



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
Recinto Universitario Pedro Aráuz Palacios
Facultad de Tecnología de la Construcción

Mon
628.3
E77
2012

Monografía:

Diseño del sistema de tratamiento y aprovechamiento de las aguas residuales en el Centro Experimental Agrícola (CEA-UNI) en la Comarca Las Flores, Masaya.

Para optar al Título de:
Ingeniero Agrícola

Elaborado por:
Br. Tomasa de Jesús Estrada Chávez.
Br. Jonathan Eduardo Morales Saavedra.

Tutor:
Msc. Ing. Dionisio Vidal Cáceres

Managua, Nicaragua
Enero 2012

DEDICATORIA

A Dios nuestro Señor por ser bueno, misericordioso, y por darnos la vida, la salud, la inteligencia y la capacidad para concluir nuestra monografía.

A mi familia por haber sido un gran apoyo en mi vida, gracias a mis padres y a mis hermanos por su amor, ayuda y por confiar en mí siempre.

A mis maestros por ser una inspiración en mi vida, por compartir sus experiencias científicas y sus conocimientos, por su paciencia, tolerancia, consejos y ayuda cuando se la solicitaba.

A nuestro Decano Dr. Ing. Oscar Gutiérrez Somarriba, por ser un hombre comprometido a formar profesionales de éxitos y al servicio de nuestra patria.

A todos mis amigos con quienes compartí buenos y malos momentos de mi vida como estudiantes y como confidentes personales, gracias por su apoyo, sus risas, ocurrencias y su cariño; pero muy especialmente a dos compañeros que nunca olvidaré: Frenlyn Delgado Quiroz † (q.e.p.d.) que se unió a la presencia del Señor en su adolescencia y nuestro siempre recordado Arnoldo José Sieza Martínez (“Junior Sieza”) † (q.e.p.d.) el cual fue un excelente luchador y defensor idealista para que nuestra carrera se desarrollara con mayor solidez; ambos fueron unos buenos amigos sin condiciones y sin límites, nunca olvidaremos sus risas y muestras de amistad.

Tomasa de Jesús Estrada Chávez

DEDICATORIA

A Dios nuestro Señor por ser Creador de la vida, por darme la inteligencia, la salud y las fuerzas para salir adelante y concluir mis estudios universitarios.

A mis padres por ser mi mayor inspiración, por su apoyo incondicional que me han brindado siempre y por todo el amor que nunca me ha fallado de su parte.

A mis hermanos por su cariño, por ser los confidentes y cómplices de toda mi vida.

A mis maestros por ser la parte fundamental en mi formación profesional, por compartir sus experiencias y sus conocimientos, por su paciencia, tolerancia y dedicación.

A todos mis amigos y amigas con quienes he compartido muchos momentos de mi vida, alegrías y tristezas, que me han hecho crecer como hombre y como humano.

Jonathan Eduardo Morales Saavedra

AGRADECIMIENTOS

Le agradecemos especialmente a nuestro tutor MSc. Ing. Dionisio Vidal Cáceres Antón (Catedrático UNI y Director del Programa BIOMASA), por apoyarnos siempre, siendo nuestro guía hasta el final de este arduo trabajo.

A nuestro Decano Dr. Ing. Oscar Gutiérrez Somarriba por su colaboración para la realización de diversos estudios requeridos en nuestra monografía.

A todas aquellas personas, Programas de la Universidad Nacional de Ingeniería e Instituciones del Estado que nos ayudaron con sus conocimientos científicos y técnicos calificados para la realización de este proyecto:

- Programa BIOMASA, a todo su equipo de trabajo y a todo el personal de laboratorio.
- Dirección de Bienestar Estudiantil (DBE).
- Msc. Ing. Freddy González López (Director del Programa de Administración de Unidades de Servicios - PAUS), le agradecemos por ser el que ideó y visionó este proyecto monográfico, gracias por su apoyo.
- Ing. Néstor Fong Jorge, por brindarnos su asesoría en nuestro trabajo (Asesor Técnico en Proyectos de Medio Ambiente - Programa BIOMASA).
- Ing. Manuel González Murillo, Ing. Alfredo Sandino y Dr. Ing. Ricardo Rivera (Catedráticos UNI), por sus consejos personales y colaboración.
- Dirección del Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales (INETER).
- Ing. Marvin Blanco (Dirección Laboratorio de Suelos Julio Padilla - UNI).
- A los Ingenieros Álvaro Rivera Caldera y Luis Cano Bustamante, por brindarnos su colaboración y aportes a nuestro trabajo.

A todos los Catedráticos de la UNI por brindarnos sus conocimientos, paciencia y comprensión durante toda la carrera, para formarnos como profesionales con valores al servicio de nuestro país.

RESUMEN DEL TEMA

El presente trabajo monográfico se realizó con el objetivo de diseñar, el sistema de tratamiento de aguas residuales generadas, en la granja porcina y de los mataderos de aves y cerdos, que serán constituidos en el Centro Experimental Agrícola de la Universidad Nacional de Ingeniería (CEA-UNI) en la Comarca Las Flores, departamento de Masaya. El análisis se basó en las proyecciones de las aguas provenientes del lavado de los chiqueros, evacuación vía orina y desperdicio producto de la toma de los cerdos y también de la matanza de cerdos y aves.

Después de analizar las posibles alternativas de tratamiento a través de las experiencias que existen a nivel nacional e internacionalmente, se hizo un diseño en el cual se determinó que la opción más viable hidráulica, sanitaria y económicamente es la que a continuación se describe:

- ✓ Tratamiento preliminar: mediante rejilla de limpieza manual y desarenador.
- ✓ Tratamiento Primario: con Pila de hidrólisis y Digestor anaeróbico.
- ✓ Tratamiento secundario: con Filtro vertical descendente y Biofiltro de Flujo horizontal.

Con este tipo de sistema de tratamiento se aprovecharan los subproductos generados tales como: El efluente que será utilizado en riego para los cultivos agrícolas, y el biogás producido por la degradación anaerobia en el Digestor, para ser aprovechado en el calentamiento de agua, en el depilado de los cerdos y desplumaje de aves en el proceso de matanza, etc.

El caudal proyectado para el año 10 es de 105 m³/día, para este diseño se empleo un caudal de 52.5 m³/día para una proyección a los 5 años, esto se hizo con la visión de que el sistema de tratamiento propuesto sea de carácter modular, lo que significa que con el aumento de la producción de las plantas de proceso y el aumento de cerdos en la granja porcina, la planta de tratamiento podrá ser construida modularmente, siendo la capacidad del primer modulo, los 5 primeros años y el siguiente modulo similar, para los próximos 5 años más, completando de esta forma su proyección de 10 años, siempre y cuando se dé un incremento en la producción.

En base a este caudal de diseño se obtuvieron las dimensiones finales del sistema de tratamiento siendo esta: desarenador con un ancho 1.50 m, largo 2.50 m, profundidad inicial de 0.5 m y una profundidad de salida de 0.75 m; Pila de Hidrólisis: altura útil de 2.85 m sin incluir el borde libre; una longitud total de 6 m y un ancho de 3.5 m; Digestor: altura de 3.00 m, con un ancho inferior de 2.70 m y un ancho superior de 3.70 m, un largo inferior de 5.00 m y un largo superior de 6.00 m respectivamente; Filtro Descendente: altura útil de 1.80 m, ancho de 2.50 m y largo de 2.80 m; y cada pila del Biofiltro de Flujo Horizontal tendrá las siguientes dimensiones: altura efectiva de 0.80 m, altura total de 0.90 m, longitud de 10.00 m, ancho de 10.00 m.

El costo total del proyecto asciende a US \$ 77,826.60 (Setenta y siete mil ochocientos veintiséis dólares estadounidenses con 60 centavos). Y el costo total para la operación y el mantenimiento de todo el sistema de tratamiento es aproximadamente de US \$ 1,775 (Un mil setecientos setenta y cinco dólares estadounidenses) anuales.

ALCANCES Y LIMITACIONES.

Todo proyecto para ser llevado a cabo necesita poseer un sin número de destrezas e instrumentos, así como agentes indispensables de tiempo, costo e inversión, para cumplir los objetivos planteados. En nuestro caso, se requirió de mucha información bibliográfica y estudios, tales como: Estudio de suelo, geotécnicos, hidrológicos, ambientales, socioeconómicos, topográficos entre otros. En este trabajo se hizo todo lo posible para adaptar el proyecto a condiciones reales, pero no todo pudo cumplirse, debido a que no estaba a nuestro alcance, por factores económicos.

Para la realización de nuestro trabajo monográfico se presentaron algunos inconvenientes, siendo uno de ellos la excavación para realizar la Prueba de Infiltración del Suelo, como requerimiento para la construcción del Sistema de Tratamiento, en donde se encontró un manto de toba volcánica (Piedra Cantera), que no nos permitió llegar hasta la profundidad requerida de 3 m, que se demanda para efectuar este tipo de pruebas a como lo establecen las Normativas, logrando únicamente excavar hasta la profundidad de 1.80 m.

También se realizó un Estudio de Suelo conforme la Norma ASTM D-1586 de la American Society for Testing and Materials, este estudio geotécnico del sitio se efectuó por medio de dos sondeos, en el primer sondeo se encontró a los 0.91 m un horizonte de toba volcánica y en el segundo sondeo se encontró otro material similar a los 1.83 m de profundidad, impidiendo en ambos casos la entrada del penetrómetro o cuchara del barreno toma muestras, aumentando el número de golpes para lograr la penetración de cada 30 cm (1 pie), lo que indica que ha medida que se va profundizando, el material existente es más resistente a los golpes. Por motivos de seguridad de los equipos y la indicación de los operadores a cargo del Ensayo de Penetración Estándar (SPT) decidimos dejar de profundizar en ambos sondeos.

INDICE

INTRODUCCIÓN.....	1
OBJETIVOS.....	3
JUSTIFICACIÓN.....	4
CAPÍTULO I.....	5
1. MARCO TEÓRICO.....	6
1.1. Definición de agua residual.....	6
1.1.1. Tratamiento de aguas residuales.....	6
1.1.2. Clasificación de las aguas residuales.....	6
1.1.3. Características importantes de las aguas residuales.....	7
1.1.3.1. Características físicas del agua residual.....	8
1.1.3.2. Características químicas del agua residual (composición).....	9
1.1.3.2.1. Medida del Contenido Orgánico.....	12
1.1.3.3. Características biológicas del agua residual.....	14
1.2. Tratamiento de aguas residuales.....	14
1.2.1. Clasificación y aplicación de los métodos de tratamiento del agua residual.....	14
1.2.2. Etapas o niveles de tratamiento.....	16
1.2.2.1. Tratamiento preliminar o pre-tratamiento.....	17
1.2.2.2. Tratamiento primario.....	19
1.2.2.3. Tratamiento secundario.....	37
1.2.2.4. Tratamiento de lodos.....	45
1.3. Métodos de disposición de aguas residuales.....	47
1.3.1. Reglamentos, metas y normas establecidas.....	47
1.4. Impacto ambiental.....	50
1.4.1. ¿Qué es un estudio de impacto ambiental?.....	50
CAPÍTULO II.....	57
2. DISEÑO METODOLÓGICO.....	58
2.1. Estudio de Suelo.....	58
2.2. Aporte de aguas residuales.....	59
2.3. Sistema de tratamiento de aguas residuales propuesto.....	60

2.3.1. Pre- tratamiento o Tratamiento preliminar.....	61
2.3.2. Tratamiento primario.....	63
2.3.3. Tratamiento secundario.....	72
2.3.4. Tratamiento de lodos.....	77
2.4. Diagnostico de Impacto Ambiental.....	78
CAPÍTULO III.....	79
3. DESARROLLO Y RESULTADOS.....	80
3.1. Área de estudio.....	80
3.1.1. Localización del área de estudio.....	80
3.2. Características de la zona del proyecto.....	82
3.2.1. Servicios Básicos.....	86
3.3. Presentación y Discusión de Resultados.....	88
3.3.1. Determinación de caudales.....	88
3.3.2. Determinación del Caudal total.....	106
3.4. Caracterización de las aguas residuales a tratar.....	109
3.5. Análisis de la ubicación del sistema de tratamiento de aguas residuales.....	113
3.6. Análisis y selección de alternativas.....	114
3.7. Resultados.....	116
3.7.1. Estudio de Suelo.....	116
3.7.2. Sistema de tratamiento descripción general.....	117
3.7.3. Disposición de efluente final.....	124
3.7.4. Diagnóstico de Impacto Ambiental.....	125
3.7.5. Diseño Estructural.....	126
3.7.6. Presupuesto.....	127
CONCLUSIONES.....	128
RECOMENDACIONES.....	129
BIBLIOGRAFÍA.....	131

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXOS.....	i
A. TABLAS.....	ii
A.1. Datos de temperatura máxima absoluta.....	iii
A.2. Datos de temperatura mínima absoluta.....	iv
A.3. Datos de Temperatura media.....	v
A.4. Datos de humedad relativa.....	vi
A.5. Datos de evaporación de pana.....	vii
A.6. Datos de precipitación.....	viii
B. FOTOGRAFÍAS.....	ix
Foto B.1. Realización del Sondeo Nº 1.....	x
Foto B.2. Muestras del Sondeo Nº 1.....	x
Foto B.3. Instalación del Trípode para la realización del Sondeo Nº 2.....	xi
Foto B.4. Penetración del barreno en el subsuelo. Sondeo Nº 2.....	xi
Foto B.5. Muestras del Sondeo Nº 2.....	xii
Foto B.6. Calicata realizada para el ensaye de infiltración.....	xiii
Foto B.7. Simulación de la prueba de infiltración.....	xiii
Foto B.8. Muestra parte del horizonte de toba volcánica encontrado en el sitio de realización del ensaye.....	xiv
Foto B.9. Terrón de Toba Volcánica producto de la excavación realizada en el sitio.....	xiv
C. ESTUDIO DE SUELO.....	xv
C.1. Estudio de Suelo.....	xvi
C.2. Tabla de Registro de Campo del Sondeo Nº 1.....	xxiv
C.3. Tabla de Registro de Campo del Sondeo Nº 2.....	xxv
C.4. Perfil estratigráfico y gráfico de penetración de Sondeo Nº 1.....	xxvi
C.5. Perfil estratigráfico y gráfico de penetración de Sondeo Nº 2.....	xxvii
C.6. Resultados de Ensayos de suelos.....	xxviii
C.7. Plano de ubicación de los Sondeos y Prueba de Infiltración el CEA-UNI.....	xxix
C.7.1. Plano de acercamiento del sitio donde se realizaron los Sondeos y Prueba de Infiltración.....	xxx

D. DIAGNÓSTICO DE IMPACTO AMBIENTAL.....	xxxí
D.1. Lista de Chequeo modificada / Fase de Construcción.....	xxxii
D.2. Lista de Chequeo modificada / Fase de Operación.....	xxxiii
D.3 Matriz de valoración de Importancia (FASE DE CONSTRUCCIÓN).....	xxxiv
D.4 Matriz de valoración de Importancia (FASE DE OPERACIÓN).....	xxxv
D.5. Gráfico del Valor de Importancia de cada uno de los elementos del medio en la Etapa de Construcción.....	xxxvi
D.6. Gráfico del Valor de Importancia de cada uno de los elementos del medio en la Etapa de Operación.....	xxxvii
E. COTIZACIONES DE CRIBA HIDROSTÁTICA Y BOMBA.....	xxxviii
E.1. Cotización de criba hidrostática.....	xxxix
E.1.1. Imagen de muestra de la criba hidrostática.....	xl
E.2. Cotización de la Bomba.....	xli
F. DISEÑO DEL SISTEMA PROPUESTO.....	xlíi
F.1. Diseño del Canal de Entrada.....	xliv
F.2. Diseño del Desarenador.....	xlv
F.3. Diseño de Pila de Hidrólisis.....	xlvíi
F.3.1. Cálculo de Carga Total Dinámica (CTD) y Selección del Modelo de la bomba.....	li
F.4. Diseño del Digestor Anaerobio.....	lii
F.4.1. Producción de Biogás.....	liv
F.5. Diseño del Filtro Descendente (FD).....	lvi
F.6. Diseño del Biofiltro de Flujo Horizontal (BFH).....	lix
F.7. Diseño de la Pila de Secado de Lodos.....	lxíi
G. DISEÑO ESTRUCTURAL.....	lxíiv
G.1. El diseño estructural del desarenador.....	lxv
G.2. Diseño estructural de la Pila de Hidrólisis.....	lxvíi
G.3. Diseño estructural de Digestor Anaeróbico.....	lxxxiv

H. ESPECIFICACIONES TÉCNICAS.....	lxxxix
H.1. Alcances de la obra.....	xc
H.2. Normas y Códigos.....	xc
H.3. Seguridad.....	xc
H.3.1. Barricadas, Avisos preventivos y Luces.....	xcii
H.4. Especificaciones técnicas de la pila de hidrólisis y el digestor.....	xcii
H.5. Especificaciones técnicas de caja de registro.....	xcviii
H.6. Especificaciones técnicas de filtro vertical descendente (FVD).....	xcix
H.7. Especificaciones técnicas de la bomba sumergible para aguas residuales.....	c
H. 8. Especificaciones técnicas para la construcción de biofiltros.....	ciii
I: MANUAL DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO.....	cviii
I.1. Trabajos a realizar en cada una de las etapas del sistema de tratamiento.....	cix
I.2. Descripción de las actividades para la buena operación del sistema de tratamiento de aguas residuales.....	cx
I.2.1. Actividades para el arranque del sistema digestor anaerobio.....	cxii
I.2.2. Actividades de operación y mantenimiento del sistema.....	cxiii
I.3. Operación y control del digestor anaerobio.....	cxix
I.4. Medición de caudal del sistema.....	cxxiv
I.5. Normas de seguridad en la planta de biogás.....	cxxv
I.6. Actividades rutinarias de operación y mantenimiento del sistema.....	cxxvi
I.7. Parámetros a analizar para el control del sistema de tratamiento.....	cxxviii
J: PRESUPUESTO GENERAL DEL SISTEMA PROPUESTO.....	cxxix
K: PRESUPUESTO PARA LA OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO PROPUESTO.....	cxxxviii
L: PLANOS CONSTRUCTIVOS.....	cxliii

INTRODUCCIÓN.

En Nicaragua las actividades agroindustriales tales como: los beneficios de café, Productos lácteos, matanza de ganado bovino, porcino y aves, generan grandes cantidades de desechos líquidos y sólidos, con altas concentraciones de carga orgánica, las que constituyen un serio problema ambiental, debido a que son vertidas en su gran mayoría sin ningún tipo de tratamiento adecuado al medio ambiente, como vaguadas, ríos, lagos, cauces naturales, predios baldíos etc., creando peligrosos focos de contaminación, malos olores y enfermedades, en las localidades que los rodean.

Es de importancia señalar, que en nuestro país, no existe ningún estudio que demuestre los volúmenes de agua que están siendo tratadas a través de las Plantas de tratamientos en las Empresas Agroindustriales que trabajan legalmente y que cumplen con el Decreto 33-95 emitido por el MARENA, las cuales deben tener en sus instalaciones sistemas tecnológicos que procesen las aguas provenientes de sus distintas operaciones; tampoco se sabe la cantidad de volúmenes de agua provenientes de pequeñas empresas que trabajan clandestinamente y que descargan sus aguas sin ningún método que permita verterlas a cualquier ecosistema.

La Universidad Nacional de Ingeniería tiene un Plan Maestro que permitirá desarrollar potencialmente el Centro Experimental Agrícola (CEA-UNI), estando dentro de sus objetivos establecer como proyectos pilotos una granja avícola y otra porcina, seguido de la construcción de un matadero de aves y cerdos, para autoconsumo de los trabajadores y estudiantes de los dos recintos. Esto nos indica que habrá, generación de aguas contaminadas proveniente de dichas actividades, por lo que el proyecto contempla un sistema integral, que nos permita obtener un desarrollo sostenible y que también esté en armonía con el Medio ambiente garantizando su protección.

Una solución para resolver este tipo de problema, es construir un Sistema de Tratamiento de las Aguas Residuales, que pueden lograr una buena disposición y reutilización de las aguas ya tratadas y que al mismo tiempo generen subproductos (biogás) que pueden ser aprovechados en la misma industria, certificando de esa manera la protección a la naturaleza y también la salud humana. Para establecer estas tecnologías es necesario analizar las condiciones y necesidades de la localidad y aplicar conocimientos científicos Ingenieriles, dentro del marco de referencia de las Leyes y Normas que regulan la calidad del agua y la sanidad ambiental a nivel nacional.

La Universidad Nacional de Ingeniería (UNI), al implantar estas dos granjas con sus respectivos mataderos, está comprometida con el cumplimiento de la Norma Técnica Nicaragüense 05 001-98 para el Control Ambiental de Mataderos y estatutos establecidos por el MARENA, así como también con la defensa del medio ambiente, la conservación de los recursos naturales y el cuidado de la salud humana.

El presente trabajo monográfico consistió en diseñar un Sistema de Tratamiento de Aguas Residuales (STAR) y el aprovechamiento de las mismas, originadas por la matanza de pollos y cerdos, y de los desechos líquidos originados en las galeras de los cerdos producto de la orina y el lavado de los chiqueros que serán generadas en el Centro Experimental Agrícola (CEA-UNI) ubicado en la Comarca Las Flores, Masaya. Con esto se pretende mejorar la calidad del agua tratada permitiendo una evacuación segura a cuerpos receptores, contribuyendo de esta manera a la preservación del Medio Ambiente.

