecuario
- e. Recreativo
- f. Industrial
- g. Transporte.

2.2 EL AGUA CONTAMINADA

El agua puede llegar a ser un recurso natural renovable en la medida que el hombre realice un uso adecuado de esta, pero continuamente las actividades que se realizan en la superficie, sean de origen natural o antrópico, generan un cambio de las características físico-químicas de las fuentes agua. Estas variaciones con el paso del tiempo han afectado la calidad del agua y perjudicado a los sistemas hidrobiológicos y los diferentes ciclos naturales necesarios para el desarrollo de los seres vivos. La contaminación descargada a la hidrosfera, es causada por las actividades domésticas, agrícolas, los procesos industriales o la deforestación, entre otros, todos ellos descargan a las fuentes de agua residuos sólidos, material orgánico, compuestos químicos, metales y material vegetal, en cantidades que impiden su degradación por procesos naturales.

Según el Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente (CEPIS) “Se estima que el 80% de las enfermedades y más de un tercio de los fallecimientos en los países en desarrollo se deben al consumo de agua contaminada”, adicionalmente si tenemos en cuenta que la productividad y el desempeño de las personas se ven afectadas por estos factores, es deber de todo gobierno garantizar el acceso al agua potable en calidad y cantidad adecuadas.

La depuración de las aguas residuales no es una tarea fácil, en la mayoría de los países industrializados se han desarrollado diversas tecnologías que buscan mejorar la calidad de los efluentes con el fin de conservar la calidad de sus fuentes hídricas; en los países en desarrollo, debido a factores económicos y el deficiente control gubernamental, el vertimiento de aguas residuales sin un tratamiento previo es común. En Colombia según estimaciones del IDEAM se estima que una persona en sus labores diarias produce 0,5 kg de residuos sólidos, utiliza diariamente 0,15 m³ de agua pura y los regresa al ambiente con una carga de materia orgánica de 0,05 kg aproximados de demanda bioquímica de oxígeno.

2.2.1 Alteraciones físicas

Color. El agua no contaminada suele tener ligeros colores rojizos, pardos, amarillentos o verdosos debido, principalmente, a los compuestos húmicos, férricos o los pigmentos verdes de las algas que contienen. Las aguas contaminadas pueden tener muy diversos colores pero, en general, no se pueden establecer relaciones claras entre el color y el tipo de contaminación

Olor y sabor. Compuestos químicos presentes en el agua como los fenoles, diversos hidrocarburos, cloro, materias orgánicas en descomposición o esencias liberadas por diferentes algas u hongos pueden dar olores y sabores muy fuertes al agua, aunque estén en muy pequeñas concentraciones. Las sales o los minerales dan sabores salados o metálicos, en ocasiones sin ningún olor.

Temperatura. El aumento de temperatura disminuye la solubilidad de gases (oxígeno) y aumenta, en general, la de las sales. Aumenta la velocidad de las reacciones del metabolismo, acelerando la putrefacción. La temperatura óptima del agua para beber está entre 10 y 14°C. Las centrales nucleares, térmicas y otras industrias contribuyen a la contaminación térmica de las aguas, a veces de forma importante.

Materiales en suspensión. Partículas como arcillas, limo y otras, aunque no lleguen a estar disueltas, son arrastradas por el agua de dos maneras: en suspensión estable (disoluciones coloidales); o en suspensión que sólo dura mientras el movimiento del agua las arrastra. Las suspendidas coloidalmente sólo precipitarán después de haber sufrido coagulación o floculación (reunión de varias partículas)

Radiactividad. Las aguas naturales tienen unos valores de radiactividad, debidos sobre todo a isótopos del K. Algunas actividades humanas pueden contaminar el agua con isótopos radiactivos.

Espumas. Los detergentes producen espumas y añaden fosfato al agua (eutrofización). Disminuyen mucho el poder autodepurador de los ríos al dificultar la actividad bacteriana. También interfieren en los procesos de floculación y sedimentación en las estaciones depuradoras.

Conductividad. El agua pura tiene una conductividad eléctrica muy baja. El agua natural tiene iones en disolución y su conductividad es mayor y proporcional a la cantidad y características de esos electrolitos. Por esto se usan los valores de conductividad como índice aproximado de concentración de solutos. Como la temperatura modifica la conductividad las medidas se deben hacer a 20°C

2.2.2 Alteraciones químicas

pH . Las aguas naturales pueden tener pH ácidos por el CO₂ disuelto desde la atmósfera o proveniente de los seres vivos; por ácido sulfúrico procedente de algunos minerales, por ácidos húmicos disueltos del mantillo del suelo. La principal sustancia básica en el agua natural es el carbonato cálcico que puede reaccionar con el CO₂ formando un sistema tampón carbonato/bicarbonato. Las aguas contaminadas con vertidos mineros o industriales pueden tener pH muy ácido. El pH tiene una gran influencia en los procesos químicos que tienen lugar en el agua, actuación de los floculantes, tratamientos de depuración, etc.

Oxígeno disuelto OD Las aguas superficiales limpias suelen estar saturadas de oxígeno, lo que es fundamental para la vida. Si el nivel de oxígeno disuelto es bajo indica contaminación con materia orgánica, septicización, mala calidad del agua e incapacidad para mantener determinadas formas de vida.

Materia orgánica biodegradable: Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5) DBO5 es la cantidad de oxígeno disuelto requerido por los microorganismos para la oxidación aerobia de la materia orgánica biodegradable presente en el agua. Se mide a los cinco días. Su valor da idea de la calidad del agua desde el punto de vista de la materia orgánica presente y permite prever cuanto oxígeno será necesario para la depuración de esas aguas e ir comprobando cual está siendo la eficacia del tratamiento depurador en una planta.

Materiales oxidables: Demanda Química de Oxígeno (DQO) Es la cantidad de oxígeno que se necesita para oxidar los materiales contenidos en el agua con un oxidante químico (normalmente dicromato potásico en medio ácido). Se determina en tres horas y, en la mayoría de los casos, guarda una buena relación con la DBO por lo que es de gran utilidad al no necesitar los cinco días de la DBO. Sin embargo la DQO no diferencia entre materia biodegradable y el resto y no suministra información sobre la velocidad de degradación en condiciones naturales.

Nitrógeno total. Varios compuestos de nitrógeno son nutrientes esenciales. Su presencia en las aguas en exceso es causa de eutrofización. El nitrógeno se presenta en muy diferentes formas químicas en las aguas naturales y contaminadas. En los análisis habituales se suele determinar el NTK (nitrógeno total Kendahl) que incluye el nitrógeno orgánico y el amoniacal. El contenido en nitratos y nitritos se da por separado.

Fósforo total. El fósforo, como el nitrógenos, es nutriente esencial para la vida. Su exceso en el agua provoca eutrofización. El fósforo total incluye distintos compuestos como diversos ortofosfatos, polifosfatos y fósforo orgánico. La determinación se hace convirtiendo todos ellos en ortofosfatos que son los que se determinan por análisis químico.

Aniones

Cloruros	Indican salinidad
Nitratos	Indican contaminación agrícola
Nitritos	Indican actividad bacteriológica
Fosfatos	Indican detergentes y fertilizantes
Sulfuros	Indican acción bacteriológica anaerobia (aguas negras, etc.)
Cianuros	Indican contaminación de origen industrial
Fluoruros	En algunos casos se añaden al agua para la prevención de las caries, aunque es una práctica muy discutida.

Cationes

Sodio	Indica salinidad
Calcio y magnesio	Están relacionados con la dureza del agua
Amonio	Contaminación con fertilizantes y heces
Metales pesados	De efectos muy nocivos; se bioacumulan en la cadena trófica; (se estudian con detalle en el capítulo correspondiente)

Compuestos orgánicos. Los aceites y grasas procedentes de restos de alimentos o de procesos industriales (automóviles, lubricantes, etc.) son difíciles de metabolizar por las bacterias y flotan formando películas en el agua que dañan a los seres vivos. Los fenoles pueden estar en el agua como resultado de contaminación industrial y cuando reaccionan con el cloro que se añade como desinfectante forman clorofenoles que son un serio problema porque dan al agua muy mal olor y sabor. La contaminación con pesticidas, petróleo y otros hidrocarburos se estudia con detalle en los capítulos correspondientes.

2.2.3 Substancias contaminantes del agua

Microorganismos patógenos. Son los diferentes tipos de bacterias, virus, protozoos y otros organismos que transmiten enfermedades como el cólera, tifus, gastroenteritis diversas, hepatitis, etc. En los países en vías de desarrollo las enfermedades producidas por estos patógenos son uno de los motivos más importantes de muerte prematura, sobre todo de niños. Normalmente estos microbios llegan al agua en las heces y otros restos orgánicos que producen las personas infectadas. Por esto, un buen índice para medir la salubridad de las aguas, en lo que se refiere a estos microorganismos, es el número de bacterias coliformes presentes en el agua. La OMS (Organización Mundial de la Salud) recomienda que en el agua para beber no haya colonias de coliformes. En la Tabla 2 se muestran algunas enfermedades producidas por los microorganismos presentes en el agua contaminada.

Tabla 2. Enfermedades producidas por microorganismos presentes en el agua residual

Tipo de microorganismo	Enfermedad	Síntomas
Bacterias	Cólera	Diarreas y vómitos intensos. Deshidratación. Frecuentemente es mortal si no se trata adecuadamente
Bacterias	Tifus	Fiebres. Diarreas y vómitos. Inflamación del bazo y del intestino.
Bacterias	Disentería	Diarrea. Raramente es mortal en adultos, pero produce la muerte de muchos niños en países poco desarrollados
Bacterias	Gastroenteritis	Náuseas y vómitos. Dolor en el digestivo. Poco riesgo de muerte
Virus	Hepatitis	Inflamación del hígado e ictericia. Puede causar daños permanentes en el hígado
Virus	Poliomelitis	Dolores musculares intensos. Debilidad. Temblores. Parálisis. Puede ser mortal
Protozoos	Disentería amebiana	Diarrea severa, escalofríos y fiebre. Puede ser grave si no se trata
Gusanos	Esquistosomiasis	Anemia y fatiga continuas

Desechos orgánicos. Son el conjunto de residuos orgánicos producidos por los seres humanos, ganado, etc. Incluyen heces y otros materiales que pueden ser descompuestos por bacterias aeróbicas, es decir en procesos con consumo de oxígeno. Cuando este tipo de desechos se encuentran en exceso, la proliferación de bacterias agota el oxígeno, y ya no pueden vivir en estas aguas peces y otros seres vivos que necesitan oxígeno. Buenos índices para medir la contaminación por desechos orgánicos son la cantidad de oxígeno disuelto, OD, en agua, o la DBO (Demanda Biológica de Oxígeno).

Sustancias químicas inorgánicas. En este grupo están incluidos ácidos, sales y metales tóxicos como el mercurio y el plomo. Si están en cantidades altas pueden causar graves daños a los seres vivos, disminuir los rendimientos agrícolas y corroer los equipos que se usan para trabajar con el agua.

Nutrientes vegetales inorgánicos. Nitratos y fosfatos son sustancias solubles en agua que las plantas necesitan para su desarrollo, pero si se encuentran en cantidad excesiva inducen el crecimiento desmesurado de algas y otros organismos provocando la eutrofización de las aguas. Cuando estas algas y otros vegetales mueren, al ser descompuestos por los microorganismos, se agota el oxígeno y se hace imposible la vida de otros seres vivos. El resultado es un agua maloliente e inutilizable.

Compuestos orgánicos. Muchas moléculas orgánicas como petróleo, gasolina, plásticos, plaguicidas, disolventes, detergentes, etc. acaban en el agua y permanecen, en algunos casos, largos períodos de tiempo, porque, al ser productos fabricados por el hombre, tienen estructuras moleculares complejas difíciles de degradar por los microorganismos.

Sedimentos y materiales suspendidos. Muchas partículas arrancadas del suelo y arrastradas a las aguas, junto con otros materiales que hay en suspensión en las aguas, son, en términos de masa total, la mayor fuente de contaminación del agua. La turbidez que provocan en el agua dificulta la vida de algunos organismos, y los sedimentos que se van acumulando destruyen sitios de alimentación o desove de los peces, rellenan lagos o pantanos y obstruyen canales, rías y puertos.

Sustancias radiactivas. Isótopos radiactivos solubles pueden estar presentes en el agua y, a veces, se pueden ir acumulando a lo largo de las cadenas tróficas, alcanzando concentraciones considerablemente más altas en algunos tejidos vivos que las que tenían en el agua.

Contaminación térmica. El agua caliente liberada por centrales de energía o procesos industriales eleva, en ocasiones, la temperatura de ríos o embalses con lo que disminuye su capacidad de contener oxígeno y afecta a la vida de los organismos.

2.2.4 Origen de la contaminación de las aguas. La contaminación de las aguas puede proceder de fuentes naturales o de actividades humanas. En la actualidad la más importante, sin duda, es la provocada por el hombre. El desarrollo y la industrialización suponen un mayor uso de agua, gran generación de residuos, de los cuales muchos van a parar al agua y el uso de medios de transporte fluviales y marítimos que, en muchas ocasiones, son causa de contaminación de las aguas.

Naturales. Algunas fuentes de contaminación del agua son naturales. Por ejemplo, el mercurio que se encuentra naturalmente en la corteza de la Tierra y en los océanos contamina la biosfera mucho más que el procedente de la actividad humana. Algo similar pasa con los hidrocarburos y con muchos otros productos. Normalmente las fuentes de contaminación natural son muy dispersas y no provocan concentraciones altas de polución, excepto en algunos lugares muy concretos. La contaminación de origen humano, en cambio, se concentra en zonas concretas y, para la mayor parte de los contaminantes, es mucho más peligrosa que la natural.

Antropogénica. Hay cuatro focos principales de contaminación antropogénica. Navegación. Produce diferentes tipos de contaminación, especialmente con hidrocarburos. Los vertidos de petróleo, accidentales o no, provocan importantes

daños ecológicos. Según el estudio realizado por el Consejo Nacional de Investigación de los EEUU, en 1985 se vertieron al mar unas 3.200.000 Toneladas de hidrocarburos. A lo largo de la década de los ochenta se tomaron diversas medidas para disminuir la contaminación de los mares y la Academia de las Ciencias de EEUU estimaba que se habían reducido en un 60% los vertidos durante estos años. Se puede calcular que en 1989 se vertieron al océano algo más de 2.000.000 de toneladas. De esta cifra el mayor porcentaje corresponde a las aguas residuales urbanas y a las descargas industriales (en total más del 35%). Otro tercio correspondería a vertidos procedentes de buques (más por operaciones de limpieza y similares, aunque su valor va disminuyendo en los últimos años, que por accidentes) y el resto a filtraciones naturales e hidrocarburos que llegan a través de la atmósfera.

Industria. Según el tipo de industria se producen distintos tipos de residuos. Normalmente en los países desarrollados muchas industrias poseen eficaces sistemas de depuración de las aguas, sobre todo las que producen contaminantes más peligrosos, como metales tóxicos. En algunos países en vías de desarrollo la contaminación del agua por residuos industriales es muy importante. La Tabla 3 se muestra las sustancias contaminantes que aporta cada sector industrial.

Tabla 3. Sustancias contaminantes por sector industrial

Sector industrial	Sustancias contaminantes principales
Construcción	Sólidos en suspensión, metales, pH.
Minería	Sólidos en suspensión, metales pesados, materia orgánica, pH, cianuros.
Energía	Calor, hidrocarburos y productos químicos.
Textil y piel	Cromo, taninos, tensoactivos, sulfuros, colorantes, grasas, disolventes orgánicos, ácidos acético y fórmico, sólidos en suspensión.
Automoción	Aceites lubricantes, pinturas y aguas residuales.
Navales	Petróleo, productos químicos, disolventes y pigmentos.
Siderurgia	Cascarillas, aceites, metales disueltos, emulsiones, sosas y ácidos.
Química inorgánica	Hg, P, fluoruros, cianuros, amoníaco, nitritos, ácido sulfhídrico, F, Mn, Mo, Pb, Ag, Se, Zn, etc. y los compuestos de todos ellos.
Química orgánica	Organohalogenados, organosilícicos, compuestos cancerígenos y otros que afectan al balance de oxígeno.
Fertilizantes	Nitratos y fosfatos.
Pasta y papel	Sólidos en suspensión y otros que afectan al balance de oxígeno.
Plaguicidas	Organohalogenados, organofosforados, compuestos cancerígenos, biocidas, etc.
Fibras químicas	Aceites minerales y otros que afectan al balance de oxígeno.
Pinturas, barnices y tintas	Compuestos organoestámicos, compuestos de Zn, Cr, Se, Mo, Ti, Sn, Ba, Co, etc.

Domésticos. La actividad doméstica produce principalmente residuos orgánicos, pero el alcantarillado arrastra además todo tipo de sustancias: emisiones de los automóviles (hidrocarburos, plomo, otros metales, etc.), sales, ácidos, etc. El vertimiento de aguas residuales sin un tratamiento previo es común en los países en desarrollo, en los cuales se transporta por medio del sistema de alcantarillado y posteriormente son arrojados a los cuerpos receptores en forma directa; como ejemplo en Colombia se tiene la Ciénaga de la Virgen, en Cartagena donde se vierte diariamente cerca de 50.000 m³ de agua negras y 22.4 Toneladas de sólidos suspendidos totales, sin ser tratados.

Agricultura y ganadería. Los trabajos agrícolas producen vertidos de pesticidas, fertilizantes y restos orgánicos de animales y plantas que contaminan de una forma difusa pero muy notable las aguas. La Tabla 4 muestra los equivalentes poblacionales para algunas fuentes de contaminación, contaminantes expresados en DBO o similar.

Tabla 4. Equivalente poblacional de algunas fuentes de contaminación

Fuente de desechos	Equivalentes población	Fuente de desechos	Equivalentes población
Hombre	1	Vaca	16.4
Alumno guardería	0.5	Caballo	11.3
Alumno escuela	0.6	Gallina	0.014
Alumno camping	0.7	Oveja	2.45
Cama hotel	2.1	Cerdo	3
Cama hospital	4.0		

2.2.5 Fuentes de contaminación en Colombia. En Colombia la población y la producción industrial se han concentrado en las zonas de influencia de las ciudades más importantes, la mayoría de las cuales se encuentran ubicadas en la zona Andina, y obviamente esto ejerce una gran presión sobre los recursos hídricos que las abastecen, en este caso los ríos Magdalena y Cauca. La Tabla 5 muestra las principales fuentes de contaminación en Colombia.

Tabla 5. Fuentes de contaminación en Colombia.

<i>Principales fuentes de materia orgánica</i>	
Fuente de contaminación	Cuenca afectada
Bogotá	Sabana de Bogotá
Medellín-Valle de Aburrá	Medio Cauca
Cali-Jumbo	Alto Cauca
Barranquilla-Cartagena-Sta.Marta	Bajo Magdalena

Bucaramanga	Sogamoso
Manizales	Medio Cauca
Pereira	Medio Cauca
Cúcuta	Catatumbo
Tunja	Sogamoso
Pasto	Patía
<i>Aportes de fertilizantes y plaguicidas</i>	
Áreas potenciales de contaminación	Cuenca afectada
Zona Ciénaga-Fundación	Bajo Magdalena
Zona Cesar-Guajira	Río Cesar
Córdoba	Río Sinú
Altiplano de Rionegro	Medio Cauca
Valle del Zulia	Catatumbo
Chicamocha	Sogamoso
Altiplano Cundiboyacense	Sabana de Bogotá
Llanos del Tolima	Alto Magdalena
Piedemonte llanero	Meta-Guaviare
Cauca y Valle del Cauca	Alto Cauca
Llanos del Huila	Alto Magdalena
Altiplano de Nariño	Patía
Valle de Sibundoy	Putumayo
Zona de Ábrego	Catatumbo
<i>Aporte de hidrocarburos y sustancias químicas</i>	
Fuente de contaminación	Cuenca afectada
Refinería de Barrancabermeja	Medio Magdalena
Refinería de Cartagena	Mar Caribe
Oleoducto Caño Limón-Coveñas	Catatumbo, Arauca y Bajo Magdalena
Oleoducto central de los Llanos	Meta, Medio y Bajo Magdalena
Oleoducto Orito-Tumaco	Putumayo, Patía, Mira

Fuente: IDEAM, 2001.

2.2.6 Contaminación de mares y costas.

Costas. El vertedero final para una gran parte de nuestros desechos es el océano. A él van a parar gran parte de los vertimientos urbanos e industriales. No sólo recibe las aguas residuales, sino que, en muchas ocasiones, se usa para arrojar las basuras o, incluso, los residuos radiactivos. El 80% de las sustancias que contaminan el mar tienen su origen en tierra. De las fuentes terrestres la contaminación difusa es la más importante. Incluye pequeños focos como tanques sépticos, automóviles, camiones, etc. y otros mayores como granjas, tierras de cultivo, bosques, etc. Los accidentes marítimos son responsables de alrededor de un 5% de los hidrocarburos vertidos en el mar. En cambio, una ciudad de cinco

millones de habitantes acaba vertiendo en un año la misma cantidad que derramó el Exxon Valdez en su accidente en Alaska.

Aproximadamente un tercio de la contaminación que llega a los mares empieza siendo contaminación atmosférica pero después acaba cayendo a los océanos. En los fondos oceánicos hay, en este momento, decenas de miles de barriles con substancias como plutonio, cesio o mercurio, resultado de décadas de uso del océano como sumidero para grandes cantidades de desechos. Por ejemplo, como consecuencia de los accidentes sufridos por diversos barcos de guerra desde 1956 hasta 1989, ocho reactores nucleares completos, con todo su combustible, y 50 armas nucleares, se encuentran en el fondo de diversos mares del planeta.

El exceso de aporte de nutrientes causa eutrofización en grandes zonas marítimas. En la desembocadura del Mississippi, por ejemplo, una zona de unas 4000 millas cuadradas, en las costas de Texas y Louisiana, han perdido gran parte de su fauna como consecuencia del enriquecimiento de nutrientes continuado por el excesivo crecimiento de las algas y del empobrecimiento en oxígeno provocado por la putrefacción de estas algas. Alrededor del 60% de las especies viven en la franja de 60 Km más próxima a la costa. Todos ellos se ven especialmente afectados por la contaminación que afecta a los mares y océanos, especialmente en la cercanía de las costas, lo que es especialmente importante teniendo en cuenta que, según algunos cálculos, procede de las costas algo más de la mitad de todos los servicios que la naturaleza.

La capacidad purificadora de las grandes masas de agua marina es muy grande. En ellas se diluyen, dispersan o degradan grandes cantidades de aguas residuales, hidrocarburos, desechos industriales e, incluso, materiales radiactivos. Por este motivo es muy tentador recurrir al barato sistema de arrojar al mar los residuos de los que queremos deshacernos; pero en muchos lugares, los excesos cometidos han convertido grandes zonas del mar en desiertos de vida o en cloacas malolientes.

Costas. Las zonas costeras son las que más han sufrido la actividad humana. Una gran parte de la población mundial vive cerca de las costas. Por ejemplo, en Europa, alrededor del 30% de la población vive a menos de 50 km. de la costa. Así se entiende que una gran parte de las orillas de los mares del mundo tengan graves problemas de contaminación. Los vertidos son la principal fuente de contaminación de las costas. En la mayor parte de los países en vías de desarrollo y en muchos lugares de los desarrollados, los vertidos de las ciudades se suelen hacer directamente al mar, sin tratamientos previos de depuración.

Además, las zonas donde la renovación del agua es más lenta (marismas, estuarios, bahías, puertos) son las más maltratadas. En ellas es frecuente encontrar peces con tumores y graves enfermedades, o moluscos y crustáceos

cuya pesca y consumo están prohibidos, porque contienen altas dosis de productos tóxicos.

Aguas libres. Los efectos de los vertidos también se dejan sentir en las aguas libres de mares y océanos. Las grandes cantidades de plástico echadas al mar son las responsables de la muerte de muchas focas, ballenas, delfines, tortugas, y aves marinas, que quedan atrapadas en ellas o se las comen. En algunos casos el exceso de materia orgánica y de nutrientes que hacen proliferar las algas, genera procesos de putrefacción tan fuertes, que se consume el oxígeno disuelto en el mar y los peces y otros organismos mueren, originándose grandes zonas muertas.

2.2.7 Concepto de eutrofización. Un río, un lago o un embalse sufren eutrofización cuando sus aguas se enriquecen en nutrientes. Podría parecer a primera vista que es bueno que las aguas estén bien repletas de nutrientes, porque así podrían vivir más fácil los seres vivos. Pero la situación no es tan sencilla. El problema está en que si hay exceso de nutrientes crecen en abundancia las plantas y otros organismos. Más tarde, cuando mueren, se pudren y llenan el agua de malos olores y le dan un aspecto nauseabundo, disminuyendo drásticamente su calidad. El proceso de putrefacción consume una gran cantidad del oxígeno disuelto y las aguas dejan de ser aptas para la mayor parte de los seres vivos. El resultado final es un ecosistema casi destruido.

Agua eutrófica y oligotrófica. Cuando un lago o embalse es pobre en nutrientes (oligotrófico) tiene las aguas claras, la luz penetra bien, el crecimiento de las algas es pequeño y mantiene a pocos animales. Las plantas y animales que se encuentran son los característicos de aguas bien oxigenadas como las truchas. Al ir cargándose de nutrientes el lago se convierte en eutrófico. Crecen las algas en gran cantidad con lo que el agua se enturbia. Las algas y otros organismos, cuando mueren, son descompuestos por la actividad de las bacterias con lo que se gasta el oxígeno. No pueden vivir peces que necesitan aguas ricas en oxígeno. En algunos casos se producirán putrefacciones anaeróbicas acompañadas de malos olores Las aguas son turbias y de poca calidad desde el punto de vista del consumo humano o de su uso para actividades deportivas. El fondo del lago se va rellenando de sedimentos y su profundidad va disminuyendo.

Nutrientes que eutrofizan las aguas. Los nutrientes que más influyen en este proceso son los fosfatos y los nitratos. En algunos ecosistemas el factor limitante es el fosfato, como sucede en la mayoría de los lagos de agua dulce, pero en muchos mares el factor limitante es el nitrógeno para la mayoría de las especies de plantas. En los últimos 20 o 30 años las concentraciones de nitrógeno y fósforo en muchos mares y lagos casi se han duplicado. La mayor parte les llega por los ríos. En el caso del nitrógeno, una elevada proporción (alrededor del 30%) llega a través de la contaminación atmosférica. El nitrógeno es más móvil que el fósforo y

puede ser lavado a través del suelo o saltar al aire por evaporación del amoníaco o por desnitrificación. El fósforo es absorbido con más facilidad por las partículas del suelo y es arrastrado por la erosión o disuelto por las aguas de escorrentía superficiales.

En condiciones naturales entra a un sistema acuático menos de 1Kg de fosfato por hectárea y año. Durante muchos años los jabones y detergentes fueron los principales causantes de este problema. En las décadas de los 60 y 70 el 65% del peso de los detergentes era un compuesto de fósforo, el tripolifosfato sódico, que se usaba como quelante, para permitir que las moléculas surfactantes que son las que hacen el lavado. Estos detergentes tenían alrededor de un 16% en peso de fósforo. El resultado era que los vertidos domésticos y de lavanderías contenían una gran proporción de ion fosfato. A partir de 1973 Canadá primero y luego otros países, prohibieron el uso de detergentes que tuvieran más de un 2,2% de fósforo, obligando así a usar otros quelantes con menor contenido de este elemento. Algunas legislaciones han llegado a prohibir los detergentes con más de 0,5% de fósforo.

Fuentes de eutrofización.

Eutrofización natural. La eutrofización es un proceso que se va produciendo lentamente de forma natural en todos los lagos del mundo, porque todos van recibiendo nutrientes.

Eutrofización de origen humano. Los vertidos humanos aceleran el proceso hasta convertirlo, muchas veces, en un grave problema de contaminación. Las principales fuentes de eutrofización son los vertidos urbanos, que llevan detergentes y desechos orgánicos, los vertidos ganaderos y agrícolas, que aportan fertilizantes, desechos orgánicos y otros residuos ricos en fosfatos y nitratos.

Medida del grado de eutrofización. Para conocer el nivel de eutrofización de un agua determinada se suele medir el contenido de clorofila de algas en la columna de agua y este valor se combina con otros parámetros como el contenido de fósforo y de nitrógeno y el valor de penetración de la luz.

Medidas para evitar la eutrofización. Lo más eficaz para luchar contra este tipo de contaminación es disminuir la cantidad de fosfatos y nitratos en los vertidos, usando detergentes con baja proporción de fosfatos, empleando menor cantidad de detergentes, no abonando en exceso los campos, usando los desechos agrícolas y ganaderos como fertilizantes, en vez de verterlos, etc. En concreto se podrían dar las siguientes recomendaciones, tratar las aguas residuales con sistemas que incluyan tratamientos biológicos y químicos que eliminan el fósforo y el nitrógeno; almacenar adecuadamente el estiércol que se usa en agricultura; usar los fertilizantes más eficientemente; y reducir las emisiones de NOx y amoníaco.

2.3 SISTEMAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

El avance de la contaminación y las exigencias de una sociedad cada vez más consciente de la fragilidad del ambiente con el cual esta íntimamente relacionada, ha impulsado el estudio y revisión de los sistemas de tratamiento de aguas residuales.

Un sistema de tratamiento de aguas residuales debe ser entendido como un conjunto de etapas, interrelacionadas y dependientes, cuyo objetivo es la estabilización y remoción de la carga contaminante de las aguas residuales. Como tal, al emprender un estudio detallado de los sistemas de tratamiento de aguas residuales, necesariamente se debe hablar de las etapas que lo componen y su objetivo. Para esto es necesario realizar una clasificación de las diferentes etapas con el fin de definir su pertinencia en cada caso particular.

Los criterios de clasificación usados con mayor frecuencia son el medio de eliminación de los contaminantes, fase de depuración y el costo de funcionamiento y mantenimiento.

2.4 SEGÚN EL PROCESO DE ELIMINACIÓN DE CONTAMINANTES

Básicamente las etapas de un sistema de tratamiento se pueden considerar de tres tipos, procesos físicos, químicos o biológicos. Aunque algunas etapas involucran la combinación de diferentes procesos, para efectos de su clasificación, se considerara el proceso predominante.

2.4.1 Procesos físicos. La base de estos procesos es el empleo de fenómenos físicos, como las fuerzas gravitatorias y centrifugas, la retención física y flotación por diferencia de densidades, con los cual se puede eliminar una parte de los de desechos que presenta el agua residual. Entre estos procesos podemos mencionar la sedimentación, filtración y cribado.

2.4.2 Procesos químicos. La eliminación de contaminantes, que se realiza en este tipo de procesos, se debe a la utilización de productos químicos adicionados al agua, cuya principal función es provocar reacciones químicas. Como es el caso de la coagulación y floculación donde se adiciona alumbre o sales; la oxidación, reducción con el empleo de oxidantes como el peróxido de hidrógeno, cloro, entre otros; ó la precipitación química donde se eliminan metales pesados, con el aumento del pH, haciéndolos insolubles con la adición de una lechada de cal o hidróxido sódico.

2.4.3 Procesos biológicos. En este proceso se consigue la eliminación de contaminantes por medio de la actividad biológica, empleando microorganismos que degradan los materiales contaminantes presentes en el agua. El tratamiento biológico se usa esencialmente para eliminar las sustancias orgánicas biodegradables, coloidales o disueltas, presentes en el agua residual. Las acciones enzimáticas de los microorganismos generan la producción de gases que escapan a la atmósfera y una biopelícula que será extraída por sedimentación. Se puede clasificar en cuatro grupos principales: procesos anaerobios, procesos aerobios, procesos anóxicos y procesos combinados (aerobios con anóxicos – aerobios con anaerobios).

En este tipo de proceso se puede mencionar los lodos activos, lechos bacterianos, lechos de turba, lagunas, filtros percoladores, **biodiscos** y sistemas de aplicación al suelo.

Tratamiento Anaerobio. La estabilización y la descomposición de los desechos y residuos contaminantes del agua residual, se logra por acción de microorganismos anaerobios y facultativos los cuales pueden desarrollar en ausencia de oxígeno. Cabe anotar que en el proceso anaerobio los productos poseen mayor energía debido a la menor eficiencia del proceso, no obstante existe una menor producción de biomasa comparada con la producción de los procesos aerobios. Una muestra de esto es el metano que posee una gran cantidad de energía la cual es liberada durante la combustión.

Tratamiento Aerobio. Descomposición biológica de la materia orgánica y la estabilización de los demás desechos y residuos contaminantes del agua residual, se alcanza por acción de microorganismos aerobios y facultativos los cuales requieren de la presencia de oxígeno. El producto principal generado en este tratamiento es el gas carbónico.

Tratamiento Anóxico. Es conocido como proceso de desnitrificación anaerobia, se caracteriza por desarrollarse en un ambiente bioquímico en el cual no existe oxígeno molecular, pero existe oxígeno en forma de nitratos y nitritos, los cuales se utilizan como aceptores de electrones. Durante el proceso se remueve el nitrógeno, mediante su conversión en nitrógeno gaseoso.

2.5 SEGÚN LA FASE O NIVEL DE DEPURACIÓN

Esta clasificación se aplica bajo dos puntos de vista. El primer enfoque, según la etapa analizada, se refiere al grado de depuración que alcanza el agua residual debido a la aplicación específica de cada etapa. El segundo enfoque usa la clasificación de la etapa de mayor nivel de depuración, para denominar al sistema completo.

La siguiente clasificación, ha sido orientada a cada una de las etapas que compone un sistema de tratamiento, obedeciendo al primer enfoque mencionado.

2.5.1 Pretratamiento. El objetivo de esta etapa, es retener y remover elementos sólidos y partículas de gran tamaño presentes en el agua residual, que puedan entrar sistema e interferir en el funcionamiento de las etapas siguientes del proceso de tratamiento o dañar los equipos posteriores. Se realizada por medio de procesos físicos y/o mecánicos, como el cribado grueso y fino, desarenador y trampa de grasa.

2.5.2 Tratamiento primario. Este tratamiento tiene como objetivo la remoción de una parte de los sólidos suspendidos y de la materia orgánica del agua residual. Esta remoción normalmente es realizada por procesos físicos o físico-químicos. Como es el caso de la sedimentación donde se emplea las propiedades físicas que tiene dichas partículas produciéndose el asentamiento en tanques de sedimentación primarios.

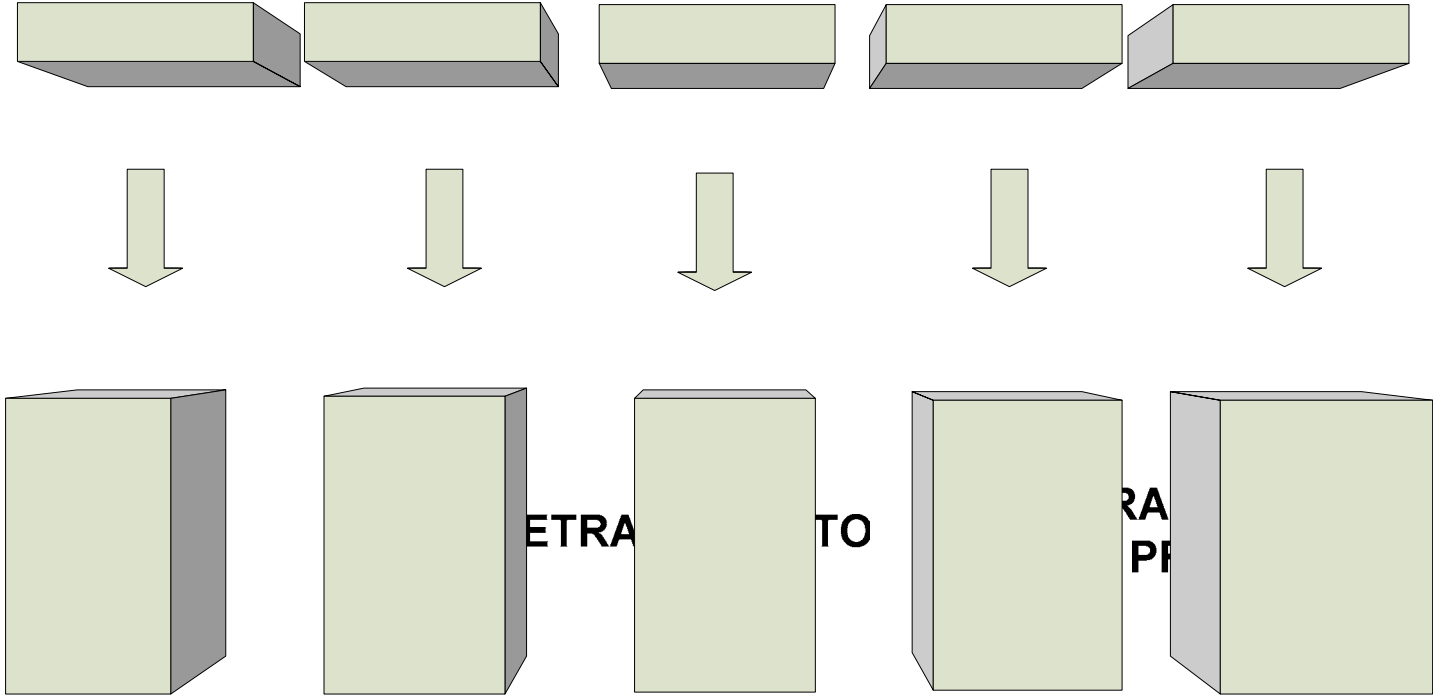
2.5.3 Tratamiento secundario. En el tratamiento secundario el objetivo es remover la materia orgánica, partículas coloidales y los sólidos suspendidos, que no alcanzaron a ser eliminados con los procesos anteriores y aun se encuentran en el agua. Es habitual en esta etapa el empleo de procesos biológicos, en el que los microorganismos digieren la materia orgánica carbonacea y eliminan los sólidos suspendidos. Entre este tratamiento se tiene fangos activos, lagunaje facultativo, lagunas aireadas y biorotores.

2.5.4 Tratamiento terciario. El objetivo del tratamiento terciario es incluir los procesos de nitrificación y desnitrificación con la utilización de procesos biológicos o físico-químicos por medio de la remoción de la materia orgánica de origen nitrogenaseo. En este tipo de tratamiento se puede mencionar los reactores UASB y los biorotores.

2.5.5 Tratamiento avanzado. Su objetivo consiste en eliminar del agua residual contaminantes específicos como lo son el fósforo, minerales pesados o desechos industriales. El tratamiento emplea procesos físico-químicos o biológicos. Este tipo de tratamiento también suele ser usado en zonas donde existe escasez de agua buscando alcanzar un grado de tratamiento superior para reutilizarla como agua potable.

En la Figura 4, se encuentra un esquema que resume las características más importantes en la clasificación de los tratamientos según la fase o nivel de depuración.

Figura 4. Tratamientos según la fase o nivel de depuración



2.6 SEGÚN EL COSTO DE LA EXPLOTACIÓN.

Esta clasificación tiene en cuenta factores económicos, tales como los costos de explotación y mantenimiento de requiere el sistema. Se pueden apreciar los grandes grupos; el primero reúne las tecnologías de menor costo, generalmente tratamiento biológico; el segundo reúne tecnologías que requieren una mayor intervención del hombre y por consiguiente acarrear mayor costo.

2.6.1 Tecnologías de bajo costo, métodos blandos o extensivos. La mayoría de estos procesos son biológicos y de fácil manejo, producen menores costos de mantenimiento. La mayoría de ellos requieren una gran cantidad de terreno. Dentro de estos sistemas podemos destacar: Lagunaje, lagunas de macrofitas, aplicación al suelo y filtros verdes, lechos de turba, lechos bacterianos y **contactores biológicos rotativos (biodiscos y biocilindros).**

2.6.2 Métodos convencionales. Son sistemas intensivos, y requieren menor espacio, sin embargo, son muy dependientes de la intervención del hombre, requieren grandes aportes de energía para el proceso y necesitan de control preciso. Son procesos de poca inercia, por lo que cualquier problema se manifiesta de forma inmediata en los resultados. Requieren mano de obra especializada, tienen altos costos de explotación, baja integración en el medio rural, obtiene buenos resultados en depuración. En éste grupo pueden citarse: procesos físico-químicos y fangos activos incluyendo el tratamiento convencional de fangos

En las Tabla 6 y 7 se muestra un resumen de los diferentes sistemas que permiten eliminar los contaminantes del agua residual y los rendimientos típicos que se deben lograr en las diferentes etapas y procesos de tratamiento.

Tabla 6. Sistemas de tratamiento, según los contaminantes que remueven del agua residual.

CONTAMINANTES	SISTEMA DE TRATAMIENTO
Sólidos en suspensión	Sedimentación Desbaste Filtración Flotación Adición de polímeros o reactivos químicos Coagulación-sedimentación Sistemas de tratamiento por evacuación al terreno
Materia Orgánica biodegradable	Fangos activados Película fija: Filtros percoladores

	Película fija: discos biológicos Variaciones del lagunaje Filtración intermitente en arena Sistemas de tratamiento por evacuación al terreno Sistemas físico-químicos
Patógenos	Cloración Hipocloración Ozonización Sistemas de tratamiento por evacuación al terreno
Nitrógeno	Variaciones de sistemas de cultivo suspendido (nitrificación-Desnitrificación) Variaciones de sistemas de película fija (nitrificación-denitrificación) Arrastre de amoníaco (stripping) Intercambio de iones Sistemas de tratamiento por evacuación al terreno
Fósforo	Adición de sales metálicas Coagulación y sedimentación con sal Eliminación biológica de fósforo Sistemas de tratamiento por evacuación al terreno
Materia orgánica refractaria	Absorción en carbón Ozonización terciaria Sistemas de tratamiento por evacuación al terreno
Metales pesados	Precipitación química Intercambio de iones Sistema de tratamiento por evacuación al terreno
Sólidos inorgánicos disueltos	Intercambio de iones Osmosis inversa Electrodiálisis

Fuente: Seoáñez (1978), Degremont (1979), Metcal-Eddy (1985), Sierra y Peñalver (1989), Mujeriego (1990a).