OBJETIVOS.

Objetivo General:

Diseñar el sistema de tratamiento para el aprovechamiento de las aguas residuales en el Centro Experimental Agrícola (CEA-UNI) en la Comarca Las Flores, Masaya.

Objetivos Específicos:

- a) Recopilar y analizar la información bibliográfica para determinar los parámetros de diseño (DQO, DBO, pH, temperatura, caudal, SST, SS); para el sistema de tratamiento.
- b) Analizar las alternativas posibles de tratamiento de las aguas residuales para seleccionar la opción más viable sanitaria, hidráulica y económica.
- c) Realizar el dibujo de los planos constructivos y estructurales del sistema de tratamiento propuesto.
- d) Examinar las alternativas posibles del uso de biogás producido por el sistema de tratamiento.
- e) Determinar el presupuesto de diseño, construcción, operación y mantenimiento del proyecto, para las diferentes alternativas que se planteen.
- f) Elaborar un manual de operación y mantenimiento de la planta de tratamiento propuesta.
- g) Realizar un diagnóstico de impacto ambiental.

JUSTIFICACIÓN

El reutilizamiento del agua residual a través de la implementación de tecnologías apropiadas, también trae consigo el uso de la biomasa como fuente de energía, ambas alternativas ofrecen un amplio rango de beneficios ambientales: tales como la producción de biogás que puede ser utilizada para diferentes actividades humanas y procesos agroindustriales, lo anterior ayuda a que miles de hectáreas de árboles se salven día a día y no sean utilizados para leña, también se contribuye a mitigar el cambio climático y el efecto invernadero, reducir la lluvia ácida, prevenir la erosión de los suelos y la contaminación de las fuentes de agua, reducir la presión provocada por la basura urbana, enriquecer el hábitat de la vida silvestre y ayudar a mantener la salud humana y estabilidad de los ecosistemas.

Además de contribuir a la preservación del medio ambiente y la salud humana, con la aplicación del Sistema de Tratamiento para las Aguas Residuales generadas en las granjas avícola y porcina que serán ubicadas en el CEA-UNI, también se aprovecharán los subproductos generados por el mismo, tales como: 1) biogás, como fuente de energía, 2) El efluente será usado para riego agrícola, en cultivos que se establezcan en el propio centro.



CAPÍTULO I:
MARCO
TEÓRICO

1. MARCO TEÓRICO.

1.1. Definición de agua residual.¹

Aguas Residuales: Son aquellas procedentes de actividades domésticas, comerciales, industriales y agropecuarias que presenten características físicas, químicas o biológicas que causen daño a la calidad del agua, suelo, biota y a la salud humana.

1.1.1. Tratamiento de aguas residuales.

El tratamiento de aguas residuales se refiere a los procesos tecnológicos utilizados para recuperar la calidad del agua hasta niveles aceptables de acuerdo a la capacidad de absorción del medio ambiente. Eso significa purificar el agua hasta un grado de calidad aceptable que puede ser asimilada por un cuerpo de agua sin daños significativos para su ecosistema y las actividades humanas interactuantes con el mismo.

1.1.2. Clasificación de las aguas residuales.²

Las aguas residuales se clasifican de acuerdo a su origen y composición. Cuando se diseñan los sistemas de deposición de aguas residuales, es decir, la recolección y el tratamiento de las mismas, debe diferenciarse entre:

- * **Aguas residuales domésticas**, que provienen de viviendas, edificios públicos y otras instalaciones, incluyendo el agua utilizada para limpieza de calles y control de incendios, así como las provenientes de pequeñas industrias locales conectadas al mismo sistema de alcantarillado,

¹ Disposiciones para el control contaminación provenientes descargas de aguas residuales domésticas, industriales y agropecuarias; DECRETO No. 33-95; MARENA, Junio, 1995.

² GTZ, Cooperación Técnica República Federal Alemana, Manual de Disposición de las Aguas Residuales; Tomo I, Lima 1991.

- * **Aguas residuales comerciales**, que proviene de locales comerciales, como mataderos, pequeñas industrias y otras instalaciones públicas y que suelen estar conectadas a un sistema de alcantarillado común,
- * **Aguas residuales industriales de todo tipo**, producidas por grandes plantas industriales,
- * **Aguas residuales agrícolas**, provenientes de la cría de ganado y del procesamiento de productos animales y vegetales,
- * **Agua de infiltración**, proveniente de sistemas de drenaje, tuberías de desagüe y del descenso artificial del nivel de las aguas subterráneas, así como de la infiltración de éstas hacia el sistema de alcantarillado a través de tuberías y otras instalaciones defectuosas,
- * **Agua de lluvia**, que incluye todas las formas de precipitación: lluvia, nieve, granizo y niebla,
- * **Aguas artificiales**, provenientes de aquellos cuerpos de aguas que ingresan directamente en el sistema de alcantarillado.

1.1.3. Características importantes de las aguas residuales.

De la misma manera que en las aguas naturales se miden las características físicas, químicas y biológicas de aguas residuales para establecer principalmente, las cargas orgánicas y de sólidos que transportan, determinar efectos del vertimiento a cuerpos de agua y seleccionar las operaciones y procesos de tratamiento que resultarán más eficaces y económicos.

1.1.3.1. Características físicas del agua residual.³

En la caracterización de las aguas residuales es importante conocer la temperatura, la concentración y la clase de sólidos principalmente, el color, el olor y el sabor no son significativas en la caracterización de desechos líquidos.

* **Color:**

Causado por sólidos suspendidos (aparente), material coloidal y sustancias en solución (verdadero). Las fuentes de color pueden ser: infiltración, aportes por conexiones erradas, descargas industriales, y descomposición de compuestos orgánicos. En los colores comúnmente tenemos: Café claro, gris claro, gris oscuro o negro.

* **Olor:**

El agua residual fresca da un olor inofensivo. Podemos mencionar algunos generadores de olores como son: indol, eskatol, mercaptanos, sulfuro de hidrógeno.

* **Temperatura:**

La temperatura cambia según el lugar por ejemplo en regiones cálidas oscila entre: 13°C - 30°C y en regiones frías va de: 7°C - 18°C. Afecta las reacciones químicas, velocidades de reacción, uso del agua, vida acuática.

La temperatura óptima para la vida bacteriana anda por: 25°C - 35°C. En la detención de procesos aeróbicos y de nitrificación es de: 50°C. En detención producción de metano: 15°C. Por otro lado la detención de procesos nitrificantes es: 5°C.

³<http://www.google.com.ni/CARACTERISTICAS+FISICAS+DEL+AGUA+RESIDUAL>

El aumento de temperatura acelera la descomposición de la materia orgánica, aumenta el consumo de oxígeno para la oxidación y disminuye la solubilidad del oxígeno y otros gases.

La densidad, la viscosidad y la tensión superficial disminuyen al aumentar la temperatura, o al contrario cuando esta disminuye, estos cambios modifican la velocidad de sedimentación de partículas en suspensión y la transferencia de oxígeno en procesos biológicos de tratamiento.

* **Sólidos totales:**⁴

Es la cantidad total de materia orgánica que queda como residuo de la evaporación a aproximadamente 104 °C. Se clasifican en Sólidos Sedimentables (SS) y Sólidos Suspendidos (SST). Los primeros son una medida de la cantidad de fango que se elimina por sedimentación; y los segundos incluyen la porción de sólidos totales retenidos por un filtro.

1.1.3.2. Características químicas del agua residual (composición).⁵

● **Compuestos inorgánicos.**

- **Conductividad:** Es la capacidad de una solución para conducir la corriente eléctrica. Indicador de la concentración de sólidos disueltos totales.
- **Potencial Hidrógeno (pH):** El rango de existencia de vida biológica oscila entre: 5 – 9. Parámetro importante para el tratamiento.

⁴ Ingeniería Sanitaria, Tratamiento, Evacuación; Metcalf & Eddy; México, Mc Graw- Hill, 1995.

⁵ <http://www.google.com.ni/CARACTERISTICAS+FISICAS+DEL+AGUA+RESIDUAL>

- **Alcalinidad:** Su función neutralizar ácidos. La encontramos en presencia de hidróxidos, carbonatos y bicarbonatos. En sistemas anaerobios o de nitrificación amortigua ácidos.

Los compuestos inorgánicos agregados a las aguas durante su uso son principalmente: a) sales, b) nutrientes, c) trazas de elementos y d) tóxicos.

a). Sales, generalmente están en solución y contribuyen a aumentar la salinidad del agua. El número de sales disueltas durante cada uso del agua puede alcanzar 300- 350 mg/l.

b). Nutrientes. El nitrógeno agregado en las proteínas principalmente y el fósforo en compuestos orgánicos y los detergentes son nutrientes que promueven el crecimiento de organismos productores autótrofos en aguas receptoras de desechos.

✧ **Nitrógeno:** El contenido de nitrógeno amoniacal constituye un parámetro adicional para determinar la contaminación producida por aguas residuales domésticas y comerciales. Hasta cantidades relativamente pequeñas de este elemento, son tóxicas para los peces. Aparte de originarse en aguas residuales domésticas y comerciales, el amoníaco puede provenir de explotaciones agrícolas (fertilizantes). En aguas residuales se presenta en: nitrógeno amoniacal (Ion amonio: $\text{pH} < 9.3$ - Amoníaco: $\text{pH} > 9.3$), nitritos, nitratos y nitrógeno orgánico.

✧ **Fósforo:** En un nutriente esencial. Las aguas residuales domésticas pueden tener entre: 4 - 12 mg/L como **P**. Entre las formas más comunes de encontrarlo se menciona: orto-fosfatos, poli-fosfatos (sufren hidrólisis en soluciones acuosas y se convierten en orto-fosfatos) y fósforo orgánico (en aguas industriales).

c). Trazas de elementos. Minerales como hierro, calcio, cobre, potasio, sodio, magnesio, manganeso, etc., son esenciales a la actividad microbiana. En ocasiones principalmente en desechos industriales, hay deficiencia de uno o más de estos elementos y la actividad microbiológica es inhibida. En el tratamiento de desechos de industrias es importante conocer cuál o cuáles micro-elementos son deficientes.

d). Tóxicos. Afectan a los microorganismos y a los procesos de tratamiento y provienen de productos farmacéuticos, químicos y biocidas. Algunos tóxicos comunes son plomo, cromo, zinc, mercurio, cianuro, ácidos, bases fuertes, derivados del petróleo y biocidas.

Gases:

En aguas residuales los gases son producto de la descomposición biológica de la materia orgánica y de la transferencia desde la atmósfera. Los gases en aguas residuales son: a) oxígeno disuelto, b) dióxido de carbono, c) metano, amoníaco y ácido sulfhídrico.

a). Oxígeno disuelto, se disuelve desde la atmósfera y de la actividad fotosintética de algas. Hay muy poco oxígeno disuelto en el producto cloacal fresco y ninguno en aguas residuales sépticas.

b). Dióxido de carbono (CO₂), la concentración es función del pH y el equilibrio químico del agua, también se encuentran monóxido de carbono (CO). El CO₂ en el agua es producido durante la respiración de microorganismos en aguas residuales y como producto de la descomposición biológica.

c). Metano CH₄, de la descomposición anaerobia de materia orgánica. Se encuentra en condiciones anaerobias donde hay descomposición en condiciones anóxicas.

d). **Amoníaco.** NH_3 , NH_4 las distribuciones dependen del pH de las aguas. Valores más altos del pH favorecen la presencia del gas NH_3 , especialmente por encima de 9. Es resultado de la descomposición biológica de compuestos nitrogenados.

e). **Sulfuro de hidrógeno (H_2S),** alteran el pH de las aguas y produce corrosión de las alcantarillas. El H_2S se produce en condiciones anaerobias cuando predomina la formación de ácidos y no hay producción de metano.

Constituyentes orgánicos agregados:⁶

La materia orgánica en las aguas residuales la podemos encontrar en pequeñas concentraciones como: proteínas (40 - 60%), carbohidratos (25 - 50%) y grasas y aceites (8 - 12%), en líquidos a temperatura ambiente tenemos los aceites, y en sólidos a temperatura ambiente encontramos a las grasas. Entre ellos encontramos esterres compuestos de ácidos grasos, alcohol y glicerol. Urea (mayor constituyente de la orina).

1.1.3.2.1. Medida del Contenido Orgánico.

Los métodos para determinarla son: DBO_5 , DQO, COT.

El grado de contaminación de las aguas residuales se representa utilizando criterios tales como la DBO, la DQO, el contenido de nitrógeno amoniacal, el COT y la DTO.

- La DBO, o demanda bioquímica de oxígeno, es la cantidad de oxígeno requerido por los microorganismos para estabilizar la materia orgánica biodegradable en 20 días, a una temperatura de 20°C. Se le designa como DBO última de primera etapa o DBO_{20} . También es común determinar la DBO_5 (DBO en cinco días).

⁶ GTZ, Cooperación Técnica República Federal Alemana, Manual de Disposición de las Aguas Residuales; Tomo I, Lima 1991.

- La DQO, la carga contaminante de las aguas residuales también puede expresarse mediante la DQO (demanda química de oxígeno). Esta representa el oxígeno requerido para la oxidación química de los constituyentes orgánicos e inorgánicos. Como agente oxidante se utiliza:
- El dicromato de potasio ($K_2Cr_2O_7$).
 - EL permanganato de potasio ($KMnO_4$)

El dicromato de potasio es el agente oxidante más fuerte y da como resultado una mayor demanda de oxígeno para un mismo contenido de materia orgánica.

◆ **DBO₅ / DQO:**

- DBO₅/DQO entre 0.3 y 0.8 = ARD.
 - DBO₅/DQO > 0.5, tratamiento biológico.
 - DBO₅/DQO < 0.3 constituyentes tóxicos y/o aclimatación.
- El COT (carbono orgánico total) es una cantidad analíticamente exacta. Se determina mediante la oxidación térmica de sustancias orgánicas, a través de la combustión a elevada temperatura y la posterior medición de la cantidad de CO₂ formado. Teóricamente, la cantidad de carbono orgánico puede variar entre aproximadamente 8% (para CCl₄) y 94% (para C₁₀H₈ - naftalina). La variación es mucho menor en el caso de las mezclas encontradas en agua y aguas residuales. Sin embargo, el contenido de carbono orgánico en aguas residuales presenta sólo parte de la contaminación.

- **La DTO** (demanda total de oxígeno) representa la cantidad teórica de oxígeno requerida para oxidar todas las sustancias oxidables presentes en las aguas residuales. Cuando la DTO se determina mediante el consumo de oxígeno, por ejemplo mediante la combustión a altas temperaturas en presencia de oxígeno, su valor es igual a la cantidad del O₂ necesario para formar CO₂, H₂O, óxidos de nitrógeno y óxidos de azufre de los compuestos orgánicos, así como el correspondiente O₂ requerido para formar los óxidos de algunos compuestos inorgánicos.

1.1.3.3. Características biológicas del agua residual:⁷

Microorganismos: En las aguas residuales pueden ser protistas, vegetales y animales. Entre los protistas encontramos bacterias, hongos, protozoos y algas.

Organismos patógenos: provienen de desechos humanos infectados o de desechos portadores de enfermedades como fiebre tifoidea, disentería, diarrea y cólera. Son altamente infecciosos y responsables de un gran número de muertes en regiones con poca salubridad y de climas tropicales como nuestro país.

1.2. Tratamiento de aguas residuales.⁸

1.2.1. Clasificación y aplicación de los métodos de tratamiento del agua residual.

Los contaminantes presentes en el agua residual pueden eliminarse por métodos Físicos, químicos y biológicos. Los métodos individuales se describen por Operaciones físicas unitarias, procesos químicos unitarios y procesos biológicos unitarios.

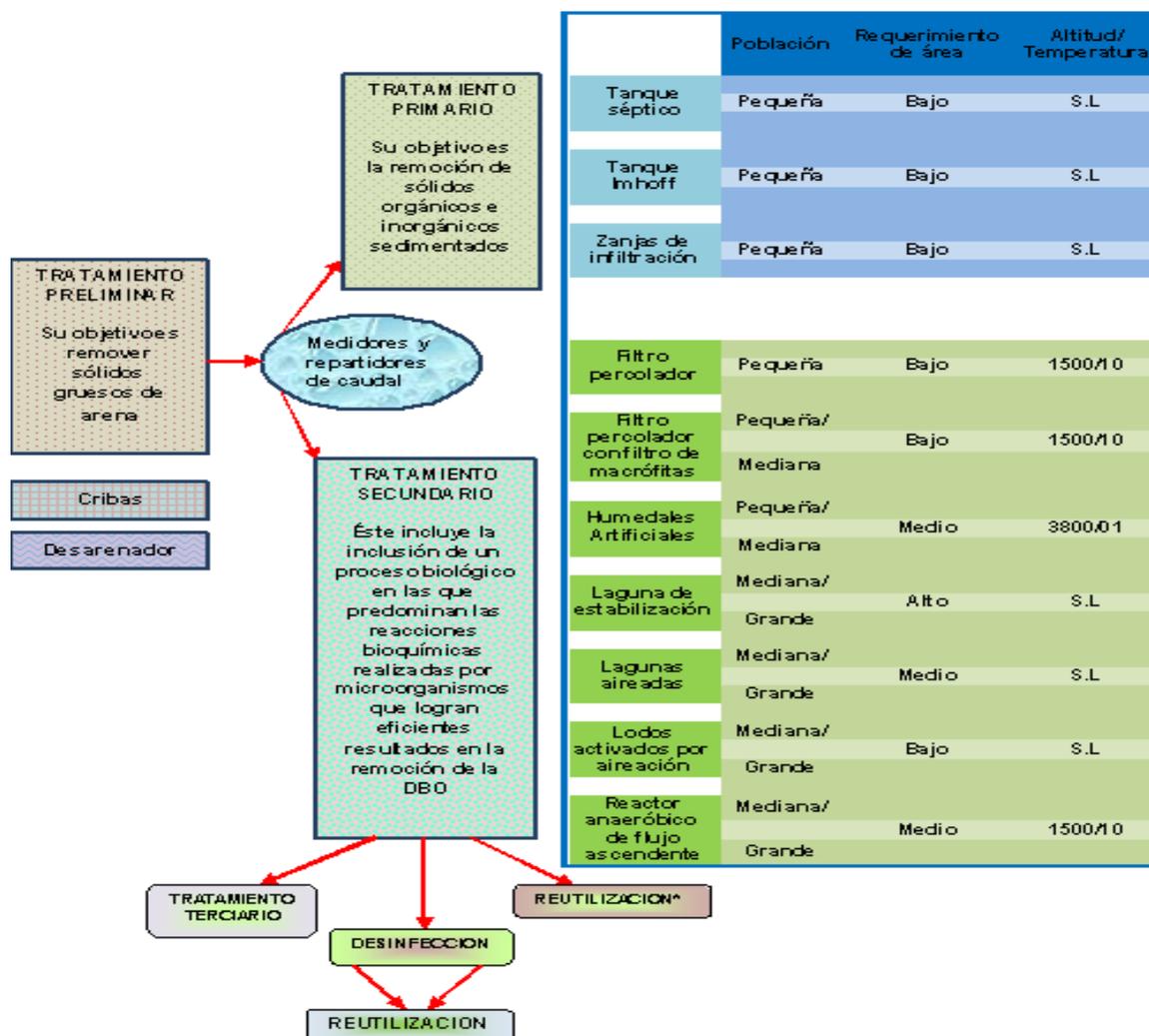
⁷ *Diseño del Sistema de Tratamiento de las Aguas Residuales del Recinto Universitario UNI - Norte, Estelí; Castellón Martínez Yesenia Lucia, Vanegas Corrales Tania del Carmen; Noviembre, 2009. (Monografía)*

⁸ *Universidad Nacional de Ingeniería; Ing. María Elena Baldizón A.; Apuntes de Ingeniería Sanitaria II; Junio, 2002.*

- **Operaciones físicas unitarias:** En este tipo de método individual predomina la aplicación de las fuerzas físicas, como el desbaste, mezclado, floculación, sedimentación, flotación y filtración.
- **Procesos químicos unitarios:** En este método, la eliminación de contaminantes es provocado por la adición de compuestos químicos o por otras reacciones químicas como, la precipitación, la transferencia de gases, adsorción y la desinfección.
- **Procesos biológicos unitarios:** Métodos de tratamiento en los cuales se consigue la eliminación de contaminantes por la actividad biológica. El tratamiento biológico se usa especialmente para eliminar las sustancias orgánicas biodegradables (coloidales o disueltas) presentes en el agua residual. Estas sustancias se convierten en gases que pueden escapar a la atmósfera y en tejido celular biológico que puede eliminarse por sedimentación.

1.2.2. Etapas o niveles de tratamiento.

Cuadro1. Flujo grama de tecnologías empleadas en el tratamiento de aguas residuales⁹



Nota: Los datos mostrados sobre niveles de población son referenciales, pues hay que considerar, entre otros factores el costo beneficio por habitante.

* Considerar la calidad del efluente para definir el tipo de uso.

S.L: Sin Límite. Se debe tomar en cuenta que a mayor altitud la eficiencia de los sistemas generalmente disminuye o incrementan los costos.

Altitud: Metros sobre el nivel del mar (msnm).

Temperatura: en grados centígrados (°C).

Interpretación de 1500/10: Sistema de tratamiento comprobado que funciona bien hasta los 1500 msnm o a temperaturas superiores a 10°C. (Lo mismo para 3800/01). A mayores altitudes no se tiene referencia.

⁹ Universidad Nacional de Ingeniería; Parte 2: Tratamiento y Reuso de Aguas Residuales; Lima- Perú, Año 2000.

1.2.2.1. Tratamiento preliminar o pre-tratamiento.¹⁰

Tiene como objetivos la retención de sólidos gruesos y sólidos finos con densidad mayor al agua y arenas, con el fin de facilitar el tratamiento posterior. Son usuales el empleo de canales con rejas gruesas y finas, desarenadores, y en casos especiales se emplean tamices (cribas). Estas unidades, en ocasiones, obviadas en el diseño de plantas de tratamiento, son necesarias para evitar problemas por el paso de arena, basura, plásticos, etc., hacia los procesos de tratamientos propiamente dichos.

a) Rejas.

Se conocen como rejillas aquellos tipos de enrejados que se utilizan para la separación de sólidos gruesos y se ubican transversalmente al flujo. Al pasar el agua, el material grueso queda retenido en el enrejado y debe ser retirado manualmente o con dispositivos mecánicos adecuados. Dependiendo del espaciado libre entre las barras de las rejillas, se pueden distinguir entre rejillas para material grueso, generalmente con espaciado entre 30 – 100 mm, y rejillas para material fino, con espaciado de 10 – 30 mm. Debido a que las rejillas suelen estar ubicadas en el canal de ingreso, la remoción periódica del material atrapado constituye una función clave para mantener el funcionamiento ininterrumpido del sistema de tratamiento en la planta.

Las rejillas de limpieza manual no deben exceder una longitud que permita rastrillarse fácilmente, así también deberá colocarse una placa perforada para que los objetos rastrillados puedan almacenarse temporalmente para su desagüe.

¹⁰ Universidad Nacional de Ingeniería; Parte 2: Tratamiento y Reuso de Aguas Residuales; Lima- Perú, Año 2000

✓ Tipos.

Existen dos tipos de rejas: Rejas sencillas de limpieza manual y rejas mecanizadas.

Las rejas de barra suelen tener aberturas libres entre barras de 5 mm o mayores. La limpieza puede ser manual o mecanizada. La limpieza manual consiste en meter el rastrillo y extraer la basura o sólidos retenidos, dejar, secar y luego incinerarlos o enterrarlos.

La reja sencilla de limpieza manual es la más usada. Sin embargo, no es muy recomendable, a menos que sea de relevo mientras la otra unidad se encuentre en mantenimiento o cuando el caudal máximo (de diseño) sea inferior a 50 L/s; en caso que sea superior a 150 L/s se recomienda la reja de limpieza mecánica.¹¹

b) Desarenador.

Los desarenadores son estructuras hidráulicas para remover la arena del agua captada para un sistema de aprovechamiento. Los desarenadores de flujo horizontal serán diseñados para remover partículas de diámetro medio igual o superior a 0.20 mm y proyectados para la remoción de partículas con más del 95% en peso, y peso específico correspondiente al de arena media igual a 2.65 kgf/m³, con la excepción de cuando se quiera remover partículas de arena con diámetros diferentes.¹²

¹¹ *Diseño del Sistema de Tratamiento de las Aguas Residuales del Recinto Universitario UNI - Norte, Estelí; Castellón Martínez Yasería Lucía, Vanegas Corrales Tania del Carmen; Noviembre,2009.(Monografía).*

¹² *Norma Bolivariana NB 688 Instalaciones sanitarias - Alcantarillado sanitario, pluvial y tratamiento de aguas residuales; Dirección General de Saneamiento Básico DIGESBA, 2001.*

Los factores a tener en cuenta en el análisis y el diseño de un desarenador son la temperatura, la viscosidad del agua, el tamaño de las partículas de arena a remover, la velocidad de sedimentación de la partícula y el porcentaje de remoción deseado.¹³

1.2.2.2. Tratamiento primario.¹⁴

Se considera como unidad de tratamiento primario a todo sistema que permite remover material en suspensión, excepto material coloidal o sustancias disueltas presentes en el agua. Así, la remoción del tratamiento primario permite quitar entre el 60 al 70% de sólidos suspendidos totales y hasta un 30% de la DBO (Demanda Bioquímica de Oxígeno) orgánica sedimentable presente en el agua residual.

- **Pila de hidrólisis.**

En la pila de hidrólisis se da el inicio del tratamiento anaerobio. Este primer paso conlleva a la transformación por vía enzimática (hidrólisis) de los compuestos de alto peso molecular en compuestos que puedan servir como fuente de energía y de carbono celular. Un grupo de microorganismos se ocupa de la hidrolización de los polímeros orgánicos y de los lípidos para formar elementos estructurales básicos como los monosacáridos, los aminoácidos y los compuestos relacionados con éstos. Además, esta pila sirve como pila de igualación para diferentes caudales y cargas de aguas de proceso durante el día y su forma de alimentación garantiza el mezclado necesario de las aguas acumuladas.

¹³ <http://fluidos.eia.edu.co/suministroydisposiciondeaguas/temasdeinteres/desarenadores/desarenadores.htm>

¹⁴ Universidad Nacional de Ingeniería; Parte 2: Tratamiento y Reuso de Aguas Residuales; Lima- Perú, Año 2000.

➤ **Bombeo de aguas residuales.**

- Capacidad: es el volumen del líquido bombeado por unidad de tiempo.
- Eficiencia del conjunto moto-bomba: La eficiencia de las máquinas hasta cierto punto puede variar con la potencia por razones de construcción, siendo más elevado para las máquinas grandes. La eficiencia de los motores eléctricos empleados por determinado fabricante de bombas varían con respecto a la potencia de las bombas.
- Potencia de los sistemas de bombeo: El conjunto elevador (bomba) deberá vencer la diferencia de nivel entre dos puntos, más las pérdidas de carga en todo el proyecto (pérdida por fricción a lo largo de la tubería y las pérdidas locales debidas a las piezas y accesorios). La eficiencia en términos generales del conjunto bomba en motores eléctricos anda entre el 75% y el 80%. Sin embargo las empresas suministradoras de Equipos de Bombeos sólo distribuyen sistemas con una eficiencia entre 50%, 60% y 70%. Por lo que se debe de tomar en cuenta un factor de seguridad del 20% a la hora de determinar su valor.
- Curva característica de una bomba: La altura a que la bomba puede impulsar los diversos caudales a velocidad de funcionamiento constante, se establece en los ensayos de bombeo que realizan los fabricantes. En el transcurso del ensayo se varía el caudal de bombeo actuando sobre una válvula dispuesta en la descarga de la bomba y se mide la altura correspondiente. Los resultados del ensayo se representan gráficamente dando lugar a una curva de altura-caudales para la velocidad empleada. Al mismo tiempo se mide el rendimiento y la potencia absorbida y los valores resultantes se representan sobre el mismo diagrama. El conjunto de estas curvas se denomina “Curvas características de la bomba”.

➤ **Criba hidrostática.**

Una criba hidrostática es un separador de sólidos, su estructura es de acero inoxidable, cuyas dimensiones estará en dependencia de la capacidad de sólidos a retener y del caudal de diseño requerido. Estos tamices de malla en sección de cuña tienen generalmente aberturas entre 0.2 y 1.2 mm. La malla filtrante está formada por pequeñas barras de acero inoxidable en sección en cuña orientadas de forma que la parte plana de aquella está encarada al flujo.

● **Digestor.**

Un digestor de desechos orgánicos o biodigestor, en su forma más simple, es un contenedor cerrado, hermético e impermeable, dentro del cual se deposita el material orgánico a fermentar en determinada dilución de agua para que se descomponga, produciendo gas metano y fertilizantes orgánicos ricos en nitrógeno, fósforo y potasio.

La digestión anaeróbica es un proceso biológico en que se degrada la materia orgánica en ausencia de oxígeno molecular, creándose las condiciones para el desarrollo de bacterias especializadas en la degradación de materia orgánica así para ser convertida en un subproducto llamado “biogás” que es también una fuente de energía; además de crear un lodo residual que se aplica como un mejorador del suelo.

● **Tipos de digestores.**

- ❑ Pozos sépticos.
- ❑ Biodigestor del domo flotante (Indio).
- ❑ Biodigestor de domo fijo (Chino).
- ❑ Biodigestor de estructura flexible.
- ❑ Digestor flotante.

- ❑ Digestor con tanque de almacenamiento tradicional y cúpula de polietileno.
- ❑ Digestores de alta velocidad o flujo inducido.

➤ **Etapas de la digestión anaeróbica.**¹⁵

La degradación anaerobia es realizada por la actividad de tres tipos de bacterias anaerobias: fermentativas, acetogénicas y metanogénicas. Las etapas básicas en las cuales se divide el proceso son:

a) Hidrólisis. Se da la transformación por vía enzimática de los compuestos de alto peso molecular, como glúcidos, lípidos y proteínas, en compuestos más sencillos. Las bacterias fermentativas no pueden asimilar las largas cadenas poliméricas presentes en el substrato, de modo que éstas primeramente excretan enzimas extra celulares, que en el exterior convierten los polímeros complejos en polímeros solubles o monómeros de bajo peso molecular (azúcares fermentables, aminoácidos y ácidos grasos) que pueden atravesar la pared celular de las bacterias.

Algunas enzimas que actúan directamente en este proceso son; proteinaza, lipasas, oxido-reductasa, transferasas, hidrolasas, liasas, isomerasas y ligasas.

La velocidad de licuefacción está determinada por la composición del substrato (biodegradabilidad) y por su naturaleza física (tamaño y porosidad de las partículas). Cuanto más pequeño sean los sólidos, mayor es la superficie expuesta al contacto con los microorganismos. En el presente caso, esta etapa se dará en menor escala en el digestor, ya que la mayor parte de ésta ocurrió en la pila de hidrólisis.

¹⁵ *Diseño de una planta de biogás en el Rastro de Granada; Claudia Marina Lorente Fiallos, Filo Javier Miranda Rojas; Agosto, 1998. (Monografía)*

b) Acidogénesis. En esta etapa como en la anterior, las bacterias que entran en el proceso son las fermentativas. Aquí se metabolizan los productos de la hidrólisis y se obtienen principalmente ácidos orgánicos saturados (acetato, propionato, butirato), H_2 , CO_2 . En dependencia de las condiciones ambientales del proceso (pH y presión parcial de H_2) también se producen ácido fórmico, láctico, valérico, etanol, butanodiol, metanol.

Ya que el producto principal de la acidogénesis son los ácidos grasos volátiles, las bacterias fermentativas son usualmente llamadas acidogénicas, y son resistentes a valores bajos de pH. Generalmente la producción de ácidos se efectúa a valores de pH tan bajos como 4 (siendo el óptimo 5.5 - 6), (Sayed, 1984). Como resultado total de la fermentación los substratos azúcares u aminoácidos son transformados en ácidos orgánicos relativamente fuertes.

Las bacterias que controlan esta etapa son las acetogénicas; ellas degradan principalmente, los ácidos grasos volátiles (ácidos propiónico, butírico, alcoholes, compuestos aromáticos, etc.), a ácido acético, hidrógeno y dióxido de carbono. El crecimiento de este grupo de bacterias ocurre a bajas presiones parciales de hidrógeno ($P < 10^{-3}$ atm), por lo tanto, el hidrógeno que ellas producen debe ser eliminado del medio, para así poder asegurar la oxidación anaeróbica de los productos finales de la Acidogénesis. De aquí la interdependencia que existe entre las bacterias acetogénicas y las metanogénicas hidrogeno clásticas, éstas últimas son las responsables de eliminar el hidrógeno y mantener las condiciones ambientales apropiadas.

c) Metanogénesis: Esta etapa es la más importante del proceso, pues es en ella donde se produce la remoción de la materia orgánica disuelta en el agua y la recuperación de energía en forma de metano. Las bacterias encargadas de esta última etapa, crecen muy lento y son consideradas metanogénicas acetoclásticas, y metanogénicas hidrogenodásticas.

Como en el proceso de fermentación anaerobia las bacterias realizan el proceso de degradación, es necesario mantenerlas en condiciones que permitan asegurar su ciclo biológico, por lo cual se debe tomar en cuenta los parámetros físico-químicos que influyen en este proceso para así obtener una buena producción de biogás.

➤ **Condiciones de la fermentación anaeróbica.**

En este proceso de fermentación intervienen una serie de condiciones y factores que directa e indirectamente influyen en la productividad del digester, los cuales se detallan a continuación:

* **Tipo de materia orgánica:**

No todos los materiales orgánicos tienen la misma capacidad para producir biogás.

Los materiales orgánicos de origen animal son: estiércol vacuno, porcino y avícola. Los residuos vegetales más usados se obtienen de plantas de maíz, arroz, trigo, café, grama e incluso basura doméstica.

Los desechos orgánicos vacunos y porcinos, particularmente se diluyen con agua en proporción uno a uno (1-1), es decir usando una parte agua por cada parte de material orgánico. Esta función tiene el propósito de adecuar los sólidos de la mezcla para que se logre un mejor proceso de fermentación.

Tabla Nº1. Porcentaje de metano dependiendo del material de fermentación.

MATERIAL DE FERMENTACIÓN	%
Boñiga	65%
Estiércol de gallina	60%
Estiércol de cerdo	67%
Estiércol de establo	55%
Paja	59%
Pasto	70%
Hojas	58%
Desperdicios de cocina	50%
Algas	63%
Jacinto de agua	52%

*** Tiempo de retención.**

Hay dos tipos de tiempos de retención; el celular que es el tiempo que permanece los sólidos en el digestor y el hidráulico el tiempo que permanece el sustrato en este.

El tiempo de retención hidráulico (TRH), es importante en el caso que se tratan altos volúmenes de residuos orgánicos por lo que se requieren tiempos de retención bajos, en caso contrario el volumen del digestor sería mayor, lo que tiene efectos en el costo de instalación de equipos, por ejemplo, en un sistema de carga semicontinua, el tiempo de retención va a determinar el volumen de carga diario; para evitar la construcción de digestores demasiado grandes. Generalmente se trabaja con tiempos de retención de entre 20 y 55 días para el caso de digestores sencillos; en cambio los digestores modernos trabajan con tiempos de retención muy cortos, que puede variar entre uno a tres días, e incluso de horas. Su determinación se hace en base a la siguiente ecuación:

* Carga orgánica volumétrica.¹⁶

Es la cantidad de Kg de DQO o SV del agua residual alimentada por volumen de digestor por día, se indica por Kg. DQO/m³ día o Kg. SV/m³ día. Este parámetro es importante al evaluar la eficiencia en el uso del volumen de reactor disponible. Por tanto altas cargas orgánicas indican que una mayor cantidad de agua residual puede ser procesada por unidad de volumen de reactor, se puede calcular como:

Donde:

C.O= kg. DQO/m³ día

C_i= Concentración afluyente (kg. DQO/m³)

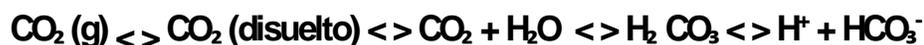
Q= Caudal de alimentación (m³/día)

V= Volumen del reactor (m³)

➤ Parámetros importantes en la digestión anaerobia.

a) pH:

El pH, de una fermentación resulta principalmente de la reacción de productos de metabolismos ácidos o básicos y del sistema tapón. El tapón más importante de una fermentación de metano es el sistema $\text{CO}_2/\text{HCO}_3^-$. El dióxido de carbono se disuelve en agua con formación parcial de ácido carbónico que luego se disocia en $\text{HCO}_3^-/\text{H}^+$.



¹⁶ "Desing of anaerobic processes for the treatment of industrial and municipal wastes"; Malina Joseph; Pohland Frederick; Water Quality Management Library; Volume 7; Technomic; USA; 1992.

El ácido carbónico reacciona con iones hidroxilo con la formación de carbonato ácido. Los iones hidroxilo proceden de la reacción del amoníaco generado en la degradación de las proteínas. Este sistema de tapón puede detener (hasta un cierto grado) cambios de pH causados por productos ácidos o básicos del metabolismo.

Es importante mantener la estabilidad del pH en el transcurso de la fermentación, ya que las bacterias responsables del mecanismo de producción de biogás (metanogénicas) son altamente sensibles a cambios del mismo, reduciendo de esta manera la producción de biogás, por lo cual éste debe estar oscilando entre 6.5 - 7.5, siendo el pH óptimo aproximadamente 7.

Tabla Nº 2: Valores de pH para la producción de Biogás.

pH \leq 7.00	Optimo
pH \uparrow 6.5	Retarda la acidificación
pH \downarrow 7.6	Retarda la amonización

b). Temperatura

Los microorganismos que participan en la producción de metano deben tener temperaturas adecuadas para la producción de gas.

Según la temperatura que haya en el digestor, la fermentación anaerobia puede dividirse de acuerdo al trabajo de las diferentes bacterias en:

- ◆ Fermentación psicrófila (10 – 20 °C): más de 100 días de retención (en digestores sencillos).
- ◆ Fermentación mesófila (20 – 50 °C): más de 20 días de retención (en caso de digestores sencillos el tiempo de retención será aproximadamente de 30 - 40 días).
- ◆ Fermentación termófila (50 – 60 °C): más de 8 días de retención (en digestores clásicos).

Por lo tanto la mayoría de las bacterias que participan en la generación de metano tienen una temperatura óptima en el rango mesofílico de 33 - 45 °C. Esto significa que una gran parte de las bacterias metanogénicas siempre vive a temperaturas menores que su temperatura óptima.

c). Sustancias tóxicas.¹⁷

Si el material que se va a degradar contiene compuestos tóxicos, éstos afectan el proceso si sobrepasan las concentraciones límites, ya que esto trae como consecuencia una lenta tasa de adaptación de las bacterias, y por lo tanto, lentas tasas de crecimiento.

Se pueden reconocer 2 grupos de sustancias tóxicas:

- a) Sustancias producidas durante la fermentación; entre éstas tenemos: ácido sulfhídrico, amoníaco y ácidos grasos volátiles.
- b) Antibióticos y desinfectantes; estos son más perjudiciales que los primeros, ya que pueden causar severos daños en la flora bacteriana. Existen sustancias tóxicas a las cuales las bacterias no pueden adaptarse (p.e. bactericidas), los metales pesados son necesarios, pero en concentraciones altas pueden causar inhibición en las bacterias.

✓ c.i) Ácido sulfhídrico:

El H₂S es generado en el proceso anaerobio mediante las bacterias reductoras de azufre a través de los sulfatos y otros compuestos orgánicos que tiene azufre, o bien por degradación de proteínas sulfuradas. A concentraciones de 100 mg/l no perjudica la degradación; incluso puede llegar en el caso de adaptación de las bacterias a 200 mg/l.¹⁸

¹⁷ "Anaerobic treatment of wastewater in fixed film reactors, a literatura review"; *Water Science & Technology*; Henze, Mogens; Harremoës, Poul; vol. 15; n. 1-2; 1983.

¹⁸ "Evaluación físico-química y económica del proceso de tratamiento de aguas residuales del matadero de Masaya"; Blanco, Brenda; Managua, Nicaragua; 1993.

El azufre necesario para la síntesis de los aminoácidos sulfurados es obtenido por las plantas y los microorganismos mediante reducción asimilatoria del sulfato.

✓ c.ii) Amoníaco:

En la fermentación de biogás se encuentra el nitrógeno formando el equilibrio:



El amoníaco es otro agente inhibidor potencial y se encuentra en equilibrio químico con el ión amonio de menor capacidad tóxica, por ésta razón el pH juega un papel importante en la toxicidad del amoníaco. Este es generado por la actividad de las bacterias proteolíticas que degradan la proteína contenida en el sustrato y cuando se presenta en ciertas concentraciones es tóxico para las bacterias, por lo tanto es importante determinar la cantidad en que se encuentra.

La toxicidad depende tanto de la concentración absoluta en el sustrato (hidrólisis previa) como de la velocidad de su formación y tiempo de adaptación de las bacterias a la concentración existente.

A concentraciones de amonio entre 1500 – 3000 mg/l y pH > 7.4 el gas NH₃ se encuentra en concentraciones inhibitorias para las bacterias.

El aumento repentino del ión amonio (NH₄⁺) causa toxicidad, no así el aumento paulatino del mismo, ya que esto permite que las bacterias se adapten al cambio sin inhibir su desarrollo. El efecto inhibidor del amoníaco (NH₃) puede eliminarse por reducción del pH y la temperatura.

✓ c.iii) Ácidos grasos volátiles:

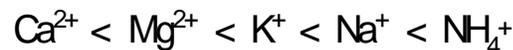
Los A.G.V. son generados en el transcurso de la fermentación por el trabajo de las bacterias fermentativas y acetogénicas, pero también existen sustratos que ya tienen un alto contenido de ácidos grasos volátiles.

Cabe señalar que como producto de la etapa de fermentación se cuenta en el proceso de degradación con la presencia de ácidos grasos volátiles, los que a grandes concentraciones pueden provocar fluctuaciones en el pH e inhibir el tratamiento anaeróbico. A medida que el pH del tratamiento anaeróbico decrece, éstos ácidos se encuentran en su forma más tóxica (forma no disociada); pero generalmente ellos se encuentran en su forma menos tóxica (forma disociada), puesto que este proceso se efectúa usualmente en un rango óptimo de 6.5 - 7.5.

La toxicidad también depende de la distribución y composición de A.V.G acumulados en la mezcla de fermentación, siendo el ácido propiónico más tóxico que el ácido acético. Además, las consecuencias de altas concentraciones de A.V.G. en las bacterias dependen del tiempo de adaptación.