Tabla 7. Rendimientos típicos alcanzados en las diferentes etapas y procesos de tratamiento.

Etapa	Unidades de tratamiento	Eficiencia mínima de remoción de constituyente							
		DBO	DQO	SS	P	N Org	NH3-N	Patógenos	
Pre-tratamiento	Rejillas	Desp. ¹	Desp.	Desp.	Desp.	Desp.	Desp.	Desp.	
	Desarenadores	0-5	0-5	0-10	Desp.	Desp.	Desp.	Desp.	
Trat. Primario	Sedimentación primaria	30-40	30-40	50-65	10-20	10-20	0	Desp.	
Trat. Secundario	Lodos activados (convencional)		80-95	80-95	80-90	10-25	15-20	8-15	Desp.
	Filtros percoladores	De alta tasa, roca.	65-80	60-80	60-85	8-12	15-50	8-15	Desp.
		De super tasa, plástico	65-85	65-85	65-85	8-12	15-50	8-15	Desp.
	Reactores UASB (RAFA)		65-80	60-80	60-70	30-40	---	---	Desp.
Trat. Anaerobio	Reactores RAP		65-80	60-80	60-70	30-40	---	---	Desp.

	Filtros anaerobios	65-80	60-80	60-70	30-40	---	---	Desp.
Post-Tratamiento	Lagunas de oxidación							
	Lagunas anaerobias	50-70	---	20-60	---	---	---	90-99.99
	Lagunas aireadas	80-95	---	85-95	---	---	---	90-99.99
	Lagunas facultativas	80-90	---	63-75	30	---	---	90-99.99
	Lagunas de maduración	60-80	---	85-95	---	---	---	90-99.99
Desinfección	Rayos Ultravioleta	Desp.	Desp	Desp.	Desp	Desp.	Desp.	100
	Cloración	Desp.	Desp	Desp.	Desp	Desp.	Desp.	100

Fuente: RAS-2000

3. TRATAMIENTO BIOLÓGICO

Este tratamiento utiliza la actividad biológica de microorganismos para estabilizar y transformar la materia orgánica disuelta, adicionalmente busca coagular y remover los sólidos coloidales en suspensión presentes en el agua residual. Un sistema de tratamiento biológico puede, según las condiciones del agua residual a tratar, realizar la remoción de ciertos nutrientes como el nitrógeno y el fósforo o compuestos orgánicos presentes. A través de los procesos de oxidación-reducción donde los microorganismos busca obtener energía para su crecimiento y mantenimiento celular.

El tratamiento biológico convierte la materia orgánica en gases que escapan a la atmósfera y tejidos celulares (biopelícula), por medio de la formación de copos biológicos que serán posteriormente removidos por medio de sedimentación; su remoción es medida por medio de la demanda biológica de oxígeno (DBO), demanda química de oxígeno (DQO), ó carbono orgánico total (COT).

3.1 MICROBIOLOGIA

La microbiología es la ciencia que investiga la biología de los organismos de tamaño microscópico o microorganismos, y que comúnmente se encuentran en el agua, las aguas residuales, el aire o el suelo. Se considera una rama de la biología sistemática que se ocupa de los microorganismos. Algunos de estos microorganismos son capaces de afectar la salud de los seres vivos y otros desempeñan funciones vitales en los procesos naturales.

La microbiología constituye, mejor que cualquier otra rama de la biología, un ejemplo de las complejas interrelaciones entre las ciencias, y su historia esta gran parte relacionada con los adelantos que abrieron nuevos campos a la investigación.

Por ser invisibles la mayoría las bacterias, no es de extrañar que su descubrimiento se produjera cuando por el desarrollo de la ciencia óptica se pudieron obtener lentes de un poder de resolución elevado. Sin embargo, antes de esta época, la observación de la fenómeno de putrefacción de la materia orgánica, de las enfermedades infecciosas, de las fermentaciones y de otros procesos naturales llevó a considera la existencia de microorganismos. En 1546, Fracastoro de Verona sugiere la existencia de un contagium vivum como causan de enfermedad, Von Pleciz, en 1763 aboga por primera vez por el criterio de especificidad de las enfermedades infecciosas; no obstante, estas afirmaciones eran simples suposiciones carentes en absoluto de base experimental.

Aunque, en 1559, Kircher señala la presencia de pequeños gusanos en la sangre de los enfermos de peste bubónica, las primeras observaciones fueron realizadas por un comerciante holandés, Antón Van Leeuwenhoek a fines del siglo XVII y comienzos del siglo XVIII. Autor dotado de gran curiosidad, construyó las lentes más perfeccionadas de la época con las que pudo observar una gran variedad de microbios en las aguas estancadas, infusiones y sarro dental. El 24 abril de 1676 comunicó, a la Royal Society de Londres la observación de un increíble número de pequeños animales o animalículos que presentaban formas diversas; esféricas, cilíndricas o espiral. Dado que utilizó lentes simples con un máximo de 300 aumentos, es de suponer que sólo observó bacterias de gran tamaño, pero sus descripciones constituyeron una de las contribuciones más importantes en el campo de la biología.

Un siglo más tarde, el zoólogo danés Muller inicia el estudio morfológico de las bacterias y es el primero en intentar un sistema de clasificación siguiendo la regla de la nomenclatura binaria de Linneo. Estos estudios fueron proseguídos, al comienzo del siglo XIX, en primer lugar por Ehrenberg, quien efectúa la descripción y denominación de un buen número de especies, algunas de las cuales aún se mantienen en la actualidad; más tarde por Nägeli en 1857, que, al considera las bacterias como vegetales elementales que se dividen por bipartición, introduce la denominación de esquizomicetos, y sobre todo por Cohn, profesor de botánica, que basándose en la teoría monomorfista, inicia los estudios de taxonomía bacteriana que le conducen a establecer la primera clasificación de las bacterias sobre una base morfológica. Sin embargo, estos trabajos pasaron en gran parte inadvertidos debido a la extraordinaria repercusión de la obra de Louis Pasteur.

Las investigaciones de Pasteur sentaron las bases de los procesos fermentativos, y sus resultados le permitieron abordar el problema de la generación espontánea de la vida. Posteriormente debido a una serie de experimentos Pasteur demostró que la vida proviene de la vida y no es generada espontáneamente a partir de materiales no vivos, no fue difícil probar que los procesos fermentativos no eran más que la consecuencia del desarrollo de microorganismos y que las diversas fermentaciones serían la acción de diferentes clases de microbios; así surgió el concepto de especificidad.

Los biólogos clasifican a todos los organismos vivientes en grupos generales llamados reinos. Los miembros de cada reino son similares en sus formas fundamentales como en la naturaleza de sus células o la forma en que obtienen energía. En los sistemas de clasificación más usados se distinguen cinco reinos, no obstante esto no ha sido siempre así, en un principio solo se distinguían dos reinos pero gracias a investigaciones como las antes mencionadas contamos con la siguiente clasificación de los reinos.

Tabla 8 Reinos Presiones que sufren los ecosistemas de agua dulce.

REINO	PRINCIPALES CARACTERÍSTICAS	EJEMPLOS DE ORGANISMOS
Móneras	Organismos procariotas unicelulares	Bacterias
Protistas	Organismos eucariotas unicelulares y sus descendientes más inmediatos.	Algas, protozoos
Hongos	Organismos heterótrofos que obtienen su alimento por absorción. No realizan la fotosíntesis. La pared celular contiene generalmente quitina.	Levaduras, setas
Vegetal	Organismos multicelulares, inmóviles que realizan la fotosíntesis. Pared celular compuesta de celulosa.	Musgos, helechos, árboles
Animal	Organismos multicelulares, móviles sin pared celular. Ingieren el alimento. Presentan tejidos diferenciados.	Moluscos, peces, aves

Fuente: Encarta Microsoft, 2005.

3.1.1 Microorganismos. Los microorganismos se encuentran distribuidos en tres de los cinco reinos

Reino Móneras. Reino Móneras (Monera) o Reino Procariotas (Prokaryotae), son los organismos vivientes independientes más simples, con células procarióticas unicelulares que no poseen organelos para realizar diferentes tareas, la característica más importante es que su material genético tiene una disposición de hebra circular y no está encerrada dentro de una membrana. En este reino se puede mencionar las bacterias, micoplasmas y todos los organismos procariotas unicelulares, como cianobacterias. Hay bacterias fotosintéticas, quimiosintéticas y heterótrofas. Éstas pueden ser saprofitas, descomponedoras o patógenas, como las que producen la tuberculosis o la sífilis.

Reino Protista. Reino Protistas (Protista), grupo que está compuesto por todos los organismos eucariotas unicelulares, un núcleo formado por un número variable de cromosomas y separado del resto de la célula por una membrana nuclear. Sus células son las grandes y complejas que las de los moneranos. Algunos protistas se comportan como las plantas y obtienen su energía de la luz del sol; otros conocidos como protozoos se parecen más a los animales y adquieren su energía por la ingesta de alimento. Se tiene la mayoría de las algas y los protozoos, y sus descendientes más inmediatos, como las algas pluricelulares.

Reino Hongos. Reino Hongos (Fungi), en este grupo se pueden presentar organismos unicelulares o pluricelulares, en algunas ocasiones se les clasifica como plantas, su alimentación es de absorción directa de nutrientes, no realizan la fotosíntesis y son con frecuencia parásitos. Su pared celular puede estar compuesta de celulosa, pero en algunas ocasiones está constituida por quitina, una sustancia que se encuentra en el exoesqueleto de ciertos insectos y artrópodos. Este reino incluye a los hongos, las levaduras y los mohos. Los Hongos, aunque son eficientes en la eliminación de DBO₅, no son deseables como miembros predominantes en la comunidad bacteriana, ya que generan mayor biomasa que las bacterias para la misma disminución de DBO₅, aumentando el problema de la eliminación de los fangos. Además debido al crecimiento de hifas ramificadas formando micelios pueden producir bloqueos en los intersticios del biopelícula, impidiendo el drenaje y la aireación, dando lugar al fenómeno conocido como punding (estancamiento del agua debido a la colmatación).

3.1.2 Microorganismos importantes en el tratamiento de las aguas residuales

Los protozoos. Protistas móviles, generalmente unicelulares heterótrofos y aerobios, son de mayor tamaño que las bacterias y algunos, como Vorticella y Carchosium, tienden a la depredación y floculación de bacterias libremente suspendidas, pero su principal función es la de alimentarse de la película microbiana, impidiendo su acumulación, que llegaría a bloquear el sistema.

Los virus. Mas pequeños tienen un tamaño de 10 a 250nm, que comparado con una bacteria pequeña, salmonella typhi, de 1000nm los convierte en organismos extremadamente pequeños. Los virus no contienen enzimas internas y por lo tanto, para su crecimiento y metabolismo, requieren infectar a otros organismos, por lo que se les conoce como parásitos intracelulares que causan un gran número de enfermedades. En general, estos se componen de un centro de ácido nucleico, ADN o ARN, rodeado por una cubierta llamada cápside. El cápside es una cubierta de proteínas, diferente en cada tipo de virus, compuesta por unidades más pequeñas llamadas capsómeros.

Algas. Protistas unicelulares o pluricelulares, son autótrofas y fotosintéticas. Las algas realizan dos reacciones bioquímicas de gran interés, la fotosíntesis y la respiración, la fotosíntesis es realizada en presencia de la luz solar, consumiendo anhídrido carbónico, CO₂, para la producción de nuevos tejidos y oxígeno; la respiración es un proceso que consume oxígeno y libera CO₂, aunque la respiración es realizada en todo momento por las algas, durante el día predomina la reacción fotosintética. Una consecuencia de la utilización del CO₂ es la variación de pH en el agua, durante el día aumenta y en la noche disminuye, esta variación puede producir un ambiente hostil para otras formas de vida. La

importancia de las algas en el tratamiento de las aguas residuales es su capacidad para captar nitrógeno y minerales disueltos. Las algas cianobacterias fijadoras de nitrógeno, también son frecuentes en los filtros. Aunque son unas importantes productoras de oxígeno, se ha calculado que sólo proporcionan un 5% o menos de las necesidades de oxígeno de un filtro para su respiración.

Rotíferos. Animales aerobios, heterótrofos y multicelulares. Posee dos coronas de cilios retractiles cuyo movimiento giratorio se asemeja al de dos hélices, de aquí reciben su nombre. La principal función es consumir bacteria suspendidas y floculadas, también consumen pequeñas partículas de materia orgánica, su presencia indica un proceso de purificación biológica aerobia muy eficiente.

Crustáceos. Animal aerobio, heterótrofo y pluricelular, cuya principal característica es tener un cuerpo duro, se alimentan de algas y las bacterias. Su presencia se relaciona con un contenido bajo de materia orgánica y aguas ricas en oxígeno disuelto. Constituye una fuente de alimento para los peces.

Bacterias. Son organismos microscópicos unicelulares, se reproducen por fisión binaria y se caracterizan por su forma, estructura y disposición celular. Las bacterias son de gran importancia en el estudio del tratamiento biológico, debido a esto se estudiarán más detalladamente a continuación.

3.2 BACTERIAS

En general las bacterias son organismos unicelulares que se asocian generalmente en colonias. Las bacterias ocupan un papel preponderante en la mayoría de los ciclos biogeoquímicos. A continuación hablaremos brevemente de la forma estructura y disposición celular de las bacterias así como una pequeña clasificación de las mismas.

3.2.1 Forma, estructura y disposición celular

Forma de las bacterias. Pueden tener tres formas individuales: esféricas o cocos; cilíndricas o con aspecto de bastón; y en espiral ó helicoidales. Las células bacterianas generalmente se disponen en grupos tales como pares, racimos o cadenas. En la mayor parte de las bacterias su tamaño varía entre 0.5 a 5.0 μm de ancho y de 1.5 a 15 μm , en la Tabla 9 se muestra el tamaño de las bacterias según su forma.

Tabla 9. Tamaño de las bacterias según su forma.

FORMA	TAMAÑO
Esféricas	0.5 a 1.0 μm de diámetro
Cilíndricas	0.5 a 1.0 μm de ancho y 1.5 a 3.0 μm de longitud
Helicoidales	0.5 a 5.0 μm de ancho y 6.0 a 15.0 μm de longitud

Fuente: Metcal & Eddy.

Estructura y disposición celular

Pared celular. La estructura celular de las bacterias se caracteriza por la presencia de una pared rígida, que permite la conservación de la forma de la bacteria y protege su contenido de la presión osmótica. Su espesor es de 0.02 a 0.03 μm y constituye del 10% al 40% del peso seco del organismo.

Membrana citoplasmática. Ubicada después de la pared celular, es una estructura semipermeable con espesor aproximado de 7.5×10^{-3} , cuya función es separar el protoplasma del ambiente externo mientras permite el paso de nutrientes hacia el interior de la célula y la expulsión de desechos al exterior, su daño por agentes físicos o químicos causa la muerte de la célula.

Protoplasma. Parte interna de la célula que se divide en tres áreas diferentes, citoplasma, el área nuclear y los polirribosomas. El citoplasma tiene aspecto granuloso, en parte debido a la abundancia de ácido ribonucleico, la función fluida del citoplasma contiene nutrientes disueltos. El área nuclear contiene la cromatina más conocida como ADN, que se encuentra difundida en las células procarióticas. Los polirribosomas se forman de la unión entre las proteínas y el ARN, estos se encuentran densamente empaquetados en la célula.

3.2.2 Clasificación de las bacterias. Según las necesidades nutritivas y energéticas que afecten su desarrollo, se tiene que las bacterias se clasifican en diversos tipos tróficos, según tres criterios: el origen de la fuente de carbono y energía, y el aceptor final de electrones.

Fuentes de Carbono y Energía. Desde el punto de vista del poder de síntesis, se pueden dividir las bacterias en Autótrofas y Heterótrofas. Las bacterias autótrofas pueden sintetizar protidos, glúcidos, lípidos, a partir de compuestos muy simples como H_2O y sales minerales. Necesitan del CO_2 como fuente carbono. Cuando utilizan las radiaciones solares como fuente de energía para su crecimiento se llaman fotoautótrofos, si la fuente de energía no es la luminosa, sino de carácter químico por reacciones de oxidación-reducción se habla de bacterias quimioautótrofas.

Las bacterias heterotrofas, son incapaces de sintetizar sus propios constituyentes a partir de compuestos inorgánicos y necesitan compuestos orgánicos de carbono para obtener energía suficiente. Existe otra clasificación, si el radical dador de electrones es un compuesto mineral, se denominan quimiolitotrofas y si es un compuesto orgánico quimioorganotrofas.

Aceptor final de electrones. Teniendo en cuenta el ultimo aceptor de electrones se puede dividir en bacterias aerobias, las que emplean el oxígeno molecular como ultimo aceptor de electrones y las bacterias anaerobias, que utilizan alguna otra molécula diferente al oxígeno. Las que pueden utilizar ambas formas se denominan facultativas.

3.3 METABOLISMO BACTERIANO

El metabolismo es el conjunto de reacciones químicas que se producen en las células vivas. El metabolismo de las bacterias no difiere en sus mecanismos básicos del de los demás seres vivos; las bacterias necesitan obtener del medio la energía y sustancias nutritivas necesarias para la síntesis de sus materiales plásticos y de reserva, así como para su crecimiento y movimiento. Las reacciones metabólicas se pueden dividir en dos grandes grupos, reacciones catabólicas o energéticas y anabólicas o biosintéticas. Todas estas reacciones están reguladas por la presencia de enzimas o fermentos

En realidad, la clasificación en reacciones catabólicas y anabólicas es meramente didáctica, ya que ambos procesos no existen por separado, sino que se imbrican. Así, el crecimiento a partir de una fuente de carbono, como la glucosa, puede dar lugar a energía (en forma de ATP, metabolismo energético) y a la síntesis de proteínas (metabolismo biosintético).

3.3.1 Reacción catabólica o energética. Son las que tiene por objeto la descomposición de moléculas orgánicas complejas como glúcidos, lípidos y proteínas, en sustancias más sencillas como ácido acético, amoníaco, ácido láctico, dióxido de carbono ó urea, durante este proceso de descomposición se libera energía química la cual es almacenada en moléculas de Adenosina Trifosfato (ATP).

La mayoría de bacterias son, como hemos visto, heterótrofas, es decir, obtienen la energía por la descomposición de sustancias orgánicas que se encuentran en el medio, mediante una serie compleja de reacciones enzimáticas, que se pueden dividir en cuatro fases, digestión, absorción, preparación y oxidación. Aunque en todas las fases se producen reacciones exergónicas, sólo en la última un fase de oxidación se libera la energía en forma biológicamente utilizable por la bacteria.

Digestión. Las sustancias orgánicas que la bacteria utiliza pueden ser de origen vegetal o animal, en especial proteínas, hidratos de carbono, grasas y ácidos nucleicos, además de otros compuestos orgánicos menos importantes. La mayoría de estas sustancias son de moléculas demasiado voluminosas para poder penetrar a través de la membrana citoplasmática y han de ser previamente descompuestas en pequeños fragmentos mediante procesos hidrolíticos, catalizados por enzimas que las células sintetiza y secreta al medio externo (exoenzimas). Por este mecanismo se actúa sobre las proteínas, lípidos y glúcidos.

Acción sobre las proteínas. Las proteínas, al igual que otros compuestos de alto peso molecular, son convertidas, en primer lugar y en el exterior de la célula, en fragmentos permeables, reacción catalizada por exoenzimas. Las enzimas proteolíticas hidrolizan algunos enlaces peptídicos de la molécula proteica. Los fragmentos consistentes en polipéptidos y en oligopéptidos pasan al interior de la célula y por la acción de las peptidasas intracelulares, son degradados hasta aminoácidos.

Acción sobre los lípidos. Las bacterias descomponer los lípidos en ácidos grasos y glicerina, posteriormente son absorbidos y metabolizados.

Acción sobre los glúcidos. Sobre los hidratos de carbono, los microorganismos actúan por hidrólisis, transformándolos en sacáridos, que son absorbidos y luego fosforilados.

Absorción. Las moléculas pueden penetrar en la bacteria por dos mecanismos fundamentales, pasivamente a través de los poros submicroscópicos de la membrana citoplasmática que permite el paso de iones disueltos y pequeñas moléculas (sustancias hidrosolubles) o por su solubilidad en los lípidos de la membrana según los coeficientes de reparto (sustancias liposolubles), o activamente por un mecanismo de transporte específico de dicha moléculas, facilitado por la acción de portadores fermentos. El mecanismo pasivo de penetración depende de las concentraciones relativas que existen en el interior y exterior de la bacteria; el mecanismo activo es independiente del gradiente de concentraciones, pues mediante este la concentración de los sustratos en el interior de la bacteria puede ser muy superior al del medio externo, permitiendo la bacteria un metabolismo y crecimiento adecuado.

Preparación. En el interior de la bacteria, muchas veces continúan los procesos hidrolíticos por endoenzimas, hasta obtener un producto final que pueda ser oxidado directamente o después de sufrir una serie de transformaciones preparatorias para llegar a la sustancia susceptible de oxidación, por las oxidoreductasas de la bacteria. Estas reacciones de preparación pueden ser muy diversas, y quizá la más importante es la fosforilación, es decir la unión con un grupo fosfórico activado que tienen en sus enlaces la energía indispensable para que se inicien las reacciones

de oxidación, las cuales libera cantidades mucho mayores de energía, precisamente en forma compuestos con enlaces fosfórico de elevado contenido energético ATP.

Oxidación biológica. Se denominan reacciones de oxidación biológica, o procesos respiratorios, las que tienen por resultado la oxidación de sustancias orgánicas con liberación de energía. Su finalidad es la obtención de la energía necesaria, ATP para el crecimiento, asimismo en el curso de dichas reacciones se obtienen productos intermedios que se pueden utilizarse para la biosíntesis. En general, podemos afirmar que la glucosa se oxida, se producen deshidrogenaciones repetidas con liberación de electrones, que son transportados por unas moléculas especiales (cadenas transformadoras) hasta un aceptor final y la energía liberada se almacena en forma de ATP. Existen dos formas de oxidación biológica, la primera, conocida como fermentación y la segunda conocida como respiración.

3.3.2 Reacción anabólica o biosintética. Son aquéllas reacciones químicas que tienen por objeto la síntesis de materiales constitutivos de la célula bacteriana. Las reacciones anabólicas utilizan los productos generados por el catabolismo, sustancias sencillas y ATP, para la síntesis de moléculas complejas propias de la bacteria. Esta reacción consume la energía que es liberada por el catabolismo. Las sustancias simples producidas por el catabolismo y que no son sintetizadas por el anabolismo son sustancias de desecho las cuales deben ser expulsadas por procesos como respiración y excreción celular.

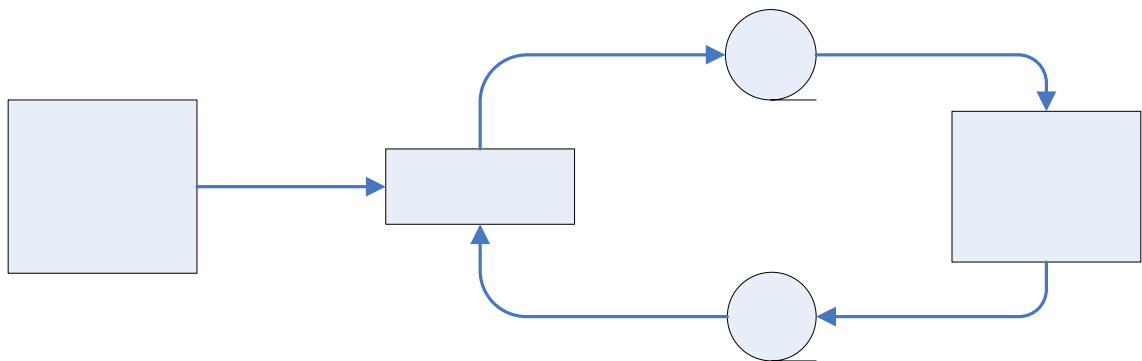
Los mecanismos de biosíntesis de las pequeñas moléculas son múltiples y distintos para cada una de ellas. Están estrechamente vinculados a los procesos de catabolismo, ya que estos no sólo proporcionan la energía necesaria, sino además, lo materiales básicos. Estas actividades de síntesis consisten en reacciones particulares, que dentro de la marcha general de catabolismo representan desviaciones colaterales o especiales reversibles, que se facilitan por la presencia de determinadas enzimas o sustancias que condicionan su actividad.

La síntesis de las grandes moléculas se realiza por mecanismos diferentes. Dejando aparte las constituidas por polimerización de pequeñas moléculas de la misma clase, o de pocas clases distintas, como ocurre con algunos polisacáridos, y cuyas síntesis se realiza por mecanismos anteriores, la mayoría de la molécula de gran tamaño están constituidas por una gran variedad de compuestos, que se diferencian por su número y ordenación, y sólo determinantes de la especificidad bacteriana. Es evidente que la síntesis de esos compuestos específicos no puede realizarse por mecanismos enzimáticas simples, como en el caso anterior, sino que probablemente penal de la estación de catalizadores multifuncionales en presencia de estructuras, que sirven de modelo o patrón dependientes del genoma

de la bacteria. En lo que ocurre con algunos polisacáridos y en especial con las proteínas y ácidos nucleicos.

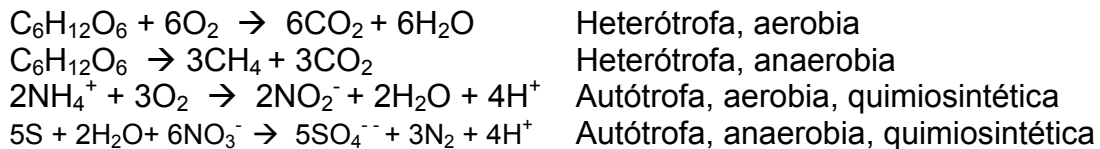
3.3.3 Intercambio energético. Los procesos de síntesis y mantenimiento celular requieren de un ciclo que provea de energía a la bacteria. En la célula la liberación de energía se produce de tres formas, oxidación de materia orgánica, oxidación de materia inorgánica, o reacción fotosintética. La célula utiliza compuestos orgánicos para capturar y almacenar la energía, el compuesto mas común es la Adenosina Trifosfato ATP, quien al liberar la energía que posee, se convierte en otro compuesto llamado Adenosina Difosfato ADP, estado de menor energía apto para capturar posteriormente mas energía que le permita volver su mayor estado energético ATP. En la Figura 5 se puede observar el esquema de intercambio energético.

Figura 5. Intercambio energético.



Fuente: Metcal & Eddy.

Las reacciones típicas bioquímicas exotérmicas que liberan energía para las diferentes bacterias son:



3.3.4 Importancia de las Enzimas. Las reacciones anteriores están reguladas por la presencia de las enzimas, que se pueden catalogar como catalizadores orgánicos específicos, de naturaleza coloidal producido por los organismos. Algunas enzimas son proteínas en su totalidad. Otras, en cambio llevan una parte proteica llamada apoenzima y una porción no proteica llamada cofactor. Cuando

el cofactor es un ión metálico se le llama activador y cuando es una sustancia orgánica se le llama coenzima.

Las enzimas actúan sobre una sustancia determinada llamada sustrato, acelerando las reacciones químicas que en su ausencia se efectuaría lentamente; el papel de la enzima es reducir la energía necesaria de activación. Las enzimas se pueden clasificar en intracelulares y extracelulares, según el lugar donde reaccionan con los sustratos; las enzimas extracelulares actúan sobre moléculas que son incapaces de ingresar a la célula, después de reaccionar con estas facilitan su ingreso; las enzimas intracelulares participan en las reacciones anabólicas y catabólicas dentro de la célula.

La reacción enzimática se presenta en dos etapas, en la primera el sustrato y la enzima sufren una reacción de combinación o síntesis cuyo producto se conoce como Complejo enzima-sustrato, en la segunda etapa este complejo sufre una reacción de descomposición donde la enzima recupera su estructura original y el sustrato se transforma en uno o varios productos. La obtención de un producto final, en algunos casos, va a requerir de la acción de una secuencia de múltiples reacciones enzimáticas conocidas como sistema enzimático.

Debido a que las enzimas son proteínas, cualquier proceso que altere su estructura, también altera la de las enzimas y esta pierde su actividad catalítica, los principales factores que alteran la actividad enzimática son la temperatura y el pH, en consecuencia si las enzimas son calentadas excesivamente, son tratadas con ácidos o bases, ó expuestas a otros agentes desnaturalizantes pierden su actividad biológica. Lo anterior explica por que el crecimiento de la población bacteriana esta ligado con los factores inhibidores de la actividad enzimática, como la temperatura y el pH del medio.

3.3.5 Elementos energéticos y constitutivos. Para que una bacteria pueda vivir y reproducirse es decir ser capaz de llevar a cabo sus procesos de biosíntesis, debe disponer de los nutrientes necesarios. Necesitando de los elementos energéticos y constituyentes; elementos específicos que son variables en cada bacteria y condiciones físico - químicas adecuadas.

Iones minerales. Pueden citarse PO_4^{-3} , SO_4^{-2} , Ca^{+2} , Na^+ y Cl^- que, generalmente se requieren en grandes cantidades. Adicionalmente se pueden requerir de bioelementos como el Mn, Zn, Cu, Co, Ni, B, entre otros por los microorganismos. En general las sales minerales sirven para mantener el equilibrio iónico, juegan un papel importante en el mantenimiento de la polaridad de la membrana celular, en la osmolaridad del plasma, como elementos metabólicos de grupos enzimáticos ó pigmentos.

Carbohidratos. Se hayan ampliamente distribuidos en la naturaleza en forma de sustancias familiares como la celulosa, los azucares y almidones. Entre sus

funciones se encuentran servir como fuente de energía, cuando se someten en procesos de oxidación en la célula; sirven como fuente de carbono, para la síntesis de compuestos celulares; almacena energía química en sus enlaces formando parte de componentes celulares.

Proteínas. Son los constituyentes más importantes de la materia orgánica; se encuentran en todas las células. Existen dos clases de proteínas, las solubles, que se encuentran disueltas en el citoplasma y los líquidos extracelulares; las proteínas insolubles, que forman las membranas y otros elementos estructurales de la célula. Están formados por C, H, N y S. Las proteínas están formadas por polipéptidos, los cuales son una combinación de algunos de los 20 tipos diferentes de aminoácidos.

3.3.6 Factores ambientales

Concentración de Iones de Hidrogeno. Un pH adecuado es un factor esencial en el metabolismo y crecimiento de las bacterias; la mayoría de las bacterias comensales y patógenas crecen mejor en un medio neutro o ligeramente alcalino. Algunas bacterias, sin embargo, se desarrollan en presencia de un elevado grado de acidez llamadas acidificas. Y en cambio otras son muy sensibles a los ácidos. Concentraciones fuertes de carácter ácido o alcalino, pueden ser letales para la mayoría de los microorganismos.

Temperatura. Este factor interviene en dos aspectos: el crecimiento de los microorganismos y en su viabilidad. Para cada especie hay una temperatura definida, que puede variar entre los límites máximos y mínimos, y existiendo diversos puntos intermedios, entre los cuales se encuentra la temperatura óptima. En general, las bacterias del suelo y el agua tienen una temperatura óptima, que oscila entre 20°C – 45°C se denominan mesófilas, algunas de estas bacterias tienen un amplio grado de desviación como las pseudomonas ya que pueden crecer entre 5°C – 43°C. Las bacterias psicrófilas son aquellas cuya temperatura óptima está por debajo de los 20°C y las bacterias termófilas son aquellas cuyo crecimiento puede variar de 55°C – 80°C y tienen un mínimo entre 20°C – 40°C (termófilos facultativos) o por encima de los 40°C (termófilas estrictas).

El Oxígeno. Todas las bacterias aerobias obligadas requieren de oxígeno como aceptor de electrones, por el contrario la exclusión de oxígeno atmosférico. Es una condición necesaria para las bacterias anaerobias estrictas.

Presencia de CO₂. Todas las bacterias requieren la presencia de pequeñas cantidades de dióxido de carbono para su crecimiento, que normalmente proviene de la atmósfera o de reacciones de oxidación y fermentación de propia célula.

Presión Osmótica. Debido a la presencia de la membrana citoplásmica las bacterias al igual que otras células están sujetas a los fenómenos osmóticos; en general pueden ser muy tolerantes. La mayoría de bacterias crecen en soluciones con un contenido en sales de hasta 1% pero otras que pueden crecer a más altas concentraciones incluso cerca de la saturación y se denominan halófilas. Como el caso de los bacteroides.

Influencia de la humedad y desecación. Las bacterias están constituidas por una elevada proporción de agua 80% y requieren además un ambiente húmedo para su desarrollo. El aire excesivamente seco es lesivo para muchos microorganismos.

Influencia de la luz y otras radiaciones. La oscuridad proporciona condiciones favorables de crecimiento, los rayos ultravioleta suministrados directamente por la luz de sol puede destruir los microorganismos.

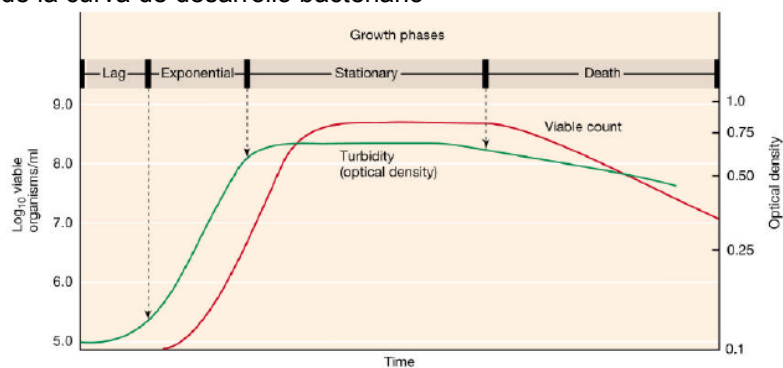
3.4 CRECIMIENTO BACTERIANO

El crecimiento bacteriano es un concepto macroscópico, el incremento en el número de bacterias dentro de la colonia se hace mucho más evidente que el crecimiento de las mismas, aunque estos dos conceptos son claramente diferentes, la velocidad a la que se producen hace imposible su separación.

El incremento depende fundamentalmente de la especie bacteriana, pero también del pH, composición del medio, temperatura de incubación, edad del cultivo, factores inhibidores, entre otros.

El crecimiento de las bacterias sobre un medio del cultivo líquido es claramente exponencial, y la determinación de este crecimiento cuantitativo se puede representar mediante la curva que se observa en la Figura 6.

Figura 6. Fases de la curva de desarrollo bacteriano



3.4.1 Fase de latencia. Es el tiempo necesario para la adaptación de las bacterias al nuevo medio. Durante este período, los microorganismos en estado latente aumentan su actividad metabólica, se embeben en agua, se omite la tasa de ARN, principalmente ribosómico esencial para la síntesis de nuevas proteínas bacterianas, y se produce posiblemente enzimas inducibles para utilizar las nuevas sustancias que se les ofrece. En definitiva, hay aumento de volumen pero no división, dado que no es la aplicación del ADN cuyos niveles permanecen con constante durante toda la fase.

Si las bacterias sembradas procediesen de un cultivo similar, con los mismos sustratos y fase logarítmica, prácticamente no habría solución de continuidad y la fase de latencia se acortaría extraordinariamente. Por el contrario, sufriría una serie de retrasos indefinidos en el caso de existir oxígeno en un cultivo de anaerobiosis, así como en la aireación forzada que impidiera la acumulación de gas carbónico o la adición de sustancias ante bacterianas, como sulfamidas, antibióticos, colorantes, entre otros.

Cuando se usa como inoculó células en estado metabólico latente, son factores importancia crítica para iniciar el crecimiento del pH, la temperatura, la presencia de concentraciones adecuadas de oxígeno, y concentraciones favorables del gas carbónico. Deben existir también ciertas sustancias nutritivas, en especial aquellos que las células producen lentamente o con dificultad por sí mismas.

Si el nuevo medio contiene nutrientes que no son asimilables por la mayoría de las bacterias del inoculó, pero posiblemente sean utilizables por una o dos células mutantes, las células no mutadas morirán y aparecerá un crecimiento perceptible después de un retraso inusualmente largo.

3.4.2 Fase de desarrollo exponencial o logarítmico. Una vez iniciado el desarrollo, se manifiesta pronto por la ascendente inflexión de la curva, llamada fase de crecimiento acelerado. Durante este período precoz, cuando la división es lenta, el tamaño en las células es grande; casi máximo alcanzable por las respectivas especies. Este hecho es debido, probablemente, a la imbibición de agua con la hinchazón consiguiente y el comienzo de la actividad metabólica.

Durante la fase de crecimiento acelerado, el tiempo requerido para que cada célula se divida va disminuyendo gradualmente y la velocidad de división alcanza máximo, determinado por la especie del microorganismo y las condiciones de crecimiento.

Cuando las bacterias se multiplican a velocidad constante y exponencial, se alcanza la auténtica fase de desarrollo esta fase de desarrollo logarítmico está mediatizada por una serie de factores limitantes intrínsecos, como la velocidad de difusión osmótica, y factores físicos extrínsecos diversos como la concentración de sustrato, presencia de oxígeno, entre otros. La temperatura es asimismo un factor

importante, ya que para las bacterias patógenas el óptimo de crecimiento se consigue a los 37°C y para las levaduras y otros hongos a 25°C.

Durante esta fase se alcanza el valor más alto en el número de generaciones por hora. Además, el recuento de células viables es prácticamente idéntico al de células totales, al tratarse de una población joven, en que el número de bacterias muertas es mínimo. Por otro lado, la actividad metabólica es máxima, el tamaño medio bacteriano se reduce, las estructuras presentan, además, un espesor mínimo, la sensibilidad a los agentes físicos, químicos y antimicrobianos y fagos es óptima en esta fase, y las características bioquímicas y fisiológicas son más evidentes.

Debido a estos atributos fisiológicos, adquiridos por las bacterias en esta fase, si se realiza un subcultivo en caldo, a temperatura adecuada, el crecimiento continúa a ritmo exponencial sin apenas fase de latencia. Si el crecimiento exponencial siguiese ininterrumpidamente, en poco tiempo se llegaría a constituir una masa sólida de bacterias, lo que no sucede al aparecer numerosos factores que interfieren en dicha multiplicación. Al cabo de pocas horas o días del inicio de la fase logarítmica, los microorganismos encuentran dificultades para continuar la multiplicación. Los nutrientes se agotan, las materias residuales tóxicas se acumulan, el pH se modifica, los receptores de hidrógeno desaparecen, las transferencias de energía disminuyendo y las células se obstaculizan mutuamente. La tasa de división celular comienza a declinar y hay microorganismos que mueren en número creciente, de tal modo que el progreso numérico de las células vivas se retarda considerablemente. Este proceso se designa como fase de aceleración negativa del crecimiento.

Se ha estudiado el desarrollo de esta fase mediante adiciones de un medio fresco, sin eliminar los residuos o las células muertas. La población bacteriana aumenta con cada adición de nutrientes, pero la forma global de la curva de crecimiento se desarrolla como siempre, y cesa pronto el crecimiento exponencial.

3.4.3 Fase estacionaria. Hay un crecimiento desequilibrado debido a que los componentes bacterianos (ADN, ARN, proteínas), se sintetizan a tasas diferentes. Se produce una estabilización, de modo que el número de células que se reproducen equivalentes a las que mueren. Puede ser debido a la disminución de factores esenciales para la respiración o la falta de elementos nutritivos del sustrato. La acumulación de productos finales del metabolismo, ácidos orgánicos o alcoholes obtenidos a partir de la degradación de los carbohidratos, y enzimas autocatalíticas del tipo de las proteasas y de las nucleasas son factores dignos de tenerse en cuenta al actuar como inhibidores. A veces, la causa limitante es la concentración de glucosa, por ello, su adición a un medio tamponado para neutralizar las pequeñas cantidades de ácido producido puede estimular un nuevo ciclo de desarrollo.

3.4.4 Fase de declinación o muerte. Al volverse las condiciones del medio más adversas cada vez, las bacterias se reproducen más lentamente y predominan las células muertas. Aparece una fase de declinación exponencial similar pero en sentido contrario, a lo que sucede en la fase logarítmica.

En la mayor parte de las bacterias, el proceso se desarrolla en 72 horas, de forma que al final de estas el número de células viables es pequeño, si bien la esterilidad total del cultivo puede no lograrse hasta traducidas varias semanas o meses y depende, entre otros factores, del tipo de microorganismo, pH, presencia o ausencia de determinados iones, entre otros.

Para reconocer la muerte bacteriana, en la que se pierde toda capacidad metabólica y de división, es necesario proceder a una de resiembra sobre medios sólidos y comprobar la ausencia de colonias tras la incubación pertinente. Este efecto se aplica constantemente en la práctica para reconocer cuando un antimicrobiano es bacteriostático (que inhibe simplemente el desarrollo de las bacterias) o bactericida (si produce la lisis bacteriana), según la aparición o no de crecimiento cuando se siembra en un medio del cultivo nuevo y adecuado. Igualmente sirve para comprobar la inocuidad de las vacunas elaboradas con bacterias muertas.