Es de importancia el pH, ya que a un valor determinado existe un equilibrio entre las formas ionizadas ($A^- + H^+$) y no ionizadas (HA). A los valores de pH generalmente deseados en el tratamiento anaeróbico (7 - 8), los ácidos orgánicos están mayoritariamente (> 99%) en la forma ionizada (no toxica). Con la disminución del pH se disminuye la disociación de los A.V.G. A un pH de 5, los A.V.G. están disociados en un 50% aproximadamente.

El efecto inhibitorio de los A.V.G. aumenta en dependencia de los cationes de la siguiente manera:



El Ca^{2+} y Mg^{2+} tienen un efecto antagónico relativo de amonio.

d) Nutrientes.

Las bacterias necesitan carbono y nitrógeno para vivir, aunque también necesitan pequeñas cantidades de Na, Ca, K, P, Zn y Fe. Es importante la relación C/N ya que por lo general los otros nutrientes se encuentran en cantidades suficientes. En caso de una deficiencia de nitrógeno la fuente de carbono no puede ser aprovechada completamente, y en caso de un exceso de nitrógeno puede causar problemas por concentración tóxica de amoníaco, ya que éste está en equilibrio químico con el ión amonio de menor capacidad tóxica. La relación C/N se encuentra en una proporción mínima de 16:1 y una proporción máxima de 45:1.

De importancia es también la relación DQO: N, ya que denota la interrelación que existe entre los nutrientes. El nitrógeno y fósforo contenido en los sólidos suspendidos volátiles producidos durante la digestión anaerobia es aproximadamente 10.5 y 1.5%, respectivamente.

A menudo el valor de DQO/N o el valor de DQO/N/P son usados para describir los nutrientes requeridos. El requerimiento de los nutrientes es una función de la carga orgánica que puede ser establecida. El valor de N/P puede ser considerado 7.

Teóricamente el rango mínimo de DQO/N debe ser 350/7. Un valor alrededor de 400/7 debe ser considerado razonable para altas cargas en un proceso anaeróbico. Esto es en concordancia con Van Den Berg y Lentz (1977) quién encontró 420/7 para procesos de máximas cargas. Para procesos de cargas bajas el valor de DQO/N incrementa dramáticamente por un valor de 1000/7 o más. Valores de DQO/N de 200 - 300/7 están alejados para operaciones demasiado pequeñas en procesos normales.

e) Biodegradabilidad del Sustrato.

La demanda Química de Oxígeno (DQO) determina la cantidad de contaminantes orgánicos presentes en las aguas residuales. Para el tratamiento anaerobio son apropiados aquellos desechos con una DQO entre 1 – 100 Kg/m³. Aunque desde el punto de vista termodinámico todos los compuestos orgánicos pueden ser degradados a metano y bióxido de carbono, existen algunas sustancias que aparentemente no pueden, o lo hacen muy lentamente, ser convertidas anaeróbicamente, entre las cuales están: hidrocarburos, lignina, ésteres orgánicos, y ciertos plásticos.

La eliminación de DQO como finalidad del tratamiento de aguas residuales, se determina como la diferencia entre la DQO del afluente y la del efluente, se expresa como:¹⁹

Es posible relacionar la materia orgánica biológicamente eliminada en un digestor por medio de un balance de masa (en función de la DQO) de la siguiente forma:

$$DQO_{\text{afluente}} = DQO_{\text{efluente}} + DQO_{\text{biomasa}} + DQO_{\text{CH}_4}$$

La remoción de materia orgánica se da por diversos factores, una fracción de esta se convierte en material celular (DQO_{biomasa}), la cantidad depende del tipo de alimentación que se tenga (acidificada o no acidificada). Se considera que la principal fuente de remoción es la DQO que se convierte a metano, la DQO equivalente del gas puede calcularse con factores normalizados de conversión.

¹⁹ "Parámetros operativos de un UASB"; Fiel, Jim; Universidad de Wageningen, Holanda; 1987.

f) Tiempo de retención hidráulico (TRH).²⁰

Las bacterias requieren de un cierto tiempo para degradar la materia orgánica y para que esto ocurra la misma debe permanecer cierto tiempo en el digestor, si no se permite suficiente tiempo el cultivo es diluido continuamente hasta que quede completamente lavado, el tiempo óptimo es una función de la velocidad de crecimiento de la población microbiana.

Si en el sistema de tratamiento se utiliza un digestor tipo filtro anaeróbico, el tiempo de retención hidráulico podría ser de horas; ya que el filtro favorecerá la multiplicación rápida de bacterias y acelerará la degradación de la materia orgánica. Si el tiempo de retención es menor que el tiempo requerido, la velocidad del flujo aumenta lo que provoca un lavado de las bacterias y que el ciclo se interrumpa por la falta de bacterias suficientes para degradarla.

g) Producción de biogás.²¹

Otro indicador del desempeño del digestor es la producción de gas, en caso de mantener una carga constante se espera una producción uniforme de gas, siempre que no existan cambios en otros factores del proceso. Por tanto una disminución en la producción indica problemas en el equipo o un error de operación en el proceso.

La medición de este parámetro es necesaria, ya que sirve como base de cálculo para determinar el rendimiento ($\text{m}^3 \text{CH}_4/\text{Kg DQO}$ alimentado) y la productividad ($\text{m}^3 \text{gas}/\text{m}^3 \text{digestor}$), parámetros importantes para determinar la funcionalidad de un digestor.

²⁰ Universidad Nacional de Ingeniería; "Tratamiento de aguas potables y residuales"; Managua, Nicaragua; 1993.

²¹ Evaluación del arranque y estabilización del proceso de fermentación anaeróbica para el tratamiento de las aguas residuales del rastro de Chinandega; Espinoza Sánchez Gilmer Antonio, Ulloa Díaz Manuel Antonio; Marzo, 1997).

h) Porcentaje de metano.²²

El valor calorífico del biogás depende del porcentaje de metano, a la vez indica cómo se encuentra la actividad metanogénica en el digestor.

i) Carga orgánica.

La carga es un aspecto a considerar en el proceso de digestión anaerobia. Una carga insuficiente da como resultado una baja producción de biogás, pero una carga excesiva puede traer como consecuencia la acidificación del digestor ya que las bacterias formadoras de ácido tienen mayor actividad que las bacterias metanogénicas y en consecuencia baja el ritmo de degradación.

j) Inoculo.²³

La función de este, es servir de semilla para el desarrollo de la biomasa necesaria, por tanto se debe disponer de una masa de microorganismos suficiente (se recomienda 5 - 40% del volumen disponible del reactor). Para el arranque de un proceso anaerobio se debe contar, de preferencia, con lodo de otro digestor que en el mejor de los casos se encuentre adaptado al sustrato que se quiere tratar.

²² Universidad Nacional de Ingeniería; "Tratamiento de aguas potables y residuales"; Managua, Nicaragua; 1993.

²³ "Operación y control de digestores anaerobios"; Soto Manuel; Méndez Ramón; Lema Juan; Universidad de Galicia; España, 1992.

➤ **Biogás.**

El biogás consiste en una mezcla de gases cuya composición básica es metano (CH_4) y dióxido de carbono (CO_2), contando con presencia adicional de nitrógeno, hidrógeno, amoníaco, sulfuro de hidrógeno (generalmente en proporciones menores del 1%). El metano es un gas combustible, incoloro e inodoro más liviano que el aire, su combustión produce una llama azul y productos no contaminantes. La composición del biogás depende del tipo de material orgánico utilizado para su producción y de las condiciones en que se procesa.

Tabla Nº 3: Composición del Biogás

COMPOSICION	FORMULA	RANGO
Metano	CH_4	54 – 70 %
Dióxido de Carbono	CO_2	27 – 45 %
Hidrógeno	H_2	1 – 10 %
Nitrógeno	N_2	0.5 - 3 %
Acido Sulfhídrico	H_2S	0.1 %

A pesar que el ácido sulfhídrico se encuentra en pequeñas cantidades en el biogás, sus efectos son dañinos, ya que posee un olor desagradable, en presencia de agua, produce efectos corrosivos.

El poder calorífico del biogás es alrededor de $5,975 \text{ Kcal/m}^3$ (CH_4 : 70 %). Un metro cúbico de biogás pesa aproximadamente entre 1.08 - 1.1 Kg en condiciones normales.

◆ Usos y almacenamiento del Biogás.

El Biogás puede ser utilizado como cualquier otro gas combustible. Mezclas de Biogás con aire en una relación 1:20 forman un detonante altamente explosivo. Se puede usar en motores de gas, en cocinas, en lámparas y refrigeradores.

- * Motores de gas: Para la utilización del biogás en motores no es necesario filtrar el gas. La presión del gas puede ser baja porque los motores succionan el gas. Para hacer uso del biogás en esta aplicación, la planta de tratamiento debe producir al menos 10 m³/día, por lo que en plantas de pequeña escala no es conveniente usar el gas para accionar motores.
- * Cocinas: El biogás no necesita ser purificado y tampoco requiere condiciones particulares de presión, de manera que puede ser tomado directamente del Digestor o del almacenamiento del gas para su uso inmediato. Para esto, existen quemadores de gas especialmente diseñados para su uso con biogás. Los quemadores de propano se pueden convertir fácilmente para su uso con biogás, simplemente alargando la cámara de gas.

Debido a que la composición, y por lo tanto, las propiedades combustibles del biogás sufren una amplia variación, es muy difícil diseñar y optimizar un quemador para su producción en serie. La mejor opción es utilizar una mezcla fija de gas – aire que sea conveniente para aplicaciones comunes.

Tabla Nº 4: Consumo y eficiencia para varias aplicaciones del Biogás.

APLICACIÓN	CONSUMO (kWh _{el})	EFICIENCIA
Gas para cocina	300 – 600	50 – 60 %
Gas para lámpara, equivalente a un bulbo de 60 W	120 – 170 l/h	3 – 5 %
Refrigerador, 100 l, dependiendo de la temperatura ambiente	30 – 75 l/h (720 – 1800 l/d)	2 – 3 %
Motores de gas	0.5 m ³ /kWh _{mech}	25 – 30 %
Quemador, 10 kW	2 m ³ /h	80 – 90 %
Calentador infrarrojo 200 W	30 l/h	100 %
Cogeneración	0.5 m ³ /kWh _{el} (produciendo 1 kWh _{el} + 2 kWh _{th})	hasta 90 %

*el: eléctrico; mech: mecánico; th: térmico

1.2.2.3. Tratamiento secundario.

El fundamento del tratamiento secundario es la inclusión de procesos biológicos en los que predominan las reacciones bioquímicas, generadas por microorganismos que logran eficientes resultados en la remoción de entre el 50 y el 95% de la DBO₅. Los sistemas más empleados son:²⁴

- Biofiltros o filtración biológica, filtros percoladores, filtros rotatorios o biodiscos.
- Lodos activados, entre los que se encuentran los convencionales y los de aireación extendida.
- Lagunas de estabilización de los tipos facultativas y aireadas.

²⁴ Universidad Nacional de Ingeniería; Parte 2: Tratamiento y Reuso de Aguas Residuales; Lima- Perú, Año 2000.

- **Filtro de flujo descendente.**

En vista de la alta carga contaminante que aún tendrán las aguas residuales provenientes del digestor, se construirán a dos filtros de flujo descendente con el propósito de disminuir dicha carga a valores adecuados antes de su introducción al Biofiltro. Estos filtros, a pesar de su bajo tiempo de retención, son eficientes en la reducción de la materia orgánica y al mismo tiempo, garantizan que el agua entre al Biofiltro libre de sólidos suspendidos que puedan obstruir el lecho filtrante. De acuerdo a las investigaciones realizadas en nuestro país por el Programa Biomasa, en este tipo de obras, se han obtenido remociones de DQO entre 40 al 65 %.

Sin embargo, según bibliografía consultada, a nivel latinoamericano los filtros descendentes tienen remociones de DBO entre el 50 y 90% y de Sólidos suspendidos entre el 70 y 90%, dichos porcentajes estarán en dependencia del tipo de tratamiento primario que se utilice previo al filtro en mención.²⁵

Estos filtros tendrán forma rectangular y estarán rellenos de piedra volcánica de 2" – 4" de diámetro. La alimentación a los mismos se hará por medio de tubos de PVC distribuidos simétricamente a lo largo de la sección longitudinal, con perforaciones hechas a distancias iguales para una buena distribución de las aguas. La recolección del efluente del filtro de flujo descendente se hará por medio de tubos concéntricos de PVC SDR 41 empotrados en el fondo del filtro, cuyos diámetros serán de 4" el externo y 1½" el interno; el tubo exterior estará por encima del nivel del lecho, mientras que el interno es el que determinará el nivel del agua dentro del filtro. El agua penetrará por ranuras hechas al tubo exterior en el extremo que estará en contacto con el fondo del canal y fluirá hacia arriba en el espacio intertubular hasta alcanzar el nivel del tubo interior, por donde fluirá a las pilas del Biofiltro, ya que la tubería de salida del canal de flujo descendente será la que distribuirá las aguas a la entrada del Biofiltro.

²⁵ Feachem et-al., 1983; Mara et-al., 1992; Yáñez, 1992; Norma Técnica OS.090.

✓ Biofiltro

Los humedales artificiales son filtros biológicos (Biofiltros) de grava o piedra volcánica, sembrados con plantas de pantano, a través de los cuales circulan las aguas residuales pretratadas, mediante un flujo horizontal, tal como se aprecia en el diagrama de la Figura Nº 2. Las bacterias responsables de la degradación de la materia orgánica utilizan la superficie del lecho filtrante para fijarse y formar una película bacteriana que les permite actuar mejor en el proceso de degradación.

En los Biofiltros podemos encontrar remociones de DBO entre el 80 y 95 %, mientras que en los Sólidos en suspensión éstas pueden ser del 80 al 95%.²⁶

➤ Partes principales de un Biofiltro:²⁷

- (a) Lecho filtrante: Tiene como funciones principales proveer el mecanismo de filtración para retener los sólidos suspendidos y proporciona el área de soporte para la formación de la capa de microorganismos que degradan aeróbica y anaeróbicamente la materia contaminante, además constituye el medio utilizado por las raíces de las plantas macrófitas para su fijación y su desarrollo.
- (b) Plantas macrófitas: Son un componente esencial en el diseño de los Biofiltros, ya que el efecto de mayor importancia de estas plantas en relación a los procesos de tratamiento de las aguas residuales son los efectos físicos que el tejido de la planta ayuda a incrementar, tales como el efecto de filtración y el área superficial que proveen para el crecimiento microbiano.

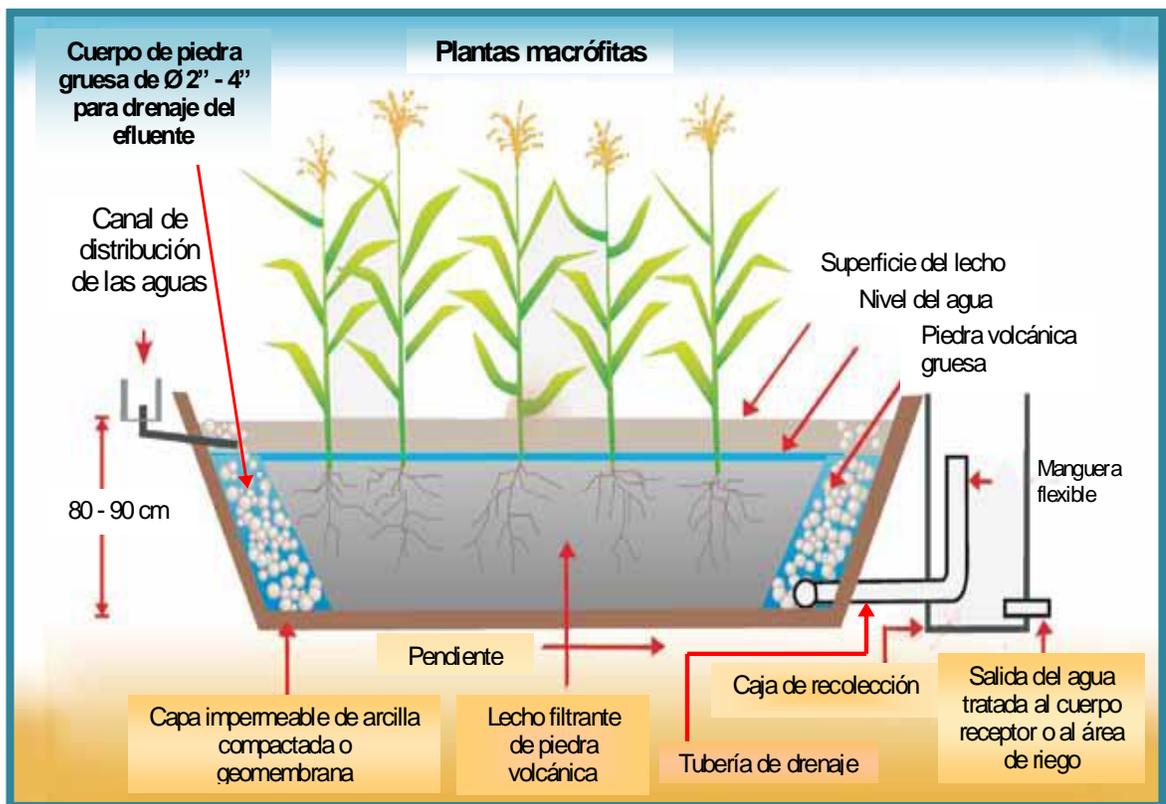
²⁶ Feachem et-al., 1983; Mara et-al., 1992; Yáñez, 1992; Norma Técnica OS.090.

²⁷ Uso de la Tecnología de Biofiltro en el Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas; Ing. Vidal Cáceres A., Ing. Néstor Fong, Programa BIOMASA- Universidad Nacional de Ingeniería; Febrero, 2010.

(c) Microorganismos: Los microorganismos altamente organizados juegan un papel subordinado dentro de la comunidad establecida en el Biofiltro, sin embargo las bacterias se encargan del catabolismo del contenido de sustancias orgánicas, del metabolismo aeróbico como anaeróbico y de la oxidación de compuestos nitrogenados.

- **Biofiltro de flujo horizontal.**

Figura Nº 2. Estructura de un humedal artificial horizontal



El uso de biofiltros requiere procesos previos de tratamiento que garanticen una efectiva remoción de sólidos suspendidos, con el fin de evitar la obstrucción del lecho filtrante. Estos procesos preliminares pueden consistir en la implementación de una rejilla, seguida de un desarenador y unidades de sedimentación.

El tratamiento biológico dentro del lecho filtrante horizontal es del tipo facultativo, lo que significa que en el cuerpo del filtro existen zonas con y sin oxígeno. Las raíces de las plantas permiten el paso de aire de la atmósfera al subsuelo, con lo cual se agrega oxígeno al agua y se establece una población de bacteria aeróbicas capaces de descomponer la materia orgánica.

Las plantas que se sembraran pueden ser seleccionadas según el tipo de contaminante que se desea reducir en las aguas residuales.

Una de las características fundamentales para la selección del material que servirá como filtro es la resistencia que tenga el material del lecho filtrante ante el desgaste provocado por las aguas residuales, lo cual debe garantizar que no se deteriore a medida que pase el tiempo.

La porosidad del material del lecho filtrante anticipa un lugar fundamental, puesto que de ella depende la superficie disponible para la formación de la capa bacteriana responsable en gran medida de la depuración de las aguas residuales, teniendo un efecto directo sobre el tamaño del Biofiltro, pues el uso de un material más poroso reduce el área a utilizar. En Nicaragua existen materiales resistentes con alta porosidad, tales como el hormigón rojo, hormigón negro y la piedra volcánica negra. Los dos primeros se encuentran naturalmente en bancos de arena volcánica del país, tienen una porosidad entre 40 y 60%, mientras que la piedra negra, de mayor granulometría, tiene una porosidad superior al 70%.