3.5 BIOPELÍCULA

Estructura compleja formada por agregados celulares de comunidades bacteriana que están embebidas en una matriz de exopolisacáridos densamente empaquetados y con huecos intersticiales en los que circulan los nutrientes, esta estructura se adherirá a un medio el cual podrá ser de origen natural o sintético.

Los microorganismos se encuentran adheridos al medio que actuara como soporte siendo esta la principal característica de la asociación biológica, dándose a conocer como sistemas de película fija.

La biopelícula se divide en dos zonas que son: base y superficie. La base esta formada de células con enlaces claramente definidos, adheridos al medio de soporte y la superficie es la zona donde se presenta la transición entre la base del biopelícula y el agua que circula. El espesor de la biopelícula depende del movimiento del agua en el sistema y de la naturaleza de los microorganismos que la componen. Algunos autores afirman que el espesor es inversamente proporcional a la velocidad de flujo del líquido, disminuye exponencialmente con los aumentos de la velocidad de flujo.

3.5.1 Formación de la biopelícula. La formación ha sido estudiada por medio de la microscopía óptica y electrónica, permitiendo observar la complejidad

microbiológica y física de la estructura, el proceso de formación de la biopelícula en los tratamientos de agua residual sigue las mismas etapas que en los ambientes acuáticos naturales.

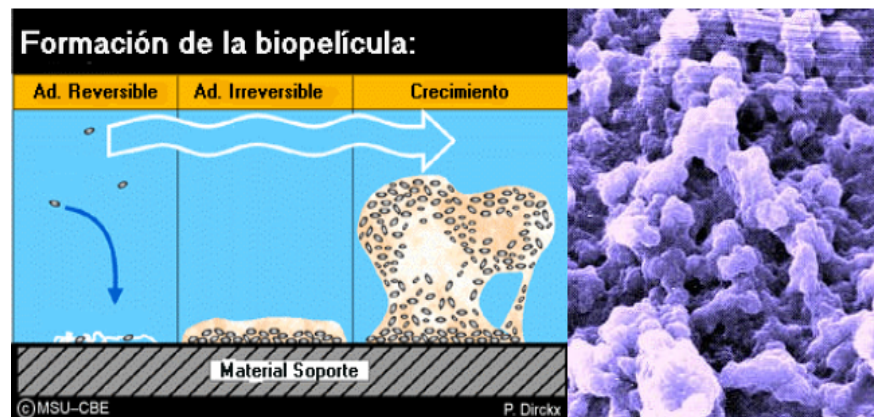
La adherencia de bacteria al medio de soporte que generalmente es impermeable y de orígenes diferentes, se realiza por medio de un proceso de dos pasos que son: adsorción reversible e irreversible. Ver la Figura 7 Etapas en la formación de la biopelícula.

Adsorción Reversible. En este paso la superficie es colonizada por bacterias gramnegativas seguidas de bacterias filamentosas, se rige por procesos de interacciones electrostáticas entre el absorbente y la célula.

Adsorción Irreversible. Este paso requiere formar la matriz polisacárida conocida como glicocalix y para esto es necesario producir exopolímeros extracelulares en la superficie, ayudando a “anclar” la biopelícula a la superficie del material soporte.

El glicocalix es desarrollado por las bacterias en su hábitat natural al secretar un homopolímero, que se sitúa en posición extracelular y forma un entramado de fibrillas polisacáridos, que facilitan la adherencia al medio.

Figura 7. Etapas en la formación de la biopelícula.



3.5.2 El crecimiento de la biopelícula se podría decir que se desarrolla en seis etapas

Fase latente. Indica el comienzo del desarrollo de la biopelícula. En ella se pueden diferenciar dos estados: uno pasivo; en el cual los compuestos orgánicos y algunas células son adsorbidos reversiblemente sobre la superficie. Y un estado

activo, en el cual las bacterias se adhieren irreversiblemente, cubriendo parcialmente el material soporte. Desde un punto de vista cinético esta fase es difícil de controlar; pero es fácilmente apreciable.

Fase dinámica o acelerada. Caracterizada por una disminución en el sustrato carbonáceo y concentración de oxígeno disuelto en reactores de biopelícula aerobios, se aprecia una evidente acumulación de biomasa inmovilizada resultante del crecimiento de microcolonias. Al final de esta fase, la superficie está totalmente cubierta de biomasa y la concentración de sustrato tiende hacia un valor límite.

Fase de crecimiento lineal. Esta etapa corresponde a una acumulación de biopelícula sobre el soporte a velocidad constante. La concentración de sustrato es mínima, mientras que la concentración de producto o demanda de oxígeno son máximas.

Fase desacelerada. Es una transición entre la acumulación de biopelícula a velocidad constante. Este fenómeno está relacionado con el movimiento del fluido. Durante esta etapa que es relativamente corta se observa un incremento en la cantidad de materia en suspensión.

Fase de estabilización. Corresponde al estado estable, la biomasa y el espesor de biopelícula alcanzan valores máximos. Esta fase depende de las condiciones de operación, tales como concentración del sustrato alimentado o fuerzas debidas al movimiento del flujo.

Fase de separación. Última fase del crecimiento del biopelícula. Los fenómenos de separación no son muy bien conocidos pero están relacionados a la muerte de las células del interior de la capa, fuerzas cortantes, limitaciones del sustrato, acumulación de metabolitos, etc.

De acuerdo a esta clasificación, el crecimiento del biopelícula está caracterizado por dos estados estables, uno para la fase líquida alcanzado al final de la fase dinámica y otro obtenido durante el periodo de estabilización. Este modelo conceptual de crecimiento indica además la presencia de una fracción activa de biomasa fija capaz de degradar sustrato a una velocidad máxima al final de la fase dinámica. La acumulación de biopelícula no mejora el consumo de sustrato, representa la fracción inerte o desactivación de la biopelícula. Esta fracción inerte se debe a la acumulación de metabolitos entre el biopelícula, ocasionada por problemas difusionales en la superficie colonizada.

3.5.3 Sistemas de Tratamiento biológico. Los sistemas de tratamiento biológicos se pueden clasificar en función de cómo se disponga el crecimiento de los microorganismos, existen dos tipos, cultivo en suspensión y cultivo fijo a un material que actúa como soporte al cual se fijarán las colonias de bacterias.

Cultivo fijo. Debido a la generación de exopolímeros, las bacterias se fijan firmemente a una superficie que le sirve de soporte. Los tipos de material de soporte son muy variados, plásticos, madera, concreto, entre otros. Esto permite que los sistemas de cultivo fijo sean aplicados en sistemas de tratamiento aeróbicas o anaeróbicas.

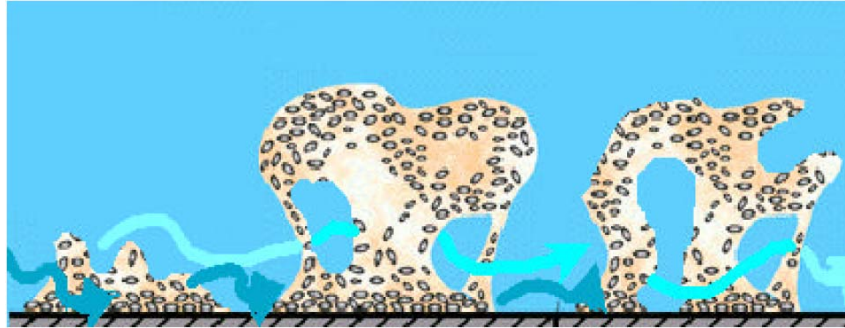
Cultivo en suspensión. En estos procesos el crecimiento de los cultivos bacterianos se realiza en suspensión. Forman flóculos en el líquido a tratar que se mantiene en agitación. En los sistemas convencionales de fangos activados el residuo es biológicamente oxidado en condiciones aerobias, por consiguiente, habrá que separarlos del efluente y reintegrarlos en el reactor para mantener una biomasa constante. Se trata de un sistema muy utilizado y que proporciona buenos resultados aunque cualquier cambio en las condiciones de sedimentación de los fangos afectará a su rendimiento.

En los lechos bacterianos y filtros sumergidos el material soporte está fijo en un compartimiento por donde pasa agua residual. En los biodiscos, el material soporte gira alrededor de un eje, moviéndose a través del fluido. Y en los lechos fluidificados las finas partículas de material soporte se mantienen en suspensión por el flujo ascendente del agua.

3.5.4 Modelos conceptuales de la estructura de la biopelícula. Estos modelos no son simples hipótesis, diversas investigaciones desarrolladas en 1994, de Beer et al, Gjaltema et al, Masson-Deya et al y Stoodley et al, usando imágenes de Resonancia Magnética Nuclear demostraron la existencia de canales de agua. Posteriormente en 1997 Stoodley et al, mediante el uso de un microelectrodo que permitía determinar el coeficiente de transferencia de masa (K), constataron una diferencia en este parametro en distintas localizaciones dentro de la biopelícula, concluyéndose que eran debidos a la heterogeneidad estructural de la biopelícula.

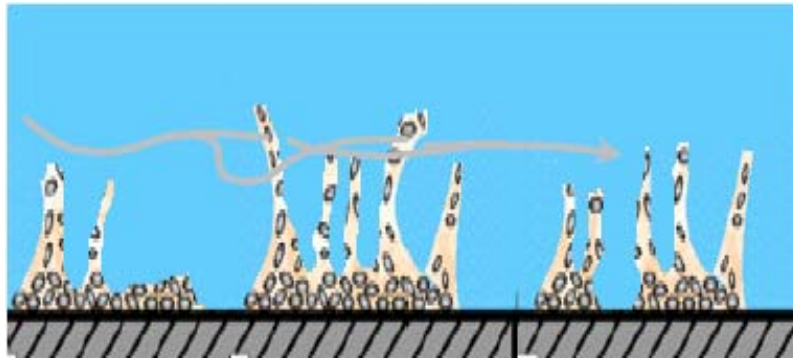
Modelo Del Canal De Agua. Durante la etapa de adsorción irreversible las colonias de bacterias producen, entre otras moléculas estructurales, exopolisacáridos, EPS, que como ya se han mencionado crean una distribución de fibrillas, cuya función es soportar una multitud de microcolonias. La distribución de esta matriz puede tomar la forma de un cono con pequeñas aberturas cerca a la base, estas aberturas permiten el flujo del agua y facilitan la difusión de nutrientes a través de la biopelícula, así como el transporte de metabolitos entre la comunidad y el fluido. En la Figura 8 se muestra un esquema en el que se pueden apreciar las aberturas, las líneas muestran el flujo del agua a través de las mismas.

Figura 8. Modelo del canal de agua



Modelo Del Mosaico Heterogéneo. Este modelo enseña un caso extremo del modelo del canal de agua, en el cual la biopelícula crece formando tallos independientes firmemente adheridos a la base, el espesor de la base puede alcanzar los 5 μ m. La diferencia con el modelo del canal de agua, es que en este caso los tallos no están unidos en sus extremos, por lo cual no forman canales. Es una distribución típica de los sistemas de distribución de agua. En la Figura 9 se pueden identificar los tallos propios de esta estructura. Al igual que en el modelo del canal de agua esta estructura facilita el transporte que nutrientes y metabolitos.

Figura 9. Modelo del mosaico heterogéneo



Modelo De Película Densa. En este tipo de estructura, no se presentan canales de agua o alguna porosidad en la biopelícula. Sin embargo existe una organización estructural, que pueden incluir varios tipos de bacterias. El transporte de los nutrientes y metabolitos se hace a través de la biopelícula en dirección perpendicular al flujo de agua. La distribución de las bacterias en este tipo de modelo obedece a relaciones de competencia y velocidad de crecimiento. La Figura 10 se puede apreciar una representación de cómo podrían estar distribuidos diversos clases de bacterias, según este modelo.

Figura 10. Modelo película densa

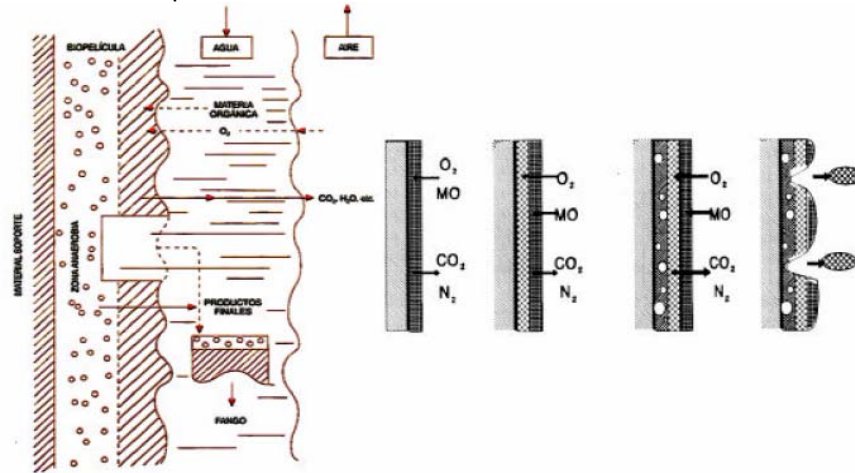


El tipo de biopelícula en el cual se distribuyen las colonias de bacterias tiene una estrecha relación con la concentración de sustrato presente. Algunos estudios indican que el modelo del mosaico heterogéneo se presenta para concentraciones de nutriente menores a 1 mg/l, mientras que el modelo de película densa se presenta en concentraciones de 15 a 20 g/l. Este tipo de relación se estudió en colonias formadas por la bacteria *Bacillus licheniformis*. Todo parece indicar que los modelos de canal de agua y mosaico heterogéneo se presentan para facilitar el transporte de nutrientes hacia la biopelícula.

Además de estos aspectos nutricionales, las condiciones de desarrollo de la biopelícula pueden ser influenciadas por factores como la textura del material soporte, las características del flujo, el tipo de microorganismos que componen las colonias existentes, la naturaleza de la fase líquida que pasa por la biopelícula, la geometría del reactor, entre otros.

Asimismo, la distribución del grupo de bacterias dentro de la biopelícula, cualquiera que sea el modelo estructural depende varios factores. La competencia por nutrientes entre diferentes clases influencia esta distribución, por ejemplo, si una misma biopelícula acoge a bacterias heterótrofas, las cuales necesitan de materia orgánica, y bacterias autótrofas, las cuales utilizan nutrientes inorgánicos, pero que comparten el aceptor de electrones, en este caso el oxígeno, deberán competir por una posición dentro de la biopelícula que le asegure la consecución del oxígeno. La importancia del compuesto en disputa, determinará la posición en el interior de la estructura, puesto que dichos nutrientes se mueven por difusión desde la superficie hasta la base de la estructura. Por otro lado, debido al envejecimiento celular, existe material inerte dentro de la biopelícula que debe viajar hasta el exterior. En la Figura 11 se aprecia este tipo de transporte desde y hacia el interior de la biopelícula, lo cual moldea la superficie de la biopelícula.

Figura 11. Evolución del biopelícula.



Para especies pero compiten por nutrientes, pero si por espacio, la distribución dependerá de la diferencia entre las velocidades de crecimiento de la clase, la especie con mayor velocidad de crecimiento dominará las capas superficiales, sin embargo debido a las bajas concentraciones de sustrato en el interior de la biopelícula, se presenta una situación limitante que produce la disminución en las velocidades de crecimiento lo cual permite que las dos especies crezcan a la misma velocidad. Las bacterias heterótrofas tienen una constante de saturación menor para el oxígeno que los autótrofos, significando que los heterótrofos pueden disminuir la concentración de oxígeno dentro del biopelícula hasta el punto de inhibir el crecimiento de los autótrofos, esto los pone en desventaja disminuyendo las zonas donde pueden crecer cuando las dos especies compiten por un nutriente. Este fenómeno ha sido experimentalmente verificado en películas aeróbicas, donde los organismos heterótrofos suelen estar en el exterior, mientras que las bacterias de crecimiento lento como las nitrificantes están en el interior.

3.5.5 Ventajas de los procesos de película fija. Los sistemas de película fija la presentan múltiples ventajas en comparación con los sistemas biológicos en suspensión. Entre ellas podemos destacar el crecimiento de microorganismos de velocidades de crecimiento bajas como los metanogénicos y los nitrificantes; los procesos de película fija son menos susceptibles a efectos adversos producidos por cargas variables o intermitentes; son muy apreciados en la industria por requerir reactores de menor tamaño; son menos sensibles a las variaciones extremas de temperatura; la biopelícula sirve como defensa para las bacterias frente a agentes tóxicos, en áreas de la salud las bacterias patógenas que crean biopelículas son más resistentes a los antibacterianos; tienen un mayor rendimiento expresado en cantidad de biomasa activa por unidad de volumen.

4. CONTACTORES BIOLÓGICOS ROTATIVOS RBC

Entre los tratamientos biológicos de películas fijas se destaca el contactor biológico rotativo RBC, como una solución para el tratamiento de aguas residuales contaminadas con material orgánico. El RBC se clasifica como un proceso biológico aerobio de película adherida que proporciona tratamiento secundario; sin embargo, una de las cualidades del RBC es la posibilidad de convertirse en tratamiento terciario al aumentar el tiempo de retención. En este capítulo escribiremos los aspectos más importantes del RBC.

4.1 ANTECEDENTES

A comienzos del año 1900, Weigand de Alemania patentó el primer diseño de RBC; este consistía en una serie de cilindros hechos de madera los cuales estaban rellenos con fibras, estos fueron rápidamente desechados por presentar problemas de taponamiento excesivo con los lodos.

La primera aplicación, de la cual se tenga conocimiento, de discos rotatorios como medio de soporte del RBC se registra en 1925. Este sistema diseñado por Doman, se aplicó en el tratamiento de aguas residuales; estaba constituido por 14 discos metálicos de 36 centímetros de diámetro, sumergidos aproximadamente 15 centímetros, los cuales rotaban a una velocidad de 0.5 a 1 revoluciones por minuto. Los resultados del sistema no fueron satisfactorios, el sistema sólo obtuvo una remoción del 27% de DBO, atribuida a la pequeña superficie específica de los discos utilizados.

Cuatro años después aparece un nuevo diseño patentado por Maltby constituido por una serie de alabes de 12 a 36 hojas, las cuales rotaban sobre el agua residual. Los porcentajes de remoción alcanzados fueron del 80%. Sin embargo, estos no fueron utilizados en instalaciones comerciales.

Posteriormente, Doman ideó una forma de optimizar su diseño al suministrarle aire al agua residual, su idea era evitar la creación de zonas anaerobias, aunque no obtuvo un aumento significativo en la remoción de materia orgánica, sentó una base que llevaría a estudios posteriores como los realizados por Surampalli y Baumann en 1993, donde los porcentajes de remoción de carga orgánica utilizando un RBC con un sistema de aireación complementaria fueron del 70%.

Los desarrollos modernos de los sistemas RBC fueron utilizados en Alemania por Conrad Stengelin en 1957, quien fue el primero en utilizar discos de poliestireno

como medio de contacto. Años más tarde en 1972, con el fin de aumentar la superficie específica del medio, en Estados Unidos se introduce la utilización de discos corrugados de polietileno, los cuales ofrecen el doble del área superficial que los discos de polietileno convencionales. Desde entonces los RBC han sido ampliamente difundidos en algunas regiones, por ejemplo en 1985 Japón contaba ya con 1323 sistemas de tratamiento con RBC.

Actualmente países como Estados Unidos, Canadá, Japón y gran parte de los países europeos, utilizan ampliamente los sistemas de tratamiento con RBC para el tratamiento de las aguas residuales susceptibles a tratamiento biológico.

En Latinoamérica se han realizado diferentes estudios a escala piloto, para el tratamiento de varias clases de aguas residuales, obteniendo excelentes porcentajes de remoción de carga orgánica. Sin embargo, su implementación a escala industrial ha sido limitada principalmente por la dificultad de extrapolar los datos obtenidos de los modelos a escala.

4.2 FUNCIONAMIENTO

Como ya se ha mencionado, el RBC se clasifica como un proceso biológico aerobio de película adherida que proporciona tratamiento secundario; proceso biológico aerobio, por que la remoción de la carga orgánica se realiza gracias a los procesos de oxidación y síntesis biológica de microorganismos que se desarrollan en presencia de oxígeno, el cual les sirve como aceptor final de electrones; de película adherida, debido a la distribución de los microorganismos en una biopelícula que se adhiere al medio; proporciona tratamiento secundario por remover la materia orgánica, partículas coloidales y sólidos suspendidos.

El funcionamiento del RBC se basa en la rotación del medio, discos o cilindro, el cual generalmente se encuentra sumergido un 40% de su diámetro. El sistema rota dentro de un tanque a través del cual fluye el agua residual en sentido paralelo o perpendicular al eje de rotación. El sustrato presente en el agua residual permite el crecimiento de la biopelícula, compuesta por una flora microbiana aeróbica, sobre toda la superficie del medio.

La rotación del RBC provoca mezclado turbulento, circulación y aireación del contenido del líquido dentro del reactor, adicionalmente, la rotación permite que la película fija y la capa de agua que tiene adherida sean expuestas al oxígeno atmosférico cuando se encuentran sobre el nivel del agua; posteriormente, la biopelícula vuelve a ingresar al tanque, donde, nuevamente, entra en contacto con el sustrato del agua residual. La mayoría de la transferencia de oxígeno a la biopelícula es atribuible al intercambio gaseoso que se produce cuando se encuentra fuera del reactor.

El exceso de biomasa se desprende continuamente de la superficie del medio como resultado del esfuerzo cortante originado por dicha rotación y por la descomposición celular. Esta biomasa es transportada por el movimiento del flujo hasta un clarificador, cuya función es remover los lodos del sistema. Según algunos autores, no se recomienda la recirculación del efluente puesto que no contribuye notablemente al aumento de la eficiencia del sistema.

Generalmente, los sistemas de RBC, se encuentran recubiertos para proteger al medio y a la película de las radiaciones solares, proteger al mecanismo de transmisión de la intemperie, y en países con estaciones sirve para reducir la pérdida de calor y evitar la formación de hielo durante el invierno. Por supuesto, los recintos deben estar bien ventilados para permitir el aporte de oxígeno, diseñados estructuralmente para soportar las inclemencias del clima y deben poseer puertas de acceso para inspección y mantenimiento.

El agua residual que se trata utilizando el RBC, debe reunir las siguientes condiciones:

- El afluente debe presentar contaminación por materia orgánica
- No debe contener grasas ni aceites, pues estos forman una capa sobre la biopelícula impidiendo el intercambio gaseoso y la difusión de nutrientes.
- No debe contener sólidos en suspensión que puedan sedimentarse y atascar el sistema.
- Generalmente se aplica a efluentes que han sido sometidos a pretratamiento o decantación primaria.
- Debe estar libre de elementos tóxicos o inhibidores de los procesos biológicos.

En la Figura 12 se puede apreciar una vista general de una planta de tratamiento que utiliza el RBC como tratamiento secundario, y una vista del medio.

Figura 12. Sistema de tratamiento con RBC.



4.3 COMPONENTES PRINCIPALES DE UN RBC

A continuación se describen los principales componentes del sistema de RBC y su función en el proceso.

4.3.1 Eje. El eje se instala por encima del nivel del agua, su función principal es servir de soporte al medio y ayudarlo en su rotación para asegurar que sucesivamente, toda la superficie quede completamente sumergida en el agua residual y posteriormente en el aire. En la actualidad la longitud máxima de los ejes está limitada a 8.23 m de los que un máximo de 7.62 m son ocupados por el medio.

El eje es el componente que mayor desgaste sufre y el origen de la falla de los sistemas, por esto ha sido una preocupación importante para muchos fabricantes. Generalmente están recubiertos por materiales sintéticos o tratados para reducir los efectos de la corrosión, los tipos de ejes comercializados son muy variados, se encuentran con secciones cuadradas, redondas y octogonales, huecos o macizos, según el fabricante.

El diseño del eje debe contemplar aspectos tales como, ambiente de operación, accesorios utilizados, consideraciones de carga y procesos de fatiga, estos últimos son los más difíciles de estimar debido al crecimiento no uniforme de la biopelícula que causa diferenciales de torsión durante la rotación del eje.

Las variables que influyen en su diseño son la longitud, el diámetro del medio, la densidad máxima alcanzada durante la operación y distancia entre apoyos.

4.3.2 Medio (Disco o Cilindro). Su función es brindar soporte para que las colonias de bacterias se adhieran y formen una biopelícula constante y confinada a una superficie determinada, de modo que si no se producen desprendimientos por mal funcionamiento o vertidos accidentales que contengan tóxicos o inhibidores, se trata de sistemas muy estables y con escasas variaciones en su rendimiento.

Los medios utilizados para el sistema de RBC se pueden clasificar dependiendo de su origen en naturales y sintéticos, y según la forma de fijar la biomasa se catalogan en planos (discos) y volumétricos (discos y cilindros).

Generalmente son discos de polietileno de alta densidad colocados a corta distancia sobre un eje horizontal que permite su rotación, pero en la actualidad con el objetivo de aumentar su superficie específica, los fabricantes han desarrollado medios corrugados, que adicionalmente sirven para aumentar la rigidez de los mismos. El medio, sumergido entre un 40% y un 50% de su diámetro, rota

alternadamente en el agua residual y en el aire, permitiendo la difusión del sustrato y el intercambio gaseoso con la atmósfera, respectivamente.

Los rellenos interiores de los biocilindros sirven para aumentar la superficie de contacto entre el disco y el agua, o lo que es lo mismo, aumentar la cantidad de flora microbiana en contacto con el agua residual.

Los medios utilizados actualmente tienen de 2 a 3 metros de diámetro, y se disponen con una separación de 20 a 30 milímetros. Los materiales que han sido empleados en la fabricación del medio para los sistemas de tratamiento que utilizan el RBC son:

- Hierro fundido
- Madera
- Asbesto cemento
- Tambores huecos con rellenos diversos
- El poliestireno expandido de alta densidad (Actualmente)
- El polietileno corrugado (Actualmente)
- Cloruro de polivinilo (Actualmente)

4.3.3 Mecanismos de transmisión. Se podría hablar de dos clases de RBC según el medio de impulsión utilizado en su rotación; los primeros son impulsados por la acción mecánica de un motor sobre el eje; los segundos son impulsados por un sistema de difusores de aire que inyectan aire al tanque desde el fondo, el cual se acumula en unas copas de plástico ubicadas en el perímetro exterior del cilindro y producen un torque, ocasionado por fuerzas de flotación, que permite la rotación del sistema, esta solución es muy costosa por su consumo energético.

Aunque ambos sistemas han demostrado ser eficientes en el control de la velocidad de rotación, la mayoría de las unidades de RBC rotan por la acción directa sobre el eje central, de mecanismos de transmisión mecánica, cuya función es inducir la transferencia de oxígeno y mantener la biomasa en condiciones aerobias. Una función adicional es la eliminación del exceso de biopelícula, debido a la generación de esfuerzos cortantes, además sirve para mantener en suspensión los sólidos arrastrados, de modo que puedan ser transportados desde el reactor hasta el clarificador.

Los mecanismos de transmisión están compuestos por un motor, un motoreductor de velocidad y un sistema de engranes o correas. El conjunto es de gran importancia si tomamos en cuenta que la velocidad de rotación del sistema esta entre 1 y 3 rpm, pero los motores proporcionan de 1000 a 2000 rpm. Algunos fabricantes incluyen un mecanismo que permite realizar variaciones en la velocidad, esto le brinda al sistema mayor flexibilidad en la operación para el control del espesor de la biopelícula y manejar variaciones en el oxígeno disuelto.

4.3.4 Tanque. Contiene el agua en tratamiento, en él se realiza la difusión de sustrato hacia la biopelícula, para separar el tanque en varias etapas se utilizan paredes de concreto o pantallas removibles que permiten el flujo de una etapa a otra.

Están hechos normalmente de concreto o acero, por lo general se construyen con geometría circular para eliminar espacios muertos en donde podrían acumularse sólidos y crearse condiciones sépticas y olores

Según Romero, el volumen optimo se ha establecido en 0.0049 m³/m² de medio, lo que implica que para una carga de 0.08 m³/m²*día se conseguiría un tiempo de retención de 1.44h; algunos autores señalan que el tiempo de retención debe estar entre 0.7h y 1.5h.

4.4 ASPECTOS RELATIVOS AL DISEÑO

Para un diseño adecuado y eficiente es importante mantener una baja relación de funcionamiento, S(Sustrato)/M(Microorganismos), es decir, que el sustrato que consumen las bacterias debe ser escaso en comparación con el posible consumo de la población bacteriana, el objetivo de una baja relación de funcionamiento S/M es aumentar la rata de consumo, provocando una alta remoción, este hecho también les permite resistir mejor las sobrecargas hidráulicas y orgánicas. Con el fin de obtener una baja relación S/M, es necesario prestar atención a los siguientes aspectos:

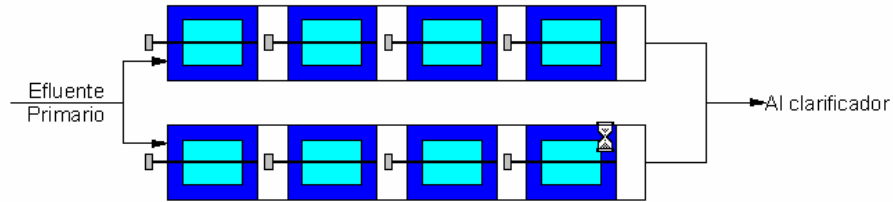
4.4.1 Distribución en etapas de las unidades de biodiscos. Los microorganismos que componen la biopelícula, dependen en gran medida de la concentración de la materia orgánica contenida en el agua residual. La distribución por etapas busca el desarrollo de diferentes microorganismos en diferentes niveles.

Las etapas o niveles se pueden dar en diferentes tanques o en uno mismo con la utilización de pantallas deflectores. Las etapas se colocan a trabajar en serie, con lo cual se disminuye gradualmente la carga orgánica a medida que se avanza en el proceso y se obliga a la variación en la composición microbiológica de la biopelícula.

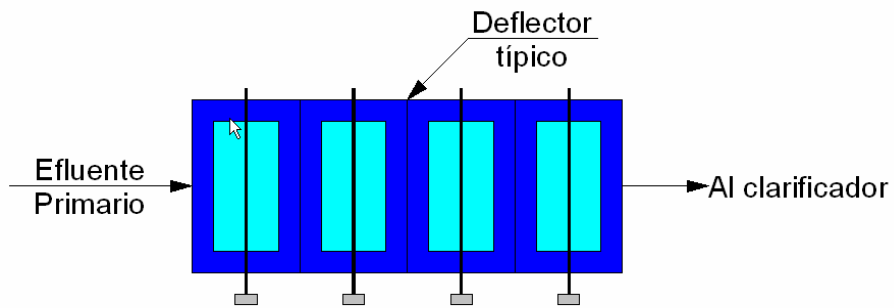
Existen diferentes configuraciones de los sistemas de RBC, en plantas pequeñas se puede utilizar la distribución en etapas dentro de un mismo tanque con pantallas deflectoras; en plantas un poco mas grandes cada etapa esta localizada en un tanque diferente y la orientación de los ejes es paralela a la dirección del flujo, Figura 13 (a); en plantas un poco más grandes los ejes se disponen

perpendicularmente a la dirección del flujo, Figura 13 (b); en algunas plantas el problema es ocasionado por altas cargas orgánicas en la primera etapa, por lo cual el caudal se distribuye en los primeros tanques de un sistema de flujo perpendicular al eje, esta distribución se conoce como alimentación escalonada, Figura 13 (c); en plantas muy grandes se puede pensar en una alimentación graduada, en la cual la primera etapa esta compuesta por varios tanques y las siguientes etapas se componen por un numero decreciente de tanques, con lo cual se disminuye el tiempo de retención pero se trata de conservar la carga orgánica en cada etapa, Figura 13 (d).

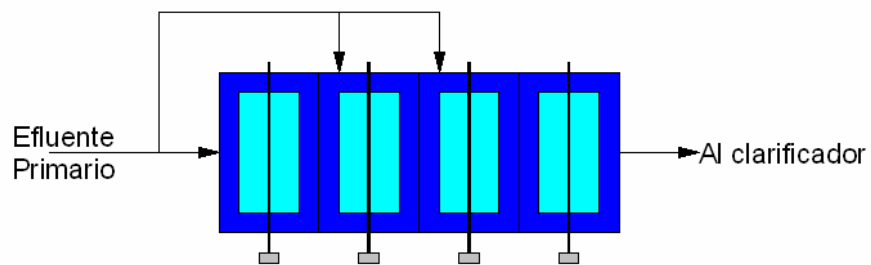
Figura 13 Configuraciones típicas de los sistemas RBC (a) Flujo paralelo al eje; (b) Flujo perpendicular al eje; (c) alimentación; y (d) alimentación graduada.



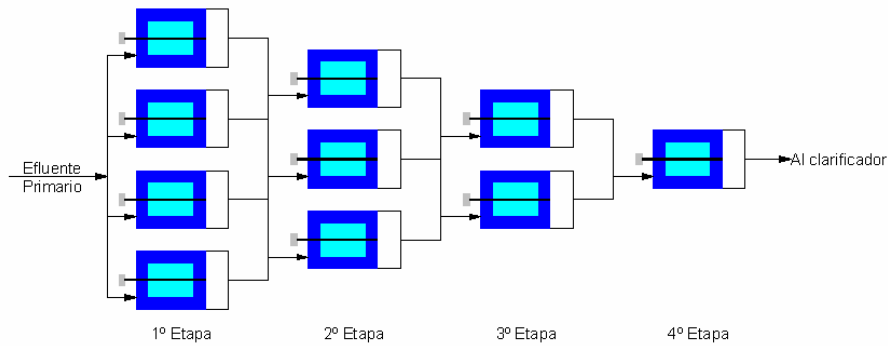
(a)



(b)



(c)



(d)

Fuente: Tesis, Arevalo, Castro; 1999.

4.4.2 Criterios de carga. Se debe evitar en lo posible llegar a tener un sistema sobrecargado debido a que este produce bajas concentraciones de oxígeno disuelto, aparición de olores debido a la producción de H_2S y bajos rendimientos de eliminación en las primeras etapas, para evitar dichos problemas es necesario aumentar la capacidad de transferencia de oxígeno ya sea por medio de aireación suplementaria, alimentación escalonada o recirculación del agua a partir de la última etapa.

4.4.3 Clarificador. El desprendimiento de biopelícula es inevitable y deseable, debido que por esta vía se logra la renovación de las colonias microbianas. La biopelícula que se desprende es mantenida en suspensión, por la rotación del sistema, y debido al movimiento del flujo es arrastrada hasta un clarificador, situado después de cada reactor y desde allí es retirada por sedimentación.

4.4.4 Forma geométrica. Existen varios diseños, tantos como casas productoras, sin embargo el diseño de un RBC básicamente es un cilindro. Lo más importante en el diseño de un sistema es minimizar su peso y maximizar la superficie específica por unidad de volumen.

4.5 REQUISITOS PARA LA CONTRUCCION DE UNA PLANTA

- La construcción de tanques o depósitos contenedores en concreto o metálicos, de una o varias etapas para alojar el sistema.
- Es necesario construir tanques de sedimentación secundaria y lechos de secado para la disposición de los lodos de exceso.

- Efectuar tratamiento preliminar al residuo crudo, no necesita sedimentación primaria.
- Disponer de un tanque de homogenización para absorber las cargas pico
- Un adecuado suministro de energía para el funcionamiento del sistema del mecanismo de transmisión.

4.6 VENTAJAS, DESVENTAJAS Y PROBLEMAS FRECUENTES

4.6.1 Ventajas

- Se emplea como una solución adecuada para pequeños núcleos de población; entre 2.000 y 5.000 habitantes.
- Ausencia de personal especializado para el mantenimiento y control del proceso
- No es necesario controlar el oxígeno disuelto en el depósito de tratamiento, ni la concentración en los tanques.
- Da un nivel mínimo de ruidos, espumas, aerosoles y olores.
- Las dimensiones de los depósitos de oxidación son menores que los utilizados por otros procesos, y debido a esto, los costos de instalación se abaratan considerablemente.
- El consumo energético es muy reducido con resultados iguales; el consumo resulta ser la tercera parte comparado con un sistema de fangos activos.
- Actualmente es el único proceso de tecnología blanda con posibilidad de acometer un proceso de nitrificación-desnitrificación con garantía de buen funcionamiento, que en un futuro será exigible para evitar la eutrofización de los ríos y mejorar la calidad de las aguas.
- El rendimiento del proceso es más estable en épocas frías debido a la posibilidad de mantener los reactores cubiertos.
- Permite acometer un proceso de nitrificación-desnitrificación con garantía de buen funcionamiento.
- Dada la gran superficie específica de los rellenos modulares sintéticos el requerimiento de terreno es mínimo
- El sistema permite desarrollar una alta concentración de biomasa por m³ de sistema lo cual le confiere una menor susceptibilidad a las variaciones de carga hidráulica y orgánica.
- Debido a su concepción modular puede ser fácilmente ensamblado en el sitio en poco tiempo y se puede desarrollar por etapas de acuerdo con las necesidades y recursos de la localidad.
- Las características del lodo que se desprende de la superficie de los discos facilita la sedimentación de los mismo y clarificadores mas pequeños
- No requiere recirculación de lodos
- El mantenimiento y supervisión de las unidades es relativamente mínimo

- La reacción bioquímica entre el desecho y los microorganismos se producen de manera uniforme en toda el área superficial del material de relleno.
- La eficiencia de remoción de materia orgánica es función de la carga hidráulica y de la carga orgánica aplicada.
- La eficiencia de remoción de DBO puede variar entre 80 y 95 % dependiendo de las condiciones de operación. La remoción de coliformes puede estar en ese mismo orden de magnitud aunque el tiempo de retención normalmente esta alrededor de 1 hora.

4.6.2 Desventajas:

- Es una solución desarrollada especialmente para pequeñas poblaciones. Para ciudades mayores los costos se incrementan considerablemente y dejan de ser competitivas frente a otras metodologías.
- El consumo de energía, aunque es menor que en otros procesos aeróbicos, constituye el principal costo de operación y mantenimiento.
- Aunque no requiere una supervisión especializada del proceso, el mantenimiento de los equipos debe ser estricto y riguroso.

4.6.3 Problemas frecuentes:

- Para ayudar a su diseño, existen experiencias de fabricación de plantas piloto con discos de pequeño diámetro, pero los parámetros obtenidos no son extrapolables a las instalaciones industriales debido a los efectos de temperatura y la velocidad de giro.
- Los problemas que presentan estas instalaciones derivan principalmente de un exceso de carga orgánica, que provocan posteriormente, una oxigenación insuficiente; el desarrollo de una película biológica excesiva que provoque malos olores; bajo rendimiento del proceso; sin embargo, esto puede evitarse con la inyección de aire al agua residual, o la construcción de otro modulo.

5. LA LUFFA OPERCULATA

Al evaluar las ventajas que ofrece un sistema de RBC en el tratamiento de aguas residuales, se puede apreciar las grandes beneficios que puede brindar a las pequeñas poblaciones de Colombia, lastimosamente la implementación de esta tecnología tiene grandes costos, al ser patentada se requiere importar todos los componentes del sistema, y por solicitud del fabricante todos los repuestos y mantenimiento deben ser autorizados para tener derecho a la garantía. Debido ha dicho inconveniente; se hace necesario diseñar y construir un modelo experimental de RBC, utilizando tecnología nacional y material disponible en nuestro entorno, para de esta manera ofrecer una alternativa de fácil mantenimiento y asequible a poblaciones de bajos recursos económicos, que permita mejorar las condiciones de vida de los habitantes sin desmejorar la calidad de los efluentes.

En el caso del medio se requiere de un material de alta superficie específica que permita la adherencia de la biopelícula y que sea liviano para disminuir las sollicitaciones del eje del biorotor. La búsqueda de nuevos medios de soporte, se enfocó a materiales naturales autóctonos, como es el caso de la Luffa Operculata, la cual, según apreciaciones iniciales, nos proporciona estas características. Adicionalmente al tratarse de un material biodegradable proporciona un sistema de tratamiento limpio. Al ser implementado el cultivo en las instalaciones de la planta, permitirá contar con un sistema sostenible.

Como proceso de apoyo a la investigación sobre el manejo y cultivo de la Luffa operculata, se realizó una visita al cultivo del señor Rafael Moreno, ubicada en la vereda el Tablazo, en el área rural municipio de San Vicente de Chucurí.


5.1 GENERALIDADES

Botánicamente ha sido descrita con muchos nombres dependiendo de la variedad que presente la especie operculata, entre ellos *Luffa aegyptiaca*, *Momordica cylindrica*, *Momordica operculata* y algunos otros; pertenece a una familia que cuenta con 90 géneros y 750 especies. El género *Luffa* cuenta con 7 especies pero solo *L. cylindrica* y *L. acutangula* son las más conocidas y comúnmente cultivadas. Esta planta pertenece a la familia de las cucurbitáceas y está ampliamente distribuida en las zonas tropicales de todo el mundo.

Algunos nombres comunes que recibe la luffa según el país son: en Colombia se le conoce como estropajo o pepinillo de esponja, en Costa Rica se conoce como

"paste" (*Luffa cylindrica*), en Venezuela quingombo, en Ecuador calabaza, buchados paulistas en Brasil, loofah en Estados Unidos y es llamado en otros países esponja vegetal.

Tabla 10. Tratamientos según la fase o nivel de depuración

<p>Ficha Técnica</p> <p>Nombre científico: <i>Luffa operculata</i> L. Reino: Vegetal Clase: Angiospermae Subclase: Dicotyledóneae Orden: Cucurbitales Familia: Cucurbitaceae Genero: <i>Luffa</i> Especie: <i>Operculata</i> L.</p>	
---	--

5.1.1 Origen. El origen del cultivo es muy antiguo y no se a podido determinar su centro de origen, algunos expertos opinan que sería el continente Africano, otros señalan a Asia Tropical, más concretamente la India, donde aún puede encontrarse en forma silvestre, otros opinan que su origen es árabe porque las características de la planta aparecen descritas en viejos papiros egipcios. Se sabe que se introdujo a China en el año 600 a.C., algunos autores mencionan que Bretschlincides incluyo la *luffa operculata* en la lista de plantas chinas que él introdujo en los cultivos de Europa y Norte América.

Se dice comúnmente que la era moderna de la *luffa operculata* dio inició en Japón, donde se tienen registros de los primeros cultivos entre 1890 y 1895, allí se inicio su comercialización para la utilización de su fibra, la cual tiene muchos usos prácticos. Históricamente Japón había sido uno de los mayores consumidores de *luffa operculata*; sin embargo, según el Banco de Datos de la Unión Europea en 1993, los principales importadores de *Luffa operculata* y otras fibras naturales son en áreas y: el Reino Unido, Países Bajos, España, Francia, Alemania e Italia, también USA se encuentra entre los más importantes en cuanto a importación de este tipo de productos.

5.1.2 Descripción y composición química. La *Luffa operculata* es una planta de tallo trepador de enredadera, cuyo sistema radicular consta de una raíz principal y raíces secundarias con abundante cantidad de pelos absorbentes. Los tallos son herbáceos, sólidos cuando jóvenes y huecos al madurar, pueden llegar

a medir hasta 15 m de longitud, de características trepadoras, son capaces de alcanzar árboles altos al asirse de ellos por medio de zarcillos que emiten los nudos de cada rama, sus entrenudos tienen longitud variable pues ello depende no solo del manejo, sino también del clima y de las características genéticas de cada planta. De cada nudo, además del zarcillo, también se emite una hoja lobulada, flores unisexuales amarillas y una yema vegetativa. Sus hojas alternas y con estipulas, tienen forma triangular, festoneadas, de cinco a siete lóbulos con bordes dentados, la lámina varía de 6 a 24 cm de largo por 8 a 16 cm de ancho.

Al ser una especie monoica, presenta en forma separada la flor masculina y femenina, ver Figura 14; las flores masculinas se producen en racimos axilares, presentan cinco estambres de color verdoso y una o dos de ellas abren diariamente muy temprano en la mañana, "su vida" es relativamente corta, y cierran o caen a media mañana del mismo día. Por su parte las flores femeninas tienen el cáliz y la corola semejante a la masculina, usualmente solitarias, son de pedúnculo largo, colocada sobre un ovario unífero, cilíndrico, liso, de 2 a 10 cm de largo y un estilo dividido en tres ramas estigmáticas bilobuladas muy cortas; ellas abren durante el día y pueden permanecer abiertas por espacio de dos días y medio, son de gran tamaño (10 cm de diámetro), con corolas amarillas de cinco pétalos y cáliz verdoso (gran cantidad de ellas, alrededor de 70 % se caen o no logran abrirse).

Figura 14. Flor femenina y masculina



Una adecuada polinización produce frutos cilíndricos, mientras que una mala polinización por la falta de polen en una de las "ramas" del estigma produce frutos deformes. El fruto es largo, puntiagudo, liso de color verde, más o menos cilíndrico, ellos en su estado tierno, son suaves y verdes; convirtiéndose en una fibra resistente al madurar. Su pericarpio es delgado y el mesocarpio en su interior está formado por una red cerrada de fibras entrelazadas, la mayoría son de tres cavidades pero existen de cuatro y cinco, por donde se desprenden y salen las semillas las cuales son planas de color negro al madurar el fruto; cuando el fruto madura, externamente toma un color amarillento marcado con 10 líneas longitudinales verde oscuro. El tamaño es variable, los promedios oscilan entre

22,7 cm hasta 62,5 cm según la variedad, pudiéndose encontrar frutos que sobrepasan un metro de largo, con diámetros de 8 a 12 cm, algunos pueden llegar a pesar 4 kg en su máxima hidratación antes de iniciar el proceso de maduración.

Figura 15. Frutos de la *Luffa operculata*



Tabla 11. Composición química de la *Luffa operculata*.

COMPOSICION QUIMICA DE LA LUFFA OPERCULATA		
Elemento	Material Original	Material Libre de Agua
	%	%
Agua	94.66	-
Grasa	0.19	3.72
Carbohidratos	3.31	61.99
Fibra	0.46	8.58
Ceniza	0.41	7.65
Indeterminados	0.45	8.49
Proteínas	0.51	9.57

Fuente: Revista Economic Botany

5.1.3 Usos. La *Luffa operculata* es una planta a la cual los seres humanos le han dado varias utilidades debido a los buenos desempeños que ha presentado. Se destacan usos industriales y medicinales.

Medicinal. Los tallos y hojas, se emplean especialmente en enfermedades de la piel, también en enfermedades de vías respiratorias o para infecciones del sistema

digestivo. Las hojas molidas han sido aplicadas para alivio de las hemorroides, para atacar parásitos y aliviar conjuntivitis. Se ha encontrado que los frutos tienen propiedades diuréticas, emolientes y expectorantes. Por otra parte, en Japón se aisló de la planta el ácido bryonólico, determinándose que posee una actividad antialérgica, sin mostrar alguna toxicidad visible en pruebas con ratas y ratones. También al estudiar las semillas se encontró en ellas dos proteínas que tienen un potencial efecto terapéutico sobre el cáncer y el VIH, faltando más investigación en esta área debido a que algunas semillas han mostrado toxicidad. Tiene utilidad en salud e higiene personal, ya que al frotar la piel con la fibra permite no solo su limpieza sino la reactivación de la circulación sanguínea, e incluso se ha mencionado que puede reducir o evitar la celulitis.

Industrial. Su uso industrial se basa en la gran calidad de la fibra, la textura ha llevado a que se use como absorbente y aislante; tiene múltiples usos, entre ellos se pueden citar: filtros para piscinas, filtros para agua y aceite, rellenos para las industrias mobiliarias y textiles, base para cierta variedad de papel, suelas para zapatillas. En Norte América y Japón es considerada como un excelente filtro en las calderas de equipos a vapor, como buques, locomotoras y en general en equipos de fábricas. En el Brasil, de las semillas se extrae aceite de color verde con alta valoración de ácido que después de haber sido debidamente tratado se obtiene aceite fino, el cual se compara con el aceite de oliva y podría ser sustituto del mismo; debido a su variada composición lípida tanto en ácidos saturados como insaturados, se fabrica aceite para motores utilizados en la industria. Por otra parte, el subproducto que resulta del proceso de extracción del aceite sirve como fertilizante, dada la riqueza en nitrógeno y fósforo. La savia del tallo es usada en la elaboración de productos de belleza como cremas de tocador.

Otros Usos: en algunos hogares se ha empleado como elemento de aseo en la cocina; elaborando guantes, esponjillas y paños; o en la elaboración de cuadros de valor artesanal.

5.2 CLIMA, EPOCA DE CULTIVO Y SUELOS

Siendo la *Luffa operculata* una planta de origen tropical se adapta muy bien en nuestro país, se requiere regiones del territorio que presenten climas templados y cálidos, con temperaturas entre 18°C a 25°C; con un altura sobre el nivel del mar entre 1000 y 1500 metros, buen régimen de lluvias, pero la zona no debe presentar heladas o que existan periodos largos de bajas temperatura debido a que esta planta es extremadamente sensible a estas condiciones; muchas de las condiciones climáticas requeridas por el cultivo son la humedad, temperatura y luminosidad, condiciones estas que aseguran las mejores características del fruto, las cuales son: elasticidad, resistencia y compactación.

En zonas frías se observa una buena adaptabilidad aunque presenta una disminución en la producción del cultivo. También se ha encontrado una marcada diferencia cuando son producidos a diferentes altitudes, en altitudes bajas la fibra es más delgada y desarrolla un tramado más compacto, a medida que aumenta la altitud las fibras se tornan más gruesas y el tramado más abierto. El viento es otro factor climático muy importante que incide sobre el desarrollo del cultivo.

Se considera una época adecuada para iniciar la siembra el período que antecede el inicio de las lluvias, es conveniente que cuando caigan los primeros aguaceros, las plantas estén lo suficientemente fuertes para soportarlos. Se conoce que las siembras en época seca son más exitosas, simplemente porque las lluvias muy fuertes, típicas sobre todo en algunos meses del invierno, obstaculizan la adecuada polinización de flores y propician el ataque patógeno.

En cuanto a los suelos es un cultivo muy exigente, se recomiendan suelos permeables, se conoce una buena respuesta de la planta en aquellos suelos ricos en nutrientes como materia orgánica, con buena fertilidad, especialmente niveles altos de nitrógeno y fósforo son idóneos debido a las exigencias nutricionales de esta planta. Una textura areno-arcillosa para proveer un buen drenaje, es preferible a aquellos muy arcillosos que retienen más humedad de la requerida por el cultivo permitiendo un crecimiento continuo. Es una planta sensible a la salinidad por lo que no es conveniente sembrarla en terrenos muy cercanos al mar; crece mejor en condiciones de suelo neutro, con pH entre 5.5 a 6.5.

5.3 CULTIVO

5.3.1 Clasificación. La clasificación del fruto de la Luffa, se realiza de acuerdo a su uso. En lugares donde se utiliza para consumo se hablan de frutos dulces y amargos. En nuestro caso los aspectos más importantes de la Luffa son la calidad de sus fibras y su longitud. La clasificación dada por la Asociación Colombiana de Cultivadores de la Fibra de Estropajo se centran en la longitud, mostrada en la Tabla 12.

Tabla 12. Clasificación de la Luffa operculata.

CLASE	LONGITUD [cm]
AA	Mas de 60
A	40 - 59
B	30 - 39
C	21 - 29
D	Menos de 20

Fuente: ASOCIFE.

5.3.2 Propagación. La Luffa es de polinización cruzada, la cual es realizada por un variado número de insectos, que llevan el polen a las flores femeninas, cuyos estigmas están receptivos unas 2 horas antes y hasta 60 horas después de la anthesis. En zonas de baja presencia de polinizadores se recomienda ubicar una colmena por cada 7.000 m².

Las semillas se encuentran a lo largo del centro del fruto, en la parte fibrosa, una vez que el fruto madura y la pulpa se seca, ellas caen gradualmente. Para producción de semilla, se acostumbra dejar la semilla en el fruto hasta que éste seque adherido a la planta, luego se cosecha y almacenan las semillas dentro del fruto seco. Para la siembra es recomendable seleccionar semillas provenientes de plantas que muestren la mayor cantidad de características deseables como: frutos del tamaño requerido, con alta calidad de fibra, promedios de producción cercanos a los 30 frutos por planta y de ser posible con tolerancia a plagas y enfermedades.

5.3.3 Preparación del suelo. En todo proceso de siembra, es necesario realizar una buena preparación del suelo donde se va a sembrar. Primero que todo se requiere desmontar el lote y hacer limpieza, posteriormente se procede a realizar la cama donde se depositará la semilla, este terreno debe ser bien desmenuzada para facilitar la germinación de ésta, picando el suelo donde se sembrara, y en los terrenos planos de pueden hacer eras un poco levantadas. En algunos cultivos se realizan unos surcos que permiten el riego de la plantación por gravedad, esta labor depende principalmente de la topografía del terreno, estos surcos se usan como canales por los cuales circula el agua, sin necesidad de aspersión.

5.3.4 Ciclo de crecimiento de la Luffa. Para una mejor comprensión del desarrollo de la Luffa; el ciclo de su desarrollo se ha dividido en 5 fases:

Primera fase. La germinación de la semilla es epígea (los cotiledones emergen sobre la superficie del suelo), se realiza aproximadamente hacia el 3^o o 4^o día después de la siembra, la cual llega a ser completa a las dos semanas. Por lo tanto la duración de esta fase es de dos semanas (14 días).

Segunda fase. Las plantas experimentan un crecimiento lento, y a pesar de no haber llegado a la parte alta del tutoraje, se inicia la producción de flores al finalizar la cuarta semana después de la siembra. Dichas flores son eliminadas de acuerdo a algunas prácticas de manejo locales, así como todas las ramificaciones o guías secundarias. Este período se prolonga a la sexta semana (42 días).

Tercera fase. Crecimiento vegetativo rápido, la planta ha alcanzado la parte alta del tutoraje y se produce una ramificación acelerada del tallo con producción abundante de follaje; la planta se deja a libre floración. Dicho período llega hasta la décima semana (70 días).

Cuarta fase. Es un período de selección de frutos y manejo de guías, las cuales deben orientarse de este a oeste y evitar al máximo que varias de ellas se entrecrucen, para aprovechar luz, área y espacio. Este período se prolonga hasta la semana 14 (98 días).

Quinta fase. Comienza con el inicio de la cosecha, la misma se manifiesta claramente alrededor de los 126 días (18 semanas), algunos productores nacionales acostumbran mantener el cultivo hasta las 36 semanas. Transcurren aproximadamente 46 días entre la polinización de la flor y la cosecha del fruto maduro (de 6,5 a 7 semanas).

La duración de cada una de las fases puede cambiar ligeramente al variar las condiciones ecológicas donde se establezca la plantación; conforme aumente la altitud y descienda la temperatura ambiental es posible una prolongación de las fases.

5.3.5 Manejo de la Plantación

Tutoraje. Como la Luffa es una planta trepadora, hay que ponerle tutores para que pueda enredarse con facilidad. El fruto de la Luffa puede llegar a pesar en promedio, algo más de dos kilogramos cada uno, lo cual representa 80 kilogramos por planta y 10 toneladas por cada hilera o surco de 100 metros.

Esta práctica se realiza para guiar a la planta y sostenerla, con el fin de facilitar las labores de cultivo y cosecha. El tutorado permite a cultivos como la Luffa un mayor crecimiento, desarrollo y producción. La estructura de soporte debe ser resistente, duradera y sobre todo lo más económica posible.

Existen diferentes formas de tutoraje, las más conocidas son: espalda sencilla, pérgola o T y el emparrado.

Espaldera. Es el sistema más apto, el cual consiste en hacer líneas en dirección Oeste a Este para mejor exposición solar, con una distancia entre surcos de 1.25 metros y una distancia entre plantas de 1.5 metros, sembrando en cada sitio de dos o tres semillas para ralear y dejar una planta. Es necesario establecer los estacones los cuales sirven de base a las cuerdas tendidas, y sobre las cuales irán posteriormente soportadas las plantas. Es importante que los estacones sean resistentes u fijos, pues el peso que soportarán irá aumentando. La longitud de los estacones es de 2.5 metros, enterrados cada tres metros 50 ó 70 centímetros, haciendo divisiones más o menos cada 10 estacones, colocando un poste templete para que refuerce el estacón; luego, se une entre si por medio de alambre paralelos, a 60 centímetros uno del otro, quedando dos líneas de alambre y finalmente un alambre más grueso que irá sobre la parte superior del estacón. Los estacones extremos van reforzados con estacones diagonales para mantener bien tenso la estructura. El sistema de espaldera presenta las siguientes ventajas,

ofrece mejor exposición de las plantas a la radiación solar, permite mejor aireación dentro del cultivo y menos humedad, da mejor facilidad de manejo, facilita la recolección, y facilita el montaje del tutoraje.

Pérgola o T. Este sistema es muy similar al de espaldera, la única diferencia es que en la parte superior de los estacones se coloca perpendicularmente un poste de aproximadamente un metro del lado, formando una T. La distribución de las líneas de alambre se realizan de la misma forma, la única diferencia es que en su parte superior se tienden tres líneas de alambre, una ubicada en el centro y las otras dos en los extremos del poste perpendicular. En espaldera y pérgola, los calibres de alambre a utilizar son 12 o 14.

Emparrado. La estructura de soporte se compone de estacones distribuidos en una cuadrícula de 4 por 4 metros, sobre los cuales se tiende una malla principal uniendo la parte superior de todos los estacones, posteriormente se tiende una malla más fina que se apoya en la malla principal a una altura de dos metros. En emparrado, el trenzado interior va en calibre 16, las líneas principales en calibre 12, el marco en calibre 10.

Siembra. Se realiza en forma directa, porque el cultivo no necesita periodo de almácigo, colocando 3 semillas por sitio y utilizando distancias de siembra de 2 X 2 m, 2 X 2.5 m, y de 3 X 3 m para un número total de plantas de 2.500, 2.000 y 1.100, respectivamente por hectárea.

En el cultivo visitado, se realiza el siguiente procedimiento de siembra: para el desarrollo de la siembra se requieren tres personas.

1. Se realizan unos agujeros de 2cm en el terreno cada 2.5m ó 3m.
2. Se coloca en el fondo una capa de arena de río con 2gr de fertilizante, Furadan granulado, cuya principal función es eliminar nematodos.
3. Dentro del agujero se depositan de 2 a 3 semillas, y se cubren con otra capa de arena de río.

A los 3 días de haber sembrado las semillas la planta germina, 5 días después se realiza un recorrido por el cultivo observando cuantas semillas germinaron, a este proceso se le conoce como raleo. En cada agujero deben haber como máximo dos plántulas, si las tres semillas germinaron se desprecia la plántula más débil, cortándole el tallo con una pinzas desde el nivel del suelo. Si ninguna semilla germina, se realiza una resiembra.

Amarre. Con la aparición y desarrollo del primer zarcillo, se debe dar inicio al amarre de las plantas con el objetivo de guiarla hacia el hilo superior. Ésta labor se realiza atando al cuello de la raíz o a una estaca colocada al pie de la plántula una cuerda o fibra de polipropileno.

Podas. No es aconsejable despuntar el ápice terminal del tallo principal para inducir ramificaciones, el crecimiento se retrasa lográndose producir dos ramas laterales, mucho menos que las obtenidas a libre crecimiento. La ramificación lateral que salga por debajo del segundo hilo, en espaldera, o por debajo de la línea emparrado o pérgola debe ser retirada. Ésta labor beneficia a posteriores labores de control sanitario, recolección y manejo del cultivo.

Malezas. La zona de plantación debe permanecer libre de malezas. Existen un periodo crítico de competencia comprendida entre la germinación y el primer mes de establecido el cultivo. La agresividad en crecimiento de la Luffa se ve reducida por la competencia malezas en este período. El control de malezas preferiblemente debe realizarse en forma manual o mecánica y superficialmente, ya que las raíces no se desarrollan en profundidad. La susceptibilidad a los herbicidas es alta, especialmente en los primeros estados de desarrollo. En el caso de utilizar herbicidas se puede hacer en presiembra o cuando el follaje se encuentre enredado en los alambres. Las aplicaciones deben ser dirigidas, evitando que el producto se disperse sin control.

Fertilización. Para una fertilización adecuada siempre es necesario conocer las condiciones de fertilidad del suelo en que se va a sembrar, es por esto que se hace necesario un análisis químico del suelo, de tal forma que se tengan datos confiables de los niveles en que se encuentran los elementos nutritivos y se pueda fertilizar según sus necesidades en una forma balanceada. Estudios preliminares en fertilización, realizadas por el ICA, demostraron que la aplicación de nutrientes determina un mayor desarrollo vegetativo, rendimiento y calidad superior en fibra. Las relaciones de extracción confirmaron que el nitrógeno y el fósforo son elementos esenciales en la nutrición de las plantas de Luffa operculata, en un segundo lugar se encuentra el potasio y el calcio.

Una fertilización básica de 40 kilogramos de nitrógeno, 40 kilogramos de fósforo y 40 kilogramos de potasio por hectárea, mantiene las plantas en buen estado nutricional. Un programa de nutrición mineral comprenderá la aplicación de fertilizante compuesto cada tres meses y una aplicación adicional de nitrógeno, durante el primer mes, para suplir adecuadamente los requerimientos nutricionales anteriormente anotados.

Riego. Un buen suministro de agua induce el crecimiento rápido y uniforme de la Luffa. Existen dos períodos críticos en su desarrollo, en el cual la carencia de agua implica graves problemas al cultivo. Estos son la germinación y la fase reproductiva, compuesta por la floración, polinización y llenado del fruto.

En el momento de la siembra el suelo debe estar saturado, la buena humedad del suelo determina altos porcentajes de germinación y desarrollo de la plántula. Cuando el cultivo inicia su fase reproductiva, especialmente en el momento de llenado del fruto, debe haber una buena disponibilidad de agua, o si no los

rendimientos se verán afectados mostrando frutos pequeños y reducción en la calidad de la fibra. Si no se cuenta con una buena distribución de lluvias a lo largo del año, se debe pensar en aplicar riego artificial.

5.4 COSECHA

En el cultivo visitado se presentan dos cosechas importantes por año, que son las mas grandes, no obstante se realiza recolección del fruto durante todo el año. El agricultor señalo que el tiempo de duración del cultivo es de aproximadamente dos años. Por lo general se recogen 500 frutos por semana de los cuales 200 son Tipo AA - A y 300 son Tipo B - C.

Una vez iniciada la fructificación deben escogerse los frutos rectos y bien desarrollados según las exigencias del mercado, sin embargo no se debe permitir que ningún fruto se pudra colgado de la planta. La madurez fisiológica de los frutos se obtiene 30 días después de la polinización. Clima caliente la primera recolección de frutos ocurre a tercer mes de establecido el cultivo; en climas templados, entre el cuarto y sexto mes. Características como el color y la dureza de los frutos determina el momento apropiado para su corte. Pedúnculo y cáscara de color amarillo verdoso son signos inconfundibles de madurez; además, si éste se presiona suavemente con los dedos, se comprime fácilmente ya que la cáscara se separa de las capas corticales cuantas fruto está maduro. El rendimiento por hectárea varía según la densidad de siembra y la variedad elegida (tipo de fruto), se considera a nivel nacional una producción promedio entre 30 y 40 frutos por planta, según informes del ICA.

5.5 PROCESADO

Cosechados los frutos de procederá a su beneficio. La primera labor será despitonar los frutos, para posteriormente sumergirlos en agua con el propósito de retirar algún residuo del parénquima que haya quedado entre la cáscara y la fibra y en segundo lugar, poder sacar la cáscara con mayor facilidad un día después. El beneficio se realiza en tinas de lavado, las cuales se construyen para facilitar el lavado de la fibra, son aproximadamente de 2.5 x 2.5 x 1.2 metros, las cuales dan cabida a una cantidad de 1500 frutos aproximadamente. Deben poseer un desagüe para facilitar el cambio de agua. En la Figura 16 se muestra una tina de lavado.

Figura 16. Tina de lavado.



Debe tenerse cuidado a la hora del secado del estropajo, si se realiza muy rápido puede causar como resultado una fibra quebradiza, por otro lado si es muy lento, la humedad puede favorecer la formación de colonias de hongos, manchando y dañando la calidad de la fibra; agregar un poco de agua de cal puede prevenir éste problema.

Libre la fibra, se enjuagará y colgará bajo sombra para su secado y el retiro de alguna semilla que haya quedado dentro de la esponja. Los estropajos tienen que secarse bajo techo, nunca exponerlos al sol directo ni a luz muy fuerte porque esto podría ocasionar una fibra quebradiza. En términos de una semana, si se cuenta con buena ventilación estará concluido el proceso de secado sin los problemas mencionados anteriormente. La Figura 17 muestra las diferentes etapas del proceso de lavado y secado.

Figura 17. (a) Retiro de la cáscara, (b) Lavado y retiro de las semillas, (c) Aspecto después del lavado, (d) Secado a la sombra





5.6 PLAGAS Y ENFERMEDADES

En el cultivo visitado se controlan estos dos aspectos de la siguiente manera.

Plagas. Entre los insectos que atacan este cultivo se encuentran: Los trozadores, los nematodos, los masticadores, los minadores. Existen dos tipos de control de plagas el curativo y el preventivo. En el curativo se encuentran Lanate e insecticidas comunes. El preventivo es de tipo biológico tales como Turicide, Diplél y el Nicosplat. También están los insecticidas de contacto y sistémicos. Los de contacto son aquellos que el insecto lo ingiere y muere de una vez, efecto instantáneo (Manzate y Titán M45), y los sistémicos duran 8 días en la planta (Ridomil y Antracol)

Enfermedades. Las enfermedades más comunes que atacan este tipo de planta son: Antracnosis que es la podrición de los frutos, Pata prieta que es la podrición de la raíz, Mosaico que son una especie de pelotitas en el tallo, Mildeo veloso que son manchas negras en las hojas.

El ICA reporta las siguientes plagas y enfermedades más comunes en los cultivos de Luffa del país.

Agente causal	Sintomatología	Control
Antracnosis (<i>Colletotrichum</i> sp.)	Los primeros síntomas aparecen en los tejidos marginales de las hojas, como pequeñas manchas irregulares de color amarillo, gradualmente aumentan de tamaño tornándose la lesión de color café oscuro o negro (necrosis). La enfermedad se puede extender al pecíolo.	Tratamiento de semilla: Vitavax, agua caliente. Dithane M45 de rosal
Alternaria (<i>Alternaria</i> sp.)	Presenta lesiones de color café o pardo rojizo en formas circulares con anillos concéntricos en las láminas foliares. La enfermedad en presenta en las hojas más viejas, lentamente se extiende a toda la hoja, secándola.	Tratamiento de semilla: Fungicidas cupricos Benlate

Mildeo polvoso (Erisephe)	En sus primeros estados de desarrollo la enfermedad ataca el haz de las hojas, hay aparición de manchas oscuras las que posteriormente se tornan en una capa blanca con puntos redondeados de apariencia polvosa. Puede cubrir toda la planta.	Tratamiento de semilla: Orthocide
Gusano perforador (Diaphania sp.)	El daño es causado por larvas de color blanco (ligeramente traslucidas), que al eclosionar comienza a alimentarse del haz de hojas (raspando), posteriormente atacan los frutos de cualquier estado, perforándolos, perdiéndose por pudrición (ataque fungal secundario)	Nuvacron
Cucarroncitos de las hojas (Diabrotica sp., Ceretoma sp.)	El daño a la lamina foliar se reconoce por la forma circular de las porciones consumidas dado la aparición de agujeros. Los ataques mas severos ocurren en el estado de plántula al consumirse un alto porcentaje de follaje.	Carbaryl
Minador de hoja (Lyriomyza sp.)	La aparición de galerías en las hojas nuevas son producidas por las larvas de estas pequeñas moscas. Afectan el desarrollo normal de la hoja.	Dysiston
Nematodos	Se alimentas del sistema radical; los síntomas de infección consisten en la formación de agallas o nódulos en la raíz, (acortamiento, engrosamiento y reducción del numero de raíces secundarias).	Furadan 3G

5.7 LA LUFFA OPERCULATA COMO MEDIO

Como ya se había mencionado, la investigación de los materiales naturales como medio en el contactor biológico rotativo, responden a la necesidad de buscar un medio autóctono, biodegradable, liviano y de alta superficie específica, que permita el desarrollo de la biopelícula.

5.7.1 Características importantes. Las características a tener en cuenta para la caracterización de la Luffa o de cualquier otro material que se desee utilizar como medio en el RBC, son:

Superficie específica. Es el parámetro de diseño más importante, el tiempo de retención y la carga hidráulica dependen estrechamente de él, para los medios tradicionales su valor es de $175 \text{ m}^2/\text{m}^3$.

Denota la relación existente entre la superficie total del material y el volumen aparente que este ocupa. La superficie específica es de gran importancia debido a que determina la cantidad de biopelícula que se puede formar. Un medio con superficie específica alta permite reducir el tamaño del reactor.

Tiempo de formación de la biopelícula. Esta variable determina el tiempo de arranque; definido como el tiempo en el cual la biopelícula se estabiliza y produce una remoción constante de material orgánico. El tiempo de formación de la biopelícula puede ser utilizado para correlacionar los tiempos de arranque de otros sistemas de RBC utilizados en plantas de tratamiento que utilizan otros medios.

Volumen aparente. El volumen aparente es el volumen que ocuparía el medio, sin tener en cuenta los vacíos en su interior o sea usando sus límites exteriores para su definición, considerándose como si fuera un objeto macizo, esta característica nos permite definir la superficie específica del medio.

Volumen real. El volumen real es el volumen que ocupa el medio, teniendo en cuenta los vacíos en su interior, esta característica nos permite relacionar la densidad del medio su superficie específica.

5.7.2 Protocolos de laboratorio. Para garantizar la reproducibilidad de los ensayos y los resultados, se hace necesario definir un protocolo que defina los procedimientos, materiales y equipos, ha utilizar en cada uno de los ensayos. En el Anexo B, se encuentran los protocolos que se siguieron para la medición de las siguientes variables.

- Volumen aparente
- Superficie específica

El tiempo de formación de la biopelícula, requiere reproducir las condiciones de operación del biorotor, por lo tanto la definición de su protocolo se deja para la siguiente fase.

5.7.3 Volumen aparente. Siguiendo el protocolo que se encuentra en el Anexo B-1, se realizó la determinación del volumen aparente, los resultados de las pruebas se muestran a continuación.

La prueba se realizó a dos juegos de cinco rodajas, provenientes de dos frutos de Luffa diferentes, los cuales se denotas como A y B, los cuales se encuentran recubiertos por un acetato para impedir el paso del material hacia su interior, todos los datos se encuentran datos en gr.

Figura 18. Rodajas de Luffa.



Tipo 1 A	Tipo 2 A	Tipo 3 A	Tipo 4 A	Tipo 5 A
10.00	8.66	6.38	6.20	5.41

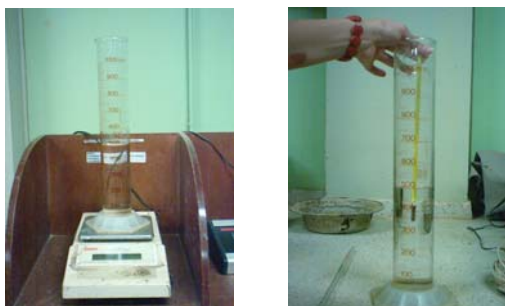
Tipo 1 B	Tipo 2 B	Tipo 3 B	Tipo 4 B	Tipo 5 B
10.69	9.05	7.09	5.90	5.90

Densidad del agua

Volumen Probeta (V P) = 500 ml
 Peso Probeta (W P) = 514.1 gr

Muestra	W P + H ₂ O	W H ₂ O	Densidad	Temperatura
	gr	gr	gr/ml	°C
1	1009.3	495.2	0.990	23.10
2	1008.0	493.9	0.988	23.15
3	1008.3	494.2	0.988	23.50
4	1007.9	493.8	0.988	23.50
Promedio	1008.4	494.3	0.989	23.31

Figura 19. Pasos de la determinación de la densidad del agua en la prueba



Se realizó una prueba preliminar para determinar el volumen aproximado del recipiente, definiéndolo en 680 ml, para facilitar la determinación de su volumen exacto.

Peso Recipiente (W R) = 34.5 gr
 Densidad Promedio = 0.989 gr/ml
 Peso Recipiente + H₂O = 710.1 gr
 Volumen del Recipiente = 683.43 ml
 = 680 ml

Muestra	W R + H ₂ O	W H ₂ O	V H ₂ O
	gr	gr	ml
1	719.9	685.4	693.34
2	718.2	683.7	691.62
3	719.7	685.2	693.14
4	717.4	682.9	690.81
Promedio	718.8	684.3	692.23

DENSIDAD DE LOS BALINES

Diametro Balines = 6.24 ml

Muestra	W R + Balines gr	Balines gr
1	3172.8	3138.3
2	3155.5	3121
3	3162.5	3128
4	3177.1	3142.6
5	3150.4	3115.9
6	3157.9	3123.4
7	3173.9	3139.4
8	3170.8	3136.3
9	3155.2	3120.7
10	3178.4	3143.9
11	3179.4	3144.9
12	3169.9	3135.4
13	3154.8	3120.3
14	3164.2	3129.7
15	3172.9	3138.4

Balines

Media = 3131.88
Des Stan = 9.73
Varianza = 94.69
Minimo = 3115.9
Maximo = 3144.9
Densidad= 4.5244 gr/cm³

Muestra	Tipo 1 A	Tipo 2 A	Tipo 3 A	Tipo 4 A	Tipo 5 A
	W R + Balines	W R + Balines	W R + Balines	W R + Balines	W R + Balines
1	2595.2	2503.0	2561.9	2501.4	2479.1
2	2584.1	2538.0	2569.3	2477.9	2519.4
3	2554.1	2549.1	2576.5	2498.5	2506.8
4	2555.7	2512.4	2550.7	2481.2	2486.3
5	2554.9	2516.5	2560.8	2499.5	2514.5
6	2533.5	2514.7	2572.6	2483.6	2482.3
7	2550.8	2498.7	2548.9	2495.9	2489.0
8	2566.9	2524.3	2553.2	2503.7	2487.9
9	2540.1	2551.1	2548.5	2497.0	2501.7
10	2559.1	2511.3	2582.6	2493.7	2478.0
11	2547.4	2523.4	2559.4	2506.3	2499.6
12	2583.9	2525.9	2570.8	2478.2	2512.8
13	2553.2	2535.3	2581.3	2503.3	2494.4
14	2573.4	2551.1	2578.0	2489.2	2500.0
15	2564.5	2529.8	2566.7	2509.7	2499.6

Muestra	Tipo 1 A	Tipo 2 A	Tipo 3 A	Tipo 4 A	Tipo 5 A
	Vol Estro	Vol Estro	Vol Estro	Vol Estro	Vol Estro
1	581.2	672.0	610.9	671.2	692.7
2	592.3	637.0	603.5	694.7	652.4
3	622.3	625.9	596.3	674.1	665.0
4	620.7	662.6	622.1	691.4	685.5
5	621.5	658.5	612.0	673.1	657.3
6	642.9	660.3	600.2	689.0	689.5
7	625.6	676.3	623.9	676.7	682.8
8	609.5	650.7	619.6	668.9	683.9
9	636.3	623.9	624.3	675.6	670.1
10	617.3	663.7	590.2	678.9	693.8
11	629.0	651.6	613.4	666.3	672.2
12	592.5	649.1	602.0	694.4	659.0
13	623.2	639.7	591.5	669.3	677.4
14	603.0	623.9	594.8	683.4	671.8
15	611.9	645.2	606.1	662.9	672.2
Media =	615.26	649.40	607.35	677.97	675.03
Des Stan =	17.09	16.77	11.71	10.33	12.99
Varianza =	291.98	281.40	137.19	106.76	168.78
Minimo =	581.2	623.9	590.2	662.9	652.4
Maximo =	642.9	676.3	624.3	694.7	693.8
Volumen Ap=	136.0	143.5	134.2	149.8	149.2
Densidad Ap=	0.074	0.060	0.048	0.041	0.036

Muestra	Tipo 1 B	Tipo 2 B	Tipo 3 B	Tipo 4 B	Tipo 5 B
	W R + Balines	W R + Balines	W R + Balines	W R + Balines	W R + Balines
1	2453.1	2318.5	2418.9	2416.0	2364.2
2	2471.6	2298.9	2399.6	2440.8	2371.0
3	2481.6	2325.5	2400.5	2419.4	2380.5
4	2459.2	2328.6	2439.6	2448.8	2381.2
5	2456.6	2337.1	2438.9	2460.3	2381.9
6	2463.1	2314.1	2405.0	2413.8	2364.6
7	2455.0	2320.2	2408.1	2440.3	2378.6
8	2480.9	2322.2	2416.1	2456.9	2381.3
9	2444.0	2323.9	2414.2	2434.5	2357.4
10	2458.1	2325.5	2425.4	2431.8	2379.0
11	2467.8	2329.1	2414.3	2441.2	2383.8
12	2460.3	2354.3	2397.0	2441.9	2354.2
13	2466.6	2338.2	2405.3	2432.7	2374.6
14	2447.3	2336.1	2403.4	2427.2	2341.5
15	2461.6	2322.8	2399.2	2424.1	2368.3

Muestra	Tipo 1 B	Tipo 2 B	Tipo 3 B	Tipo 4 B	Tipo 5 B
	Vol Estro	Vol Estro	Vol Estro	Vol Estro	Vol Estro
1	724.0	856.9	754.6	756.3	808.1
2	705.5	876.5	773.9	731.5	801.3
3	695.5	849.9	773.0	752.9	791.8
4	717.9	846.8	733.9	723.5	791.1
5	720.5	838.3	734.6	712.0	790.4
6	714.0	861.3	768.5	758.5	807.7
7	722.1	855.2	765.4	732.0	793.7
8	696.2	853.2	757.4	715.4	791.0
9	733.1	851.5	759.3	737.8	814.9
10	719.0	849.9	748.1	740.5	793.3
11	709.3	846.3	759.2	731.1	788.5
12	716.8	821.1	776.5	730.4	818.1
13	710.5	837.2	768.2	739.6	797.7
14	729.8	839.3	770.1	745.1	830.8
15	715.5	852.6	774.3	748.2	804.0
Media =	715.28	849.10	761.10	736.97	801.47
Des Stan =	10.73	12.49	13.62	13.90	12.39
Varianza =	115.17	156.08	185.38	193.26	153.51
Minimo =	695.5	821.1	733.9	712.0	788.5
Maximo =	733.1	876.5	776.5	758.5	830.8
Volumen Ap=	158.1	187.7	168.2	162.9	177.1
Densidad Ap=	0.068	0.048	0.042	0.036	0.033

La densidad aparente general es de 0.0487 gr/cm^3 ó 48.65 Kg/m^3 .

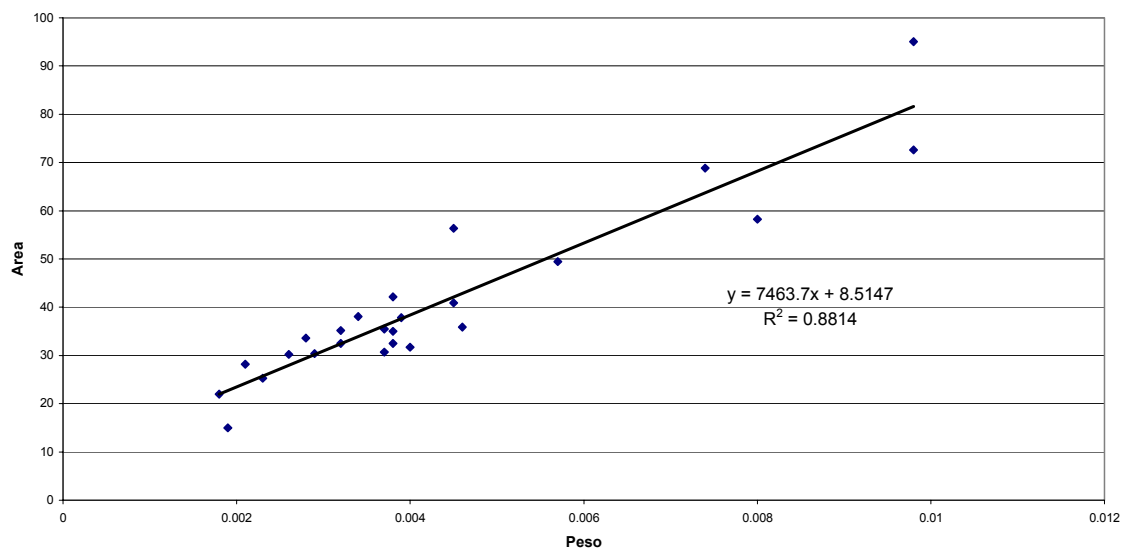
5.7.4 Superficie específica. Siguiendo el protocolo que se encuentra en el Anexo B-2, se realizó la determinación de la superficie específica, los resultados de las pruebas se muestran a continuación.

En este ensayo se usaron cuatro frutos de Luffa diferentes, dos de ellos A y B, utilizados en el ensayo anterior, los otros se nombran Morado y Azul. A estos se les cortaron fibras a las cuales se les determino su espesor, longitud y peso. El pesaje de estas fibras se realizó en una balanza electrónica con precisión 0.0001 gr.