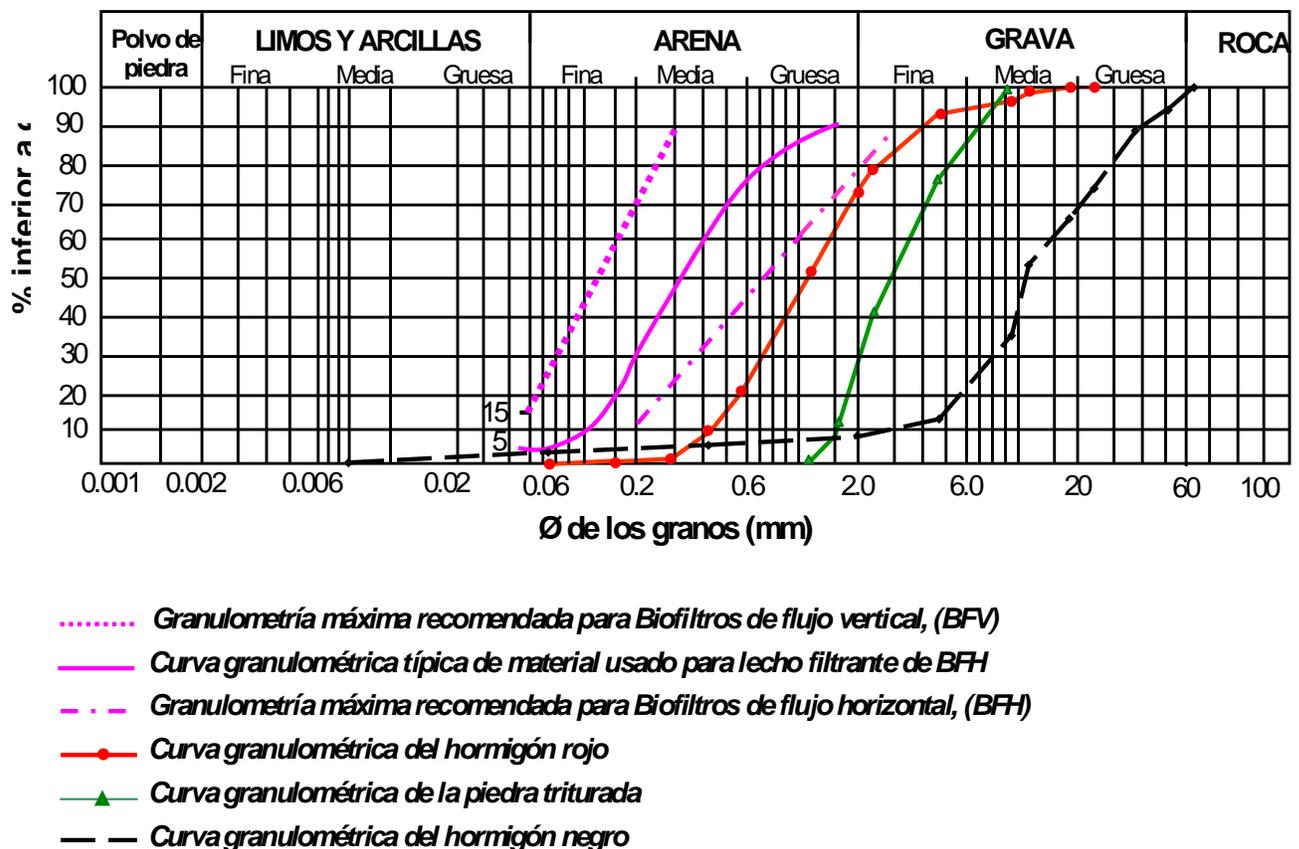
Los dos tipos de hormigón se han utilizado en lechos filtrantes de diferentes unidades, obteniéndose mejores resultados con el hormigón rojo.

La piedra negra ha mostrado su mayor utilidad en la sección de distribución del flujo a la entrada del Biofiltro, así como en la zona de recolección.

Un material de menor porosidad (entre 45 y 50%), pero que también ha demostrado ser útil, es la piedra triturada de 1/2" de diámetro, con la salvedad de que se debe utilizar en la capa superior un material de granulometría más fina (como el hormigón rojo) que permita la siembra de las plantas en la superficie del Biofiltro.

El siguiente gráfico muestra la granulometría recomendada en la literatura y la de diferentes materiales utilizados en Nicaragua para la construcción de Biofiltros por el Proyecto ASTEC ahora Programa BIOMASA.

Figura Nº 3: Curvas granulométricas (Fuente: Bahlo & Wach, 1995; Proyecto ASTEC, 2000)



Las 3 primeras curvas muestran la granulometría recomendada para la construcción de sistemas europeos de Biofiltros de flujo vertical y horizontal (Bahlo & Wach, 1995), mientras que las 3 últimas curvas presentan la granulometría típica de los diferentes materiales utilizados para la construcción de Biofiltros en Centroamérica (Proyecto ASTEC, 2000). Los mejores resultados en Nicaragua se han obtenido usando hormigón rojo, lo cual puede ser atribuido a su menor diámetro de partícula.

En las zonas de distribución y recolección del Biofiltro se usa piedra volcánica negra cuyo diámetro es de 2" a 4", porque este tipo de material facilita la distribución y evita que los orificios de los tubos de recolección se obstruyan con material de granulometría fina. Se recomienda el uso de este material al menos en los primeros 5 m del Biofiltro para alargar el período al cual se deben cambiar los dos primeros metros del lecho filtrante, que en el caso del hormigón rojo se ha establecido en una vez cada dos años, debido a la obstrucción que se da por la formación de una densa capa bacteriana.

El dimensionamiento del Biofiltro se realiza en base a dos aspectos principales: la remoción de los contaminantes y el régimen hidráulico del sistema. Sin embargo el diseño presentado en este trabajo, se basó en los **Criterios de diseño en función de los requerimientos hidráulicos:**

- ◆ La remoción de contaminantes, que es el principal objetivo, depende fuertemente de las condiciones ambientales, fundamentalmente de la temperatura, así como de otros aspectos como la porosidad del material usado para la conformación del lecho filtrante, el tipo de plantas sembradas y el tiempo de retención.
- ◆ El régimen de flujo, también depende de factores como la pendiente hidráulica y la porosidad, permeabilidad y uniformidad granulométrica del material usado para el lecho filtrante.

Cuadro 2. Representa las ventajas y desventajas del los Biofiltros.²⁸

BIOFILTROS	
Ventajas	Desventajas
El sistema es muy estable en la operación y eficiente para la remoción de materia orgánica y de nutrientes, condiciones que permiten disponer el efluente en ambientes naturales.	Requieren de un proceso adicional de desinfección para eliminar totalmente los microorganismos patógenos, sobre todo cuando se trata sólo aguas residuales domestica.
Pueden operar sin ningún consumo energético, al carecer de equipos electromecánicos.	Puede colmatarse en poco tiempo, cuando no cuentan con sistemas de pretratamiento adecuados.
La operación es sencilla y con bajo costo.	En zonas de altitud elevadas puede ocurrir que las plantas empleadas no se adapten. Por ello, habría que realizar estudios <i>in situ</i> con especies locales.
Perfecta integración al medio natural o urbano, como parques y jardines.	Un débil compromiso, así como la desorganización de los usuarios, hacen que estos proyectos no tengan éxitos.
Generalmente no producen olores desagradables.	
RECOMENDACIONES	
Este sistema de tratamiento no es estándar. Se debe diseñar de acuerdo a cada realidad urbana.	
Es viable para efluentes de poblaciones pequeñas y medianas.	
Si se desea implementar esta tecnología en lugares de mayor altitud como Sierras y Montañas del país, se debe considerar especies vegetales locales y analizar la calidad del efluente para determinar su aprovechamiento.	

²⁸ Universidad Nacional de Ingeniería; Parte 2: Tratamiento y Reuso de Aguas Residuales; Lima- Perú, Año 2000.

1.2.2.4. Tratamiento de lodos.²⁹

El lodo extraído y producido en las operaciones y procesos de tratamiento de las aguas residuales generalmente suele ser un líquido o líquido semisólido con gran contenido de sólido entre el 0.25 y el 12% en peso. El lodo es por mucho, el constituyente de mayor volumen eliminado en los tratamientos. Su tratamiento y evacuación es, probablemente, el problema más complejo al que se enfrentan los especialistas ambientales.

El lodo está formado principalmente por las sustancias responsables del carácter desagradable de las aguas residuales no tratadas. La fracción de lodo a evacuar, generada en el tratamiento biológico del agua residual, está compuesta de materia orgánica, y sólo de una pequeña parte del lodo está compuesta por materia sólida. Tiene además cantidades significativas de arena, aceite y grasa. Las sustancias contaminantes que se capturan en las fases del tratamiento del agua se pueden encontrar generalmente dentro de los lodos, de manera más concentrada.

Los lodos generalmente contienen hasta un 95% de agua y pueden generar un alto riesgo ambiental si son dispuestos directamente al ambiente, es por ello que antes de la disposición final o de su reutilización, los lodos requieren en general de un cierto nivel de tratamiento; deben estabilizarse o tratarse. Los lodos deben ser procesados con el fin de: eliminar olores desagradables, reducir o inhibir la putrefacción potencial y reducir el contenido de organismos patógenos.

La primera fase del tratamiento de lodos es el *espesamiento* y la *estabilización*, para después pasar a una segunda fase de *secado* y *deshidratación*. El espesamiento se puede realizar por gravedad, dentro de un espesador, en el cual se dejan los lodos durante un tiempo lo suficientemente largo como para que sedimenten y se compacten. En estas fases se forman procesos anaerobios

²⁹ Castellón Martínez Yesenia Lucia, Vanegas Corrales Tania del Carmen; *Diseño del Sistema de Tratamiento de las Aguas Residuales del Recinto Universitario UNI - Norte, Estelí; Noviembre, 2009. (Monografía).*

con producción de olores y compuestos volátiles, los cuales tienen que ser tratados con lechos biológicos.

La estabilización de los lodos se vuelve necesaria debido a la elevada concentración de material biológico fácilmente biodegradable, que causa fermentaciones sépticas, provocando olores y otras características difícilmente tratables. La estabilización se puede obtener de manera biológica (proceso aerobio), con digestores, o por vía química, con estabilizadores como el calcio.

El secado de los lodos se puede realizar con técnicas simples como la deshidratación natural, es decir, exponiendo al aire el lodo y esperando a que el agua contenida dentro de él se evapore de manera natural o percole a través del fondo del lecho de secado (esta agua se recircula a la planta de tratamiento de aguas residuales). Este tiene como propósito reducir el contenido de agua en el lodo y requiere que se lleve a cabo un acondicionamiento previo de los lodos. El acondicionamiento implica generalmente la adición de sustancias químicas.

Existen métodos estáticos para el secado de lodos. Los procesos estáticos incluyen los lechos de secado y las lagunas. En ambos casos los lodos, si son orgánicos, deben ser predigeridos para evitar malos olores. En el caso de los lechos de secado, los lodos se colocan sobre lechos de arena, pavimento, medio artificial y al vacío para que drenen y sequen. La remoción del lodo puede ser mecánica o manual.

Las posibles opciones que se tiene para disponer de los lodos son básicamente cuatro: relleno sanitario, sobre suelo, sobre lagunas u océanos. Para reducir los costos de la disposición final de los lodos, cuando existan limitaciones de terreno, estos pueden incinerarse.

1.3. Métodos de disposición de Aguas Residuales.

El agua residual cuando ya es tratada, se debe disponer a uno o varios cuerpos receptores garantizando la conservación y preservación del medio receptor. En caso de que la eficiencia esperada del efluente final del Sistema de Tratamiento sea muy buena, dicho afluente puede ser aprovechado antes de ser dispuesto.

Opciones más comunes para verter el agua residual tratada:

- ✓ Vertidos directos no tratados a cuerpos naturales de agua: Dilución.
- ✓ Tratamiento de aguas residuales y vertido de los efluentes a cuerpos de agua o al suelo.
- ✓ Disposición de las aguas residuales en el suelo: Irrigación.

1.3.1. Reglamentos, metas y normas establecidas.

- Calidad de Agua Residual para su vertido por Dilución:

Desde el 26 de junio de 1995 se publicó el Decreto 33-95, referente a las disposiciones para el control de la contaminación proveniente de las descargas de aguas residuales domésticas, industriales y agropecuarias, que en su capítulo VII reglamenta sobre las descargas líquidas directas industriales y agropecuarias de cuerpos receptores, el cual a su vez en los Artículos 29 y 30 respectivamente, especifica las normas de las descargas de aguas residuales en forma directa o indirecta a cuerpo receptor proveniente de matanza de animales y empacados cárnicos, así como de las aguas residuales provenientes de granjas avícolas, porcinas y caprinas, establecidas por el MARENA en el Decreto 33-95, se muestran a continuación en las Tablas Nº 5 y Nº 6 respectivamente.

Tabla Nº 5. Rangos y límites máximos permisibles de descargas de aguas residuales en forma directa o indirecta provenientes de la Industria de Matanza de Animales y Empacados Cárnicos.³⁰

PARÁMETROS	RANGOS Y LÍMITES MAXIMOS PERMISIBLES PROMEDIO DIARIO
pH	6.9
Sólidos Suspendidos Totales (mg/l)	200
Sólidos Sedimentables (mg/l)	1.0
DBO (mg/l)	150
DQO (mg/l)	250
Grasas y aceites (mg/l)	30

Tabla Nº 6. Rangos y límites máximos permisibles de descargas de aguas residuales en forma directa o indirecta provenientes de granjas avícolas, porcinas y caprinas.³¹

PARÁMETROS	RANGOS Y LÍMITES MAXIMOS PERMISIBLES PROMEDIO DIARIO
pH	6.9
Sólidos Suspendidos Totales (mg/l)	150
Sólidos Sedimentables (mg/l)	1.0
DBO (mg/l)	100
DQO (mg/l)	250
Grasas y aceites (mg/l)	10

Por otro lado la Norma Técnica Obligatoria Nicaragüense 05 001 – 98, para el control ambiental en mataderos establece en su punto 7 de Sistemas de Tratamiento, los siguientes aspectos (Ver pág.49):

³⁰ Artículo 29, Decreto 33-95. La Gaceta, Diario Oficial de Nicaragua; 1995.

³¹ Artículo 30, Decreto 33-95. La Gaceta, Diario Oficial de Nicaragua; 1995.

- ✓ Todo sistema de tratamiento de residuales líquidos deberá estar precedido de operaciones de pre-tratamiento que garanticen la remoción de las concentraciones de aceite, grasas y sólidos en suspensión de los desechos brutos.
- ✓ Los sedimentos generados en el sistema de pre-tratamiento y residuos retenidos en el tamizado de sólidos cuando no fuese posible destinarlos al compostaje, deberán ser depositados en rellenos sanitarios o basureros municipales.
- ✓ Es responsabilidad de la gerencia de la empresa elaborar y poner en práctica un plan de operación y manteniendo del sistema de tratamiento de aguas residuales, previa aprobación del MARENA.

En el Capítulo VIII, Artículo 57 del Decreto 33-95, encontramos los parámetros y rangos para las descargas de aguas residuales tratadas domésticas e industriales para su disposición mediante riego agrícola, en la Tabla N° 7 mencionamos los de mayor relevancia y que estamos evaluando en el sistema propuesto.

Tabla N° 7. Rangos y límites máximos permisibles de descargas de aguas residuales tratadas utilizadas para el RIEGO AGRICOLA, en la producción de cultivos hortícolas: ³²

PARÁMETROS	RANGOS Y LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES PROMEDIO DIARIO
pH	6.5 a 8.5
DBO (mg/l)	120
DQO (mg/l)	200
Sólidos Suspendidos Totales (mg/l)	120
Grasas y Aceites (mg/l)	-

³² Artículo 57, Decreto 33-95. La Gaceta, Diario Oficial de Nicaragua; 1995.

1.4. Impacto ambiental.

1.4.1. ¿Qué es un estudio de impacto ambiental?

Un estudio de impacto ambiental es un conjunto de análisis técnico-científicos, sistemáticos, interrelacionados entre sí, cuyo objetivo es la identificación, predicción y evaluación de los impactos significativos positivos y/o negativos, que pueden producir una o un conjunto de acciones de origen antrópico sobre el medio ambiente físico, biológico y humano.

◆ Diagnóstico de Impacto Ambiental (DIA).

Diagnosticar un impacto significa conocerlo e interpretarlo en todos sus términos. Sólo después de un diagnóstico certero podrá plantearse con solidez la posibilidad, oportunidad y premura de la intervención sobre un impacto, así como los instrumentos preventivos, correctores, curativos o que potencien adecuadamente su tratamiento.

A continuación se describen los elementos más importantes del diagnóstico:

- La manifestación o síntoma en que se expresa el efecto.
- Los efectos o repercusiones en las personas, en la biocenosis, en el espacio o en las actividades de los síntomas detectados.
- Los agentes (personas físicas o jurídicas) implicados tanto en las causas como en los efectos.
- La localización.
- La gravedad del impacto para los de signo negativo y el grado de bondad para los positivos.
- La sensibilidad de los agentes implicados, de la administración y de la población en general.
- La percepción del problema por parte de la población afectada.

- La relación directa o indirecta con otros impactos.
- Las posibilidades de intervención sobre causas, efectos, manifestación, agentes, población, etc., de carácter preventivo, curativo o compensatorio.
- Oportunidad de la intervención.
- La urgencia con que se debe intervenir.
- El nivel de responsabilidad o administrativo más adecuado para su resolución y control.
- Los objetivos a cubrir en su tratamiento preventivo.

◆ **Lista de Chequeo.**

En esta se refleja una lista de efectos ambientales e indicadores de impactos potenciales sobre la cual es posible determinar consecuencias positivas o negativas de las acciones que se puedan originar durante las etapas o fases del proyecto.

◆ **Matriz de importancia sin depurar.**

✦ **Parámetros de calificación:**³³

Los parámetros para la calificación de importancia son los siguientes:

- **Signo (+).** El signo del impacto hace alusión al carácter beneficioso (+) o perjudicial (-) de las distintas acciones que van a actuar sobre los distintos factores considerados.
- **Intensidad (IN).** Este término se refiere al grado de incidencia de la acción sobre el factor, en el ámbito específico en que actúa. Un Valor de uno expresa una afectación total y los valores comprendidos entre estos reflejan situaciones intermedias.

³³ Estudio de Impacto Ambiental de las actividades de Mantenimiento del Canal del Dique; Rodrigo Pedraza Alfonso; CORMAGDALENA INFORME FINAL; Colombia; 2002.

- **Extensión (EX).** Se refiere al área de influencia teórica del impacto en relación con el entorno del proyecto (% de área, respecto al entorno, en que se manifiesta el efecto). Si la acción produce un efecto muy localizado se considera que el impacto es de carácter puntual, por el contrario si el efecto se produce dentro del entorno del proyecto el impacto será total. Para situaciones intermedias se utilizará impacto parcial y extenso. Si el impacto es muy importante se añade el crítico.
- **Momento (MO).** El plazo de manifestación del impacto alude al tiempo que transcurre entre la aparición de la acción (t_0) y el comienzo del efecto (t_j) sobre el factor del medio considerado.
- **Persistencia (PE).** Se refiere al tiempo que, supuestamente, permanecería el efecto desde su aparición y, a partir del cual el factor afectado retornaría a las condiciones iniciales previas a la acción por medios naturales, o mediante la introducción de medios naturales, o por medio de la introducción de medidas correctoras.
- **Reversibilidad (RV).** Se refiere a la posibilidad de construcción del factor afectado por el proyecto, es decir, la posibilidad de retornar a las condiciones iniciales previas a la acción, por medios naturales, una vez aquella deja de actuar sobre el medio.
- **Recuperabilidad (MC).** Se refiere a la posibilidad de construcción, total o parcial, del factor afectado como consecuencia del proyecto, es decir, la posibilidad de retornar a las condiciones iniciales previas a la actuación, por medio de la intervención humana (introducción de medidas correctoras).
- **Sinergia (SI).** Se entiende por Impactos Sinérgicos a cambios en el entorno producidos por una acción combinada de dos o más efectos individuales, sea en el mismo espacio temporal o en secuencia. Los impactos sinérgicos pueden ser generados por aditividad o

complementariedad de los efectos (sinergias), o en su defecto por tercerización de los mismos; es decir, cuando la consecuencia no es la suma de los efectos individuales, sino que ésta se potencia o se diluye (antagonismo).

- **Acumulación (AC).** Este atributo da idea del incremento progresivo de la manifestación del efecto, cuando persiste de forma continuada o reiterada la acción que lo genera.
- **Efecto (EF).** Este atributo se refiere a la relación causa-efecto, o sea a la forma de manifestación del efecto sobre un factor, como consecuencia de una acción.
- **Periodicidad (PR).** La periodicidad se refiere a la regularidad de manifestación del efecto, bien sea de manera cíclica o recurre (efecto periódico), de forma impredecible en el tiempo (efecto irregular), o constante en el tiempo (efecto continuo).

◆ **Importancia del impacto (I).**

La importancia del impacto viene representada por un número que se deduce mediante el modelo propuesto en el Cuadro Nº 4, en función del valor asignado a los símbolos considerados.

$$I = +/- [3IN + 3EX + MO + PE + RV + SI + AC + EF + PR + MC]$$

Cuadro Nº 4. Resumen parámetros de calificación de Importancia.

NATURALEZA	Valor	INTENSIDAD (IN) (Grado de incidencia)	Valor
Impacto beneficioso	(+1)	Baja	1
		Media	2
		Alta	4
Impacto perjudicial	(-1)	Muy alta	8
		Total	16
EXTENSIÓN (EX) (Área de influencia)	Valor	MOMENTO (MO) (Plazo de manifestación)	Valor
Puntual	1	Largo plazo (> 4 años)	1
Parcial	2	Medio plazo (1 - 3 años)	2
Extenso	4	Corto plazo	4
Total	8	Inmediato (1 año)	4
Crítico	> 8	Crítico	+1, +4
PERSISTENCIA (PE) (Permanencia del efecto)	Valor	REVERSIBILIDAD (RV) (Reconstrucción)	Valor
Fugaz (< 1 año)	1	Corto plazo	1
Temporal (1 - 4 años)	2	Medio plazo	2
Pertinaz	4	Largo plazo	4
Permanente (> 10 años)	8	Irreversible	8
		Irrecuperable	20
SINERGIA (SI) (Regularidad de manifestación)	Valor	ACUMULACIÓN (AC) (Incremento progresivo)	Valor
Sin sinergismo	1	Simple	1
Sinérgico	2	Acumulativo	4
Muy sinérgico	4		
EFECTO (EF) (Relación Causa-Efecto)	Valor	PERIODICIDAD (PR) (Regularidad de la manifestación)	Valor
Indirecto	1	Irregular o periódico y discontinuo	1
Directo	4	Periódico	2
		Continuo	4
RECUPERABILIDAD (MC) (Reconstrucción por medios humanos)	Valor	IMPORTANCIA (I)	
Recuperable de manera inmediata	1	$I = +/- [3IN + 2EX + MO + PE + RV + SI + AC + EF + PR + MC]$	
Recuperable a medio plazo	2		
Mitigable	4		
Irrecuperable	8		

- El dictamen final, considera las categorías de impacto ambiental compatible, moderado, severo y crítico:

- ✓ Impactos ambientales irrelevantes: Si el impacto es negativo, será aquél cuya recuperación es inmediata tras el cese de la actividad, y no precisa prácticas protectoras o correctoras. Si es positivo este traerá algún tipo de beneficio bajo un corto período de tiempo.