Espécimen: Tipo B

Nº	Espesor (mm)	Largo (mm)	Peso (gr)	Area (mm ²)	Nº	Espesor (mm)	Largo (mm)	Peso (gr)	Area (mm ²)
1	0.49	31	0.0029	30.38	14	0.34	22	0.0019	14.96
2	0.48	51.5	0.0057	49.44	15	0.48	33	0.0040	31.68
3	0.56	30	0.0028	33.6	16	0.64	28	0.0046	35.84
4	0.66	72	0.0098	95.04	17	0.46	27.5	0.0023	25.3
5	0.5	35	0.0038	35	18	0.5	22	0.0018	22
6	0.62	47	0.0080	58.28	19	0.44	40	0.0032	35.2
7	0.6	31.5	0.0039	37.8	20	0.44	32	0.0021	28.16
8	0.59	61.5	0.0098	72.57	21	0.54	39	0.0038	42.12
9	0.71	48.5	0.0074	68.87	22	0.44	64	0.0045	56.32
10	0.68	28	0.0034	38.08	23	0.56	29	0.0032	32.48
11	0.66	31	0.0045	40.92	24	0.64	24	0.0037	30.72
12	0.56	29	0.0038	32.48	25	0.56	27	0.0026	30.24
13	0.5	35.5	0.0037	35.5					

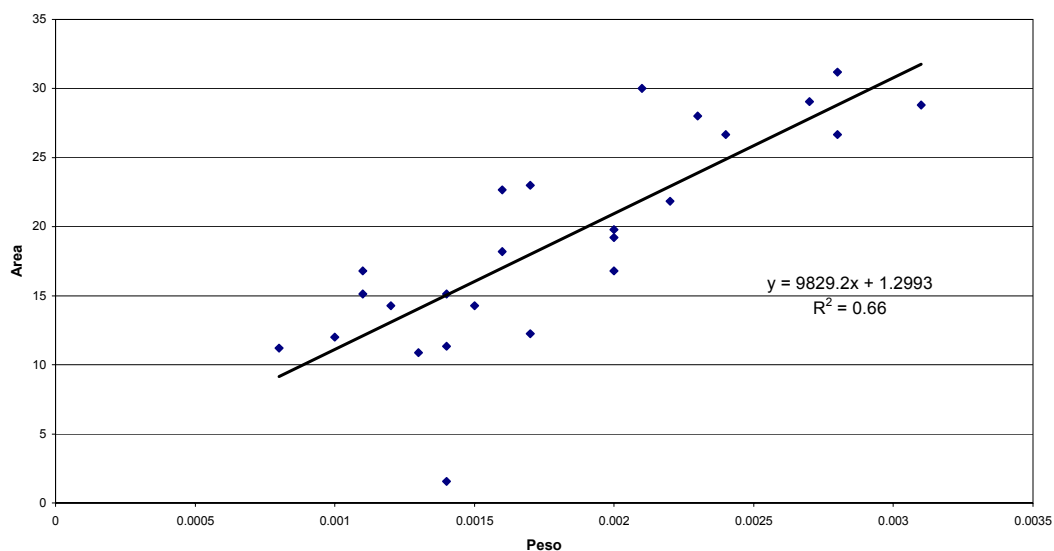
Area Vs Peso



Espécimen: Tipo Morado

Nº	Espesor (mm)	Largo (mm)	Peso (gr)	Area (mm ²)	Nº	Espesor (mm)	Largo (mm)	Peso (gr)	Area (mm ²)
26	0.42	17	0.0015	14.28	39	0.46	25	0.0017	23
27	0.5	28	0.0023	28	40	0.39	2	0.0014	1.56
28	0.48	20	0.0020	19.2	41	0.46	29	0.0024	26.68
29	0.5	30	0.0021	30	42	0.36	21	0.0014	15.12
30	0.58	23	0.0028	26.68	43	0.6	24	0.0031	28.8
31	0.55	18	0.0020	19.8	44	0.34	18	0.0017	12.24
32	0.42	20	0.0020	16.8	45	0.42	18	0.0011	15.12
33	0.66	22	0.0027	29.04	46	0.4	15	0.0010	12
34	0.52	21	0.0022	21.84	47	0.52	17.5	0.0016	18.2
35	0.4	21	0.0011	16.8	48	0.42	27	0.0016	22.68
36	0.33	17	0.0008	11.22	49	0.42	17	0.0012	14.28
37	0.6	26	0.0028	31.2	50	0.42	13.5	0.0014	11.34
38	0.32	17	0.0013	10.88					

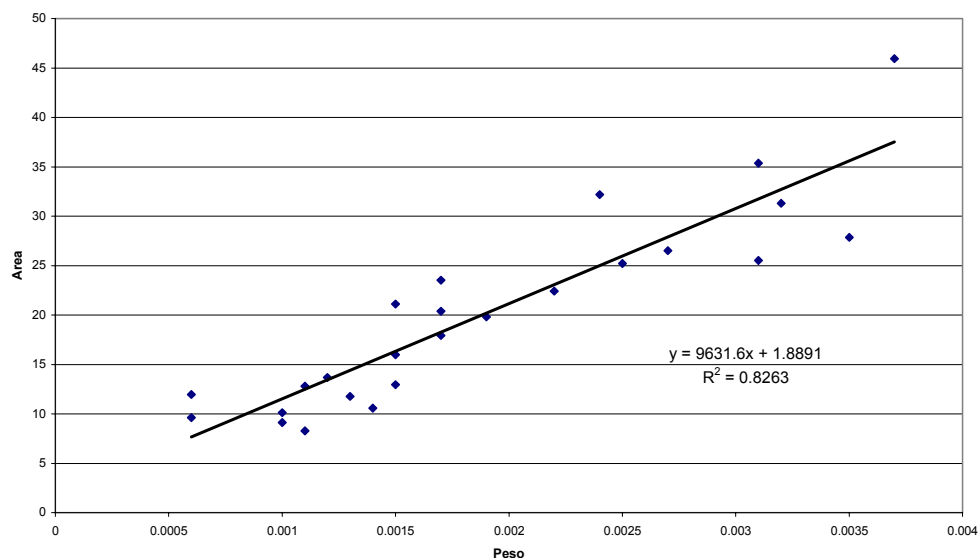
Area Vs Peso



Espécimen: Tipo A

Nº	Espesor (mm)	Largo (mm)	Peso (gr)	Area (mm ²)	Nº	Espesor (mm)	Largo (mm)	Peso (gr)	Area (mm ²)
51	0.42	19	0.0015	15.96	64	0.46	11.5	0.0014	10.58
52	0.46	35	0.0024	32.2	65	0.58	24	0.0035	27.84
53	0.52	11.5	0.0006	11.96	66	0.46	9	0.0011	8.28
54	0.54	29	0.0032	31.32	67	0.78	17	0.0027	26.52
55	0.60	21	0.0025	25.2	68	0.50	25.5	0.0031	25.5
56	0.82	28	0.0037	45.92	69	0.52	34	0.0031	35.36
57	0.40	16	0.0011	12.8	70	0.54	12	0.0015	12.96
58	0.48	22	0.0015	21.12	71	0.46	11	0.0010	10.12
59	0.56	10.5	0.0013	11.76	72	0.64	17.5	0.0022	22.4
60	0.64	14	0.0017	17.92	73	0.68	15	0.0017	20.4
61	0.30	16	0.0006	9.6	74	0.38	18	0.0012	13.68
62	0.60	16.5	0.0019	19.8	75	0.48	9.5	0.0010	9.12
63	0.42	28	0.0017	23.52					

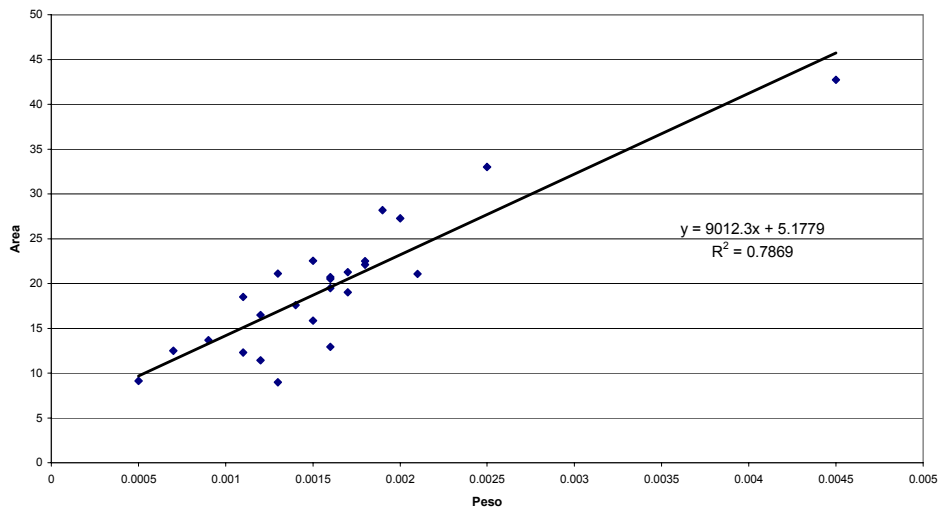
Area Vs Peso



Espécimen: Tipo Azul

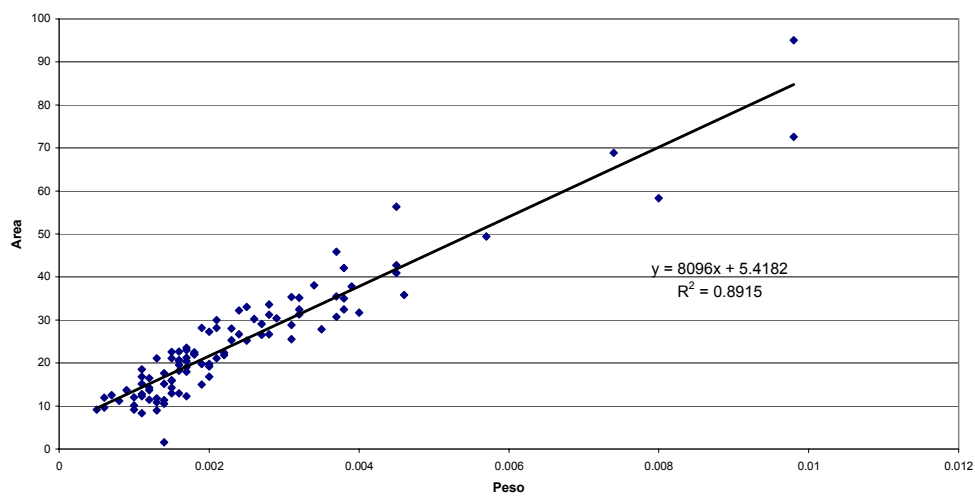
Nº	Espesor (mm)	Largo (mm)	Peso (gr)	Area (mm2)	Nº	Espesor (mm)	Largo (mm)	Peso (gr)	Area (mm2)
76	0.48	44.5	0.0045	42.72	89	0.50	19	0.0017	19
77	0.62	22	0.0020	27.28	90	0.54	19.5	0.0021	21.06
78	0.50	20.5	0.0016	20.5	91	0.52	11	0.0012	11.44
79	0.38	18	0.0009	13.68	92	0.46	24.5	0.0015	22.54
80	0.45	25	0.0018	22.5	93	0.61	13	0.0015	15.86
81	0.44	20	0.0014	17.6	94	0.44	24	0.0013	21.12
82	0.50	16.5	0.0012	16.5	95	0.50	19.5	0.0016	19.5
83	0.56	19	0.0017	21.28	96	0.60	23.5	0.0019	28.2
84	0.50	18.5	0.0011	18.5	97	0.75	22	0.0025	33
85	0.45	23	0.0016	20.7	98	0.48	13	0.0007	12.48
86	0.48	23	0.0018	22.08	99	0.32	14	0.0013	8.96
87	0.38	12	0.0005	9.12	100	0.38	17	0.0016	12.92
88	0.41	15	0.0011	12.3					

Area Vs Peso



La gráfica y tendencia general de los datos se encuentra a continuación.

Area Vs Peso



Utilizando la ecuación de tendencia y la densidad aparente hallada en el numeral anterior se determino una superficie especifica de 393.74 a la cual se le aplico un factor de seguridad 0.8, por lo tanto el valor adoptado de superficie especifica es de $315 \text{ m}^2/\text{m}^3$.

6. DISEÑO PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DOMESTICAS UTILIZANDO RBC

Al realizar el diseño de una planta de tratamiento de aguas residuales domesticas utilizando RBC, se deben tener en cuenta dos factores que influncian el funcionamiento del reactor, estos son:

- Los materiales gruesos que ingresan al tanque de mezclado, pueden atascar el sistema, incrustarse en la estructura de soporte y producir desprendimiento de biomasa.
- Al tanque de mezcla no deben ingresar sólidos sedimentables, estos pueden asentarse y disminuir la eficiencia del sistema.

Teniendo en cuenta estos factores la planta de tratamiento de RBC que se diseño esta compuesta por las siguientes unidades:

- Tratamiento Preliminar: Cribado y Desarenación
- Tratamiento Primario: Inicialmente no se requiere
- Tratamiento Secundario: RBC
- Tratamiento de Lodos: Lechos de secado
- Desinfección: Cloración del efluente final

La etapa de desinfección se plantea para la eliminación de microorganismos patógenos que no han sido eliminados en las etapas anteriores.

Se designan como, Datos básicos, Tratamiento preliminar, Tratamiento secundario, Tratamiento de lodos y Desinfección, a los grupos de datos fundamentales para realizar el diseño de la planta de tratamiento de RBC.

6.1 DATOS BASICOS

El objetivo de los Datos básicos es caracterizar la población, el agua residual y la norma bajo la cual se regirá el diseño.

Las normas de diseño a las cuales nos referiremos son el Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico y las Normas Técnicas Para Diseño y Presentación de Proyectos de Alcantarillado de la CDMB, las cuales se notaran como RAS-2000 y Norma de la CDMB, respectivamente.

El procedimiento de diseño propuesto por la RAS-2000 requiere la definición del nivel de complejidad según lo dispuesto en el Título A, Capítulo A.3, donde se tiene en cuenta la población en la zona urbana y la capacidad económica de los usuarios; en cualquier caso se debe asumir el mayor nivel de complejidad resultante de la evaluación por cualquiera de los dos criterios. En la Tabla 13 se muestra la asignación de los niveles de complejidad del sistema.

Tabla 13. Asignación del nivel de complejidad.

Nivel de complejidad	Población en la zona urbana [hab]	Capacidad económica de los usuarios
Bajo	< 2500	Baja
Medio	2501 a 12500	Baja
Medio Alto	12501 a 60000	Media
Alto	> 60000	Alta

Fuente: RAS-2000, Tabla A.3.1.

La Norma de la CDMB realiza la clasificación del sistema de acuerdo con el nivel socio económico de la zona de estudio, bajo, medio y alto.

De aquí en adelante cuando se hable de nivel del sistema ó nivel, se referirá genéricamente al nivel de complejidad o nivel socio económico, según la norma de diseño utilizada.

6.1.1 Población a tratar (P). La población a tratar, es la población proyectada en la zona urbana del municipio, en el periodo de diseño del sistema o cualquiera de sus componentes.

6.1.2 Consumo por habitante (C). Según la RAS-2000, “La dotación neta corresponde a la cantidad mínima de agua requerida para satisfacer las necesidades básicas de un habitante sin considerar las pérdidas que ocurran en el sistema de acueducto”. La dotación neta depende del nivel del sistema, del clima de la localidad, disponibilidad del recurso y del tamaño de la población.

Su determinación se basa en el Título B, literal B.2.4 de la RAS-2000; o en el cuadro suministrado por el Acueducto Metropolitano de Bucaramanga que se encuentra en la Norma de la CDMB en el Capítulo IV numeral 4.3.1.d. La Tabla 14 muestra los consumos por habitante determinados por cada norma.

Tabla 14. Consumo por habitante según el nivel.

Nivel de complejidad	Consumo RAS [L/hab.día]		Consumo CDMB [L/hab.día]
	Minima	Maxima	
Bajo	100	150	200
Medio	120	175	240
Medio Alto	130	-	-
Alto	150	-	320

6.1.3 Coeficiente de retorno (R). El coeficiente de retorno expresa el porcentaje de agua, perteneciente a la dotación neta, que es entregada al sistema de alcantarillado como aguas negras domesticas.

Según la RAS 2000 en el Título D, literal D.3.2.2 este coeficiente se puede estimar con información existente o mediciones de campo; si estas son deficientes o no existen, puede emplearse los sugeridos en la Tabla 15 o puede definirlo la empresa prestadora del servicio. La Norma de la CDMB define para el Área Metropolitana de Bucaramanga, en el Capitulo IV numeral 4.3.1.a, un coeficiente de retorno de 90% para el Área Metropolitana de Bucaramanga.

Tabla 15. Coeficientes de retorno.

Nivel de complejidad del sistema	Coeficiente de retorno
Bajo y medio	0,7 - 0,8
Medio alto y alto	0,8 - 0,85

Fuente: RAS-2000, Tabla D.3.1.

6.1.4 Aportes domésticos (AD). Los aportes domésticos, son la sumatoria de los aportes de agua residual de la población a tratar, generalmente se calcula en L/s. Su valor depende del coeficiente de retorno, población a tratar y consumo por habitante. El caudal domestico en la RAS-2000 y en la Norma de la CDMB esta dado por la siguiente ecuación:

$$AD = \frac{R * P * C}{86400}$$

6.1.5 Caudal medio diario final de aguas residuales (QMDf). El caudal medio diario de aguas residuales es definido, en la RAS-2000 en el Título D, literal D.3.2.2.5 y en la Norma de la CDMB en el Capitulo IV, numeral 4.3.5. Este

calculado como la suma de los aportes domésticos, industriales, comerciales e institucionales.

$$QMD = AD + AC + AI + AIT$$

Donde AC son los aportes comerciales, AI los aportes industriales y AIT son los aportes institucionales.

Por tratarse de una planta de tratamiento de aguas residuales domesticas utilizando el RBC como tratamiento secundario se asume que las aportaciones comerciales, industriales e institucionales son marginales y no se detallan en las variables de cálculo.

Para su determinación se puede utilizar lo establecido en la Norma de la CDMB en el Capitulo IV, numeral 4.3.2, 4.3.3 y 4.3.4 ó la RAS-2000 en el Titulo D, literal D.3.2.2.2, D.3.2.2.3 y D.3.2.2.4, ó asumir un porcentaje de las aportaciones domesticas.

6.1.6 Factor de mayoración (F). El factor de mayoración incluye las variaciones de caudal durante el día, este factor es mayor para poblaciones pequeñas y disminuye conforme aumenta la población, debido a la heterogeneidad de hábitos de consumo y a que una red mayor contribuye a amortiguar estas variaciones.

En la RAS-2000 el coeficiente de mayoración puede ser calculado por una de 5 ecuaciones propuestas, Titulo D, literal D.3.2.4, las formulas de Harmon y Babbit se descartaron por generar valores inferiores a 1.4 en pequeñas poblaciones, valor mínimo recomendado, las formulas de Los Angeles o la de Tchobanoglous utilizan el caudal medio diario pero generan valores muy altos, dentro de nuestro rango de aplicación. La formula seleccionada es la de Flores:

$$F = \frac{3.5}{P^{0.1}}$$

La Norma de la CDMB en el Capitulo IV, numeral 4.4, propone el uso de la curva de relación de caudales medios y máximos, de donde se extrae el factor de mayoración. Por facilidad en la sistematización se sugiere el uso de la formula de Flores para pequeñas poblaciones.

6.1.7 Caudal máximo horario (QMH). Este caudal representa la máxima sollicitación horaria que se puede presentar en un año, constituye una parte fundamental para el cálculo del caudal de diseño. El caudal se determina

mediante el uso del factor de mayoración y el caudal final medio diario, la expresión usada para su cálculo es:

$$Q_{MH} = F * Q_{MDf}$$

6.1.8 Área del municipio (Amunicipio). Este dato se requiere para el cálculo del caudal de infiltración, hace referencia al área donde esta ubicada la población a tratar. Solamente con fines estimativos se recomienda utilizar una densidad poblacional de 30 viviendas por hectárea, 5 personas por vivienda, para un total de 150 habitantes por hectárea.

6.1.9 Coeficiente de infiltración (Ci). Este coeficiente está relacionado con la inclusión del caudal de infiltración, del cual se habla con mayor detalle en el siguiente numeral, depende de factores como las características del suelo, topografía de la zona, niveles freáticos y precipitaciones.

La Norma de la CDMB, en el Capítulo IV, numeral 4.5.1, realiza una subdivisión de la zona urbanizada según las características topográficas y la cercanía a corrientes o cuerpos de agua, en la Tabla 16 se pueden observar la clasificación y los valores asignados.

Tabla 16. Coeficientes de infiltración.

Zona de infiltración			
	Baja	Media	Alta
Ci	0,20	0,30	0,40

Fuente: Norma de la CDMB

La RAS-2000, en el Título D, literal D.3.2.2.7, solicita la medición directa del caudal de infiltración, sin embargo en casos donde no es posible hacer esto sugiere los coeficientes que se muestran en la Tabla 17, donde el valor inferior del intervalo se refiere a condiciones constructivas muy buenas de la red de alcantarillado y nivel de amenaza sísmica bajo; las clasificaciones de alta, media y baja se determinan por las condiciones topográficas, niveles freáticos y precipitación de la zona.

Tabla 17. Coeficientes de retorno.

Nivel de complejidad del sistema	Infiltración alta (L/s.Ha)	Infiltración media (L/s.Ha)	Infiltración baja (L/s.Ha)
Bajo y medio	0,15 - 0,4	0,1 - 0,3	0,05 - 0,2
Medio alto y alto	0,15 - 0,4	0,1 - 0,3	0,05 - 0,2

Fuente: RAS-2000, Tabla D.3.1.

6.1.10 Caudal de infiltración (Qi). El caudal de infiltración es ocasionado por la entrada de las aguas subsuperficiales al sistema de alcantarillado sanitario, estas filtraciones se producen por problemas constructivos de la red, como fisuras en los colectores, juntas deficientes, unión de colectores con pozos de inspección u otras estructuras; otra causa del caudal de infiltración son las fisuras producidas por movimientos telúricos. En la actualidad con el desarrollo de tuberías de PVC que poseen sellos elastoméricos en sus uniones, unión Z ó unión platino, se puede disminuir el valor del caudal de infiltración, no obstante, debido a la imposibilidad de estimar correctamente el caudal de conexiones erradas, no se recomienda su disminución para permitirle al diseño un pequeño factor de seguridad.

La RAS-2000, en el Título D, literal D.3.2.2.7, solicita la medición del caudal de infiltración cuando es posible. El proceso de medición se debe realizar en horas de mínimo consumo, generalmente en horas de la noche, cuando el caudal medido debe corresponder a infiltraciones de la red de alcantarillado sanitario.

Si la medición no es posible o se elige estimar el caudal utilizando el coeficiente de infiltración, dado por la RAS-2000 o la Norma de la CDMB, el aporte de infiltración se determina con la expresión:

$$Q_i = C_i * \sum A$$

6.1.11 Coeficiente de conexiones erradas (Cce). Este coeficiente relaciona la incorporación de aguas lluvias al sistema de alcantarillado sanitario, debido a la conexión inadecuada de tubería que transporta aguas lluvias, esto es muy frecuente en las conexiones internas realizadas sin supervisión técnica.

Las normas de la CDMB determinan el coeficiente en función del sector de desarrollo del proyecto en el Capítulo IV, numeral 4.5.2, los cuales se muestran en la Tabla 18.

Tabla 18. Coeficiente de conexiones erradas

Sector	Coeficiente de conexiones erradas Cce
Residencial	50 L/hab.dia
Comercial, institucional e industrial	0,20 L/s.Ha

Fuente: Norma de la CDMB

La RAS-2000, Título D, literal D.3.2.2.6 brinda dos tipos de coeficiente dependiendo de la existencia de sistema de alcantarillado pluvial. La Tabla 19 y la Tabla 20, muestran estos coeficientes.

Tabla 19. Coeficiente de conexiones erradas con sistema pluvial

Nivel de complejidad del sistema	Aporte [L/s.Ha]
Bajo y medio	0,2
Medio alto y alto	0,1

Fuente: RAS-2000, Tabla D.3.5.

Tabla 20. Coeficiente de conexiones erradas sin sistema pluvial

Nivel de complejidad del sistema	Aporte [L/s.Ha]
Bajo y medio	2
Medio alto y alto	2

Fuente: RAS-2000, Tabla D.3.6.

6.1.12 Factor multiplicador conexiones erradas (S). La Norma de la CDMB en el Capítulo IV, numeral 4.5.2, introduce un factor multiplicador “S” que depende del sector de análisis. El factor multiplicar sirve para convertir el coeficiente de conexiones erradas a un caudal en L/s, también es aplicable a los coeficientes propuestos por la RAS-2000, las expresiones para su cálculo son las siguientes:

$$S = \frac{P}{86400} \quad S = \sum Acom + Aind + Ainst$$

La primera expresión sirve para coeficientes en L/hab.día, la segunda expresión para coeficientes en L/s.Ha.

6.1.13 Caudal de conexiones erradas (Qce). El caudal de conexiones erradas, es ocasionado por conexión de bajantes de agua lluvia y patios al sistema de alcantarillado sanitario, un efectivo control de las conexiones domiciliarias y la existencia de un sistema de recolección y evacuación de las aguas lluvias, contribuyen en la disminución de dicho caudal, que en algunas ciudades es un problema que ocasiona rebose del sistema de alcantarillado sanitario, con los respectivos problemas de salud pública.

Utilizando la definición de factor de multiplicador “S”, la expresión para calcular el caudal de conexiones erradas es la siguiente:

$$Q_{ce} = C_{ce} * S$$

6.1.14 Caudal de diseño (Qd). Este caudal de diseño es la sumatoria del caudal máximo horario y los caudales de infiltración y conexiones erradas.

$$Q_d = Q_{MH} + Q_i + Q_{ce}$$

6.1.15 Caudal mínimo. El caudal mínimo, en poblaciones pequeñas, puede ser determinado en un muestreo compuesto de las descargas del municipio, generalmente se presenta en horas de la noche cuando no existen aportes atribuibles a consumo.

6.1.16 Carga orgánica unitaria (COun). La carga orgánica unitaria, es la cantidad de DBO₅ incorporada al agua residual por un habitante al día, su estimación se debe realizar con base en las jornadas de mediciones de caudales y concentraciones de sustancias contaminantes. Está relacionada con la cantidad de materia orgánica depositada en el agua residual.

En caso de no contar con mediciones o no poder realizarlas la RAS-2000 en el Título E, literal E.2.5, muestra los valores de carga unitaria para diferentes contaminantes que pueden ser utilizados. Para la carga orgánica unitaria señala un intervalo de 25 a 80 g/hab/día, y sugiere un valor de 50 g/hab/día.

6.1.17 Demanda bioquímica de oxígeno (DBO). La demanda bioquímica de oxígeno DBO, es la cantidad de oxígeno empleada por microorganismos aerobios

para descomponer la materia orgánica presente. Este dato determina la cantidad de materia orgánica total aportada por la población de diseño a las aguas residuales, se expresa en kg/día.

$$DBO = \frac{CO_{un} * P}{1000}$$

6.1.18 DBO₅ calculada (DBO_{5cal}). Generalmente se emplea la DBO₅, que mide el consumo de oxígeno bajo condiciones controladas en cinco días. Está relacionada con la concentración de materia orgánica en el agua residual. Se expresa en mg/lt, para su cálculo se empleó la siguiente expresión.

$$DBO_{5cal} = \frac{DBO}{QMDf / 1000}$$

6.1.19 DBO₅ monitoreada. Su valor sirve para comparar la DBO₅ calculada, con los valores medidos en las jornadas de mediciones de caudales y concentraciones de sustancias contaminantes. Este dato no es utilizado en los cálculos, pero sirve de referencia al diseñador para revisar los datos asumidos en el cálculo del sistema.

6.1.20 Eficiencia de remoción. Las Normas de Vertimiento establecidas en el decreto 1594 de 1984 en el Capítulo VI, Artículo 72, exige una remoción mínima del 80% de la demanda bioquímica de oxígeno para vertimientos de aguas residuales domésticas. Según la literatura el sistema de RBC produce una remoción entre 80% y 97% de DBO₅.

6.2 TRATAMIENTO PRELIMINAR: CRIBADO Y DESARENADOR

6.2.1 Rejilla gruesa y fina. Los tipos de rejilla se pueden clasificar según el método de limpieza, en manual y mecánica; según el espaciamiento entre barras, en rejilla gruesa y fina. La Tabla 21 muestra las principales características de las rejillas según Metcalf & Eddy.

Tabla 21. Características de rejillas de barras.

Características	Limpieza Manual	Limpieza Mecánica
Ancho de las barras	0.5 a 1.5 cm	0.5 a 1.5 cm
Profundidad de las barras	2.5 a 7.5 cm	2.5 a 7.5 cm
Abertura o espaciamiento	2.5 a 5.0 cm	1.5 a 7.5 cm
Pendiente con la vertical	30° a 45°	0° a 30°
Velocidad de acercamiento	0.3 a 0.6 m/s	0.6 a 1 m/s
Pérdida de energía permisible	15 cm	15 cm

Fuente: METCALF & EDDY, 1979.

En la Tabla 22 se muestran los valores para el espaciamiento, velocidad mínima de aproximación y velocidad mínima entre barras según lo establecido en la RAS-2000 en el Título E, literal E.4.4.2. Los criterios utilizados quedan a discreción del calculista, sin embargo deben estar ajustados al tipo de material que se desea retener en las rejillas.

Tabla 22. Características de rejillas de barras.

TIPO DE LIMPIEZA	Vel. Min. Aproximacion	Vel. Min. Entre barras	Espaciamiento
Manual	0.3 a 0.6 m/s	0.3 a 0.6 m/s	15 a 50 mm
Mecánica	0.3 a 0.9 m/s	0.6 a 1.2 m/s	3 a 77 mm

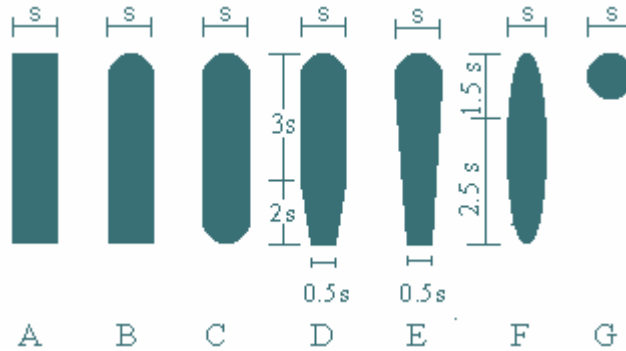
En la Tabla 23 se muestra el factor de forma de las barras, y en la Figura 20 se ilustran las secciones de las barras de la rejilla.

Tabla 23. Características de rejillas de barras.

Tipo	CARACTERISTICAS DE LA REJILLA	β
A	Nariz y cola cuadrada	2,42
B	Nariz cuadrada y cola redondeada	1,83
C	Nariz y cola semicirculares	1,67
D	Nariz trapezoidal fina y cola redondeada	1.035
E	Nariz cuadrada fina y cola redondeada	0.92
F	Nariz y cola hidrodinámicas	0,76
G	Nariz y cola redondeada	1,79

Fuente: RAS-2000, Tabla E.4.6

Figura 20. Geometría de las barras.



Fuente: RAS-2000, Fig E.4.1

El procedimiento de diseño de las rejillas gruesas y finas es el mismo, por lo tanto a continuación se describirán las formulas empleadas indistintamente.

Para realizar el diseño es necesario definir variables como, el espesor de cada barra; la separación entre barras; el ángulo de inclinación de las rejillas, medido desde la horizontal; el número de unidades que operan simultáneamente, debido a que toda planta debe poseer mínimo dos rejillas para permitir las operaciones de mantenimiento; y el ancho de cada rejilla, el cual debe ser la separación entre barras más un múltiplo de la suma entre el espesor de las barras y la separación de estas.

El paso del agua a través de las rejillas ocasiona pérdidas de carga producidas por la geometría de las barras, el espaciamiento y el porcentaje de obstrucción. La siguiente expresión sirve para calcular las pérdidas en la rejilla limpia.

$$h_f = \beta \cdot \left(\frac{s}{b}\right)^{4/3} \cdot \frac{V_{ap}^2}{2 \cdot g} \cdot \text{Sen} \alpha$$

- Donde,
- β = Coeficiente de forma de la rejilla
 - d = Separación entre barras
 - b = Espesor de barras
 - V_{ap} = Velocidad de aproximación a la rejilla
 - g = Aceleración de gravedad
 - α = Angulo de inclinación de la rejilla

Cuando se considera un porcentaje de obstrucción en la rejilla, las perdidas son:

$$h_0 = \left(\frac{1}{1 - \%Obstruccion} \right)^2 \cdot h_f$$

La profundidad del agua a la entrada de la rejilla gruesa se calcula con la siguiente expresión, para la rejilla fina es igual a la profundidad de salida de la rejilla gruesa.

$$Pent = \frac{QMH}{Autil \cdot Vap}$$

Donde, Pent = Profundidad del agua a la entrada de la rejilla
 QMH= Caudal máximo horario
 Autil = Ancho útil, igual al ancho de las rejillas en funcionamiento
 Vap = Velocidad de aproximación a la rejilla

La profundidad del agua a la salida es igual a la diferencia entre la profundidad del agua a la entrada de la rejilla y las pérdidas con la rejilla obstruida.

$$Psal = Pent - h_o$$

La profundidad media a través de la rejilla es el promedio entre las profundidades a la entrada y salida de la rejilla, este dato es útil para calcular la velocidad media a través de la rejilla. Se debe chequear con la velocidad mínima entre barras dada en la Tabla 24.

$$Pmed = \frac{Pent + Psal}{2} \quad Vmed = \frac{QMH}{Autil \cdot Pmed}$$

Adicionalmente se debe calcular la velocidad a la salida de la rejilla gruesa la cual será la velocidad de aproximación en la rejilla fina. Se debe chequear con la velocidad de aproximación dada en la Tabla 24.

$$Vsal = \frac{QMH}{Autil \cdot Psal}$$

6.2.2 Desarenador. La RAS-2000 en el Título E, literal E.4.4.4, determina los requisitos para el diseño de los desarenadores y las relaciones geométricas para su diseño, aplicables a cualquiera de los niveles de complejidad del sistema. En la Tabla 24 se muestra un resumen de los criterios y en la Tabla 25 la geometría recomendada.

Tabla 24. Criterios de diseño para desarenadores

Criterio de diseño	Rango
Velocidad mínima	0.2 a 0.4 m/s
Número	Mínimo dos unidades, para limpieza
Carga superficial	30 a 65 m ³ /m ² /hora
Tiempo de retención hidráulico	20 seg. a 3 min.
Estructuras de control	Vertedero tipo Sutró o proporcional Secciones que garanticen los rangos de velocidad

Tabla 25. Geometría recomendada para desarenadores de diferente tipo.

Parámetro	Desarenador de flujo horizontal	Desarenador aireado	Desarenador tipo vórtice
Profundidad (m)	2 - 5	2 - 5	2.5 - 5
Longitud (m)	-----	8 - 20	-----
Ancho (m)	-----	2.5 - 7	-----
Relación Largo : Ancho	2.5 : 1 - 5 : 1	3 : 1 - 5 : 1	-----
Relación Ancho : Profundidad	1 : 1 - 5 : 1	1 : 1 - 5 : 1	-----
Diámetro (m) Cámara superior	-----	-----	1 - 7
Cámara inferior	-----	-----	1 - 2

Fuente: RAS-2000, Tabla E.4.7

El desarenador para el cual se mostrara los pasos de diseño, es de flujo horizontal y posee como dispositivo de salida y control un vertedero sutro que permite mantener una velocidad de salida constante, sin importar el caudal.

El área requerida para el desarenador se calcula utilizando la siguiente formula.

$$A_{req} = \frac{QMH}{CS_{asum}}$$

Donde, A_{req} = Área requerida
 QMH = Caudal máximo horario
 CS_{asum} = Carga Superficial asumida

Para la determinación de sus dimensiones se utiliza una relación Largo/Ancho dentro del rango recomendado en la Tabla 25, para poder determinar una formula, se tomara una relación teórica a : 1.

$$L_d = \sqrt{A_{req} \cdot a} \quad A_d = \frac{A_{req}}{L_d}$$

Donde, L_d = Largo del desarenador, se debe redondear al cm
 A_{req} = Área requerida
 A_d = Ancho del desarenador, redondear al cm por encima

Para definir la profundidad del desarenador, se utiliza la siguiente relación, entre el caudal medio diario la velocidad del flujo y al Ancho del desarenador.

$$Hd = \frac{QM}{V * Ad}$$

6.2.3 Vertedero Sutro. El diseño del vertedero sutro se desarrolla con base en la expresión dada por Acevedo, Álvarez que a continuación se presenta, conservándose una velocidad constante en el canal de 0.30 m/s.

$$Q = 2.74\sqrt{a} * b * \left(H - \frac{a}{3}\right) \quad \frac{x}{b} = 1 - \frac{2}{\pi} \arctg \sqrt{\frac{y}{a}}$$

Donde, Q = Caudal, m³/s.

a = altura mínima, m.

b = ancho de la base, m.

H = altura del agua, m.

x = ancho del vertedero (m), según altura y (m).

6.3 TRATAMIENTO SECUNDARIO: BIOROTOR

6.3.1 Criterios de diseño. Estos parámetros de diseño son los que se encuentran normalmente en la literatura y son los más utilizados para el diseño de las plantas de biorotores, fueron adoptados de Tchobanoglous.

Carga orgánica aplicada 1ª etapa. El rango de carga orgánica esta entre 10 – 30 [gDBO/m²-dia].

Superficie especifica del relleno (Sup). Como dato de la superficie especifica de relleno el más utilizada es 175 m²/m³ para discos de polietileno corrugado. Para determinar este valor en la Luffa Operculata, se aplicaron las pruebas de laboratorio descritas en los Anexos, posteriormente en el análisis de resultados se obtuvo un valor de 395. Se asumió un factor de seguridad 0.8, para definir la superficie especifica de diseño, por tanto con este medio se recomienda 315 m²/m³.

Sumergencia (Sum). El valor de sumergencia de los discos esta entre un 40% y 80%. El valor sugerido es de 40% por permitir una buena aireación de la biopelícula. Para valores superiores al 50%, se requiere la instalación de un sistema de inyección de aire para preservar las condiciones aerobias de la porción de biopelícula que no emerge de la superficie del líquido.

Rango de velocidad de rotación. La velocidad de rotación del biorotor esta entre 1 – 2 rpm.

Carga hidráulica. Tchobanoglous sugiere un valor menor a 0.1 m³/m²/d. Steel, Wilson recomienda para la carga hidráulica el rango de 0.02 - 0.10 m³/m²/d.

Tiempo de retención. En este dato no existe un consenso general, debido a que el tiempo de retención depende de la velocidad de reacción de la biopelícula. Los valores están entre 42–70 minutos, sin embargo medios con mayor superficie específica redundaran en reactores mas pequeños y con menor tiempo de retención.

6.3.2 Estructuras introducidas. En el proceso de diseño y determinación del reactor de RBC, se definieron unas estructuras de soporte que se detallan a continuación. Los planos donde se detallan se pueden observar en los Anexos D.

Estructura del medio (EM). El EM son las celdas cuadradas utilizadas para confinar al medio de soporte de la biopelícula, geométricamente son paralelepípedos con dimensiones a' x a' x b'. Donde a' es la medida de la arista de la base del EM, este valor se estableció en 8cm; b' es la altura del EM, su valor es variable y depende la posición que ocupe dentro de la USM.

Unidad de soporte para el medio USM. La USM es el resultado de la agrupación de los EM en un cuarto de círculo, cuyo ancho ó longitud de soporte L_s debe ser un múltiplo de a'. El USM es el resultado de la concepción modular del biorotor, que permite su reemplazo en caso de daño. Por la distribución del EM dentro del USM, a' también influencia el diámetro del biorotor, la separación horizontal entre el grupo de 4 USM que conforman un cilindro, se toma de 10 cm para el diseño.

6.3.3 Cálculo y Dimensionamiento

Área de contacto (Ac)
$$Ac = \frac{DBO_5}{Capli}$$

Volumen del biorotor (Vb)
$$Vb = \frac{Ac}{Sup}$$

Diámetro del biorotor (Db). Los diámetros empleados para los biorotores están entre 2 y 4 m. Para nuestro caso el diámetro debe ser un múltiplo de a, lado de la base del EM.

Área de la sección transversal (Ab) $Ab = \frac{\pi * Db^2}{4}$

Longitud del medio (Lmt) $Lmt = \frac{Vb}{Ab}$

Numero de módulos (N°mod). Esta definido por criterio del diseñador, teniendo en cuenta que la longitud del biorotor esta limitada por el eje, asumimos para nuestro cálculos que la máxima longitud del medio dentro del biorotor es de 7.5 m, distancia después de la cual la literatura recomienda subdividirlos en módulos.

$$N^{\circ} \text{ mod} \geq \frac{Lmt}{7.5}$$

Longitud del medio por modulo (Lm) $Lm = \frac{Lmt}{N^{\circ} \text{ mod}}$

Numero de USM (N_{USM}) $N_{USM} \geq \frac{Lm}{Ls}$

Longitud del modulo (Lmod). El 0.1 m de la formula se refiere al espaciamiento entre USM, que serán utilizados para el anclaje de la estructura y su ensamblado.

$$L_{\text{mod}} = N_{USM} \cdot (Ls + 0.1)$$

6.3.4 Dimensionamiento del modulo

Distancia libre Batea y Disco (e). Se asumió como un 5% del Diámetro del biorotor, no obstante este valor debe ser coherente con la deflexión del eje.

$$e = Db * 0.05$$

Ancho del modulo (Am) $Am = Db + e * 2$

Profundidad útil (Hum) $Hum = Db * S + e$

Angulo de sumergencia (Teta). El ángulo de sumergencia es el ángulo formado entre los radios del biorotor que tocan la superficie del agua. Para una sumergencia del 50% el ángulo es de 180°.

$$\theta = 2 * ACOS\left(1 - 2 \frac{Hum}{Am}\right)$$

Área útil

$$A_{util} = \frac{Am^2}{8} (\theta - SEN\theta)$$

Volumen útil

$$V_{um} = Lm * A_{util}$$

Tiempo de retención hidráulica y Carga hidráulica. Es importante saber que la carga hidráulica y el tiempo de retención dependerán de la porosidad del relleno y de las condiciones particulares del desecho (caudal y concentración).

$$Tr = \frac{V_{um}}{(QMD / N^{\circ} \text{ mod})} \quad Ch = \frac{QMD}{Ac}$$

6.3.5 Clarificador. De acuerdo con las características del lodo producido por el RBC, se considera aceptable utilizar cargas superficiales del orden de 33 m³/m²/d. No obstante, considerando las variaciones de flujo en las pequeñas poblaciones se recomienda adoptar un valor de 20 m³/m²/d.

Constructivamente se recomienda que el clarificador esté acoplado al módulo del biorotor para obtener una unidad compacta y con menor desarrollo de tuberías. Con respecto a la forma se considera apropiado utilizar una sección cuadrada, con alimentación ascendente al centro del tanque. La recolección del efluente tratado se realiza mediante una canaleta perimetral. Los lodos sedimentados se concentran en el fondo de una tolva conformada por las paredes inclinadas del tanque, su evacuación hacia los lechos de secado se realizara utilizando una bomba sumergible que opere de manera intermitente.

Caudal por modulo

$$Qm = \frac{QMD}{N^{\circ} \text{ mod}}$$

Área del clarificador

Donde, C_{sadop} = Carga superficial adoptada, m³/m²/día.

$$A_{clar} = \frac{Qm}{C_{sadop}}$$

Lado del cuadrado

$$Lc = A_c^{0.5}$$

Profundidad de tolva

$$Ht = \left(\frac{Lc}{2} - \frac{Lf}{2}\right) * Tan\Delta$$

Donde, Δ = Angulo de las paredes del clarificador
Lf = Lado del fondo clarificador

6.4 POSTRATAMIENTO: SISTEMA DE CLORACIÓN

Se puede nombrar tres sistemas de desinfección, cloración, ozonización y luz ultravioleta. El debate es amplio sobre las ventajas y desventajas de cada uno de estos sistemas respecto a la parte técnica y económica. A continuación citaremos textualmente las razones tenidas en cuenta por ASA-FRANCO para la adopción de un sistema de cloración a base de hipoclorito.

“... a) La ozonización no se encuentra todavía al alcance de ningún municipio del país, por el requerimiento de altos voltajes o de altas frecuencias para su generación (alrededor de 15000 v). Esto además de representar un riesgo serio para el personal de operación significa un elevado consumo de energía y la necesidad de contar con sistemas complementarios de refrigeración lo cual constituye una gran desventaja en relación con los sistemas de cloración.

b) Los equipos de luz ultravioleta generalmente se consiguen para capacidades desde 8 hasta 40 GPM (0.5 a 2.5 l/s), necesitándose por lo tanto más de una unidad para satisfacer los requerimientos de las plantas aquí proyectadas. Estos equipos tienen que ser directamente importados, por ejemplo de los Estados Unidos (Atlantic W. Corporation), a un costo que oscila entre US\$ 1000 y US\$ 3000 más impuestos con las siguientes limitaciones: una vida útil de la lámpara de 10000 horas y una ausencia total de sólidos en suspensión (agua prácticamente filtrada).

c) Las sales de cloro como el hipoclorito de calcio (HTH) se consiguen fácilmente en el mercado nacional por ser un producto de amplia demanda en piscinas, acueductos e industria. Para su preparación y aplicación no se requiere de una infraestructura costosa ni el empleo de mano de obra calificada. Todo esto le confiere a la desinfección con sales de hipoclorito una gran ventaja relativa, aún por encima de la desinfección con cloro gaseoso.

Si se estableciera un orden de elegibilidad para los diferentes sistemas de desinfección anteriormente considerados estaría encabezado por la desinfección con cloro, seguida por la lámpara de luz ultravioleta y en último lugar por la generación de ozono. Esto, teniendo en cuenta en primer lugar el aspecto técnico-práctico y en segundo lugar el factor económico...”

6.4.1 Criterios de Diseño

Tiempo de retención. El tiempo de retención 4 - 5 minutos aproximadamente para la aplicación del cloro.

Solución utilizada. Se trabaja con una solución que se encuentre entre 1000 - 2000 [mg/l].

Dosis. La dosis a aplicar será de 10 [g/m³]

6.4.2 Calculo del consumo de cloro

Cantidad de cloro

$$Cant_{Cl} = QMD * Dosis_{Cl}$$

Cantidad cloro HTH

$$Cant_{HTH} = \frac{Cant_{Cl}}{0.65}$$

6.4.3 Dimensionamiento del Tanque de Contacto

Volumen del Tanque

$$Vol_{Cl} = QMH * t$$

Donde, QMH = Caudal máximo horario
t = Tiempo de contacto

Área

$$A_T = \frac{Vol_{Cl}}{h}$$

Donde, h = Profundidad [m]

Largo y Ancho. La relación Largo/Ancho sugerida es de 4:1, para poder determinar una formula, se tomara una relación teórica a : 1.

$$L_{Cl} = \sqrt{A_T \cdot a} \qquad A_{Cl} = \frac{A_T}{L_{Cl}}$$

6.5 TRATAMIENTO DE LODOS: LECHOS DE SECADO

Para el sistema propuesto la producción de lodos esperada es de 0.2 kg/kg de DBO aplicada, con una concentración de Sólidos del 2% (Materia Seca).

Kilogramo de lodo al día

$$kgLodo / dia = Le * DBO_5$$

Donde, Le = Lodos esperados
DBO₅ = Carga DBO aplicada

Metros cúbicos de lodo al día

$$m^3 Lodo / dia = \frac{kgLodo / dia}{20}$$

Total días

$$T_{dias} = PNS + PAS$$

Donde, PNS = Periodo Normal de Secado

PAS = Periodo Adicional de Seguridad

Volumen a evacuar

$$Vol_{Evac} = T_{dias} * m^3 Lodo / dia$$

Área requerida

$$A_{L_{req}} = \frac{Vol_{Evac}}{hc}$$

Donde, hc = Altura de la capa

Área de lecho

$$A_{Lecho} = \frac{A_{L_{req}}}{NI}$$

Donde, NI = Numero de lechos

Ancho

$$AL = \frac{A_{Lecho}}{LL}$$

Donde, LL = Lado asumido

7 ESTUDIO DEL MUNICIPIO

7.1 SELECCIÓN DEL MUNICIPIO

Para seleccionar el municipio a estudiar, se analizó la población objetivo, teniendo en cuenta los siguientes parámetros:

- Municipio perteneciente a la jurisdicción de la CDMB.
- Se empleara solo la población ubicada en la cabecera urbana municipal.
- El estudio se orientara hacia poblaciones pequeñas, para facilitar el manejo y diseño de la planta piloto que permita desarrollar y evaluar las etapas definidas en el programa de investigación.

Utilizando un estudio realizado por el consorcio ASA FRANCO, contratado por la CDMB, sobre disposición de residuos sólidos y líquidos en los municipios ubicados en su zona de jurisdicción, en el cual se hizo una proyección de la población en las cabeceras municipios desde el año 1998 al año 2018. (Ver Tabla 26).

Tabla 26. Proyección de la población de municipios de jurisdicción de la CDMB.

AÑO	POBLACION PROYECTADA POR MUNICIPIO								
	VETAS	CALIFORNIA	TONA	MATANZA	SURATA	CHARTA	LEBRIJA	RIONEGRO	EL PLAYON
1998	929	475	471	1348	743	643	10032	4937	3998
2003	967	494	490	1431	774	669	10859	5344	4328
2008	1016	519	515	1541	813	704	11989	5900	4778
2013	1068	546	546	1660	854	740	13237	6514	5276
2018	1123	573	573	1789	898	777	14614	7192	5825

Se realizó un promedio aritmético de las poblaciones para el año 2018, descartando los municipios que presentaban una población exagerada para nuestro estudio como fueron Lebrija, Rionegro y Playón, el promedio aritmético nos llevo a escoger un municipio que presentara una población cercana a 1000 habitantes. Con el fin de enfocar nuestro estudio a una población específica que cumpliera los parámetros designados y aplicar nuestro proyecto a una situación real, seleccionamos el municipio de Surata. Todos los datos serán asociados a este municipio.

7.2 MUNICIPIO DE SURATA

7.2.1 Reseña histórica. Habitada en los años de 1622 por la Congregación indios chitareros, y por los españoles; existía un pueblo llamado Cáкота cuyo nombre provenía de los indígenas que allí habitaban; este caserío nació bajo la condición de campamento el cual albergaba a los ávidos buscadores de oro que se aventuraban hacia las minas de La Baja y California. La zona fue asignada como tierras de resguardo por el visitador Juan de Villabona Zubiaurre.

Los indios en 1748 comienzan a trasladarse hacia Bucaramanga y la zona empieza a ser invadida por ganaderos y cultivadores de trigo, los indios deciden retornar en 1772 bajo la protección del cura del valle de Suratá, pero fueron desplazados nuevamente por el visitador Francisco Antonio Moreno quien regreso a la Corona las tierras. Los vecinos asentados en la zona tuvieron que constituirse en parroquia para tomar algo de dominio en la zona.

El 20 de noviembre de 1778 buscan el apoyo del alcalde mayor de la jurisdicción minera de Bucaramanga y Vetas, para erigir la parroquia en el mismo lugar de donde habían sido desplazados los indios. Pero solo hasta 28 de enero de 1783 se dio el auto confirmatorio por el arzobispo- virrey Caballero y Góngora para la fundación de la nueva parroquia convirtiéndose esta el núcleo del nuevo municipio. Hasta octubre de 1792 fueron rematadas las tierras del resguardo suprimido por don Juan Buenaventura Ortiz, alcalde mayor de minas de Bucaramanga, con lo cual se legalizó la propiedad de los colonos de la nueva parroquia.

Acerca de su fundación del municipio de Suratá la historia registra muchos hechos unos dicen que se dio en 1783 gracias a la gestión realizada por Don Pedro de Alonso Pinzón, aunque otros documentos hallados indican que el verdadero impulso para la conformación de este pueblo se originó en 1737, fecha en la cual se inició la creación de la Villa, siendo sus gestores los señores Miguel de Suratá y el cura doctrinero Marco José Moreno, creándose como municipio en 1887.

El decreto dado el 30 de septiembre de 1887 por el gobernador Alejandro Peña Solano para poner el régimen de división territorial en conformidad con la Constitución Nacional de 1886 le otorgó a Suratá su actual categoría municipal, agregando a su territorio la aldea de California.

El nombre del municipio se atribuye a tres posibilidades.

- En memoria de Miguel de Suratá, quien era poseedor de los terrenos existentes.
- Tomados en honor a un pueblo español (Suratá)

- O bien a las denominaciones ancestrales indígenas de Cáкота, Ucatá y Zura

7.2.2 Localización y aspectos generales. El Municipio de Suratá se sitúa al nororiente del departamento de Santander en la Provincia de Soto, en la región denominada Cuenca Superior del río Lebrija, sobre la vía que de Bucaramanga lleva a California pasando por Matanza; a una distancia aproximadamente de 45 km de la ciudad de Bucaramanga. Se sitúa a 10 km de California y 15 km de Matanza. Por su cercanía con la capital del departamento pertenece al área metropolitana y forma parte de la Corporación de Defensa de la Meseta de Bucaramanga. En la Figura 21 se puede observar los municipios aledaños al municipio de Suratá.

El Municipio posee una extensión aproximada de 34.183 Has, de las cuales 58 Has corresponden a la zona urbana. A noviembre de 1998 se tenían registrados 1575 predios, de los cuales 326 corresponden a predios urbanos y 1249 son predios rurales.

Su ubicación por coordenadas geográficas esta entre los 07° 17' de latitud norte y los 72° 53' y 73° 06' de longitud al oeste del meridiano de Greenwich. El municipio se encuentra a una Altura sobre el nivel del mar de 1740 m, tiene una Temperatura Media media de 18.5 °C, la Precipitación Media anual en la zona es de 1074 °C y el Área Municipal es de 368 km².

Según los datos del IGAC, el municipio de Suratá cuenta con 19 veredas; pero para el manejo administrativo, el municipio se encuentra organizado y dividido territorialmente en tres (3) corregimientos, veinticinco (25) veredas y la cabecera municipal. La cabecera municipal esta conformado por 29 manzanas y posee un barrio llamado EL PORTAL que está formado por 3 manzanas.

Figura 21. Municipios que conforman la subregión de Surata.



Fuente: Secretaria de Planeación Departamental

El Municipio de Suratá limita por el:

- Norte :** Con el departamento de Norte de Santander y Vetas.
Se encuentra el Páramo de Angosturas, El Boquerón del Escorial, Cerro Pelado, El Páramo de Loma Grande, el Páramo de Ramirez y el Páramo de Monsalve.
Con Santa Bárbara, se encuentra El Filo, después La Cuchilla de Galán, El Cerro Altogrande, el Filo de Ranpachito y luego hasta encontrar la Cuchilla del Mohán.
- Sur :** Con Charta y Matanza
Con Charta, se encuentra la Cuchilla del Arbolito.
Con Matanza se encuentra la quebrada Vulcaré.

- Este : Con el departamento de Norte de Santander y California
Con California, se encuentra el Páramo de Monsalve, Peña de Locos, el Morro de los Aburridos, Quebrada el Salado, Sitio el Saladito, y la Quebrada Chúmbula.
- Oeste : Con Matanza, Rionegro y el Playón.
Con Rionegro, se encuentra la Cuchilla El Común, Cuchilla del Oriente y el Río Cachirí
Con El Playón, se encuentra el Río Romerito, la quebrada la Popa.

7.2.3 Características físicas del área urbana

Topografía. La totalidad de la extensión del casco urbano se encuentra sobre un terreno inclinado que caracteriza la cuenca del río Suratá. Esta zona forma parte de las tierras montañosas del área occidental de la cordillera oriental correspondiéndole en un 14% un relieve bajo y ondulado, un 44% tierras quebradas y el 42% restante obedece a terrenos escarpados. Con elevaciones superiores a los 3500m sobre el nivel del mar. Se presentan pendientes fuertes.

Geología. El Departamento se encuentra localizado en una región tectónica compleja y dinámica que representa a una zona de influencia entre los límites de las placas tectónicas del caribe y la suramericana, conocida como bloque de Andes del norte o bloque Norandino.

Desde el punto de vista de la caracterización tectónica, la subregión se encuentra en la Provincia de la Cordillera Oriental según clasificación de Clavijo, J. et al. (1993). La Provincia de la Cordillera Oriental se caracteriza por pliegues anticlinales y sinclinales amplios, limitados por fallas inversas y de cabalgamiento, de dirección EN y NW, con inclinación predominante hacia el oriente, conformada por rocas sedimentarias generalmente plegadas, jurásicas y cretácicas.

La Cordillera Oriental constituye una cobertura sedimentaria con cubrimiento de una gran extensión de la cordillera oriental, la cual en el Departamento está restringida a dos bloques, localizados en la parte central y en la región oriental. El bloque central está limitado al oriente por las fallas Riachuelo y Bucaramanga-Santa Marta y al occidente por la falla La Salina, mientras el bloque oriental está limitado al oriente por la falla Servitá y al occidente por las fallas Bucaramanga-Santa Marta y Baraya.

Fuentes de Agua. El sistema hidrológico de la zona está conformado por la cuenca alta del Río Lebrija y se encuentra distribuido en tres Microcuencas Hidrográficas que son la del Río Suratá, el Río Romerito y Río Cachirí. En Suratá se encuentra el río Suratá y las siguientes quebradas Aguasucia, Carbonero, Pedro Alonso y Tabacal.

La parte alta del municipio de Suratá se encuentra ubicada en zonas de microcuencas, con un ecosistema frágil, el cual es muy importante por ser fuentes abastecedoras de agua al área metropolitana de Bucaramanga.

Climatología. La ubicación del municipio sobre el nivel del mar esta entre 1100 y 3000 msnm, se presenta épocas de veranos cortos a principios y mediados del año, con dos períodos de lluvia entre Abril y Junio y otro entre Septiembre y Noviembre, en intermedio de ellos un periodo seco. La temperatura esta relacionada con la altura sobre el nivel del mar, con un gradiente que presente una variación desde -0.49 °C hasta -0.87 °C por cada 100 metros de aumento en altura. Se encuentra los siguientes pisos térmicos se presentan templado, frío y bioclimático páramo; predominando los climas fríos ubicados en sus Holdridge en las zonas de vida Bosque húmedo Montano Bajo y Bosque húmedo Montano. En general el 15.3% de la extensión del municipio corresponde a clima medio, el 65.5% corresponde a clima frío y el 19.2% a clima de páramo.

7.2.4 Características socioeconómicas del área urbana. La principal actividad económica es la agricultura, cultivos de mora, tomate de árbol, curaba, granadilla, papa, café, maíz, entre otros. La minería está representada por minas de caliza y pizarra, hay oro pero se explota de una forma inadecuada. La actividad comercial se genera de los productos de origen agrícola.

Suratá tiene una vocación agroforestal, silvopastoril, agropecuaria y minera, que son la base de la actividad económica de la región; su distribución y comercialización se hacen directamente en Bucaramanga y muy poca en el municipio.

7.2.5 Infraestructura de servicios existentes en el área urbana

Establecimientos públicos. Se dispone de Alcaldía Municipal, Juzgado Promiscuo Municipal, Comando de Policía, Concejo Municipal, Telecom, Instituciones Prestadoras de Servicios de Salud, Correo, Banco Agrario, UMATA, CDMB, Registraduría del Estado Civil, Escuelas y Colegio, Plaza de Mercado, cementerio, Plaza de Ferias y Matadero.

Presencia institucional a nivel departamental y regional. A través de la Contraloría Departamental existe un sistema de control fiscal y la vigilancia de los recursos públicos, y la presencia de la Corporación de Defensa de la Meseta de Bucaramanga C.D.M.B, como entidad regional, se encarga de reglamentar, ejecutar y controlar el uso del suelo y protección del medio ambiente.

Servicio de acueducto. El acueducto esta conformado por dos tanques de almacenamiento de agua, la cual recibe tratamiento permanente por parte del

fontanero quien es el director del acueducto, mensualmente se realiza análisis de laboratorio para determinar si es apta para el consumo de la población.

El agua se transporta por las vías principales, por medio de tubería que a su vez esta conectada por medio de acometidas para llevar el servicio a las viviendas. La cobertura actual es del 80% del total de la población con 196 usuarios y solo 156 cuentan con medidores. La planta de tratamiento tiene una capacidad de 10.000 litros diarios, cuenta con un filtro automático, un desarenador, un floculador y los tanques de almacenamiento.

Servicio de alcantarillado. Sólo existe sistema de alcantarillado en el casco urbano y los tres corregimientos. En otras partes existen algunos pozos sépticos pero son insuficientes. El agua residual es vertida al río Suratá sin tratamiento alguno, existen 132 pozos de desfuegos en el perímetro urbano. El número de viviendas en el municipio es de 196, el sistema de alcantarillado tiene aproximadamente una cobertura actual del 100% en la cabecera municipal con una población de 792 habitantes. El alcantarilla es sistema combinado, en la actualidad el estado de las redes es regular, según información de la oficina de Aguas y Saneamiento Básicos.

Servicio electrificación. Este servicio es suministrado por la Electrificadota de Santander, en la zona urbana el 95% de las viviendas posee este servicio. Y en la zona rural solo se cubre el 70% del servicio de energía eléctrica.

Servicio de aseo. La eliminación de los residuos humanos en un 76% se hace por medio de servicios sanitarios, el 3% por letrinas y el 21% a campo abierto. El destino de las aguas residuales se realiza a campo abierto, a excepción del 24% de las U.F.P. que tienen su pozo séptico. En cuanto a los residuos de los animales son reutilizados como abono para los cultivos en la zona, aunque tan solo 54% de la población la utilizan, el 38% las queman y el 8% son arrojados a las fuentes de agua generando contaminación.

La recolección de la basura se realiza una sola vez por semana en una volqueta del municipio para después ser llevadas al basurero el carrasco en la ciudad de Bucaramanga.

7.2.6 Contaminación ambiental en el área urbana

Contaminación del suelo. La falta de una infraestructura para la disposición final de los desechos que se originan de las labores cotidianas de la población (basuras), el no existir un lugar determinado para la eliminación de estas, la poca cobertura y recolección permanente de todos los desechos por parte del municipio, incita que la comunidad se encargue de eliminarlas ya sea arrojándolas

a las fuentes de agua o quemándolos, lo cual origina contaminación en el medio ambiente.

Contaminación del agua. En la comunidad se considera que la calidad del agua para consumo humano y las demás labores cotidianas, es la causa principal de los problemas de salud y las enfermedades infecciosas que padece la población en el municipio de Suratá.

Las aguas negras en su gran mayoría de las viviendas rurales y urbanas son vertidas a campo abierto o de manera directa al río Suratá o a las quebrada aledañas. La contaminación es producida por aguas residuales domésticas y pecuarias, especialmente de la cría de cerdos, o en algunos casos debida a la explotación inadecuada de la minería. La Tabla 27 nos muestra las principales fuentes de contaminación que presentan las microcuencas del municipio de Suratá.

Tabla 27. Problemas que causan el deterioro del recurso agua.

MICROCUENCA	CONTAMINACION				
	Deforestación	Aguas Negras	Basuras	Lavandería Minera	Desechos Industriales
SURATA ALTO ALTO	SI	SI	SI	SI	NO
SURATA ALTO BAJO	SI	SI	SI	SI	NO
RIO CACHIRI	SI	SI	SI	SI	NO
RIO ROMERITO	SI	SI	SI	SI	NO

Fuente: Programa Agropecuario Municipio de Suratá. 1993 - 1996

Contaminación del aire. El municipio de Surata, no presenta problemas de emisiones de gases industriales, sin embargo, el deficiente manejo pecuario en la cría del cerdo, presenta producción de malos olores por el problema de las cocheras y alimentos almacenados para los cerdos.

7.3 ANALISIS DEL RECURSO AGUA

A continuación se presentara el procedimiento que se empleo para la caracterización de las aguas residuales municipales. Que permiten definir parte

de los criterios de diseño que se emplean en las diferentes etapas que componen una planta de tratamiento de agua residual. Los aportes unitarios que se definan en los muestreos de caracterización de la fuente, servirán para realizar la proyección al futuro de los vertimientos que se realizan en el municipio.

7.3.1 Caracterización del efluente. El programa de aforo y muestreo en el municipio, se realizó tomando muestras compuestas en las principales descargas de aguas residuales municipales por un período de 24 horas y muestras puntuales en los cuerpos receptores antes y después de los vertimientos. En Suratá fue necesario caracterizar dos puntos de muestreo, correspondientes a las descargas finales del sistema de alcantarillado, ante la existencia de varias descargas importantes.

Los resultados de las mediciones de campo fueron procesados y tabulados para facilitar el procesamiento y análisis de los datos. A continuación se hace un resumen de los principales parámetros evaluados.

7.3.2 Producción de aguas residuales. Con respecto a la cantidad de agua residual producida por las diferentes municipalidades los resultados de las mediciones de campo que incluyen caudal, temperatura y pH permiten establecer las siguientes consideraciones:

El caudal total se tomó como la suma de los caudales registrados en los dos puntos de descarga.

El caudal mínimo de aguas residuales, se registró a las 03:00 a.m., su valor fue de 1.05 L/s. Dicho flujo se atribuye a caudal de infiltración y vertimientos de los sistemas de abastecimiento de agua, ocasionado por el bajo consumo.

Para la determinación del caudal doméstico, se descontó a los registros el caudal mínimo registrado.

En la Tabla 28 se muestra los registros tomados. En las Figuras 22, 23 y 24 las variaciones de los registros con respecto al tiempo.

Tabla 28. Mediciones de campo descarga final Municipio Surata

HORA	T. AMB. (°C)	T. AGUA (°C)	pH Unid.	ENTREGA 1 (Litros/seg)	ENTREGA 2 (Litros/seg)	CAUDAL TOTAL (Litros/seg)	Q. DOMESTICO (Litros/segundo)
10:00	26	22	7.2	1.73	0.76	2.48	1.44
11:00	26	22	7.2	0.42	0.63	1.05	0.00
12:00	27	22	7.2	0.98	0.67	1.65	0.60
13:00	27	22	7.2	0.63	0.62	1.25	0.20
14:00	26	21	7.2	1.32	0.98	2.30	1.25
15:00	26	20	7.2	0.85	1.04	1.89	0.85
16:00	23	19	7.2	1.73	1.78	3.50	2.46
17:00	21	20	7.2	1.27	0.76	2.03	0.98
18:00	21	20	7.2	1.07	1.14	2.21	1.16
19:00	20	20	7.2	1.02	0.58	1.60	0.56
20:00	21	20	7.2	1.02	0.50	1.53	0.48
21:00	21	20	7.2	1.02	0.47	1.49	0.45
22:00	21	20	7.2	1.02	0.38	1.41	0.36
23:00	21	20	7.2	1.07	0.38	1.45	0.41
00:00	20	20	7.2	1.07	0.38	1.45	0.40
01:00	19	20	7.2	1.07	0.39	1.46	0.41
02:00	16	20	7.4	0.85	0.40	1.25	0.20
03:00	15	20	7.4	0.66	0.39	1.05	0.00
04:00	16	20	7.4	0.85	0.37	1.23	0.18
05:00	16	20	7.4	1.22	0.39	1.60	0.56
06:00	18	21	7.2	2.06	1.10	3.16	2.11
07:00	20	20	7.2	1.38	0.61	1.99	0.94
08:00	21	21	7.2	1.54	0.69	2.23	1.19
09:00	23	20	7.2	1.73	1.82	3.55	2.50
PROMEDIO	21.29	20.42	7.23	1.15	0.72	1.87	0.82
MÁXIMO	27.00	22.00	7.40	2.06	1.82	3.55	2.50
MÍNIMO	15.00	19.00	7.20	0.42	0.37	1.05	0.00

Fuente: ASA-FRANCO. 13 y 14 de Mayo de 1997.

Figura 22. Caudal domestico y total.

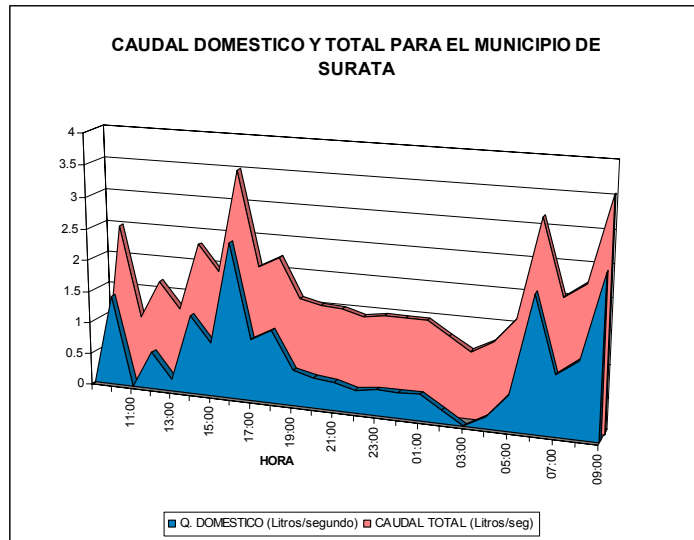


Figura 23. Variación de caudales.

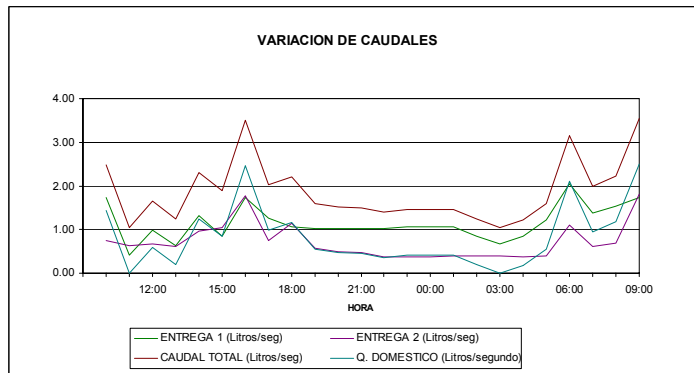
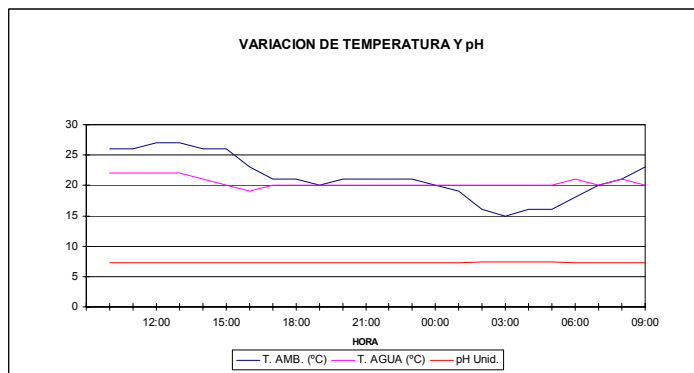


Figura 24. Variación de temperatura y pH



Las tablas con las mediciones de campo, para cada uno de los municipios del área de jurisdicción de la CDMB, se encuentran en el Anexo F.

7.3.3 Aportes per cápita. En su informe ASA-FRANCO calcularon los aportes unitarios, teniendo en cuenta las coberturas de alcantarillado y la población del municipio en el momento del muestreo. Utilizando los caudales medidos y la concentración reportada por el laboratorio de la CDMB determinaron los aportes per cápita para los siguientes parámetros: caudal, DBO5, DQO, Sólidos Suspendidos y Coliformes totales y fecales.

Comparando los aportes per capita del municipio de Suratá con los de la región se encontraron valores altos, lo cual podría evidenciar una subestimación de la población. En la Tabla 29 se muestra los aportes per cápita.

7.3.4 Calidad del cuerpo receptor. En el informe de ASA FRANCO se señala que los vertimientos realizados a los cuerpos receptores ocasionan un bajo grado de contaminación por carga orgánica, debido al elevado factor de dilución. En el caso de los coliformes, se observa un grave efecto sobre la calidad del agua, lo que justificaría, la implementación de un sistema de desinfección. Sin embargo, para poder aplicar desinfección es requisito indispensable efectuar la remoción previa de la materia orgánica en un alto porcentaje, siendo necesaria la implementación de un tratamiento secundario, ante el riesgo que representa la posible formación de trihalometanos si se aplica cloración al agua cruda. En la Tabla 30 se puede observar los monitoreos realizados aguas arriba y aguas debajo de los vertimientos al cuerpo receptor.

Tabla 29. Resumen de aportes per capita municipio Surata 1997.

	PERIODO	CAUDAL MEDIO		DBO		DQO		SST		COLITOTALES		COLIFECALES	
	HORAS	l/s	m ³ /d	mg/l	kg/d	mg/l	kg/d	mg/l	kg/d	NMP/100 ml	NMP/d	NMP/100 ml	NMP/d
ENT 1	10:00-17:00	1.12	32.15	138	4.44	284	9.13	172	5.53	4.60E+07	1.48E+15	2.40E+07	7.72E+14
	18:00-01:00	1.05	30.10	22	0.66	496	14.93	312	9.39	7.50E+07	2.26E+15	7.50E+07	2.26E+15
	02:00-09:00	1.29	37.04	413	15.30	868	32.15	530	19.63	1.10E+08	4.07E+15	2.40E+07	8.89E+14
	TOTAL 1		99.29		20.40		56.21		34.55		7.81E+15		3.92E+15
ENT 2	11:00-18:00	0.95	27.43	80	2.19	180	4.94	100	2.74	1.50E+07	4.11E+14	1.50E+07	4.11E+14
	19:00-02:00	0.44	12.53	28	0.35	76	0.95	52	0.65	4.60E+07	5.76E+14	4.30E+06	5.39E+13
	03:00-010:00	0.77	22.07	120	2.65	264	5.83	164	3.62	9.30E+06	2.05E+14	2.30E+06	5.08E+13
	TOTAL 2		62.03		5.19		11.72		7.01		1.19E+15		5.16E+14
	APORTE PERCAPITA				43.46		115.37		70.60		1.529E+16		7.53E+15

Tabla 30. a al cuerpo receptores del municipio Surata 1997

	CAUDAL MEDIO		DBO		DQO		SST		COLITOTALES		COLIFECALES	
	l/s	m ³ /d	mg/l	kg/d	mg/l	kg/d	mg/l	kg/d	NMP/100 ml	NMP/d	NMP/100ml	NMP/d
Antes del vertimiento	2281.53	197124.19	0.4	78.85	5	985.62	50	9856.21	2.40E+04	4.73E+15	4.60E+03	9.07E+14
TOTAL		197124.19		78.85		985.62		9856.21		4.73E+15		9.07E+14
Despues del vertimiento	2283.40	197285.76	0.5	98.64	5.5	1085.07	312	61553.16	1.50E+05	2.96E+16	7.30E+04	1.44E+16
TOTAL		197285.76		98.64		1085.07		61553.16		2.96E+16		1.44E+16

8 CONCLUSIONES

- La contaminación de los cuerpos hídricos de los Municipios, ubicados dentro del área de jurisdicción de la CDMB, presentan una contaminación incipiente debido a la dilución de la carga contaminante, sin embargo a futuro se pueden presentar procesos de eutrofización.
- El diseño preliminar que se propone muestra una disminución en las dimensiones del sistema de tratamiento, no obstante se debe evaluar su funcionamiento y desempeño en las condiciones ambientales y con el medio propuesto.
- Se debe trabajar en el diseño de un plan de monitoreo del reactor, donde se definan las pruebas, intensidad y localización, para obtener la mayor cantidad de información que permita evaluar la respuesta del sistema ante las variaciones que puedan sufrir los parámetros de operación.
- Después de las pruebas realizadas en la Fase inicial, la Luffa Operculata se perfila como un buen medio de soporte en el Contactor Biológico Rotativo, debido a su alta superficie específica y adaptabilidad a las condiciones climáticas.
- En Colombia se cuenta con los equipos y materiales que se requieren para la construcción y puesta en marcha de un sistema de RBC pero se hace necesario el desarrollo de investigaciones que lleven al apropiamiento de esta tecnología.
- La utilización de un medio con mayor superficie específica, como la Luffa Operculata, genera una disminución en el tiempo de remoción y un aumento de la carga hidráulica, los cuales deben ser enfrentados con los porcentajes de remoción durante la operación de la planta, debido a que se encuentran fuera de los rangos recomendados por la literatura, sin embargo cabe recordar que estos rangos son extraídos de parámetros de operación de otras plantas.

- La dificultad en la extrapolación de los resultados obtenidos en pequeñas plantas piloto a sistemas de mayor complejidad, por este motivo se hace necesario la realización de investigaciones a mayor escala.
- El Departamento de Santander presenta una considerable deficiencia en el manejo de los vertimientos manifiesta en la inexistencia de plantas de tratamiento en 75 de los 87 municipios. Adicionalmente en las plantas existentes se evidencia la falta de compromiso gubernamental, por parte de las administraciones locales, en su mantenimiento y operación, ya que de 12 plantas existentes se encuentran 5 en regular estado y 1 en malas condiciones.
- Se requiere incluir en los programas de desarrollo Nacional, el tratamiento de las aguas residuales municipales, como un requisito para alcanzar un desarrollo sostenible que mejore la calidad de vida de la comunidad.
- Es necesaria la difusión por todos los medios a nuestro alcance de los valores ambientales, para detener el deterioro de nuestros recursos hídricos y la afectación de los ecosistemas.

9 RECOMENDACIONES

- Se hace necesario, el compromiso de la Escuela de Ingeniería Civil para impulsar un grupo de investigación ambiental, cuyo objetivo sea el apropiamiento y generación de tecnología, por medio de la investigación y desarrollo, que se encargue de abordar temas con proyección social.
- Las investigaciones de alto impacto son muy complejas, por lo cual deben ser distribuidas en varias investigaciones dirigidas por programas de investigación estructurados y organizados, Recomendamos por lo tanto un cambio de enfoque en la investigación que se esta desarrollando en la Escuela de Ingeniería Civil, para que sean presentados y abordados mas proyectos de investigación que conlleven a la construcción de conocimiento.
- El programa de investigación es una hoja de ruta, no se debe concebir como algo estático, las investigaciones propuestas pueden ser ampliadas a partir de los resultados obtenidos durante su desarrollo.
- Los protocolos de laboratorio establecidos, son una guía procedimental para el desarrollo de las pruebas de caracterización que pueden ser modificadas o complementadas, sin embargo todos estos cambios deben ser debidamente documentados para contribuir a su reproducibilidad.

BIBLIOGRAFIA

AREVALO MUÑOZ, David Andrés; CASTRO VILLAVECES, Cesar Manuel. Montaje, seguimiento y modelación de un sistema de biodiscos para el tratamiento de aguas residuales domesticas, Bucaramanga, 1999.

ASA FRANCO. Estudio y Diseño de los Sistemas de Manejo y Disposición de los Residuos Sólidos y Líquidos en Municipios del Área de Jurisdicción de la CDMB, 1997.

CRITES, Ron y TCHOBANOGLIOUS, George. Tratamiento de Aguas Residuales en Pequeñas Poblaciones. Mc Graw Hill,

GLYNN, Henry y GARY W., Heinke. Ingeniería Ambiental. Segunda edición. 1999; Pág 337.

ICA. Producción Agrícola. Biblioteca del ICA

METCALF y EDDY. Tratamiento y depuración de las aguas residuales. McGraw Hill.

MINISTERIO DE AGRICULTURA. Decreto 1594 del 26 de junio de 1984,

MINISTERIO DE DESARROLLO ECONÓMICO. Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico, Sección II, Título E, Tratamiento de Agua Residual, 2000.

MUNICIPIO DE SURATA. Documento Técnico EOT, Informe de Diagnosticó del municipio de Suratá, 2004.

PUENTES BRUGES, Jairo y CAMARGO HERMANDEZ, Jaime. Proyecto Capacitación para Profesionales del Sector Ambiental, Memorias del Curso Evaluación y Manejo de la Contaminación Urbana, 7 – 11 de Abril de 1997. ISSN 0123-2401

ROMERO ROJAS, Jairo Alberto. Tratamiento de Aguas Residuales, Teoría y principio de diseños. Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería, ISBN 958-8060-13-3; Colombia, 2000.

ULLOA SANTAMARÍA, J.J. El agua residual. Parámetros caracterizadores. Curso sobre tratamiento de aguas residuales, basura y escombros en el ámbito rural; Madrid, 1991.

UNESCO. WATER FOR PEOPLE, WATER FOR LIFE Executive Summary of the UN World Water Development Report. Paris, France: Primera edición. 2003.

Paginas Web

<http://unesdoc.unesco.org/images/0012/001295/129556s.pdf>
Informe de la ONU, indicadores demográficos y estadísticas de uso del agua.

<http://www.infoforhealth.org/pr/prs/sm14/sm14chap1.shtml#top>
Crisis del agua, demanda y suministro, disponibilidad y el uso del agua.

<http://www.fao.org/ag/esp/revista/0303sp1.htm>
Informe de la FAO sobre la gestión ambiental para el 2030.

www.cepis.ops-oms.org/eswww/eva2000/colombia/informe/inf-00.htm
Informe Colombia

<http://www.ugr.es/~mita/intro.PDF>

<http://www.ecuarural.gov.ec/acuagro/paginas/culprom/paste/Paste.htm>

http://www.mag.go.cr/biblioteca_virtual_ciencia/tec_paste.pdf

ANEXOS

ANEXO A. Cuadro situación actual de la cobertura de alcantarillado y plantas de tratamiento en los municipios del Departamento de Santander.

Fuente: Gobernación de Santander

Se anexa hoja de cálculo en formato Excel COBERTURA_SANTANDER.xls

ANEXO B. Protocolo de laboratorio para los ensayos de caracterización preliminar de la Luffa Operculata

ANEXO B.1. MÉTODO PARA LA DETERMINACION DE LA DENSIDAD APARENTE EN LUFFA OPERCULATA

1 GENERALIDADES

- 1.1 Este método tiene por objeto establecer el procedimiento para determinar la densidad aparente de una rodaja de Luffa Operculata utilizando la comparación con un material homogéneo seleccionado.
- 1.2 Este ensayo puede involucrar materiales, maniobras y equipos peligrosos, sin embargo no implica referirse a todos los problemas de seguridad asociados con su empleo. Es responsabilidad del usuario constatar antes de su utilización, las prácticas y las condiciones tanto de seguridad como de sanidad, así como determinar su aplicación.¹

2 DEFINICIONES

- 2.1 **Volumen Aparente:** Se define como el volumen ocupado por un sólido permeable cuando se incluye, en su medición, el espacio ocupado por los vacíos que hacen parte de su estructura.
- 2.2 **Densidad Aparente:** Se define como la relación entre la masa y el volumen aparente de un cuerpo.

3 MATERIALES

- 3.1 **Balines:** Material uniforme redondeado seleccionado para el ensayo, con un diámetro 6.24 mm.
- 3.2 **Luffa Operculata:** Material natural recortado en rodajas de 2 cm de espesor, recubierto en su parte superior con una lamina de acetato.
- 3.3 **Agua:** Liquido incompresible utilizado para aforar el recipiente.
- 3.4 **Arena de Ottawa:** pasa tamiz 0.59 mm (ASTM No.30) y retiene 0.149 mm (ASTM No.100).

¹ Normas del Instituto Nacional de Vías.