- ✓ Impacto ambiental moderado: Si el impacto es negativo, será aquél cuya recuperación no precisa prácticas protectoras o correctoras intensivas, y en el que la consecución de las condiciones ambientales iniciales requiere cierto tiempo. Si es positivo éste traerá beneficios bajo cierto período de tiempo de forma moderada mientras dure el beneficio de ese impacto.

- ✓ Impacto ambiental severo (-) y muy tolerables (+): Si el impacto es negativo se considera que la recuperación de las condiciones del medio exige la adecuación de medidas protectoras o correctoras, y en el que, aún con esas medidas, aquella recuperación precisa un período de tiempo dilatado. Y si es positivo simplemente es lo contrario a lo anterior y se considerarían como muy buenos o tolerables.

- ✓ Impacto ambiental crítico (-) u óptimo (+): aquél cuya magnitud es superior al umbral aceptable. Si éste es negativo, con él se produce una pérdida permanente de la calidad de las condiciones ambientales, sin posible recuperación, incluso con la adopción de medidas protectoras o correctoras. Si el impacto es positivo, significa que éste generará resultados óptimos, efectivos y reales de viabilidad del proyecto que se requiera establecer.

Tabla Nº 8. Rango de Valores y Categorías de Impacto Ambiental.³⁴

Naturaleza	Rango	Categoría de Impacto Ambiental
(-)	76-100	(-) Críticos
(-)	51-75	(-) Severos
(-)	26-50	(-) Moderados
(-)	0-25	(-) Irrelevantes
(+)	0-25	(+) Irrelevantes
(+)	26-50	(+) Moderados
(+)	51-75	(+) Muy Tolerables
(+)	76-100	(+) Optimos

³⁴ Estudio de Impacto Ambiental de las actividades de Mantenimiento del Canal del Dique; Rodrigo Pedraza Alfonso; CORMAGDALENA INFORME FINAL; Colombia; 2002.



**CAPÍTULO II:
DISEÑO
METODOLÓGICO**

2. DISEÑO METODOLÓGICO.

2.1. Estudio de suelo.

Antes de realizar cualquier tipo de construcción o edificación en un terreno, es necesario conocer las características geotécnicas que hay en el subsuelo de ese territorio, donde se llevará a cabo el proyecto. Por ese motivo, es de importancia efectuar un estudio geotécnico del sitio donde se tiene planeado construir el sistema de tratamiento de aguas residuales.

Esta prueba se realizó mediante 2 sondeos, conforme la ejecución del **Ensaye de Penetración Normal (ASTM D-1586)** de la **American Society for Testing and Materials**.

En resumen, en la realización del Estudio de Suelo, se siguió paso a paso procedimientos, métodos y actividades de campo llevados a cabo para la ejecución del mismo. Así también se tuvo que elaborar un informe con los resultados de ensayos de laboratorio practicados sobre muestras alteradas del subsuelo, con los resultados obtenidos de estos ensayos, se procedió a la clasificación de las muestras mediante el procedimiento del **Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS)** con designación de la **ASTM D-2487**, para finalmente, establecer las conclusiones y recomendaciones adecuadas para fines de cimentación de las obras a construir. También se verificó el nivel del manto freático.

Dentro de los ensayos de laboratorio a las que se sometieron las muestras alteradas, obtenidas en la fase de campo, son mencionadas en la Tabla Nº 9, (Ver pág.59):

Tabla Nº 9. Ensayes de laboratorio

Nombre del Ensaye	Designación A.S.T.M.
Granulometría	D – 422
Límite Líquido	D – 423
Límite Plástico	D – 424
Humedad	D – 558

2.2. Aporte de aguas residuales.

El Q_d se calculó de acuerdo a los análisis y consideraciones que realiza el Programa Biomasa y mediante bibliografía consultada de estudios similares a nuestro trabajo a nivel nacional e internacional.

El caudal de diseño se determinó como la sumatoria de:

$$Q_D = Q_w + Q_x + Q_y + Q_z \quad \text{Ec.1}$$

Donde:

Q_D : Caudal de diseño. ($m^3/día$)

Q_w : Caudal aportado por el agua de desperdicio de los cerdos al tomar agua y eliminados en la orina. ($m^3/día$)

Q_x : Caudal a través del gasto de agua utilizado en el lavado del área que ocupa un cerdo. ($m^3/día$)

Q_y : Caudal a través de la cantidad de agua que se utilizan por la matanza de cada cerdo. ($m^3/día$)

Q_z : Caudal a través de la cantidad de agua que utilizan por la matanza de cada ave (pollo). ($m^3/día$)

La determinación de cada uno de los caudales se determinará en el Capítulo III, en el inciso 3.3.1, página 88.

2.3. Sistema de tratamiento de aguas residuales propuesto.

Cabe señalar que las remociones de las aguas a tratar salientes en cada una de las etapas de los tratamientos propuestos, se utilizaron los porcentajes de remoción de menor valor que nos indican según los estudios realizados por el Programa Biomasa de la UNI, en el país y las bibliografías consultadas que se presentaron en el Capítulo I. Al tomar estos rangos de remoción de menor valor en cada proceso, fue con la finalidad de establecer un factor de seguridad en cada una de las etapas del sistema, ya que esto nos permite prevenir un incremento en los valores de las concentraciones de los parámetros considerados, según la caracterización de la carga de las aguas a tratar propuestas en el estudio o cualquier desperfecto en el funcionamiento de las tecnologías presentadas a continuación:

▣ Canal de entrada

La velocidad del canal antes de la criba o rejilla, debe mantenerse entre 0,30 y 0,60 m/s, siendo el que se utilizó en el diseño de 0.48 m/s, que es un valor comúnmente utilizado. El caudal de diseño del canal de entrada se realizó con la siguiente ecuación:

Ec.2

Donde:

Q_{DCE} : Caudal de diseño del canal de entrada.

Fq : Factor de incremento del caudal que puede ocurrir en un determinado espacio de tiempo en la entrada del mismo, cuando se requiere encontrar el caudal para su diseño; según estudios de aforos realizados en los canales de entradas de varios sistemas de tratamientos de distintos mataderos supervisados y diseñados por el Programa Biomasa, el valor adimensional de Fq es de 3. El valor de Fq también fue utilizado en el cálculo del Caudal máximo $Q_{m\acute{a}x}$.

El caudal máximo fue calculado por la siguiente expresión:

$$Q_{\text{máx}} = Q_{\text{DCE}} * Fq \quad \text{Ec.3}$$

Para mayores detalles ver Apéndice F. (Sección F.1).

2.3.1. Pre- tratamiento o Tratamiento preliminar.

➔ Rejas.³⁵

El canal abierto para la alimentación de la etapa anaerobia contiene una reja de limpieza manual, cuyo objeto es remover los sólidos gruesos. El canal estará proyectado en forma recta, sin baches e imperfecciones de tal modo que se evite la acumulación de arena y otros materiales pesados en él, que trae consigo el agua residual a tratar, es por esta razón que en la rejilla propuesta no se utilizó ningún método para su diseño, debido a que el origen de dichas aguas que entraran al sistema traerán consigo sustancias sólidas gruesas, por lo que se propuso una rejilla más fina cuyos espacios no permitirán el paso de ningún tipo de material que pueda afectar la eficiencia del sistema en general.

Las dimensiones del canal son: 4.5 m de largo, 0.55 m de ancho, 0.45 m de profundidad media con una pendiente de 0.5%. La rejilla estará colocada en un ángulo de inclinación de 45° con respecto a la horizontal, y será construida con marco de angulares de 1/4" de acero inoxidable, con malla de lámina de acero inoxidable con ranuras de 2 mm tanto horizontal como verticalmente. En la parte superior de la rejilla se encuentra una placa perforada para que los objetos extraídos puedan almacenarse temporalmente para su drenaje. Para mayores detalles ver Apéndice L (Planos Constructivos).

³⁵ Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico RAS- 2000, SECCION II, Título E: Tratamiento de aguas residuales; República de Colombia, Dirección de Agua Potable y Saneamiento Básico; Bogotá, D.C., Noviembre de 2000.

➔ **Desarenador.**³⁴

El desarenador de flujo horizontal propuesto será ubicado después de la rejilla.

Para determinar las dimensiones del desarenador se deben de tomar en cuenta los siguientes criterios:

PARÁMETRO	Expresión	Valor	Unidad de medida	Comentario
Velocidad de sedimentación para partículas con diámetro mayor que 0.2 mm a 26 °C, V_s	v_s	108	m/h	Experiencia Programa BIOMASA
Factor de corrección de turbulencia		4	Adimensional	Experiencia Programa BIOMASA

Área superficial				
Parámetro	Expresión	Fórmulas	Unidad de medida	
Área superficial requerida	A_s	_____	m^2	Ec. 4
Área superficial propuesta	A_{sp}	$A_{sp} = B_d * L_d$	m^2	Ec. 5
Relación Largo/Ancho	L/B	$2.5 \leq L/B \leq 5$		

Sección transversal				
Profundidad media	P_m	m	_____	Ec. 6
Sección transversal	St	m^2	$St = (t_{Q_{máx}} + P_i) * B_d$	Ec. 7
Velocidad horizontal	v_h	m/h	_____	Ec. 8
Tiempo que se tarda en atravesar una sección del flujo	t_h	s	—	Ec. 9
Tiempo que tarda en sedimentar una partícula	t_s	s	_____	Ec.10
Intervalo de limpieza	Tr	h	_____	Ec.11

Para mayores detalles ver Apéndice F. (Sección F.2).

En la Tabla Nº 10 aparecen las características geométricas y recomendadas para el diseño de desarenadores de flujo horizontal según criterios sugeridos por el INAA.

Tabla Nº 10. Geometría recomendada para desarenadores de flujo horizontal.

PARÁMETRO	Valores		Unidad de medida
	Intervalo	Típico	
Profundidad del desarenador	2 – 5		(m)
Longitud del desarenador	–		(m)
Ancho del desarenador	–		(m)
Tiempo de retención	45 – 90	60	(s)
Velocidad Horizontal (Velocidad mínima del agua)	0.24 – 0.40	0.3	(m/s)
Velocidad de sedimentación para selección de malla:			
Malla 65*	0.95 – 1.25	1.15	(m/min)
Malla 106*	0.60 – 0.90	0.75	(m/min)
Relación Largo-Ancho	2.5:1 – 5:1		Adimensional
Relación Ancho-Profundidad	1:1 – 5:1		Adimensional
Carga superficial	700 – 1600		m ³ /m ² /día
Incremento de longitud por turbulencia en la entrada y salida	2Pm-0.5L		m

Pm: Profundidad máxima del desarenador

L: Longitud teórica del desarenador

* Si el peso específico de la arena es menor que 2.65, deben usarse velocidades inferiores.

2.3.2. Tratamiento primario.³⁶

➔ Pila de hidrólisis.

El caudal de diseño de la pila de hidrólisis que se utilizó es el caudal máximo (Q_b). El volumen útil de la Pila (V_{uph}) será la cantidad de agua residual que entrará a la pila expresada en m³, y esta depende del caudal máximo.

³⁶ Universidad Nacional de Ingeniería; Parte 2: Tratamiento y Reuso de Aguas Residuales; Lima- Perú, Año 2000.

El período de retención (T_r) de las aguas en la pila de Hidrólisis será de 1 día como máximo y se tomó un porcentaje de Remoción asumido de DQO (R_{DQO}) para cuestiones de seguridad en el dimensionamiento de la Pila de Hidrólisis equivalente al 10% de la carga de entrada en la pila de hidrólisis.

A continuación se presentan las fórmulas utilizadas para su dimensionamiento:

Parámetro	Expresión	Fórmulas	Unidad de medida	
Volumen de vacío (15% asumido)	"V _{vph} "		m ³	Ec. 12
Carga de entrada	"C _{entrada} "	—	kg de DQO/d	Ec. 13
Carga degradada de DQO	"C _{degradada} "		kg de DQO/d	Ec. 14
Producción de sólidos	"Ac"		kg de SSV/d	Ec. 15
Sólidos totales	"ST"	—————	kg de SST/d	Ec. 16
Producción de lodos	"PL"	—————	kg/d	Ec. 17
Volumen de lodos producidos	"VL"	—	m ³ /mes	Ec. 18
Volumen de diseño de la Pila de Hidrólisis	"V _{dph} "		m ³	Ec. 19
Ancho de la Pila de Hidrólisis	"B _{ph} "	—————	m	Ec. 20

Parámetro	Expresión	Fórmulas	Unidad de medida	
Largo de la Pila de Hidrólisis	"L _{ph} "		m	Ec. 21
Altura del volumen de vacío	"H _v "	—————	m	Ec. 22
Altura del volumen de lodo	"H _{lodo} "	—————	m	Ec. 23
Altura del volumen útil de agua residual	"H _u "	—————	m	Ec. 24
Altura total de la Pila de Hidrólisis	HT _{ph}		m	Ec. 25
Volumen total final de la pila de hidrólisis	V _f		m ³	Ec. 26

- **Selección del conjunto bomba sumergible**

Para la selección del conjunto bomba sumergible fue necesario determinar:

El caudal de diseño: el caudal que se utilizó fue el que siguiendo la línea de bombeo que debe ser capaz de transportar el gasto máximo esperado para el período de diseño, ya sea de una o varias bombas, siendo este caso una sola.

La Carga Total Dinámica (CTD): la CTD se trabajó como la sumatoria de la diferencia de nivel desde el orificio de succión de la bomba hasta la boca de entrada de la criba hidrostática más las pérdidas por fricción a lo largo de la tubería y las pérdidas locales debidas a las piezas y accesorios.

Para mayores detalles ver Apéndice F (Sección F.3.1).

- ◆ Las pérdidas locales ocasionada por los distintos accesorios de la tubería se determinaron por la fórmula siguiente:

—
Ec. 27

Donde:

HL = pérdidas locales en m.c.a.

K = coeficiente que depende del tipo de accesorio.

V = velocidad de paso (m/s).

g = aceleración de la gravedad = 9.81 m/seg²

- ◆ Otras fórmulas que se pueden destacar son:

Ec. 28

Donde:

A: es el área de la tubería (m²).

V: velocidad de paso (m/s).

- Para encontrar la velocidad de paso se calculó con la siguiente fórmula:

$$\frac{Q}{A} = v$$

Ec. 29

Al despejar la fórmula anterior también podremos saber el diámetro de la tubería en metros, cuya expresión matemática quedaría de la siguiente manera:

$$D = \sqrt{\frac{4Q}{\pi v}}$$

Ec. 30

Tabla Nº 11. Los valores de K para los distintos accesorios se dan en la tabla siguiente:³⁷

Piezas	Descripción	Diámetro de los accesorios en pulgadas.											
		1/2	3/4	1	1 1/4	1 1/2	2	2 1/2-3	4	6	8-10	12-16	18-24
	Válvula de pie con obturador	11,3	10,5	9,7	9,3	8,8	8,0	7,6	7,1	6,3	5,9	5,5	5,0
	Válvula de pie oscilante	2,0	1,9	1,7	1,7	1,4	1,4	1,3	1,1	1,1	1,0	0,9	
	Codo de 90° radio = 2D	0,32	0,30	0,28	0,26	0,25	0,23	0,22	0,20	0,18	0,17	0,16	0,14
	Codo de 45° radio = 2D	0,17	0,16	0,15	0,14	0,13	0,12	0,12	0,11	0,10	0,09	0,09	0,07
	Contracción asimétrica	$K = 0,5 \left(1 - \frac{d_2^2}{d_1^2} \right) \sqrt{\frac{\theta}{2}}$											
	Válvula de compuerta	0,22	0,20	0,18	0,18	0,15	0,15	0,14	0,14	0,12	0,11	0,10	0,10
	Válvula de bola	0,08	0,06	0,07	0,07	0,06	0,06	0,05	0,05	0,05	0,04	0,04	0,04
	Válvula de mariposa						0,86	0,81	0,77	0,68	0,63	0,35	0,30

³⁷ www.nsph.elregante.com

- Las pérdidas H_f se calcularon mediante la fórmula de Hazen - Williams:

Ec. 31

Donde:

H_f : pérdidas por fricción a lo largo de la tubería (m).

$Q_{m\acute{a}x}$: Caudal máximo de diseño (m³/s).

L: longitud de la tubería (m).

D: Diámetro de la tubería (m).

C: Coeficiente que depende del material de origen de la tubería (Adimensional).

Potencia de los sistemas de bombeo: para su determinación se utilizó la siguiente expresión:

Ec. 32

Donde:

P_{tb} : Potencia de la bomba, [Hp].

Q_b : es el caudal de diseño, [Gpm].

CTD: Carga Total Dinámica, [pies].

E_f (bomba): Eficiencia del conjunto bomba, [Adimensional].

Y: Factor de seguridad que equivale a 1.20, [Adimensional].

● Criba Hidrostática.

Dentro de la pila de hidrólisis, el agua será bombeada por medio de una bomba centrífuga sumergible para semisólidos con capacidad de 27 a 62 GPM (esta capacidad varía dependiendo de la CTD a vencer), hacia una criba hidrostática provista de una malla fina de acero inoxidable, con abertura de 0.5 mm y capacidad máxima de 20 GPM. La malla filtrante está conformada por pequeñas barras de una forma que la parte plana de aquella está encarada al flujo. Estos a pesar de ser auto limpiables, deben limpiarse dos o tres veces al día con agua a presión para eliminar los sólidos acumulados. Esta criba fue cotizada en Costa Rica en la Empresa AGROTEK_{OP}, S.A.

Para mayores detalles ver Capítulo III, pág. 118.

➔ Digestor.

◆ Tratamientos anaerobios de flujo ascendente y descendente:³⁸

El diseño de reactores anaerobios de flujo ascendente y descendente se realizó mediante la metodología utilizada por el Programa Biomasa en Nicaragua.

A continuación se presentan algunos criterios de diseño para el digestor:

Parámetro	Expresión	Fórmulas	Unidad de medida	Observaciones
Período de retención de aguas residuales	"T _{rd} "	1.00	día	_____
Porosidad del lecho filtrante en el digestor	"P _r "	60.00%	porcentaje	Experiencia Biomasa
Volumen de vacío para el digestor	"V _{vd} "	20.00%	porcentaje	Se considera un 20% del Volumen útil del digestor (V _{ud}). Experiencia BIOMASA.
Cantidad de claros	"D _f "		Adimensional	Asumida
Profundidad del digestor	"H _d "		m	Asumida

³⁸ <http://amarengo.org/construccion/normas/rne/habilitaciones-urbanas/obras-de-saneamiento/os090/disposiciones-especificas>

La profundidad o altura del reactor que nosotros seleccionamos es de 3 m, ya que en Nicaragua las profundidades de este tipo de tratamientos varía entre 3 a 5 m, esto lo sustentamos en los diseños de plantas de tratamientos que ha realizado el Programa BIOMASA en los diferentes rastros y mataderos de animales (aves, ganado porcino, vacuno, etc) y en la visita de campo realizada a la Granja Porcina de Rivas a cargo de la Misión Técnica de Taiwán, donde los digestores que ellos poseen en sus instalaciones son de 4 m de altura. Esta altura, nos permitirá también reducir los costos de excavación al momento de su construcción.

Para el dimensionamiento del digestor se tomaron en cuenta las siguientes fórmulas:

Parámetro	Expresión	Fórmulas	Unidad de medida	
Cálculo del volumen útil	"Vudi"	di	m ³	Ec. 33
Volumen ocupado por el lecho filtrante	"Vlf"		m ³	Ec. 34
Volumen de los deflectores	"Vdf"	_____	m ³	Ec. 35
Grosor de las paredes	"bp"	asumida	m	
Volumen de vacío del digestor	"Vvdi"		m ³	Ec. 36
Volumen de diseño del digestor	"Vddi"		m ³	Ec. 37
Ancho del digestor	"Bdi"	_____	m	Ec. 38
Largo del digestor	"Ldi"		m	Ec. 39
Ancho inferior del digestor	"Bi"	Asumido	m	
Ancho superior del digestor	"Bs"		m	Ec. 40
Largo inferior del digestor	"Li"	Asumido	m	
Largo superior del digestor	"Ls"		m	Ec. 41

◆ **Producción estimada de Biogás.**

Para la estimación de la producción de Biogás, seguimos la metodología utilizada por el Programa Biomasa, y se tomaron en consideración los siguientes aspectos y procedimientos:

- a) El porcentaje de remoción de la materia orgánica en el digestor para poder definir la carga degradada.
- b) La DQO de entrada expresada en Kg/día.
- c) El Caudal de entrada expresado en m³/día.

Para la determinación de la producción estimada de biogás de buena calidad se consideró que debe de haber un contenido de metano mayor de 60%, ya que es el que le da el valor calorífico al biogás.³⁹

◆ **El procedimiento para su determinación es:**

- i. Carga de entrada: La Carga de entrada es expresada en Kg de DQO/d.

Ec. 42

- ii. Carga degradada: La Carga de entrada es expresada en Kg de DQO/d.

Ec.43

- iii. DQO degradada: La DQO degradada es expresada en Kg/d.

Ec. 44

³⁹ Programa BIOMASA

iv. Producción de metano (Volumen de Metano esperado): El Volumen de Metano es expresado en m^3/d .