4 EQUIPO

- 4.1 **Balanza:** Con capacidad adecuada y sensibilidad suficiente para que los pesos de los especímenes se obtengan con precisión de 0.1 g.
- 4.2 **Probeta:** Cilindro de vidrio graduado, con una amplia base, se utiliza para medir el volumen del agua, graduada con una precisión de 1 ml.
- 4.3 **Recipientes, termómetro, regla y martillo de goma**

5 PROCEDIMIENTO

- Tomar el peso del recipiente escogido
- Con un vaso graduado medir 100 ml de agua, tomar su temperatura y depositarlos en el recipiente. Tomar el nuevo peso para determinar el peso del agua.
- Con los datos anteriores determinar la densidad del agua utilizando la siguiente fórmula

$$d_{\text{agua}} = \frac{m_{\text{agua}}}{V_{\text{agua}}}$$

d_{agua} = Densidad del agua en las condiciones actuales. [g/ml]
 m_{agua} = Masa del agua. [g]
 V_{agua} = Volumen de agua. En este caso 100 mililitros

- Repetir 3 veces más el procedimiento anterior para determinar un valor promedio. La temperatura del agua no debe presentar altas variaciones.
- Después de determinar la densidad promedio del agua, llenar el recipiente a su capacidad máxima, y pesarlo para determinar la masa de agua que contiene.
- Con ayuda de la densidad, evaluar el volumen del recipiente, utilizando la siguiente fórmula

$$V_{\text{rec}} = \frac{m_{\text{agua}}}{d_{\text{agua}}}$$

V_{rec} = Volumen del recipiente [ml]
 m_{agua} = Masa de agua contenida en el recipiente. [g]
 d_{agua} = Densidad del agua en las condiciones actuales. [g/ml]

- Repetir 3 veces más el procedimiento anterior para determinar un valor promedio.
- Llenar con balines el recipiente, permitiendo que sobrepasen su borde, golpear con el martillo de goma 10 veces el recipiente y enrasar con una regla; posteriormente pesarlo para determinar la masa de los balines que contiene. Desalojar los balines del recipiente y repetir 15 veces la medición para determinar un valor promedio.
- Con ayuda del volumen del recipiente, evaluar la densidad de los balines.

$$d_{\text{bal}} = \frac{m_{\text{bal}}}{V_{\text{rec}}}$$

d_{bal} = Densidad de la balines. [g/ml]
 m_{bal} = Masa promedio de balines, recipiente lleno. [g]
 V_{rec} = Volumen del recipiente [ml]

- Colocar la rodaja de estropajo en el centro del recipiente y rodearlo de balines, respetando el espacio interior de la rodaja, golpear con el martillo de goma 10 veces y enrasar con una regla, tomar el peso del sistema. Repetir este paso, 15 veces en total, para determinar un valor promedio.
- Para determinar el volumen de balines desplazados por la rodaja de Luffa Operculata, se aplica la siguiente formula a cada uno de los valores obtenidos en el numeral anterior y realizar el promedio.

$$m_{\text{bal_des}} = m_{\text{rec}} + m_{\text{bal}} + m_{\text{Luffa}} - m_{\text{rec+bal+Luffa}}$$

$m_{\text{bal_des}}$ = Masa de balines desplazados. [g]

m_{rec} = Masa del recipiente vacio. [g]

m_{bal} = Masa promedio de los balines, recipiente lleno. [g]

m_{Luffa} = Masa de la rodaja de Luffa Operculata. [g]

$m_{\text{rec+bal+Luffa}}$ = Masa del sistema recipiente, balines y Luffa. [g]

- Para determinar el volumen aparente de la rodaja de Luffa Operculata, se aplica la siguiente formula

$$V_{\text{aparente}} = m_{\text{bal_des}} / d_{\text{bal}}$$

V_{aparente} = Volumen aparente de la rodaja de Luffa [ml]

$m_{\text{bal_des}}$ = Masa promedio de balines desplazados. [g]

d_{bal} = Densidad de la balines. [g/ml]

- Para determinar la densidad aparente de la rodaja de Luffa Operculata, se aplica la siguiente formula

$$d_{\text{aparente}} = m_{\text{Luffa}} / V_{\text{aparente}}$$

d_{aparente} = Densidad aparente de la rodaja de Luffa [ml]

m_{Luffa} = Masa de la rodaja de Luffa Operculata. [g]

V_{aparente} = Volumen aparente de la rodaja de Luffa [ml]

- La densidad aparente de la Luffa Operculata se halla realizando un promedio de las densidades halladas para cada rodaja analizada.

6 RECOMENDACIONES

- Se recomienda realizar el ensayo por lo menos a 3 rodajas por fruto de Luffa Operculata
- Para garantizar la representabilidad del volumen aparente obtenido, se recomienda realizar el ensayo a varios frutos. La determinación de la cantidad de frutos a utilizar en el ensayo se determinara usando parámetros estadísticos, relacionados con el tamaño de la cosecha en estudio.

ANEXO B.2. MÉTODO PARA LA DETERMINACION DE LA SUPERFICIE ESPECIFICA EN LUFFA OPERCULATA

1 GENERALIDADES

- 1.1 Este método tiene por objeto establecer el procedimiento para determinar la superficie específica de la Luffa Operculata, realizando la simplificación geométrica de las fibras en cintas.
- 1.2 Este ensayo puede involucrar materiales, maniobras y equipos peligrosos, sin embargo no implica referirse a todos los problemas de seguridad asociados con su empleo. Es responsabilidad del usuario constatar antes de su utilización, las prácticas y las condiciones tanto de seguridad como de sanidad, así como determinar su aplicación.²

2 DEFINICIONES

- 2.1 **Superficie Específica:** Se define como la superficie total de un sólido permeable cuando se incluye, en su medición, las caras internas que hacen parte de su estructura.
- 2.2 **Densidad Aparente:** Se define como la relación entre la masa y el volumen aparente de un cuerpo.

3 MATERIALES

- 3.1 **Luffa Operculata:** Material natural al cual se le recortan fibras que conforman su entramado. Las fibras seleccionadas deben proceder de diferentes zonas del fruto y no deben presentar bifurcaciones.

4 EQUIPO

- 4.1 **Balanza:** Con capacidad adecuada y sensibilidad suficiente para que los pesos de los especímenes se obtengan con precisión de 0.0001 g.
- 4.2 **Calibrador:** Equipo de medición con precisión de 0.01 mm.
- 4.3 **Tijeras**

² Normas del Instituto Nacional de Vías.

5 PROCEDIMIENTO

- Recortar las fibras del fruto de Luffa seleccionado, teniendo en cuenta tomar fibras de la periferia y el centro, definir una fibra principal sin variaciones importantes en su espesor y cortarlas todas las ramificaciones.
- Colocar las fibras en bolsitas individuales que permitan su identificación por medio de números. No se deben tratar de fijar con cinta pegante, estas dejan residuos de pegante en la fibra y debido a la gran precisión de la balanza empleada, los residuos afectarán los resultados.
- Tomar el peso de cada fibra en la balanza electrónica siguiendo atentamente las indicaciones para su correcto uso.
- Medir con el calibrador la longitud y el espesor de la fibra, con estos datos calcular el área con la siguiente fórmula

$$A_{\text{fibra}} = 2 \cdot L_{\text{fibra}} \cdot e_{\text{fibra}}$$

$A_{\text{fibra}} =$	Área de la fibra [mm^2]
$L_{\text{fibra}} =$	Longitud de la fibra [m]
$e_{\text{fibra}} =$	Espesor de la fibra [m]

- Realizar una gráfica de la Área vs. Peso para las fibras del estudio donde se aproximen los datos a una recta y determinar el coeficiente de correlación de la gráfica.
- Con la densidad aparente calcular el peso de 1 m^3 de Luffa Operculata.
- Reemplazar este dato en la ecuación hallada de la gráfica de Área vs. Peso, realizar las conversiones necesarias para expresar el resultado en m^2/m^3 , este dato es la superficie específica.

6 RECOMENDACIONES

- Se recomienda seleccionar por lo menos 25 fibras por cada fruto de Luffa Operculata seleccionado
- Para garantizar la representabilidad de la superficie específica obtenida, se recomienda realizar el ensayo a varios frutos. La determinación de la cantidad de frutos a utilizar en el ensayo se determinará usando parámetros estadísticos, relacionados con el tamaño de la cosecha en estudio.

ANEXO C. Cuadro de diseño sistema de tratamiento de aguas residuales domesticas utilizando el RBC como tratamiento secundario

Los datos de diseño corresponden al Municipio de Surata con un periodo de diseño de 20 años. Se sigue la metodología propuesta en el Capitulo 6.

DATOS BASICOS			
Poblacion a tratar		P = 986	[hab]
Consumo por habitante		C = 200.00	[L/hab/día]
Coeficiente de retorno		R = 0.90	
Aportes domesticos	$AD = \frac{R * P * C}{86400}$	AD = 2.05	[L/s]
Aporte comercial, industrial e institucional		AC+AI+AIT = 0.00	[L/s]
Caudal medio diario de A.R	$QMD = AD + AC + AI + AIT$	QMD = 2.05	[L/s]
Coeficiente de mayoracion		F = 1.76	
Caudal máximo horario	$QMH = F * Q_{Mdf}$	QMH = 3.61	[L/s]
Area del Municipio		Amunicipio = 6.58	[Ha]
Coeficiente de infiltracion		Ci = 0.40	[L/s/ha]
Caudal de infiltración	$Qi = Ci * A$	Qi = 2.63	[L/s]
Coeficiente de conexiones erradas		Cce = 50.0	[L/hab/día]
Factor multiplicador conexiones erradas, para residencial o com, indus, inst respectivamente		S = 0.0114	[hab*día/s]
	$S = \frac{P}{86400} \quad S = \sum Acom + Aind + Ainst$		
Caudal de conexiones erradas	$Qce = Cce * S$	Qce = 0.57	[L/s]
Caudal de diseño	$Qd = QMH + Qi + Qce$	Qd = 6.81	[L/s]
Caudal minimo		Qmin = 1.70	[L/s]
Carga organica unitaria		COun = 43.50	[g/hab/dia]
Demanda biologica de oxigeno	$DBO_5 = \frac{COun * P}{1000}$	DBO ₅ = 42.89	[kgDBO ₅ /dia]
DBO ₅ calculada	$DBO_{5cal} = \frac{DBO_5}{QMD * 86400 / 1'000.000}$	DBO ₅ cal = 241.67	[mg/lt]
DBO ₅ monitoreada		DBO ₅ mon = 286.33	[mg/lt]
Eficiencia de remocion		80.00	[%]

DIMENSIONAMIENTO DE LAS DIVERSAS UNIDADES DEL SISTEMA

TRATAMIENTO PRELIMINAR

Cribado

Rejilla gruesa

Caudal de diseño	Qd =	6.81	[L/s]
Numero de unidades operando en simultaneo	Unid_G =	1	
Ancho de cada rejilla	A_G =	0.40	[m]
Ancho util de la estructura	Autil_G =	0.40	[m]
Coeficiente de forma de la rejilla	B_G =	1.67	
Separacion entre barras	sb_G =	0.030	[m]
Espesor entre barras	eb_G =	0.005	[m]
Velocidad de aproximacion	Vap_G =	0.30	[m/s]
Angulo de inclinacion	Ang_G =	70.00	[grados]
Profundidad de agua a la entrada	Pent_G =	0.057	[m]
Perdidas en la rejilla limpia	Hlim_G =	0.001	[m]
Porcentaje de obstruccion	Pobs_G =	25%	
Perdidas en la rejilla con obstruccion	Hobs_G =	0.001	[m]
Profundidad de agua despues de la rejilla	Pdes_G =	0.056	[m]
Profundidad media del agua	Pmed_G =	0.056	[m]
Velocidad media a través de la rejilla	Vmed_G =	0.30	[m/s]
Velocidad a la salida de la rejilla	Vsal_G =	0.31	[m/s]

Rejilla fina

Caudal de diseño	Qd =	6.81	[L/s]
Numero de unidades operando en simultaneo	Unid_F =	1	
Ancho de cada rejilla	A_F =	0.40	[m]
Ancho util de la estructura	Autil_F =	0.40	[m]
Coeficiente de forma de la rejilla	B_F =	1.67	
Separacion entre barras	sb_F =	0.010	[m]
Espesor entre barras	eb_F =	0.005	[m]
Velocidad de aproximacion	Vap_F =	0.31	[m/s]
Angulo de inclinacion	Ang_F =	70.00	[grados]
Profundidad de agua a la entrada	Pdes_G =	0.056	[m]
Perdidas en la rejilla limpia	Hlim_F =	0.003	[m]
Porcentaje de obstruccion	Pobs_F =	25%	
Perdidas en la rejilla con obstruccion	Hobs_F =	0.005	[m]
Profundidad de agua despues de la rejilla	Pdes_F =	0.050	[m]
Profundidad media del agua	Pmed_F =	0.053	[m]
Velocidad media a través de la rejilla	Vmed_F =	0.32	[m/s]
Velocidad a la salida de la rejilla	Vsal_F =	0.34	[m/s]

Desarenador

Criterios de diseño		
Carga Superficial adoptada		CSasum = 30.0 [m ³ /m ² /h]
Dispositivo de Salida y control		= Vertedero Sutro
Numero de Unidades		Nud = 1
Dimensionamiento del Canal		
Caudal medio diario de AR		QMD = 177.48 [m ³ /dia]
Velocidad		V = 0.3 [m/s]
Area requerida	$A_{req} = \frac{QMD}{CSasum}$	Areq = 0.25 [m ²]
Largo	$Ld = \sqrt{A_{req} * a}$	Ld = 0.86 [m]
Ancho	$Ad = \frac{A_{req}}{Ld}$	Ad = 0.29 [m]
Profundidad	$Hd = \frac{QMD}{V * Ad}$	Hd = 0.03 [m]
Vertedero Sutro		
Velocidad constante		Vvs = 0.3 [m/s]

TRATAMIENTO SECUNDARIO

Biorotor

CRITERIOS DE DISEÑO		
Estructura Del Medio EM		
La forma de la estructura es un paralelepipedo, axaxb con un b variable.		
Lados		a = 0.08 [m]
Unidad De Soporte Para El Medio USM		
Material a utilizar: Malla de acero revestida con PVC		
Longitud de soporte		Ls = 0.40 [m]
Diametros del biorotor		Db = 1.60 [m]
Contactor Biologico Rotativo RBC		
Carga organica aplicada 1a etapa		Capli = 25.0 [gDBO/m ² -dia]
Superficie especifica del relleno		Sup = 315 [m ² /m ³]
Area de contacto	$Ac = \frac{DBO_5}{Capli}$	Ac = 1715.64 [m ²]
Volumen del biorotor	$Vb = \frac{Ac}{Sup}$	Vb = 5.45 [m ³]
Area de la seccion transversal	$Ab = \frac{\pi * Db^2}{4}$	Ab = 2.02 [m ²]
Longitud del medio	$Lmt = \frac{Vb}{Ab}$	Lmt = 2.70 [m]
Numero de USM	$N_{USM} \geq \frac{Lmt}{Ls}$	N _{USM} = 7 [unid]
Longitud de cada modulo		Lmod = 2.00 [m]
Numero de USM por modulo	$N_{USM\ mod} = \frac{L\ mod}{Ls + 0.1}$	N _{USMmod} = 4 [unid]
Numero de modulos	$N^\circ\ mod = \frac{N_{USM}}{N_{USM\ mod}}$	N ^o mod = 2 [unid]

DIMENSIONAMIENTO DEL MODULO			
Distancia libre Batea y Discos	$e = Db * 0.05$	e =	0.10 [m]
Ancho del modulo	$Am = Db + e * 2$	Am =	1.80 [m]
Sumergencia		Sum =	40.00 %
Profundidad util	$Hum = Db * Sum + e$	Hum =	0.8 [m]
Teta	$\theta = 2 * ACOS \left(1 - 2 \frac{Hum}{Am} \right)$	θ =	2.92 [rad]
Area util	$Autil = \frac{Am^2}{8} (\theta - SEN \theta)$	Autil =	1.09 [m ²]
Volumen Util	$Vum = Ls \cdot N_{USM \text{ mod}} \cdot Autil$	Vum =	1.75 [m ³]
Tiempo de retencion hidraulica	$Tr = \frac{Vum}{(QMD / N^{\circ} \text{ mod})}$	Tr =	28.4 [min]
Carga hidraulica	$Ch = \frac{QMD}{AC}$	Ch =	0.11 [m ³ /m ² /dia]

Clarificador

Carga superficial adoptada		Csadop =	20 [m ³ /m ² /dia]
Dimensiones por módulo			
Caudal por módulo	$Qm = \frac{QMD}{N^{\circ} \text{ mod}}$	Qm =	88.74 [m ³ /dia]
Area del clarificador	$Aclar = \frac{Qm}{C_{sadop}}$	Aclar =	4.44 [m ²]
Lado del cuadrado	$Lc = Ac^{0.5}$	Lc =	2.11 [m]
Angulo de las paredes del clarificador		Δ =	50
Lado del fondo clarificador		Lf =	0.50 [m]
Profundidad de tolva	$Ht = \left(\frac{Lc}{2} - \frac{Lf}{2} \right) * Tan \Delta$	Ht =	0.96 [m]

POSTRATAMIENTO

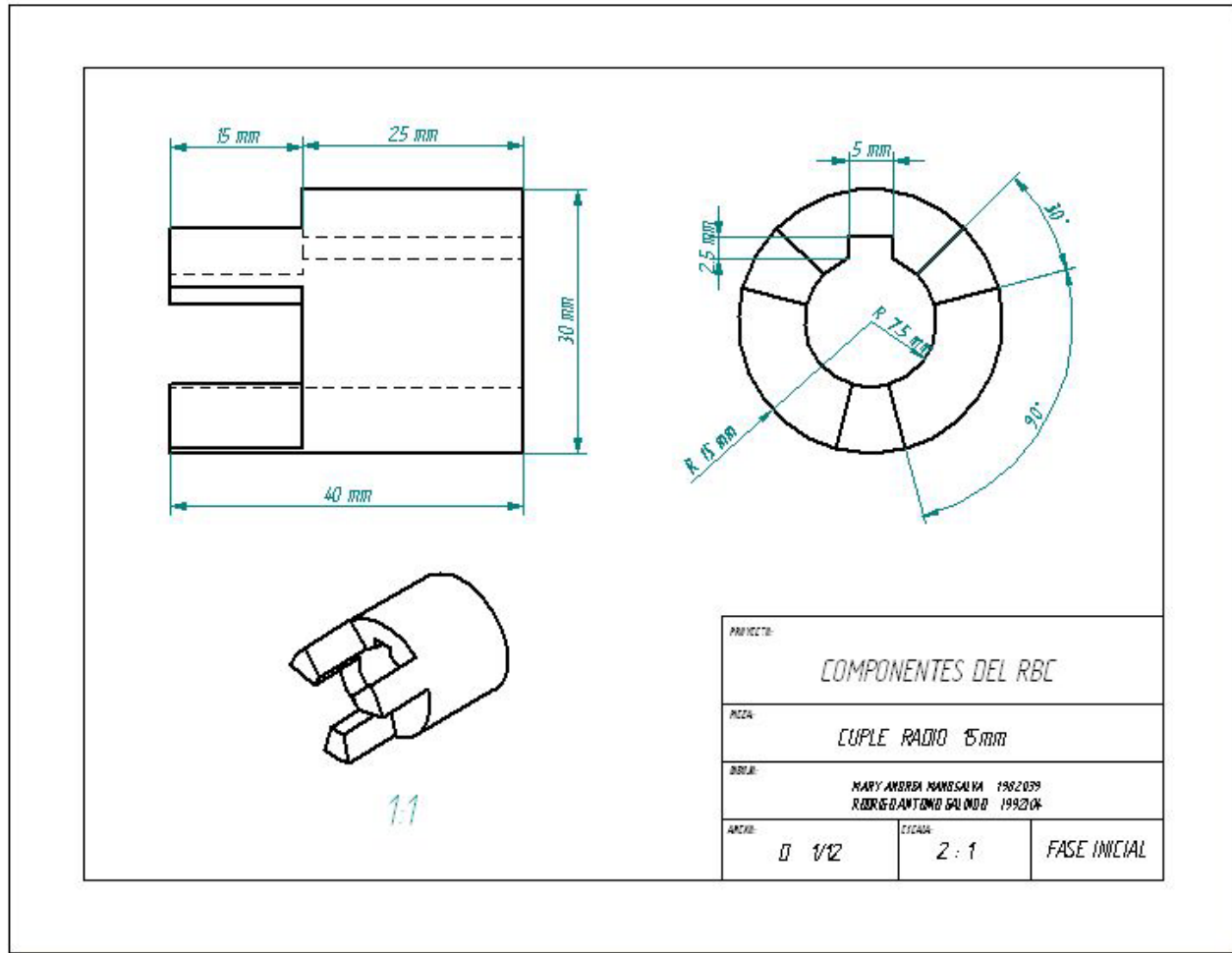
Sistema de Cloracion

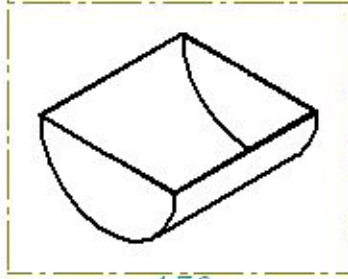
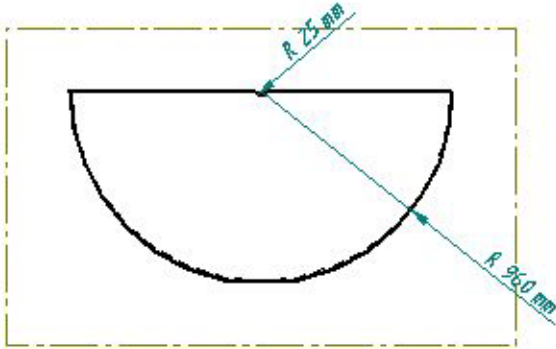
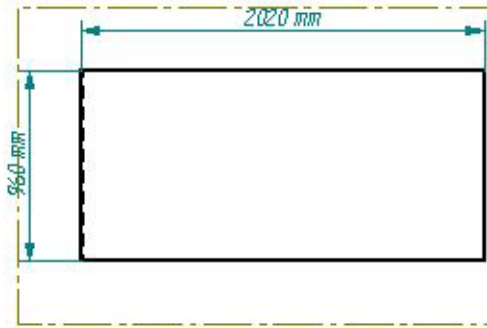
Calculo del consumo de cloro			
Dosis a aplicar de Cl		Dosis _{Cl} =	10 [g/m ³]
Caudal medio diario de AR		QMD =	177.48 [m ³ /dia]
Cantidad de cloro	$Cant_{Cl} = Q_{medio} * Dosis_{Cl}$	Cant _{Cl} =	1775 [g/dia]
Cantidad cloro hipoclorito de calcio HTH	$Cant_{HTH} = \frac{Cant_{Cl}}{0.65}$	Cant _{HTH} =	2.7 [kg/dia de HTH]
Dimensionamiento del Tanque de Contacto			
Caudal de diseño		QMH =	0.22 [m ³ /min]
Tiempo de contacto		t =	4 [min]
Volumen del Tanque	$Vol_{Cl} = Qd * t$	Vol _{Cl} =	1.63 [m ³]
Profundidad		h =	1 [m]
Area	$A_T = \frac{Vol_{Cl}}{h}$	A _T =	1.63 [m ²]
Relacion Largo/Ancho de 4:1 adoptada			
Longitud		L _{Cl} =	2.56 [m]
Ancho		A _{Cl} =	0.64 [m]

TRATAMIENTO DE LODOS

Lodos esperados		Le =	0.2 [kg/kg de DBO Aplicada]
Concentracion de Solidos		CS =	2 % Materia Seca
Demanda biologica de oxigeno		DBO ₅ =	42.89 [kg DBO/dia]
kg Lodo/día	$kgLodo / dia = Le * DBO_5$	kg Lodo/día =	8.58 [kg/dia]
m ³ Lodo/día	$m^3 Lodo / dia = \frac{kgLodo / dia}{20}$	m ³ Lodo/día =	0.43 [m ³ /dia]
Dimensionamiento:			
Periodo Normal de Secado		PNS =	7 [dia]
Periodo Adicional de Seguridad		PAS =	5 [dia]
Total días	$Tdias = PNS + PAS$	Tdias =	12 [dia]
Volumen a evacuar	$VolEvac = Tdias * m^3 Lodo / dia$	VolEvac =	5.15 [m ³]
Altura de la capa		hc =	0.3 [m]
Area requerida	$A_{Lreq} = \frac{VolEval}{hc}$	A _{Lreq} =	17.16 [m ²]
Numero de lechos		NI =	2
Area de lecho	$ALecho = \frac{A_{Lreq}}{NI}$	ALecho =	8.58 [m]
Dimensiones de cada lecho:			
Lado		LL =	3.4 [m]
Ancho		AL =	2.53 [m]

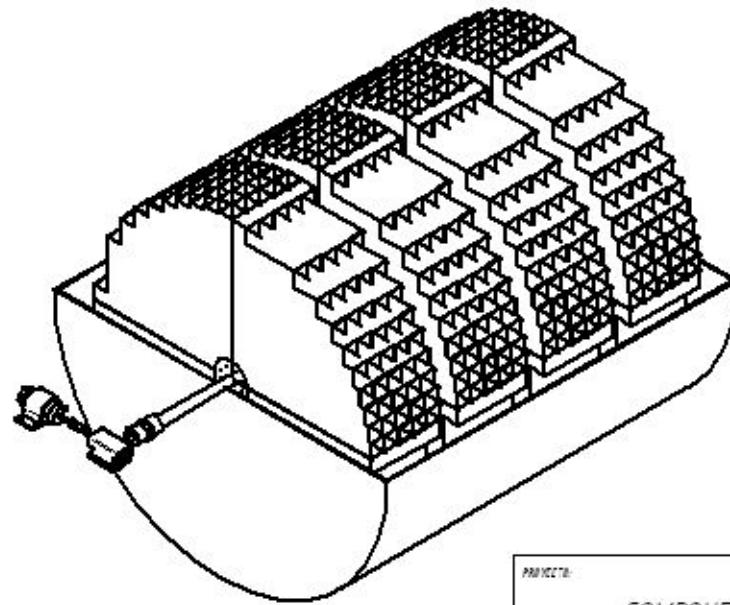
ANEXO D. Planos de los componentes del RBC y detalles de la estructura USM



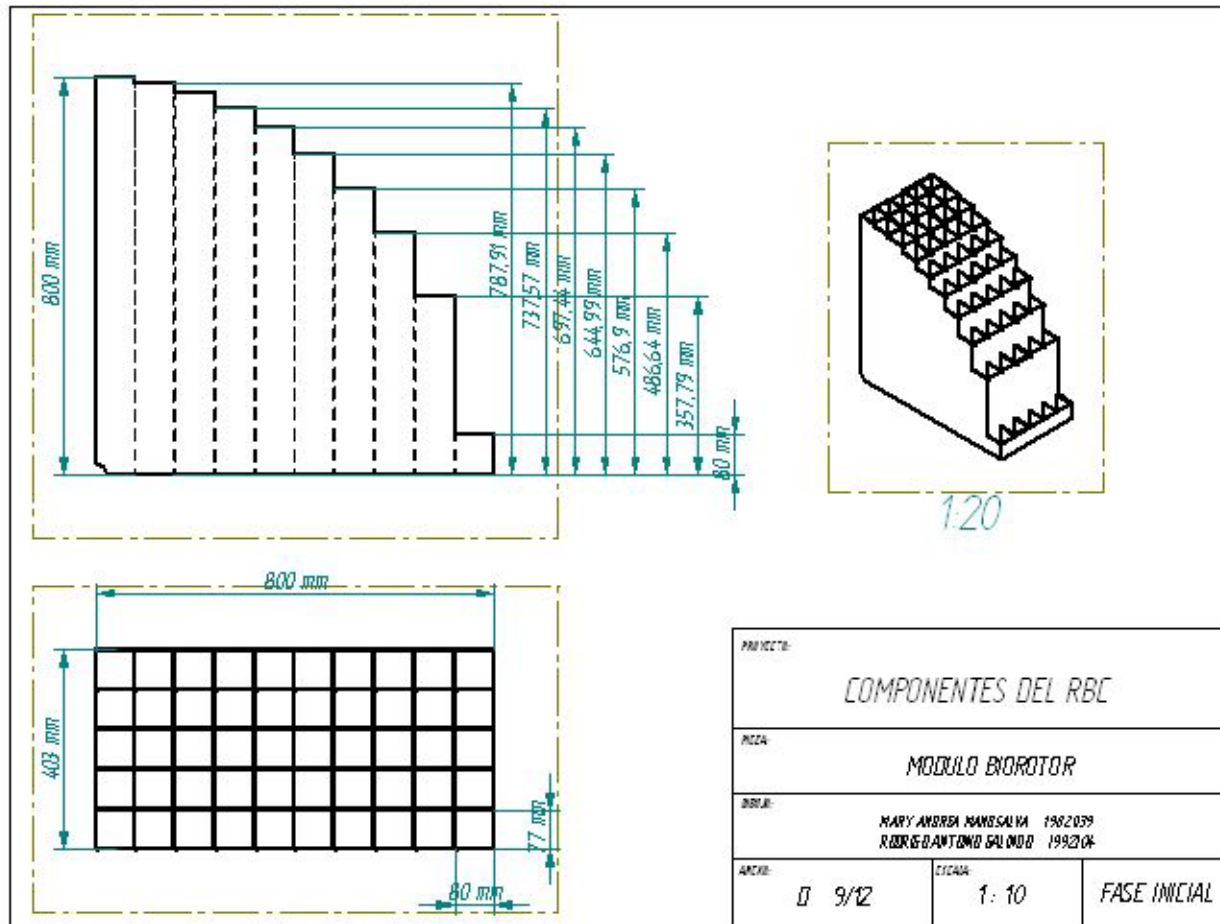


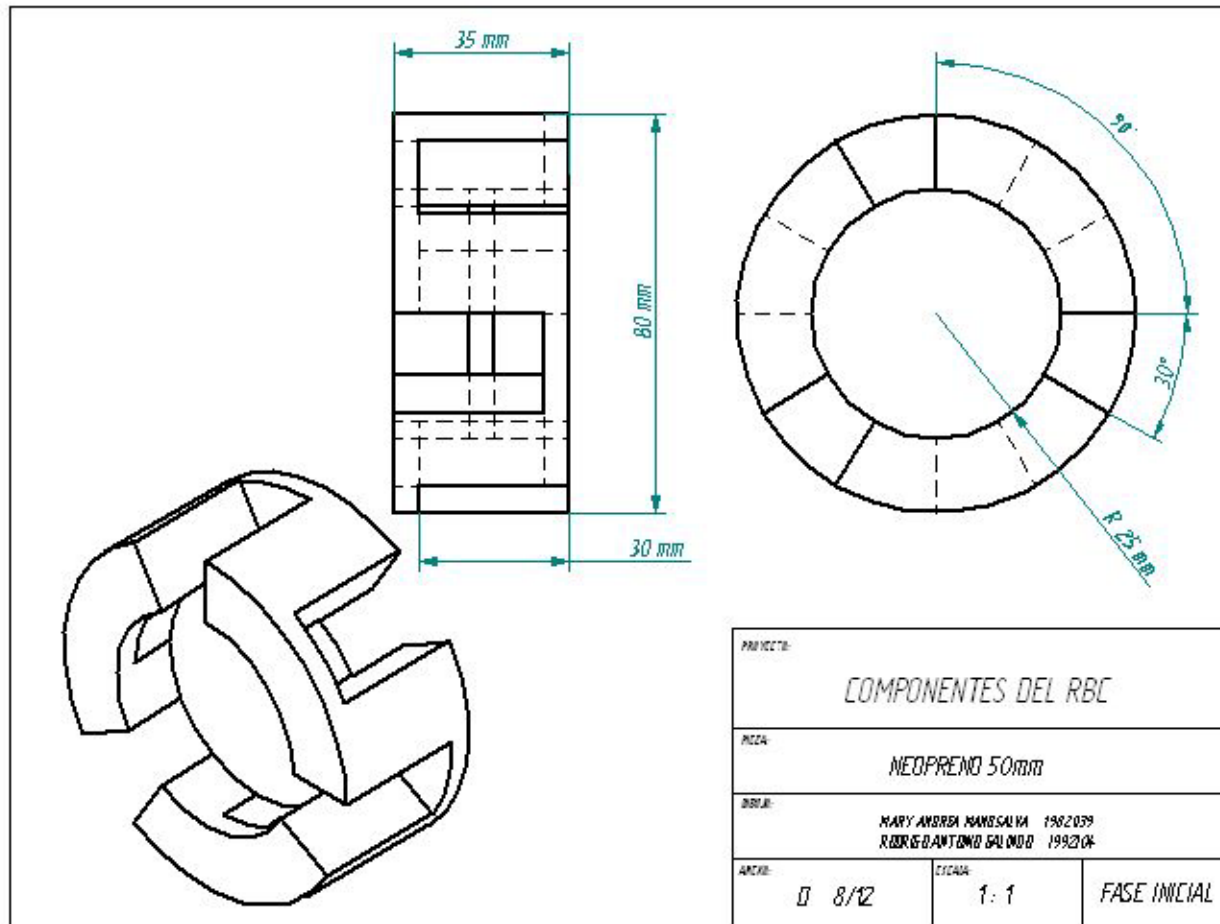
150

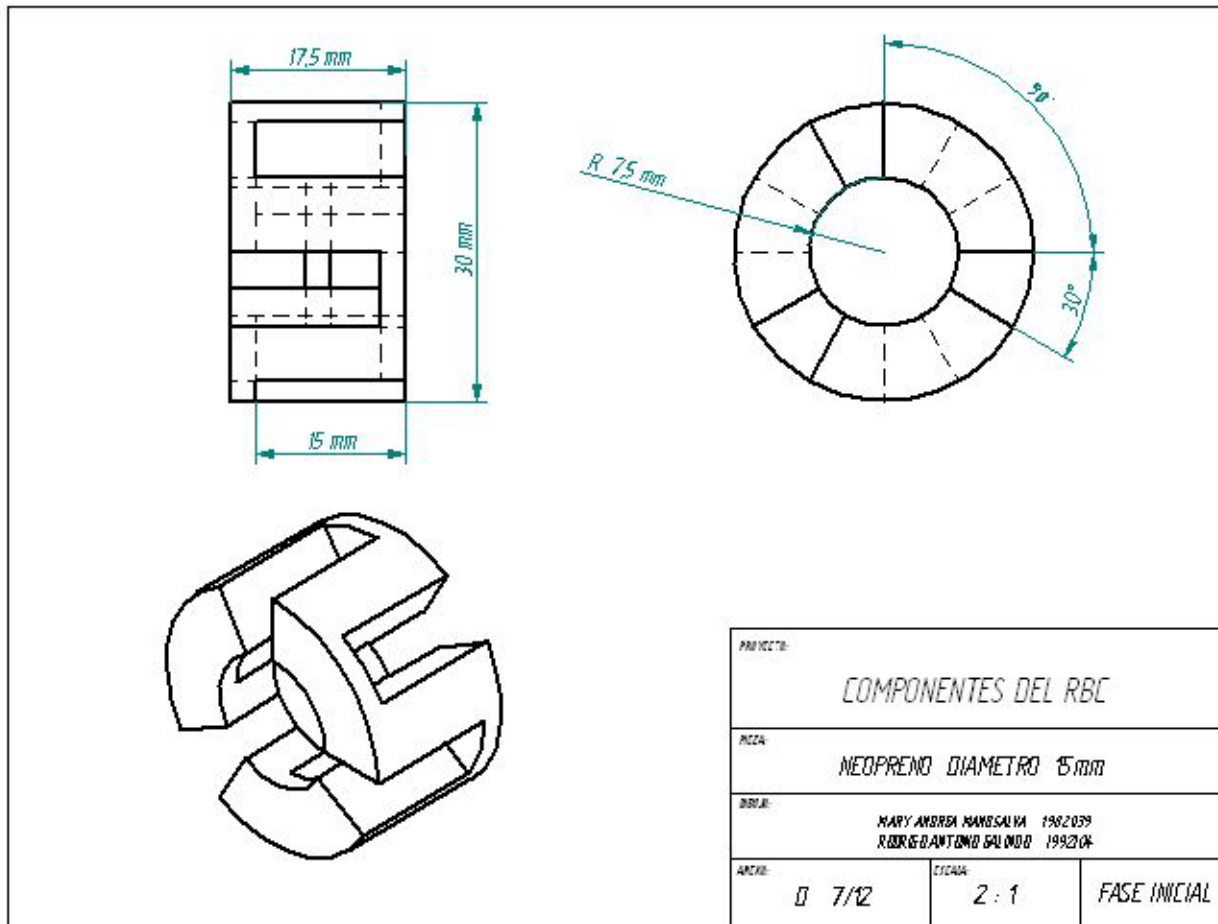
PROYECTO:		
COMPONENTES DEL RBC		
PIEZA:		
TANQUE DE MEZCLADO		
DISEÑADOR:		
MARY ANDREA MANGALVA 1982039 RODRIGO ANTONIO GALINDO 1992004		
ESCALA:	ESCALA:	ETAPA:
0 1/12	1:25	FASE INICIAL

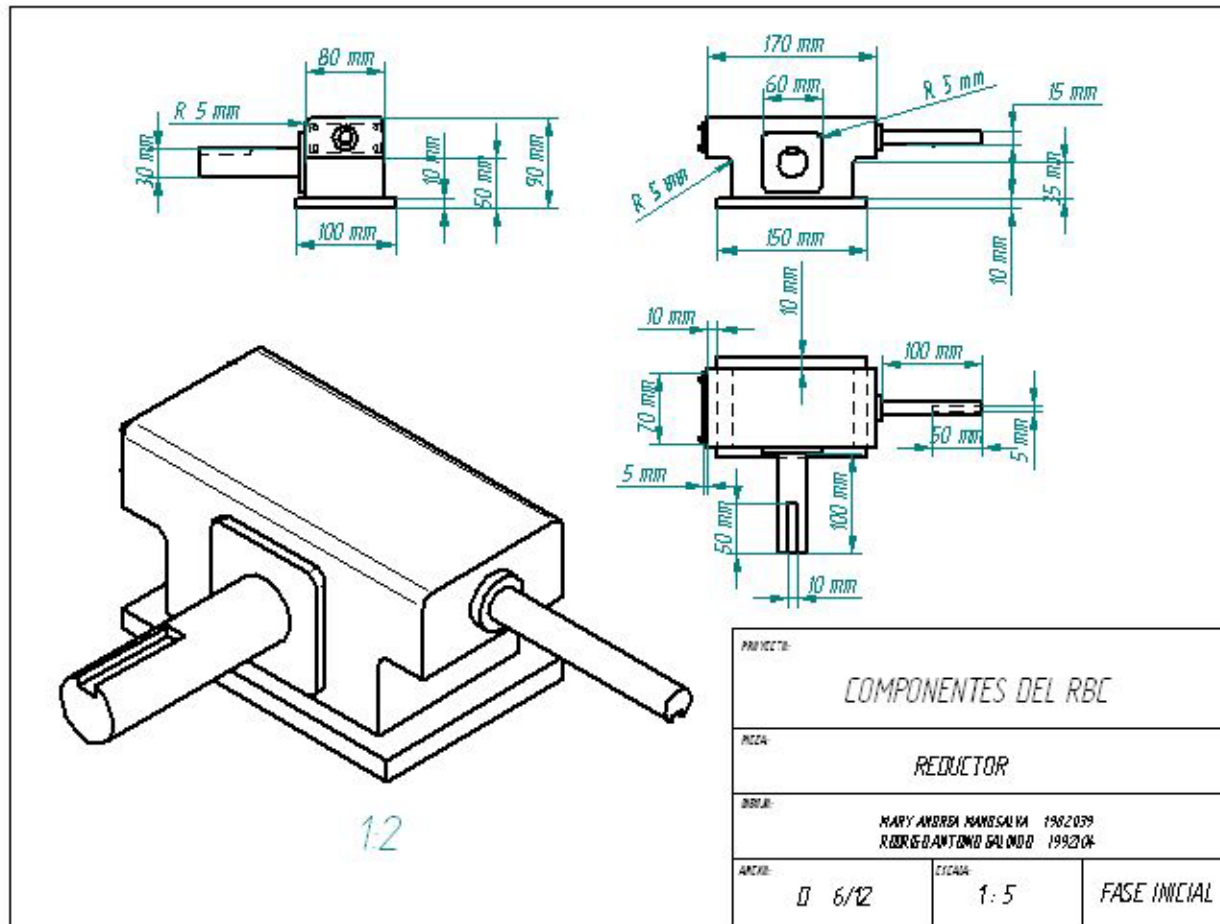


PROYECTO:		
COMPONENTES DEL RBC		
PIECA:		
VISTA 3D GENERAL		
DISEÑO:		
MARY ANDREA MANSALVA 1982039 RODRIGO ANTONIO GALINDO 1992104		
ARCHIVO:	Escala:	FASE:
D 10/12	1:20	FASE INICIAL