- ✓ Metanogénesis: $0.30 m^3/Kg$ de DQO degradado

Ec. 45

v. Volumen de Biogás: El Volumen de Biogás es expresado en m^3/d .

- ✓ Porcentaje estimado de metano: 60% de metano.

Ec. 46

Tabla Nº 12. Comparación del biogás con otros combustibles.

Descripción	Unidad	Poder calorífico kwh/u	Utilización	Rendimiento (%)	Poder Calorífico aprovechable kwh/u	Equivalente en Biogás m^3/u	$1m^3$ Biogás = u/ m^3
Biogás	m^3	5.96	cocinar	55	3.28	1	1
Propano	Kg	13.9	cocinar	60	8.34	2.54	0.39
Butano	Kg	13.6	cocinar	60	8.16	2.49	0.40

- ✓ El consumo de biogás en quemadores domésticos es de 0.2 a $0.4 m^3/h$.
- ✓ El consumo de biogás en quemadores industriales será de 1 a $3 m^3/h$.
- ✓ En términos ambientales se ha calculado que en $1 m^3$ de biogás utilizado para cocinar evita la deforestación de 0.335 hectáreas de bosques con un promedio de 10 años de vida de los árboles (Sasse 1989).

2.3.3. Tratamiento secundario:⁴⁰

➤ Filtro descendente (FD).

Las formas de dimensionamiento de un FD son similares a la de los Biofiltros verticales, según indica la experiencia del Programa Biomasa, lo único que cambia es que estos últimos no presentan en su superficie plantas macrófitas.

Los parámetros típicos de diseño que fueron utilizados en nuestro filtro descendente son los siguientes: requerimiento de área, profundidad, el lecho filtrante y el tiempo de retención. El cálculo del área específica se realiza mediante la siguiente ecuación (Kadlec & Knight, 1996):

Ec. 47

Donde:

AFD: Área requerida del Filtro, m²

QFD: Caudal, m³/d

Ce: Concentración de entrada, mg/L

Cs: Concentración de salida, mg/L

C: Concentración de fondo, mg/L

kt: Constante de primer orden, m/d

Si la profundidad del lecho es 1 m y la alimentación es intermitente, se puede esperar una eficiencia de nitrificación del 45%. Además de estos cálculos, se aplican a menudo “reglas de dedo” en base a las experiencias previas.

El valor de k que es la constante específica de la biodegradación que nosotros utilizamos en el sistema fue es de 0.852 m/día, este valor fue estandarizado a través del Proyecto ASTEC por medio de estudios y ensayos realizados en El Biofiltro de Masaya.

⁴⁰ *Uso de la Tecnología de Biofiltro en el Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas; Ing. Vidal Cáceres A., Ing. Néstor Forng; PROGRAMA BIOMASA- UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA; Febrero, 2010.*

➔ Biofiltro de Flujo Horizontal:

El diseño del BFH presentado en este trabajo, fue basado según los **Criterios de diseño en función de los requerimientos hidráulicos:**⁴¹

- **Criterios de diseño en función de los requerimientos hidráulicos:**

El diseño hidráulico de un Biofiltro se realizó en base a la **Ley de Darcy:**

Ec. 48

Donde:

W: Área de la sección transversal efectiva del lecho, (m²).

Q: Caudal promedio de aguas residuales, (m³/s).

K_f: Permeabilidad del lecho filtrante, (m/s).

I: Pendiente hidráulica, (m/m).

Tabla 13. Permeabilidad del lecho filtrante

Material del lecho filtrante	K _f
Grava de fina a gruesa	10 ³ a 1 m/s
Arena fina a gruesa	10 ⁻⁷ a 10 ⁻² m/s
Hormigón rojo	10 ⁻² a 10 ⁻³ m/s

La granulometría del Hormigón rojo debe ser característica para un tamaño efectivo entre 0.4 y 2 mm. Otro criterio utilizado para la selección del material es el factor de uniformidad, el cual se define como:

⁴¹ *Uso de la Tecnología de Biofiltro en el Tratamiento de Aguas Residuales Domesticas; Ing. Vidal Cáceres A., Ing. Néstor Fong; PROGRAMA BIOMASA- UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA; Febrero, 2010.*

$$U = \frac{d_{10}}{d_{60}}$$

Ec. 49

Donde:

U: factor de uniformidad

d_{10} : diámetro de partícula correspondiente al 10% del material

d_{60} : diámetro de partícula correspondiente al 60% del material

Este factor debe ser menor que 4. El factor de conformidad para el homigón rojo es de 3.75.

Mientras pasa el tiempo, la permeabilidad del material de entrada del lecho filtrante del Biofiltro (entre 1 y 2 m después de la piedra gruesa utilizada en la zona de distribución), se reduce debido a la formación de una densa capa bacteriana y a la acumulación de sólidos suspendidos, por lo cual es necesario reemplazarlo periódicamente. El resto del lecho filtrante no experimenta este fenómeno, por lo que se considera que mantiene su permeabilidad o que la disminución de la misma es tan pequeña que no afecta el flujo a través del mismo. Para su diseño, se recomienda contemplar un valor de permeabilidad menor, el valor de permeabilidad utilizado en el diseño deberá ser 50% o menos de la permeabilidad del material original.

El ancho mínimo necesario (B_{\min}), es expresado en metros (m), y se obtiene de dividir el área de la sección transversal (W) entre la profundidad (h_{ef}), la cual se recomienda entre 0.6 y 0.8 m:

—

Ec. 50

Es recomendable tomar como ancho final (B) del Biofiltro un valor más alto que el valor de B_{\min} , con el propósito de proveer un factor de seguridad a la capacidad de infiltración para asimilar posibles aumentos del caudal de entrada. Además,

puesto que todo sistema se diseña con dos Biofiltros en paralelo para posibilitar el mantenimiento de los mismos, un solo Biofiltro recibiría todo el caudal durante el tiempo que dure el mantenimiento, aunque sea por un tiempo muy corto. Se recomienda que el ancho final sea el doble del ancho mínimo calculado; sin embargo, esto se limitará en función del caudal de entrada, pues a medida que se diseña para una mayor capacidad, esto tiene un impacto importante sobre el costo de construcción del sistema.

Quando se diseña biofiltros de gran capacidad, se recomienda que el valor del ancho final sea al menos 50% mayor que B_{\min} . El ancho máximo para un Biofiltro está limitado por las dificultades enfrentadas para lograr una distribución uniforme, recomendándose que éste tenga un valor alrededor de los 100 m. (Proyecto ASTEC).

La pendiente hidráulica usada generalmente oscila entre 0.5 y 1%, siendo también usual que la pendiente del fondo tenga el mismo valor con el objetivo de conservar constante la profundidad efectiva a lo largo del Biofiltro, en el cálculo se utilizó una pendiente del 1%. Para evitar profundizar demasiado al final del Biofiltro debido a la pendiente del fondo, se recomienda limitar su longitud a 50 m y dividir el sistema en diferentes unidades de tratamiento cuando el volumen de aguas residuales a tratar así lo requiera, como fue en nuestro caso.

La longitud del Biofiltro se obtuvo asumiendo las cargas hidráulicas recomendadas, las cuales oscilan entre 28 y 35 m/año. La carga hidráulica se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$C_H = \frac{Q}{A} \quad \text{Ec. 51}$$

Donde:

C_H : Carga hidráulica, m/año

Q: Caudal de diseño, m³/año

A: Área superficial, m² (ancho*longitud)

Fijando la carga hidráulica se calcula la longitud despejando su valor de la ecuación anterior:

$$\text{---} \text{ (m)} \quad \text{Ec. 52}$$

Con el valor de la longitud se chequea la relación largo/ancho. Para unidades pequeñas esta relación puede ser hasta de 3:1, según valores recomendados en la bibliografía; sin embargo, en el caso de unidades grandes, esta relación está determinada fundamentalmente por el ancho de la unidad, recomendándose una relación mínima de 0.5:1.

El cálculo del tiempo de retención se realizó por medio de la ecuación:

$$t_r = \text{---} = \text{---}$$

Ec. 53

$$3 < t_r < 7 \text{ días}$$

Donde:

L: longitud del Biofiltro, (m)

B: ancho del Biofiltro, (m)

h_{ef} : profundidad efectiva, (m)

n: porosidad del lecho filtrante como fracción decimal

Q: caudal, ($m^3/día$)

Para mayores detalles sobre el dimensionamiento del Biofiltro horizontal se recomienda ver Apéndice F. (Sección F.6).

2.3.4. Tratamiento de lodos.

El tratamiento de lodos se hará mediante una losa de secado, a través de la cual se dispondrán la materia sedimentada y una nata flotante de la pila de hidrólisis y también se depositaran los sólidos gruesos, nata flotante y el lodo sedimentado del desarenador.

A continuación se muestran las fórmulas utilizadas para el dimensionamiento de la pila de secado de lodos:

DESCRIPCIÓN	SIMBOLO	FÓRMULA	EXPRESADA EN:	
Volumen de lodos en pila de Hidrólisis	"VL"	—	m ³ /mes	Ec. 54
Volumen de lodos en desarenador	"Cl _d "		m ³ /mes	Ec. 55
Cantidad de lodos secos	"Cl _s "		m ³ /mes	Ec. 56
Altura de la capa de lodos en la pila	"h _{clp} "	Asumir	m	Ec. 57
Área requerida para el secado	"Ars"	—	m ²	Ec. 58
Relación largo/ancho	"R"	—	Adimensional	
Ancho de la pila de secado de lodos	"Bsl"	—	m	Ec. 59
Largo de la pila de secado de lodos	"Lsl"		m	Ec. 60
Volumen Total de la Pila	VT _p		m ³	Ec. 61

Donde:

Pl: Producción de lodos en la pila de hidrólisis, se expresa en kg/d.

Trl= Tiempo de retención de lodos igual a 30 días del mes.

2.4. Diagnóstico de Impacto Ambiental.

La metodología que se plantea a continuación es adaptada de Codesa-Fernández Vítora, 1997. Donde se identifican todas las acciones del proyecto que generan efectos en el ambiente, a partir de los cuales se realizó un análisis que permite evaluar el grado de afectación que traería la ejecución del proyecto.

En una primera etapa, como parte del estudio se empleó una Lista de Chequeo Modificada mediante la cual fue posible identificar los impactos y determinar su origen, proporcionando una base sistemática y reproducible para el proceso de Diagnóstico de Impacto Ambiental. Las acciones susceptibles que producen impactos se establecieron dos etapas de interés: construcción y operación, por lo cual se determinó las consecuencias posibles por la construcción de las obras y actividades a ejecutarse en el transcurso del tiempo.

Identificados todos los factores impactados se estableció una matriz de valoración para las dos etapas del proyecto (construcción y operación), desde el punto de vista cuantitativo, ya que permite conocer la importancia de los impactos y su orden de prioridad. A partir de esta técnica es posible realizar una selección minuciosa de todos los impactos del proyecto, considerando en ella las acciones más impactantes y los factores ambientales más afectados.

Finalmente con los resultados obtenidos se realizó un gráfico donde se muestran los valores de Importancia de cada uno de los elementos del medio en las Etapas de Construcción y Operación. (Ver Apéndice D).



**CAPÍTULO III:
DESARROLLO
Y
RESULTADOS**

3. DESARROLLO Y RESULTADOS.

3.1. Área de estudio.

3.1.1. Localización del área de estudio.

El centro experimental agrícola (CEA-UNI) se encuentra ubicada en el municipio de Tisma, a unos 10 km de la cabecera municipal de Masaya, sus coordenadas geográficas es de $86^{\circ}00'15''$ – $85^{\circ}59'35''$ longitud Oeste; $12^{\circ}00'47''$ – $12^{\circ}00'23''$ latitud Norte y una elevación de 64 m.s.n.m.

✦ Macrolocalización.

El terreno donde se localiza el CEA-UNI, se localiza en la Comarca Las Flores Masaya, en la antigua Hacienda “La Puebla”, alejado de la ciudad y rodeado de caseríos de las diferentes comunidades que se ubican en sus alrededores.

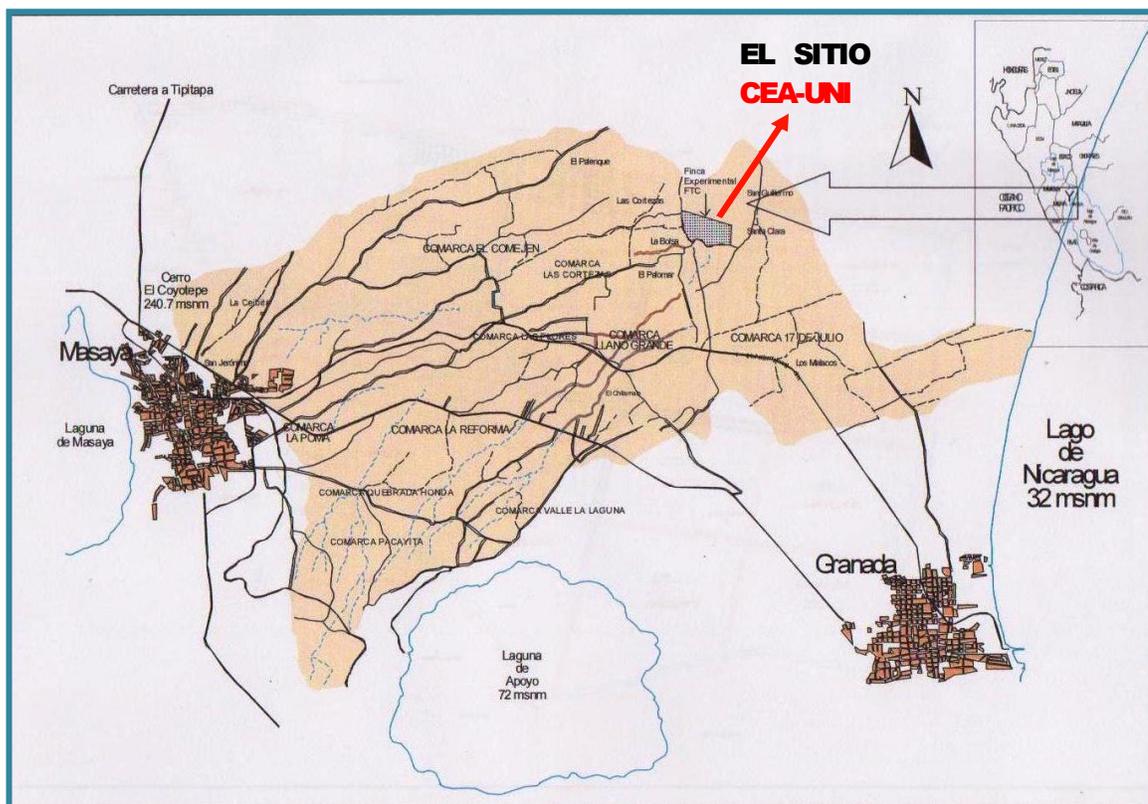
Fig. Nº 4. Macrolocalización. Municipio departamento de Masaya.



⊕ Microlocalización.

El 23 de Enero del 2001 parte de la finca La Puebla, de 48.21 Mz., fue adquirida por medio de compra y pasa a formar parte de la Universidad Nacional de Ingeniería como unidad académica adscrita al Departamento de Ingeniería Agrícola de la Facultad de Tecnología de la Construcción. En la actualidad, el CEA-UNI tiene como misión generar investigación y difundir sus resultados mediante la docencia y la transferencia, con el fin de contribuir a la transformación tecnológica y el desarrollo de la sociedad Nicaragüense. Las instalaciones del sistema de tratamiento se construirán en un terreno contiguo a la ubicación actual.

Fig. Nº 5. Microlocalización. “CEA - UNI”.



➤ **Límites del terreno:**

Norte:	Camino a Santa Clara y Propiedad de Manuel Rivas y Matías Muños; Visión Mundial.
Este:	Propiedad de Visión mundial.
Sur:	Propiedad de Vicente Quiñones, Santo Dávila, Manuela Polanco, Freddy García.
Suroeste:	Camino a las Flores y Camino a San Blass.
Oeste:	Propiedad de María Ñurinda, Francisca Robleto, Sinforiano Cáceres Baca.

3.2. Características de la zona del proyecto.⁴²

⊕ **Descripción fisiográfica.**

El CEA está situado cerca de la Provincia fisiográfica “Provincia de la Depresión de Nicaragua, sub provincia Planicies de Tipitapa”, que comprende llanuras de relieve bajo, constituida por depósitos sedimentarios recientes. El drenaje superficial escurre hacia el Río Tipitapa, Laguna de Tisma y Río Malacatoya para desembocar luego en el Lago de Nicaragua.

⊕ **Factores Climáticos.**

El análisis de los datos climáticos es importante por cuanto la variedad de cultivos agrícolas, su calidad y cantidad, dependen en alto grado del tipo de manifestaciones climatológicas, todo lo cual repercute en la vida económica y el bienestar social de la comunidad.

La precipitación pluvial total anual promedio de esta zona asciende a 1,324.60 milímetros a unos 50 m.s.n.m con una canícula definida de hasta 22 días.

⁴² INIFOM2000

Se puede apreciar dos estaciones bien marcadas:

- a) Estación lluviosa, comprendida entre los meses de Mayo a Octubre.
- b) Estación seca, comprendida entre los meses de Noviembre a Abril.

La mayor precipitación pluvial corresponde al mes de Septiembre, en el cual se localiza el 26% del total de precipitación anual.

La evapotranspiración total anual promedio corresponde a 1,931.40 mm, los meses en los cuales se produce la mayor son los de Marzo y Abril, a diferencia de los Octubre y Noviembre que son los meses de menor evaporación.

La temperatura media anual corresponde a 24.23 °C en el transcurso del año, dicha temperatura oscila en un rango que va 22.46 °C a 25.66 °C la temperatura máxima se da en el mes de Abril, época en la cual los calores son más intenso y la mínima en Diciembre, mes en el cual la temperatura es más agradable.

Existe un alto porcentaje de humedad promedio anual, alcanzando casi el 77%. La época en la cual se localiza el menor porcentaje de humedad relativa corresponde a los meses de Marzo y Abril, en los cuales se alcanza el 66.70% y 63.70% respectivamente.

Contrario a lo anterior, podemos observar que en los meses de Agosto y Septiembre se localiza la época más húmeda, alcanzando en esta ocasión el 83.40% y 84.70% respectivamente.

⊕ **Influencia del Viento.**

Los vientos predominantes proceden del Este con una velocidad que va de 0.8 a 1.7 m/s.

⊕ **Topografía y Relieve.**

El sitio de la zona del proyecto se caracteriza por tener un relieve plano, con pendiente del 5% al 8%, con drenaje bueno.

Hablando generalmente, el relieve de esta zona de Masaya se caracteriza porque podemos encontrar a pocos kilómetros del sitio de estudio: **La Caldera de Apoyo** (Laguna de Apoyo) que forma parte de la provincia geomorfológica conocida como Cordillera Volcánica del Pacífico, formada por el eje de complejos volcánicos que se alinean paralelamente a la Costa Pacífica y limita con el borde Suroeste de la Depresión de Nicaragua y la **zona de la meseta** que corresponde a los relieves de las antiguas laderas del volcán Pre-Apoyo y conforma una parte de la zona de amortiguamiento de la Reserva Natural Laguna de Apoyo. Estas laderas se caracterizan por la presencia de valles profundos derivados de la fuerte erosión que actúa en ellas y, en algunos casos, se observan cortes erosivos en forma de cañón. Muchos de estos valles son controlados tectónicamente por fallas geológicas.

⊕ **Geología.**

La geología local comprende rocas cuaternarias desde el pleistoceno hasta el cuaternario reciente, descrita en el perfil estratigráfico de la zona.

Los depósitos volcánicos origen reciente están formados por material piroclásticos, cenizas finas, pómez, lapilli, etc. Las capas más recientes están constituidas por pómez intemperizados y arena piroclásticos finas hasta gruesas. Dentro de estas capas aparecen pequeñas lentes de aluviones arcillosos, arenas finas y gravas producto de las erosiones de los sedimentos del pleistoceno y de piroclásticos cuaternarios.

⊕ **Suelo.**

Presenta suelo de textura francos pocos profundos hablando desde el punto de vista agrícola y que han sido sometidos a una excesiva explotación, observándose en cierta parte la formación del talpetate y cárcavas de ligeras a medianas, producto de la erosión hídrica.

Estas zonas presentan una faja de donde encontramos la piedras pómez (arena blanca), estos yacimientos sigue siendo explotados para la construcciones de casas, y fabricación de ladrillos y actualmente para la venta de material inerte en la fabricación de fertilizante, comercio que se realiza a través de empresario-intermediarios, los suelo de esta zona tienen el potencial para la explotación forestal, la producción de sorgo y ajonjolí, así como algunas leguminosas, oleaginosas (maní y soya), sin embargo encontramos una diversidad de cultivos, destacándose los granos básicos, árboles frutales y algunas hortalizas.

⊕ **Cuencas Subterráneas.**

La profundidad de las aguas subterráneas varía entre 2 y 500 m, obteniendo según estudios realizados en esta zona 200 m de cuerpo de agua, los menores se registran en la cercanía del lago de Nicaragua en la formación cuaternaria volcánica aluvial donde su espesor es reducido a 10 m. En el Centro Experimental Agrícola (CEA) se han realizado la perforación de siete pozos que tienen las siguientes características:

1. Pozo perforado de 200 pies con una bomba sumergible con capacidad de bombeo de 35 G.P.M.
2. Pozo perforado de 110 pies con una bomba con capacidad de bombeo de 30 G.P.M.
3. Pozo perforado de 80 pies en la cual se puede adaptar una bomba de mecate con una capacidad de bombeo de 10 G.P.M.