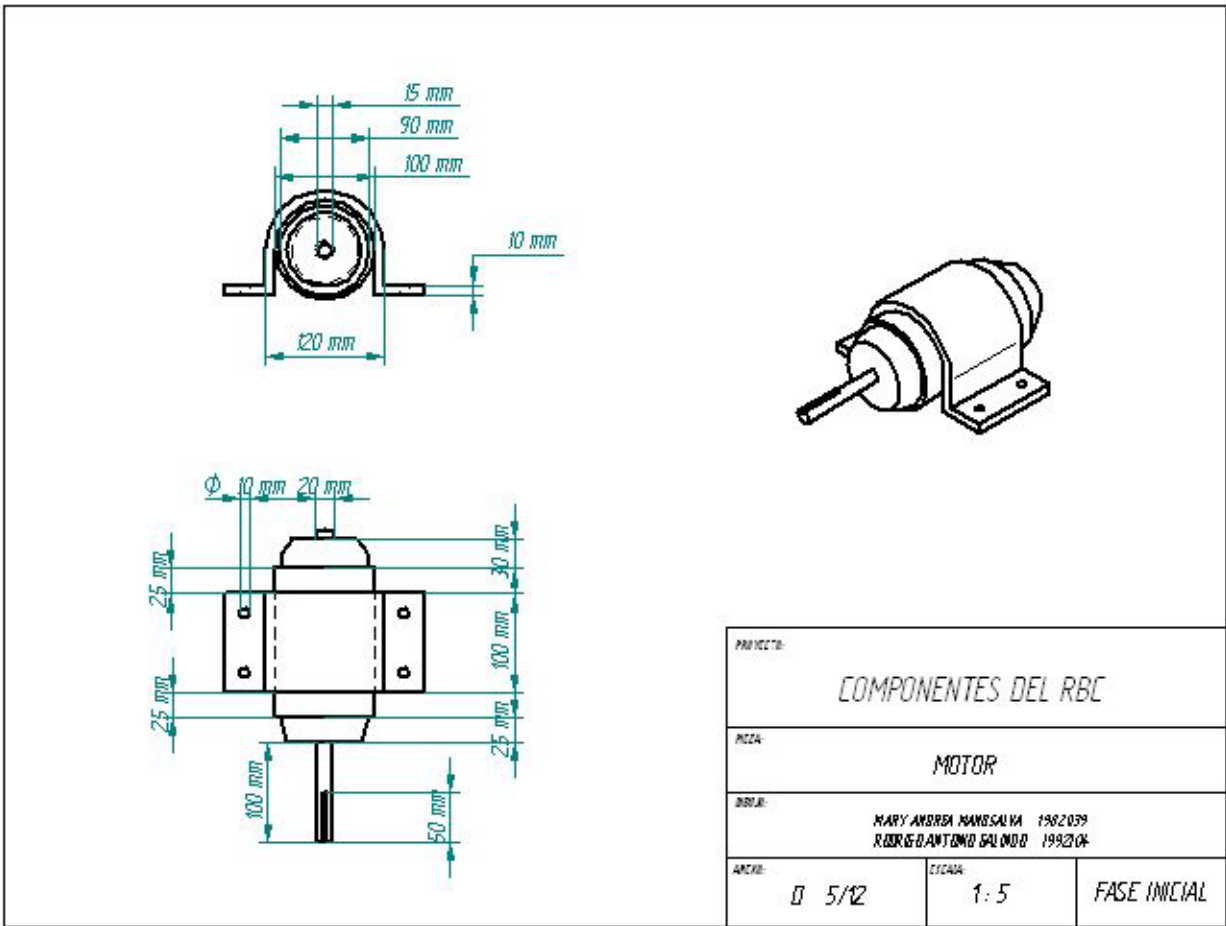


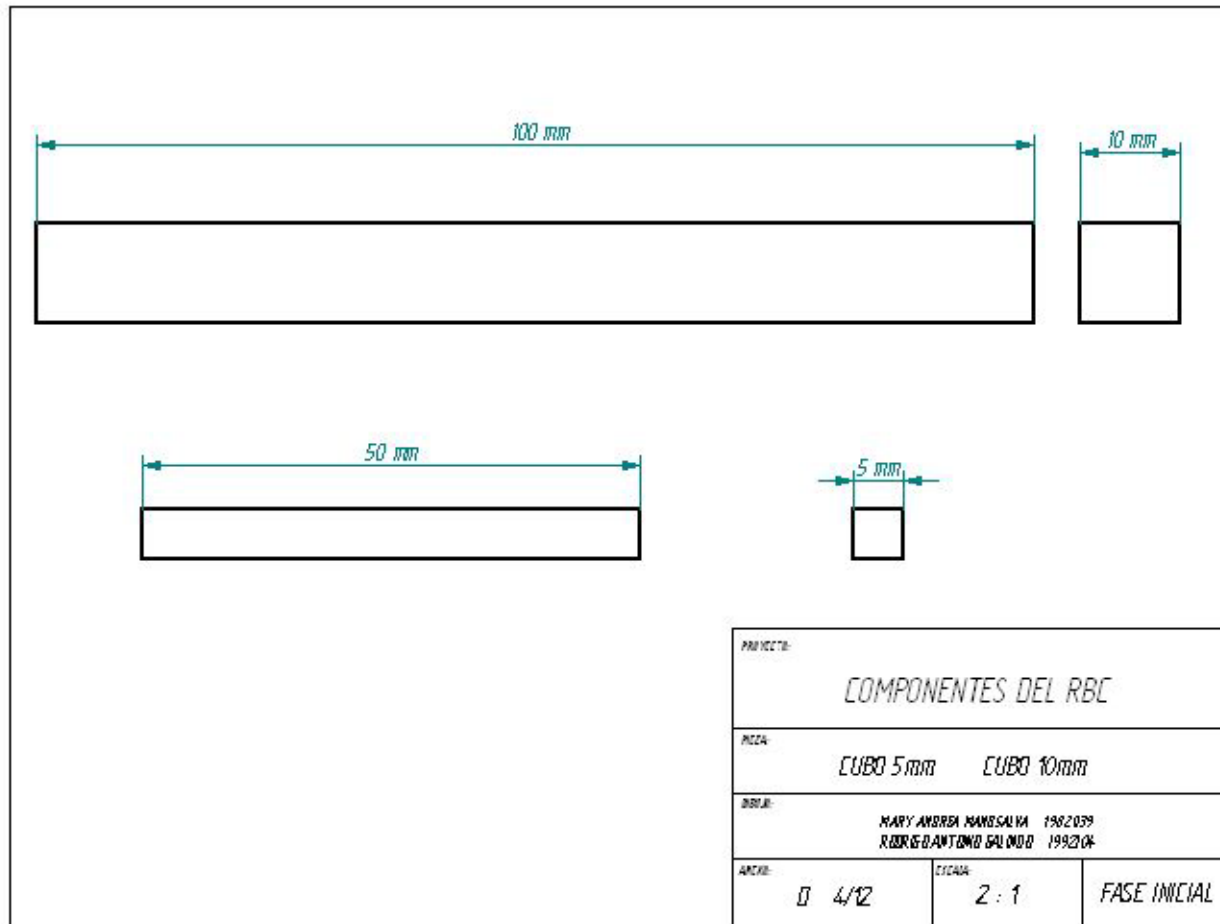


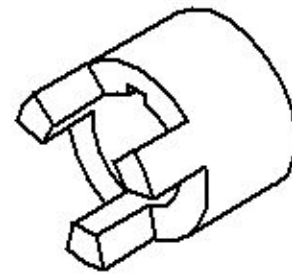
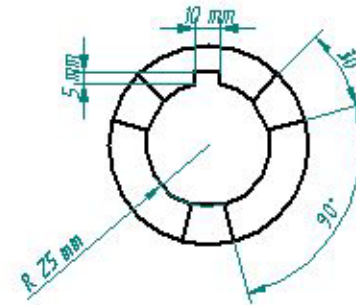
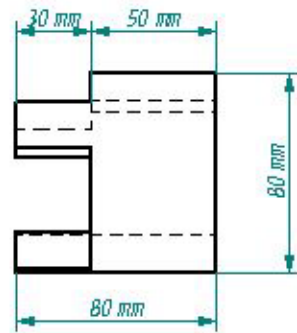




12

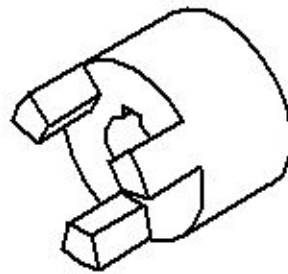
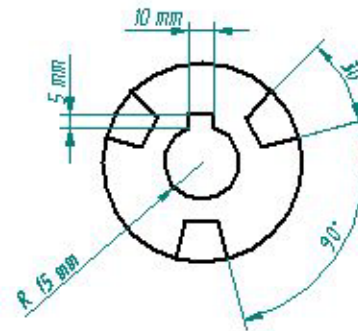
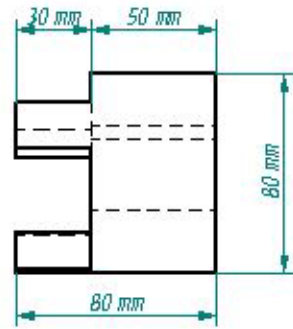






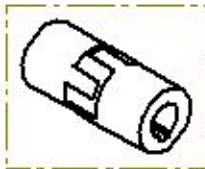
1:2

PROYECTO:		
COMPONENTES DEL RBC		
PIEZA:		
CUPLE DIAMETRO 50mm		
DISEÑADOR:		
MARY ANDREA MANGALVA 1982039 RODRIGO ANTONIO GALINDO 1992104		
FECHA:	ESCALA:	ETAPA:
03/12	1:2	FASE INICIAL

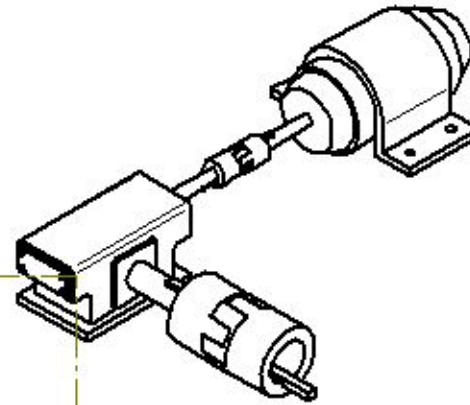


12

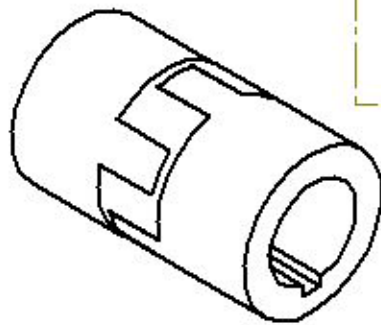
PROYECTO:		
COMPONENTES DEL RBC		
PIEZA:		
CUPLE DIAMETRO 30mm		
DISEÑO:		
MARY ANDREA MANGALVA 1982039 RODRIGO ANTONIO GALINDO 1992104		
ANEXO:	CICLO:	
0 2/12	1 2	FASE INICIAL



DETALLE COUPLER DIAMETRO 15mm
12



DETALLE MONTAJE MOTOR Y MOTORREDUCTOR
15



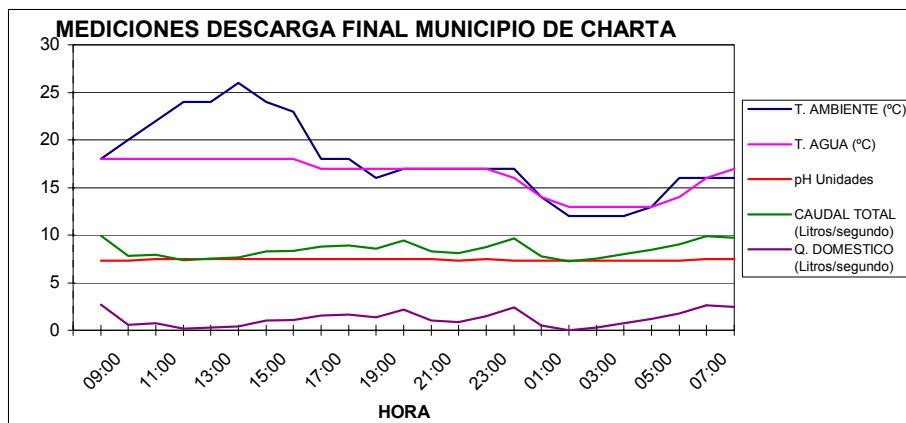
DETALLE COUPLER DIAMETRO 50mm
12

PROYECTO:		
COMPONENTES DEL RBC		
PIECA:		
DETALLES		
DISEÑADOR:		
MARY ANDREA MANGALVA 1902039 RODRIGO ANTONIO GALINDO 1992104		
ESCALA:	EJECUCION:	
0 12/12	INDICADAS	FASE INICIAL

**ANEXO E. Tablas de medición de contaminantes en campo de los municipios menores pertenecientes al área de jurisdicción de la CDMB.
Fuente: ASA-FRANCO**

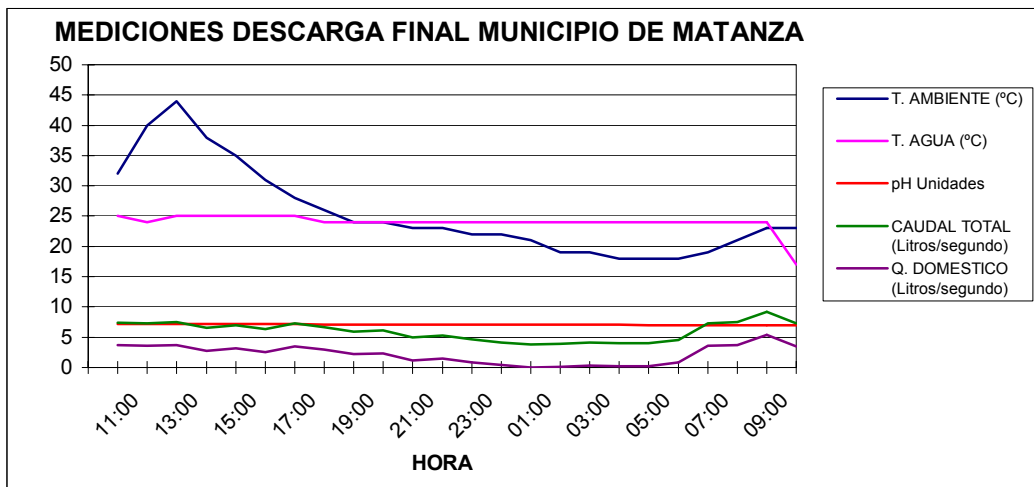
MEDICIONES DE CAMPO DESCARGA FINAL MUNICIPIO DE CHARTA
FECHA DE EJECUCIÓN: 6 Y 7 DE MAYO DE 1997

HORA	T. AMBIENTE (°C)	T. AGUA (°C)	pH Unidades	CAUDAL TOTAL (Litros/segundo)	Q. DOMESTICO (Litros/segundo)
08:00	18	18	7.30	9.95	2.70
09:00	20	18	7.30	7.83	0.58
10:00	22	18	7.50	7.97	0.72
11:00	24	18	7.50	7.40	0.15
12:00	24	18	7.50	7.54	0.29
13:00	26	18	7.50	7.67	0.42
14:00	24	18	7.50	8.26	1.01
15:00	23	18	7.50	8.36	1.11
16:00	18	17	7.50	8.79	1.54
17:00	18	17	7.50	8.93	1.68
18:00	16	17	7.50	8.60	1.35
19:00	17	17	7.50	9.43	2.18
20:00	17	17	7.50	8.30	1.05
21:00	17	17	7.30	8.10	0.85
22:00	17	17	7.50	8.76	1.51
23:00	17	16	7.30	9.64	2.39
00:00	14	14	7.30	7.77	0.52
01:00	12	13	7.30	7.25	0.00
02:00	12	13	7.30	7.53	0.28
03:00	12	13	7.30	8.02	0.77
04:00	13	13	7.30	8.47	1.22
05:00	16	14	7.30	9.02	1.77
06:00	16	16	7.50	9.87	2.62
07:00	16	17	7.50	9.71	2.46
PROMEDIO	18	16	7.42	8.47	1.22
MÁXIMO	26	18	7.50	9.95	2.70
MÍNIMO	12	13	7.30	7.25	0.00



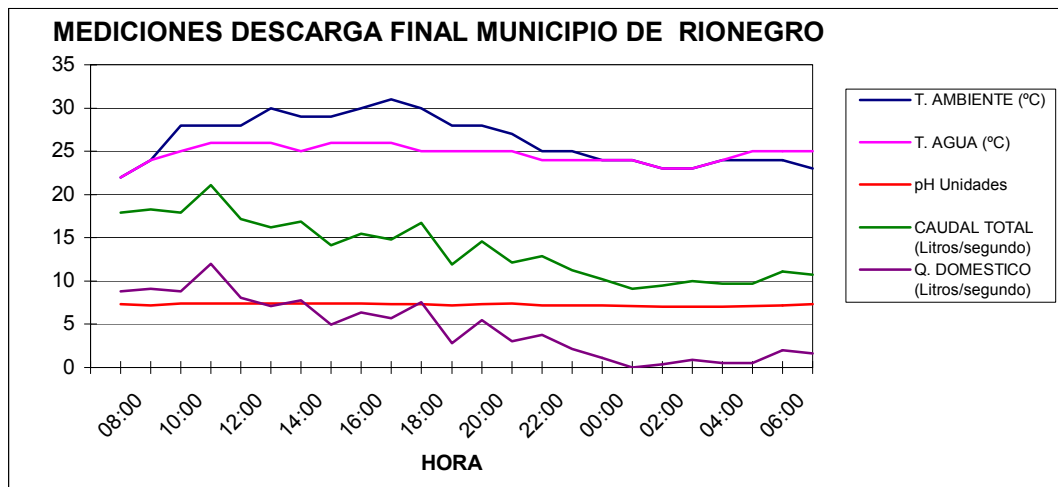
MEDICIONES DE CAMPO DESCARGA FINAL MUNICIPIO DE MATANZA
 FECHA DE EJECUCIÓN: 6 Y 7 DE MAYO DE 1997

HORA	T. AMBIENTE (°C)	T. AGUA (°C)	pH Unidades	CAUDAL TOTAL (Litros/segundo)	Q. DOMESTICO (Litros/segundo)
10:00	32	25	7.2	7.42	3.65
11:00	40	24	7.2	7.32	3.55
12:00	44	25	7.2	7.48	3.71
13:00	38	25	7.2	6.54	2.77
14:00	35	25	7.2	6.99	3.22
15:00	31	25	7.2	6.29	2.52
16:00	28	25	7.2	7.28	3.51
17:00	26	24	7.1	6.70	2.93
18:00	24	24	7.1	5.96	2.19
19:00	24	24	7.1	6.10	2.33
20:00	23	24	7.1	4.95	1.18
21:00	23	24	7.1	5.28	1.51
22:00	22	24	7.1	4.61	0.84
23:00	22	24	7.1	4.16	0.39
00:00	21	24	7.1	3.77	0.00
01:00	19	24	7.1	3.92	0.15
02:00	19	24	7.1	4.11	0.34
03:00	18	24	7.1	3.97	0.20
04:00	18	24	7	3.99	0.22
05:00	18	24	7	4.58	0.81
06:00	19	24	7	7.32	3.55
07:00	21	24	7	7.48	3.71
08:00	23	24	7	9.15	5.38
09:00	23	17	7	7.27	3.50
PROMEDIO	25.46	23.96	7.10	5.94	2.17
MAXIMO	44.00	25.00	7.20	9.15	5.38
MINIMO	18.00	17.00	7.00	3.77	0.00



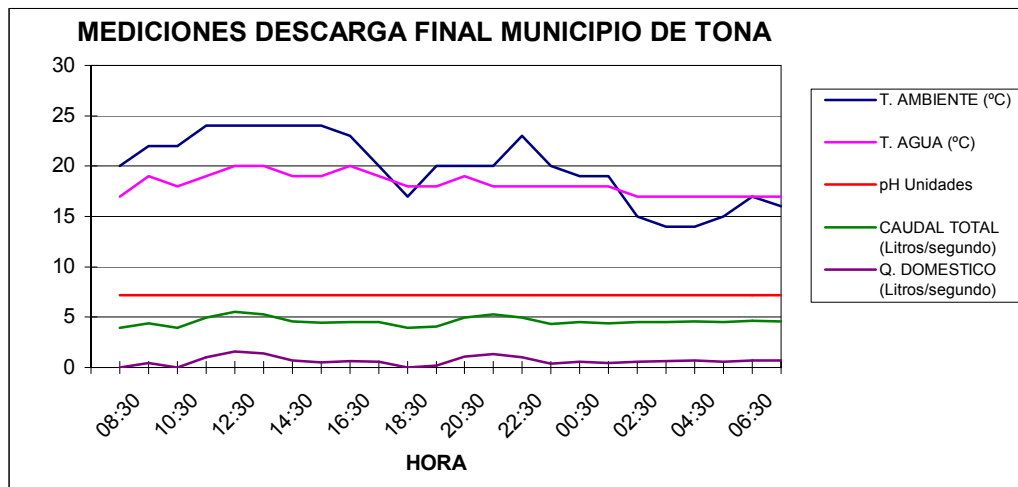
MEDICIONES DE CAMPO DESCARGA FINAL MUNICIPIO DE RIONEGRO
 FECHA DE EJECUCIÓN: 8 Y 9 DE MAYO DE 1997

HORA	T. AMBIENTE (°C)	T. AGUA (°C)	pH Unidades	CAUDAL TOTAL (Litros/segundo)	Q. DOMESTICO (Litros/segundo)
07:00	22	22	7.3	17.90	8.78
08:00	24	24	7.2	18.25	9.13
09:00	28	25	7.4	17.90	8.78
10:00	28	26	7.4	21.10	11.98
11:00	28	26	7.4	17.20	8.08
12:00	30	26	7.4	16.20	7.08
13:00	29	25	7.4	16.90	7.78
14:00	29	26	7.4	14.10	4.98
15:00	30	26	7.4	15.50	6.38
16:00	31	26	7.3	14.80	5.68
17:00	30	25	7.3	16.70	7.58
18:00	28	25	7.2	11.90	2.78
19:00	28	25	7.3	14.60	5.48
20:00	27	25	7.4	12.17	3.05
21:00	25	24	7.2	12.88	3.76
22:00	25	24	7.2	11.27	2.15
23:00	24	24	7.2	10.20	1.08
00:00	24	24	7.1	9.12	0.00
01:00	23	23	7	9.48	0.36
02:00	23	23	7	10.02	0.90
03:00	24	24	7	9.66	0.54
04:00	24	25	7.1	9.66	0.54
05:00	24	25	7.2	11.09	1.97
06:00	23	25	7.3	10.74	1.62
PROMEDIO	26.29	24.71	7.25	13.72	4.60
MÁXIMO	31.00	26.00	7.40	21.10	11.98
MÍNIMO	22.00	22.00	7.00	9.12	0.00



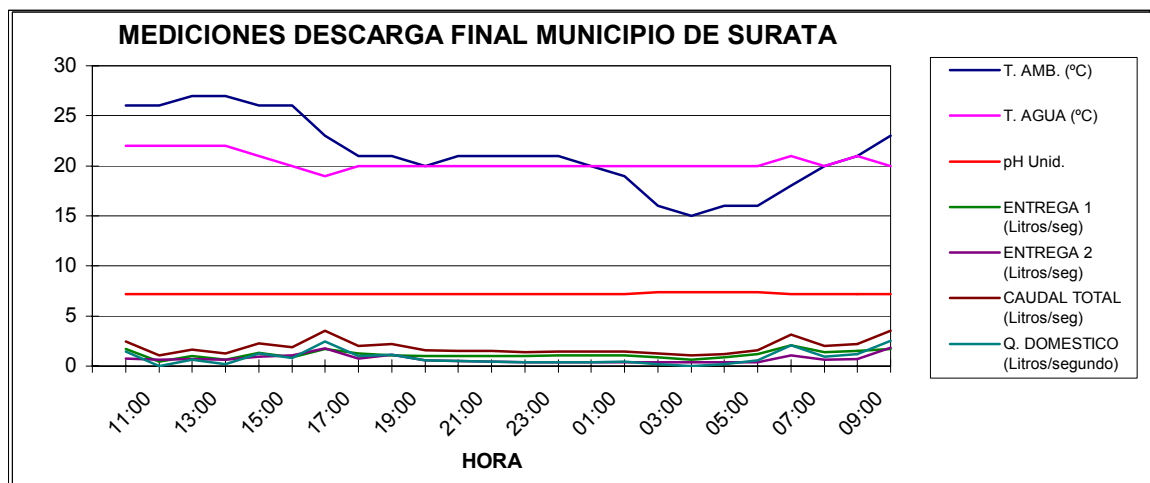
MEDICIONES DE CAMPO DESCARGA FINAL MUNICIPIO DE TONA
 FECHA DE EJECUCIÓN: 18 Y 19 DE MAYO DE 1997

HORA	T. AMBIENTE (°C)	T. AGUA (°C)	pH Unidades	CAUDAL TOTAL (Litros/segundo)	Q. DOMESTICO (Litros/segundo)
07:30	20	17	7.2	3.93	0.02
08:30	22	19	7.2	4.38	0.47
09:30	22	18	7.2	3.91	0.00
10:30	24	19	7.2	4.93	1.02
11:30	24	20	7.2	5.53	1.62
12:30	24	20	7.2	5.29	1.38
13:30	24	19	7.2	4.60	0.69
14:30	24	19	7.2	4.43	0.52
15:30	23	20	7.2	4.52	0.61
16:30	20	19	7.2	4.50	0.59
17:30	17	18	7.2	3.91	0.00
18:30	20	18	7.2	4.08	0.17
19:30	20	19	7.2	4.98	1.07
20:30	20	18	7.2	5.26	1.35
21:30	23	18	7.2	4.93	1.02
22:30	20	18	7.2	4.30	0.39
23:30	19	18	7.2	4.49	0.58
00:30	19	18	7.2	4.37	0.46
01:30	15	17	7.2	4.50	0.59
02:30	14	17	7.2	4.54	0.63
03:30	14	17	7.2	4.58	0.67
04:30	15	17	7.2	4.50	0.59
05:30	17	17	7.2	4.64	0.73
06:30	16	17	7.2	4.60	0.69
PROMEDIO	19.83	18.21	7.20	4.57	0.66
MAXIMO	24.00	20.00	7.20	5.53	1.62
MINIMO	14.00	17.00	7.20	3.91	0.00



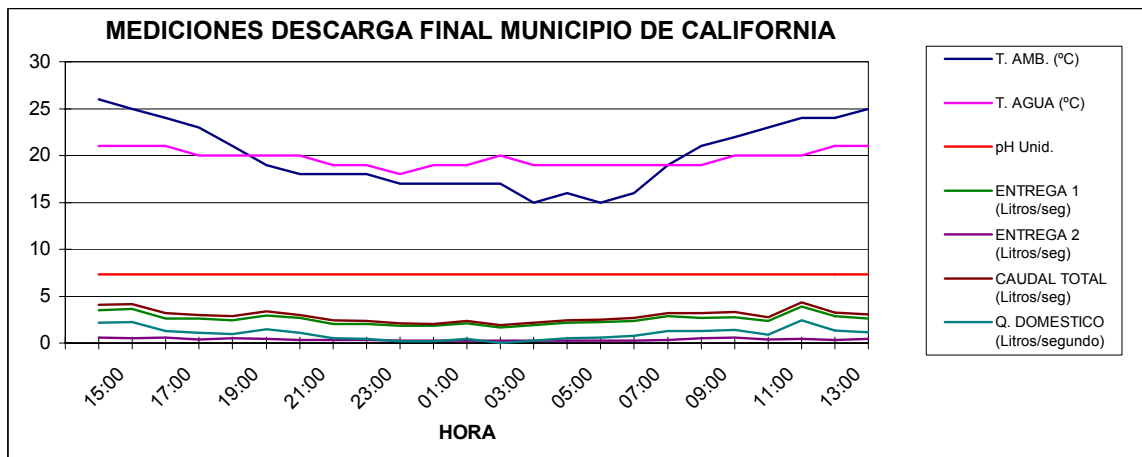
MEDICIONES DE CAMPO DESCARGA FINAL MUNICIPIO DE SURATA
 FECHA DE EJECUCIÓN: 13 Y 14 DE MAYO DE 1997

HORA	T. AMB. (°C)	T. AGUA (°C)	pH Unid.	ENTREGA 1 (Litros/seg)	ENTREGA 2 (Litros/seg)	CAUDAL TOTAL (Litros/seg)	Q. DOMESTICO (Litros/segundo)
10:00	26	22	7.2	1.73	0.76	2.48	1.44
11:00	26	22	7.2	0.42	0.63	1.05	0.00
12:00	27	22	7.2	0.98	0.67	1.65	0.60
13:00	27	22	7.2	0.63	0.62	1.25	0.20
14:00	26	21	7.2	1.32	0.98	2.30	1.25
15:00	26	20	7.2	0.85	1.04	1.89	0.85
16:00	23	19	7.2	1.73	1.78	3.50	2.46
17:00	21	20	7.2	1.27	0.76	2.03	0.98
18:00	21	20	7.2	1.07	1.14	2.21	1.16
19:00	20	20	7.2	1.02	0.58	1.60	0.56
20:00	21	20	7.2	1.02	0.50	1.53	0.48
21:00	21	20	7.2	1.02	0.47	1.49	0.45
22:00	21	20	7.2	1.02	0.38	1.41	0.36
23:00	21	20	7.2	1.07	0.38	1.45	0.41
00:00	20	20	7.2	1.07	0.38	1.45	0.40
01:00	19	20	7.2	1.07	0.39	1.46	0.41
02:00	16	20	7.4	0.85	0.40	1.25	0.20
03:00	15	20	7.4	0.66	0.39	1.05	0.00
04:00	16	20	7.4	0.85	0.37	1.23	0.18
05:00	16	20	7.4	1.22	0.39	1.60	0.56
06:00	18	21	7.2	2.06	1.10	3.16	2.11
07:00	20	20	7.2	1.38	0.61	1.99	0.94
08:00	21	21	7.2	1.54	0.69	2.23	1.19
09:00	23	20	7.2	1.73	1.82	3.55	2.50
PROMEDIO	21.29	20.42	7.23	1.15	0.72	1.87	0.82
MÁXIMO	27.00	22.00	7.40	2.06	1.82	3.55	2.50
MÍNIMO	15.00	19.00	7.20	0.42	0.37	1.05	0.00



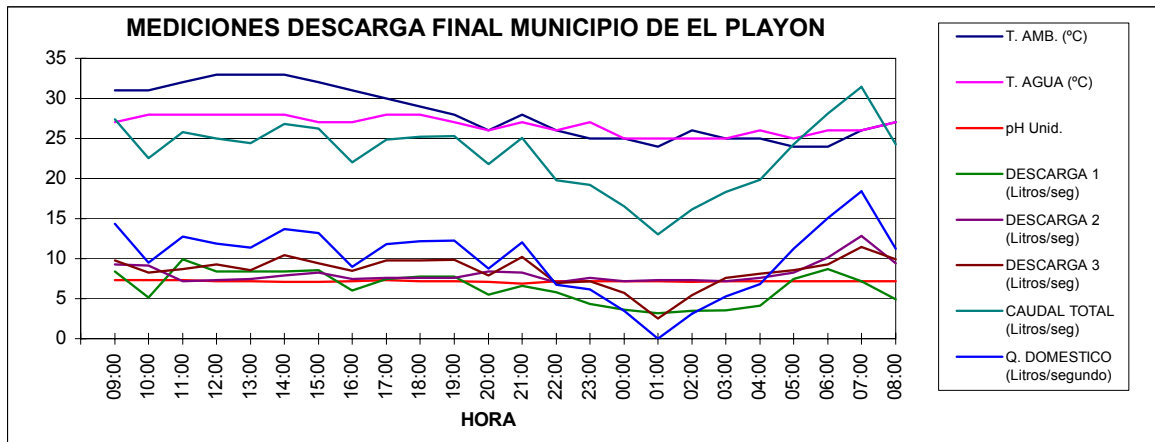
MEDICIONES DE CAMPO DESCARGA FINAL MUNICIPIO DE CALIFORNIA
 FECHA DE EJECUCIÓN: 13 Y 14 DE MAYO DE 1997

HORA	T. AMB. (°C)	T. AGUA (°C)	pH Unid.	ENTREGA 1 (Litros/seg)	ENTREGA 2 (Litros/seg)	CAUDAL TOTAL (Litros/seg)	Q. DOMESTICO (Litros/segundo)
14:00	26	21	7.3	3.52	0.55	4.07	2.16
15:00	25	21	7.3	3.65	0.48	4.13	2.22
16:00	24	21	7.3	2.60	0.56	3.16	1.25
17:00	23	20	7.3	2.61	0.40	3.01	1.10
18:00	21	20	7.3	2.41	0.48	2.89	0.98
19:00	19	20	7.3	2.93	0.43	3.36	1.45
20:00	18	20	7.3	2.70	0.32	3.02	1.11
21:00	18	19	7.3	2.06	0.33	2.39	0.48
22:00	18	19	7.3	2.04	0.30	2.34	0.43
23:00	17	18	7.3	1.87	0.24	2.11	0.20
00:00	17	19	7.3	1.82	0.25	2.07	0.16
01:00	17	19	7.3	2.13	0.24	2.37	0.46
02:00	17	20	7.3	1.66	0.25	1.91	0.00
03:00	15	19	7.3	1.94	0.25	2.19	0.28
04:00	16	19	7.3	2.19	0.24	2.43	0.52
05:00	15	19	7.3	2.24	0.24	2.48	0.57
06:00	16	19	7.3	2.38	0.27	2.65	0.74
07:00	19	19	7.3	2.87	0.33	3.20	1.29
08:00	21	19	7.3	2.68	0.53	3.21	1.30
09:00	22	20	7.3	2.72	0.59	3.31	1.40
10:00	23	20	7.3	2.36	0.41	2.77	0.86
11:00	24	20	7.3	3.90	0.46	4.36	2.45
12:00	24	21	7.3	2.88	0.35	3.23	1.32
13:00	25	21	7.3	2.61	0.42	3.03	1.12
PROMEDIO	20.00	19.71	7.30	2.53	0.37	2.90	0.99
MÁXIMO	26.00	21.00	7.30	3.90	0.59	4.36	2.45
MÍNIMO	15.00	18.00	7.30	1.66	0.24	1.91	0.00



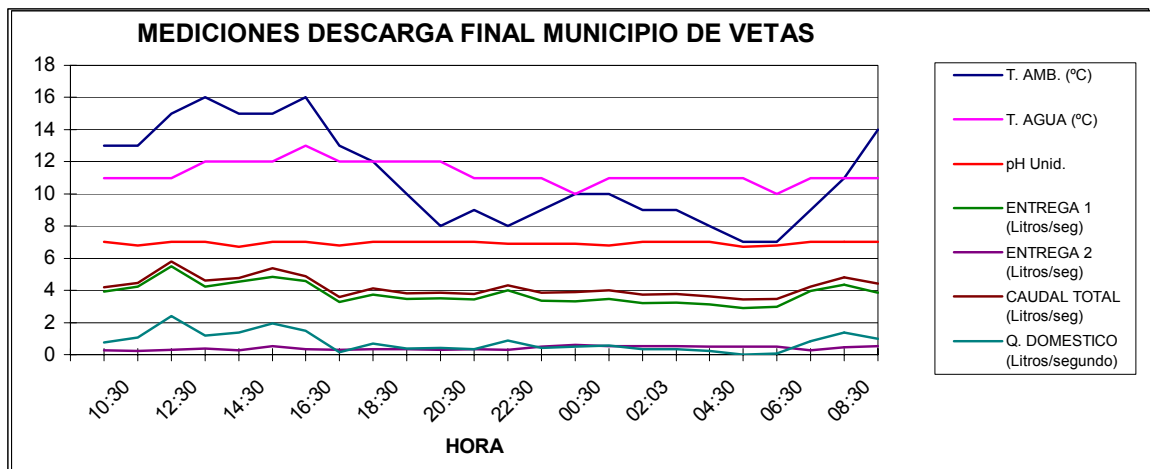
MEDICIONES DE CAMPO DESCARGA FINAL MUNICIPIO DE EL PLAYON
 FECHA DE EJECUCIÓN: 8, 9 Y 22 DE MAYO DE 1997

HORA	T. AMB. (°C)	T. AGUA (°C)	pH Unid.	DESCARGA 1 (Litros/seg)	DESCARGA 2 (Litros/seg)	DESCARGA 3 (Litros/seg)	CAUDAL TOTAL (Litros/seg)	Q. DOMESTICO (Litros/segundo)
09:00	31	27	7.3	8.41	9.24	9.76	27.41	14.36
10:00	31	28	7.3	5.17	9.10	8.25	22.52	9.47
11:00	32	28	7.3	9.94	7.17	8.71	25.82	12.77
12:00	33	28	7.2	8.41	7.32	9.24	24.97	11.92
13:00	33	28	7.2	8.41	7.47	8.57	24.45	11.40
14:00	33	28	7.1	8.41	7.93	10.44	26.78	13.73
15:00	32	27	7.1	8.57	8.25	9.41	26.23	13.18
16:00	31	27	7.2	6.05	7.47	8.50	22.02	8.97
17:00	30	28	7.3	7.47	7.62	9.80	24.89	11.84
18:00	29	28	7.2	7.78	7.62	9.80	25.20	12.15
19:00	28	27	7.2	7.78	7.62	9.88	25.28	12.23
20:00	26	26	7.1	5.54	8.40	7.90	21.84	8.79
21:00	28	27	6.9	6.60	8.25	10.21	25.06	12.01
22:00	26	26	7.2	5.79	7.03	6.95	19.77	6.72
23:00	25	27	7.2	4.36	7.62	7.21	19.19	6.14
00:00	25	25	7.2	3.64	7.17	5.70	16.51	3.46
01:00	24	25	7.2	3.17	7.32	2.56	13.05	0.00
02:00	26	25	7.1	3.45	7.30	5.41	16.16	3.11
03:00	25	25	7.2	3.54	7.17	7.62	18.33	5.28
04:00	25	26	7.2	4.15	7.63	8.09	19.87	6.82
05:00	24	25	7.2	7.47	8.25	8.57	24.29	11.24
06:00	24	26	7.2	8.73	10.12	9.24	28.09	15.04
07:00	26	26	7.2	7.17	12.84	11.43	31.44	18.39
08:00	27	27	7.2	4.93	9.41	9.94	24.28	11.23
PROMEDIO	28.08	26.67	7.19	6.46	8.14	8.47	23.06	10.01
MÁXIMO	33.00	28.00	7.30	9.94	12.84	11.43	31.44	18.39
MÍNIMO	24.00	25.00	6.90	3.17	7.03	2.56	13.05	0.00



MEDICIONES DE CAMPO DESCARGA FINAL MUNICIPIO DE VETAS
 FECHA DE EJECUCIÓN: 20 Y 21 DE MAYO DE 1997

HORA	T. AMB. (°C)	T. AGUA (°C)	pH Unid.	ENTREGA 1 (Litros/seg)	ENTREGA 2 (Litros/seg)	CAUDAL TOTAL (Litros/seg)	Q. DOMESTICO (Litros/segundo)
09:30	13	11	7	3.92	0.26	4.18	0.76
10:30	13	11	6.8	4.23	0.24	4.47	1.05
11:30	15	11	7	5.50	0.31	5.81	2.39
12:30	16	12	7	4.24	0.38	4.62	1.20
13:30	15	12	6.7	4.53	0.25	4.78	1.36
14:30	15	12	7	4.84	0.52	5.36	1.94
15:30	16	13	7	4.56	0.33	4.89	1.47
16:30	13	12	6.8	3.27	0.32	3.59	0.17
17:30	12	12	7	3.75	0.36	4.11	0.69
18:30	10	12	7	3.46	0.34	3.80	0.38
19:30	8	12	7	3.52	0.32	3.84	0.42
20:30	9	11	7	3.42	0.34	3.76	0.34
21:30	8	11	6.9	4.00	0.31	4.31	0.89
22:30	9	11	6.9	3.34	0.51	3.85	0.43
23:30	10	10	6.9	3.30	0.60	3.90	0.48
00:30	10	11	6.8	3.46	0.54	4.00	0.58
01:30	9	11	7	3.22	0.53	3.75	0.33
02:03	9	11	7	3.23	0.53	3.76	0.34
03:30	8	11	7	3.14	0.50	3.64	0.22
04:30	7	11	6.7	2.91	0.51	3.42	0.00
05:30	7	10	6.8	2.97	0.51	3.48	0.06
06:30	9	11	7	3.98	0.26	4.24	0.82
07:30	11	11	7	4.34	0.46	4.80	1.38
08:30	14	11	7	3.86	0.55	4.41	0.99
PROMEDIO	11.08	11.29	6.93	3.79	0.41	4.20	0.78
MÁXIMO	16.00	13.00	7.00	5.50	0.60	5.81	2.39
MÍNIMO	7.00	10.00	6.70	2.91	0.24	3.42	0.00



MEDICIONES DE CAMPO DESCARGA FINAL MUNICIPIO DE LEBRIJA
 FECHA DE EJECUCIÓN: 27 Y 28 DE MAYO DE 1997

HORA	T. AMBIENTE (°C)	T. AGUA (°C)	pH Unidades	CAUDAL TOTAL (Litros/segundo)	Q. DOMESTICO (Litros/segundo)
08:00	19	20	7.70	37.70	30.60
09:00	23	21	7.60	42.20	35.10
10:00	25	21	6.50	42.70	35.60
11:00	26	21	6.30	44.10	37.00
12:00	29	21	6.60	39.60	32.50
13:00	27	21	6.80	50.20	43.10
14:00	27	21	7.00	58.90	51.80
15:00	27	21	7.10	30.60	23.50
16:00	29	21	7.20	22.30	15.20
17:00	19	21	6.90	15.70	8.60
18:00	19	21	6.90	13.10	6.00
19:00	18	21	7.00	20.00	12.90
20:00	18	21	7.00	20.00	12.90
21:00	17	21	7.10	15.70	8.60
22:00	17	21	7.20	15.70	8.60
23:00	17	21	7.10	8.70	1.60
00:00	17	21	7.10	8.10	1.00
01:00	17	21	7.00	7.20	0.10
02:00	16	20	7.00	7.10	0.00
03:00	16	20	6.80	26.20	19.10
04:00	15	20	7.00	7.90	0.80
05:00	15	21	7.00	9.60	2.50
06:00	15	21	7.00	26.90	19.80
07:00	18	21	7.00	32.40	25.30
PROMEDIO	20	21	7.00	25.11	18.01
MÁXIMO	29	21	7.70	58.90	51.80
MÍNIMO	15	20	6.30	7.10	0.00