4. Pozo perforado de 40 pies funciona con paneles solares con una capacidad de bombeo de 9 G.P.M. cuando está haciendo buen sol, y una capacidad de 8 G.P.M. cuando está nublado.
5. Pozo perforado de 246 pies con una bomba sumergible con capacidad de bombeo de 15 G.P.M.
6. Pozo perforado de 40 pies con una bomba de mecate con capacidad de bombeo de 15 G.P.M.
7. Hay otro pozo que se perforó a una profundidad de 43 pies con el fin de un ensayo para una tesis monográfica el cual se encuentra actualmente aterrado se dice que tiene una capacidad de 10 G.P.M.

En la actualidad solo están en funcionamiento 4 pozos, los cuales son aprovechados para el riego de cultivos agrícolas y para suplir cualquier actividad realizada en este centro. Esta información fue suministrada por la administración del CEA-UNI durante el año 2005 e inicio del año 2006, encabezado por el Ing. Manuel González y el Dr. Ing. Ricardo Rivera, quienes realizaron pruebas de aforación a cada uno de los pozos antes descritos.

3.2.1. Servicios Básicos.

La información que se detalla a continuación es producto de un estudio socio-económico realizado Centro Experimental Agrícola de la UNI:

◆ Agua potable

El CEA-UNI cuenta con agua potable gracias a 3 pozos perforados y equipados producto de una donación del Club Rotario Internacional, 1 pozo fue adquirido por el organismo Visión Mundial, 2 pozos fueron perforados y equipados por fondos propios de la misma universidad y otro producto de un estudio monográfico, el que se encuentra todavía aterrado. Como se dijo con anterioridad solo 4 de ellos están en funcionamiento, y éstos suministran todas las actividades donde se hace uso del vital líquido.

◆ **Luz eléctrica.**

El Centro Experimental posee unos transformadores eléctricos, gracias a los recursos económicos de la misma universidad y donaciones, dicha inversión se realizó desde el año 2004, éstos suministran de energía un aula y la bomba de un pozo; también existen paneles solares que brindan energía eléctrica solamente a la bomba de otro pozo; y la energía que es suministrada en la casa donde habitan los trabajadores que cuidan las instalaciones del CEA, es facilitada por el tendido eléctrico que existe en la comunidad y que está a cargo de UNIÓN FENOSA.

◆ **Vías de acceso y Transporte.**

Partiendo del municipio de Masaya se puede llegar por carretera pavimentada hasta Las Flores (longitud de la carretera 8 Km), luego en camino de tierra aproximadamente a unos 4 Km se llega al CEA-UNI. En época de invierno dicho camino se inunda debido a la falta de buen drenaje y a las afectaciones provocadas por la erosión hídrica que existe en la zona, pues a simple vista se pueden observar las formaciones de cárcavas y cauces naturales producto de la misma.

Se puede llegar en vehículo particular o por medio de buses de transporte público que van hacia la Comunidad de Santa Clara, cuyo valor oscila entre 6 córdobas por persona.

Otras vías de acceso que se tienen para llegar al CEA-UNI se nombran a continuación:

✓ Por Masaya:

Carretera Masaya – INCASA – Comunidad Las Cortezas – Tololo – CEA-UNI.

✓ Por Tipitapa:

Carretera Tipitapa-Masaya – Comunidad Los Zambranos – Tisma – Comunidad Las Cortezas-Tololo – CEA-UNI.

✓ Por Granada:

Carretera Granada-Masaya – Comarca Capulín – Comunidad de San Blass – Comunidad La Bolsa – CEA-UNI.

◆ **Salud.**

De las comunidades cercanas al CEA-UNI, solo es en la Comunidad Las Cortezas donde se encuentra ubicado un puesto de salud, está situado en tierras sin legalizar, la atención es deficiente debido a la falta de medicinas. La mayoría de las familias de esta zona, incluyendo las personas que habitan y trabajan en este centro, optan por medicina casera, en casos de menor importancia, pero si es un caso grave van hasta el “Hospital Hilario Sánchez” ubicado en la ciudad de Masaya.

3.3. PRESENTACIÓN Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS.

3.3.1. Determinación de caudales.

Debido a que no se encuentran establecidas las edificaciones de las granjas porcinas como avícolas, ya que son consideradas como proyectos futuros para la UNI, no se cuenta con el análisis de caracterización físico-químico y caudal de las aguas residuales, que entrarán a la planta de tratamiento correspondientes in situ, por lo que se consultó bibliografías, internet y trabajos de proyectos relacionados con nuestro tema, para su determinación.

Antes de determinar los caudales, inicialmente se estableció las proyecciones anuales partiendo desde el año Nº 1 hasta el año Nº 10, de las cantidades de cerdos en pie que estarán en la granja porcina, así como el número de cerdos y aves (pollos) que se sacrificarán anualmente, pues se pretende que haya matanza de los mismos, esta idea surge como un beneficio para mejorar la alimentación de los estudiantes y administrativos que hacen uso de los comedores de la UNI; también se aspira de que algunos de los productos derivados de la matanza, sean vendidos en pulperías establecidas en las cercanías del CEA-UNI, a esto se le suman las pretensiones de vender cerdos en pie a las personas que lo deseen pero a partir del año Nº 6.

Es de suma importancia señalar que para proyectar los valores de Cerdos a manejar en la granja y destinados como sacrificio se tuvieron que considerar una serie de contextos que se detallan a continuación:

➤ **Madurez sexual de la hembra:**⁴³

Varios factores influyen en el inicio de la pubertad en la cerda joven y la continuación de los ciclo estruales. Los más importantes incluyen:

- 1.- raza.
- 2.- estación del año durante el desarrollo sexual.
- 3.- exposición al verraco.
- 4.- alojamiento y grado de confinamiento.
- 5.- nutrición.
- 6.- salud general.

⁴³ http://mundo-pecuario.com/tema249/reproduccion_cerdos.html

Bajo buen manejo, la pubertad ocurre en la hembra joven, llamada de reemplazo, aproximadamente a los 6 a 8 meses de edad, cuando la cerda alcanza un peso corporal de 100 a 110 kg, es por esta razón que a ésta edad las cerdas empiezan a ser fecundadas por primera vez. En el macho la pubertad ocurre aproximadamente a la misma edad.

Entre el 80 y el 90% de las cerdas del Reino Unido reciben inseminación artificial. La preñez dura 16,5 semanas (114 días) y una cerda dará a luz entre 5 y 25 lechones por camada (un promedio entre 10 y 12). Los lechones son destetados antes de tiempo entre dos y cuatro semanas después (el destete se produciría en condiciones normales entre las semanas 12 y 14), y una semana después la cerda será inseminada de nuevo. El promedio de cerdos criados por cerda es de 22 al año, aunque muchas cerdas crían más. Las cerdas producen entre cuatro y siete camadas antes de acabar agotadas, y son sacrificadas tres o cuatro años después para obtener salchichas, pasteles de carne y otros productos de baja calidad.

Sin embargo en Latinoamérica esto varía un poco, las cerdas en cada parición dan camadas entre 8 a 10 lechones para cerdas de primer parto y 10 a 16 lechones en cerdas adultas, y un período de lactancia de 21 días. Las cerdas que son montadas de 5 a 10 días después del destete se espera que produzcan una camada cada 5 meses o un promedio de 2.4 camadas por año, en nuestras proyecciones trabajamos con 2 camadas por año. No obstante, debido a otros factores que reducen la fertilidad, el promedio del hato cae considerablemente debajo de este nivel potencial de producción. La tasa de ovulación y el tamaño de la camada se incrementan con la edad o pariciones avanzadas, estabilizándose después de 6 o 7 camadas.

La tasa de nacidos muertos aumenta lentamente después de la cuarta parición de manera que la ventaja de mantener cerdas más viejas se pierde en forma gradual. El tamaño de la primera camada se incrementa con el número de ciclo estruales previos al apareamiento. No obstante, las hembras cruzadas precozmente se desempeñan tan bien como las hembras cruzadas más tarde cuando se consideran las últimas pariciones.

La cerda adulta mostrará estro aproximadamente después del período de lactancia hasta la edad de 10 a 12 años, cuando la senilidad empieza a afectar la función ovárica. La mayor parte de las cerdas maduras se desechan del hato reproductor por otras razones antes de que se establezca la senilidad. La esperanza de vida natural de un cerdo es de 10 a 15 años. Las cerdas pasan al menos dos tercios de su vida gestando.

La raza y la selección dentro de ésta influyen en el inicio de la pubertad. En general, las razas Landrace y Large White seguidas por Hampshire, tienen un primer estro más pronto que otras razas comunes. Entre razas, ciertas líneas genéticas empiezan a ciclar más pronto que otras.

➤ **Proyecciones de cerdos.**

Según el informe de Auditoría ambiental realizado por Producción más Limpia en la Granja Porcícola Masada (Panamá), los lechones que son destetados, con un peso entre 15 y 17 lb, entran a los corrales de inicio de la zona de ceba y pasan a engorde a los 75 días, pesando 70 lb en promedio. En los 90 y 95 días salen para venta con un peso de 180 a 190 lb.⁴⁴

⁴⁴ Producción más Limpia (PmL), Informe de Auditoría Ambiental, Granja Porcícola Masada; Auditor Ambiental: Lic. Itzia Stanziola; Panamá, Octubre de 2006.

Lo anterior nos indica, que para que exista matanza de cerdos, por lo menos debe existir un año para su reproducción, como en nuestro caso, empezaremos con 10 cerdas y 2 verracos, pues a partir de los 6 meses aproximadamente de nacidos los cerdos es que ya pueden destinarse para ser vendidos en pie o para matanza, por lo que se recomienda dejar un año para reproducción de los animales que habitarán en la granja, o por lo menos dejar que los cerdos tengan una edad y un peso apropiados para empezar a realizar esa actividad.

Tomando en consideración lo anterior, empezaremos a planear a partir del año Nº 1 las proyecciones del ganado porcino, tomando en cuenta la probabilidad de que por cada camada de cerdos nacidos saldrán el 50% hembras y 50% machos. Como se dijo con anterioridad se tomará el promedio de 2 camadas por cada cerda al año, y el promedio de vida de 12 animales en una camada de cerdos por cada parto.

Si multiplicamos las 10 cerdas por los 12 lechones nacidos en cada parto, por las 2 camadas al año, nos da un total de 240 lechones al año, más los 12 adultos con los que empezamos nos da un total de 252 animales en pie en la granja, valorando que este año será para reproducción, pues nuestro año Nº 1, empezará hasta cuando se tenga este número de cerdos, solo así podremos sacrificar 130 cerdos en lo que llamaremos año Nº 1 definitivo, si hacemos esa sustracción nos quedarán 122 cerdos a manejar en la granja para principios del año Nº 2, cabe señalar que para empezar ese año ya deben existir cerdas de reemplazo o reposición y de reproducción para ir incrementando anualmente la producción en la granja, ya sean compradas a otras granjas o idealmente seleccionadas de las camadas reproducidas en la granja. (Ver Tabla Nº 14).

Tabla Nº 14. Proyecciones sobre el manejo de cerdos en la Granja Porcina y sacrificados.

Cantidad de Cerdas a empezar	10
Cantidad de Verracos (Reproductores) a empezar	2
TOTAL	12
Entonces para el año 1 tendremos:	
AÑO 1:	
NÚMERO DE CERDOS EN UN AÑO	240
Más las 10 cerdas y los 2 verracos con los que empezamos	+12
SUBTOTAL	252
CANTIDAD DE CERDOS A MATAR EN EL AÑO 1	-130
Total de cerdos a manejar en la granja Año 1	122

Para el año Nº 2, el aumento de cerdas reproductoras en este año es de 4, las cuales se piensa que paran 12 lechones por cada camada al año, dando un total de 96 nuevos cerdos más los 122 cerdos del año Nº 1, más los 240 cerdos que parieron las 10 cerdas en este año Nº 2, dan un total de 458 animales; sin embargo se considerará un incremento en el número de cerdos sacrificados del 35% anual a partir del año Nº 2, para suplir cualquier incremento en la demanda de los beneficiarios, entonces si multiplicamos los 130 animales sacrificados en el año anterior por el incremento del 35%, nos dará el valor de 175.5 cerdos o 176 cerdos destinados para la matanza en el año Nº 2, si restamos los 458 cerdos en la granja menos los 176 sacrificados nos dará un valor de 282 o 283 cerdos a manejar en la granja para finalizar el año Nº 2.

Es de importancia señalar, que estos valores varían en la tabla porque al realizar la Hoja de cálculo en el programa en Microsoft Excel, éstos valores fueron redondeados, como es de saber este programa va arrastrando los decimales de las celdas con valores anteriores, sin embargo eso no perjudica ni altera en ningún momento las proyecciones realizadas.

AÑO 2:	AUMENTO DE CERDAS EN AÑO 2	4
Cantidad de lechones para 4 cerdas se multiplica por 2 camadas de 12 cerdos c/u al año		96
Total de cerdos a manejar en la granja Año 1		122
Más las 2 camadas en el año Nº 2 de las 10 cerdas reproductoras del año Nº 1		240
SUBTOTAL		458
CANTIDAD DE CERDOS A MATAR EN EL AÑO 1		130
35 % DE AUMENTO EN LA MATANZA ANUAL		1.35
CANTIDAD DE CERDOS A MATAR AÑO 2		176
Total de cerdos a manejar en la granja Año 2		283

El año Nº 3 es similar al año Nº 2, el aumento de cerdas reproductoras en ese año es de 4, dando un total de 96 lechones al año, más los 283 cerdos en la granja del año Nº 2, más los 96 lechones que parieron este año Nº 3 las 4 cerdas que aumentamos en el año anterior (año Nº 2), más los 240 cerdos que parieron este año Nº 3 las 10 cerdas con las que empezamos en el año Nº 1, nos da un total de 715 cerdos, ahora si consideramos los 176 cerdos a matar en el año Nº 2 por el 35% del incremento anual de los sacrificios, hablaríamos de 237 cerdos sacrificados para este año Nº 3, si a los 715 cerdos le restamos los sacrificados en ese año da un total de 478 cerdos a manejar en la granja para finalizar el año Nº 3.

De manera semejante se hacen las proyecciones en los años posteriores a los ya descritos. Destacamos que el incremento en la producción de cerdos en la granja y destinados para sacrificio, dependerá del aumento de cerdas reproductoras que se aumente anualmente, y de las cerdas que serán de reemplazo, pues se requiere que también el número de las reproductoras y reproductores se amplíen para poder suplir demandas futuras.

Continuación de la Tabla Nº 14.

AÑO 3:	AUMENTO DE CERDAS EN AÑO 3	4
	Cantidad de lechones para 4 cerdas se multiplica por 2 camadas de 12 cerdos c/u al año	96
	Total de cerdos a manejar en la granja Año 2	283
	Más las 2 camadas de las cerdas reproductoras aumentadas en años anteriores	336
	SUBTOTAL	715
	CANTIDAD DE CERDOS A MATAR EN EL AÑO 2	176
	35 % DE AUMENTO EN LA MATANZA ANUAL	1.35
	CANTIDAD DE CERDOS A MATAR AÑO 3	237
	Total de cerdos a manejar en la granja Año 3	478
AÑO 4:	AUMENTO DE CERDAS EN AÑO 4	4
	Cantidad de lechones para 4 cerdas se multiplica por 2 camadas de 12 cerdos c/u al año	96
	Total de cerdos a manejar en la granja Año 3	478
	Más las 2 camadas de las cerdas reproductoras aumentadas en años anteriores	432
	SUBTOTAL	1006
	CANTIDAD DE CERDOS A MATAR EN EL AÑO 3	237
	35 % DE AUMENTO EN LA MATANZA ANUAL	1.35
	CANTIDAD DE CERDOS A MATAR AÑO 4	320
	Total de cerdos a manejar en la granja Año 4	686
AÑO 5:	AUMENTO DE CERDAS EN AÑO 5	4
	Cantidad de lechones para 4 cerdas se multiplica por 2 camadas de 12 cerdos c/u al año	96
	Total de cerdos a manejar en la granja Año 4	686
	Más las 2 camadas de las cerdas reproductoras aumentadas en años anteriores	528
	SUBTOTAL	1310
	CANTIDAD DE CERDOS A MATAR EN EL AÑO 4	320
	35 % DE AUMENTO EN LA MATANZA ANUAL	1.35
	CANTIDAD DE CERDOS A MATAR AÑO 5	432
	Total de cerdos a manejar en la granja Año 5	878

Continuación de la Tabla Nº 14.

AÑO 6:	AUMENTO DE CERDAS EN AÑO 6	8
Cantidad de lechones para 8 cerdas se multiplica por 2 camadas de 12 cerdos c/u al año		192
Total de cerdos a manejar en la granja Año 5		878
Más las 2 camadas de las cerdas reproductoras aumentadas en años anteriores		624
SUBTOTAL		1694
CANTIDAD DE CERDOS A MATAR EN EL AÑO 5		432
35 % DE AUMENTO EN LA MATANZA ANUAL		1.35
CANTIDAD DE CERDOS A MATAR AÑO 6		583
Total de cerdos a manejar en la granja Año 6		1111
AÑO 7:	AUMENTO DE CERDAS EN AÑO 7	8
Cantidad de lechones para 8 cerdas se multiplica por 2 camadas de 12 cerdos c/u al año		192
Total de cerdos a manejar en la granja Año 6		1111
Más las 2 camadas de las cerdas reproductoras aumentadas en años anteriores		816
SUBTOTAL		2119
CANTIDAD DE CERDOS A MATAR EN EL AÑO 6		583
35 % DE AUMENTO EN LA MATANZA ANUAL		1.35
CANTIDAD DE CERDOS A MATAR AÑO 7		787
Total de cerdos a manejar en la granja Año 7		1332
AÑO 8:	AUMENTO DE CERDAS EN AÑO 8	8
Cantidad de lechones para 8 cerdas se multiplica por 2 camadas de 12 cerdos c/u al año		192
Total de cerdos a manejar en la granja Año 7		1332
Más las 2 camadas de las cerdas reproductoras aumentadas en años anteriores		1008
SUBTOTAL		2532
CANTIDAD DE CERDOS A MATAR EN EL AÑO 7		787
35 % DE AUMENTO EN LA MATANZA ANUAL		1.35
CANTIDAD DE CERDOS A MATAR AÑO 8		1062
Total de cerdos a manejar en la granja Año 8		1470

...continuación de la Tabla Nº 14.

AÑO 9:	AUMENTO DE CERDAS EN AÑO 9	15
	Cantidad de lechones para 15 cerdas se multiplica por 2 camadas de 12 cerdos c/u al año	360
	Total de cerdos a manejar en la granja Año 8	1470
	Más las 2 camadas de las cerdas reproductoras aumentadas en años anteriores	1200
	SUBTOTAL	3030
	CANTIDAD DE CERDOS A MATAR EN EL AÑO 8	1062
	35 % DE AUMENTO EN LA MATANZA ANUAL	1.35
	CANTIDAD DE CERDOS A MATAR AÑO 9	1434
	Total de cerdos a manejar en la granja Año 9	1595
AÑO 10:	AUMENTO DE CERDAS EN AÑO 10	30
	Cantidad de lechones para 20 cerdas se multiplica por 2 camadas de 12 cerdos c/u al año	720
	Total de cerdos a manejar en la granja Año 9	1595
	Más las 2 camadas de las cerdas reproductoras aumentadas en años anteriores	1560
	SUBTOTAL	3875
	CANTIDAD DE CERDOS A MATAR EN EL AÑO 9	1434
	35 % DE AUMENTO EN LA MATANZA ANUAL	1.35
	CANTIDAD DE CERDOS A MATAR AÑO 10	1936
	Total de cerdos a manejar en la granja Año 10	1939

Fuente: Elaboración propia.

Cabe señalar que si hacemos la sumatoria de las cerdas reproductoras con las cuales empezamos desde el primer año, más las que fuimos aumentando anualmente hasta el año Nº 5, tendríamos 26 cerdas reproductoras para ese año, sin embargo para el año Nº 10 este valor se eleva hasta 95 cerdas reproductoras, debido a la demanda que se piensa haber establecido para ese momento por parte de los beneficiarios.

Tabla Nº 15. Cuadro Resumen de las Proyecciones de Cerdos a manejar en pie en la Granja Porcina y destinados para matanza.

Nº de Años	Cantidad de Cerdos a manejar en la Granja	Cantidad de Cerdos destinados para matanza
1	252	130
2	283	176
3	478	237
4	686	320
5	878	432
6	1111	583
7	1332	787
8	1470	1062
9	1575	1434
10	1939	1936

Fuente: Elaboración propia.

➤ **Proyecciones de aves destinadas para sacrificio.**

La proyección de la cantidad de aves destinadas para matanza en el año Nº 1, surge de un estudio efectuado en una tesina sobre la Pre factibilidad de la Granja de Avícola que se establecerá en el CEA, el trabajo señala que anualmente se sacrificaran 15000 aves, lo que entra en contradicción cuando se dice en una parte del estudio que la población estudiantil aumenta en un 6% anualmente, y por ende se supone que al aumentar la cantidad de estudiantes también aumentará el número de personas beneficiadas, por lo que también tiene que haber incremento en la producción para ampliar la cifra de aves sacrificadas, y así suplir la demanda de los beneficiados y por consecuencia también aumentar el porcentaje de las ventas, si en un caso llegase a pasar.

Debido a lo anterior consultamos un diseño de un sistema de tratamiento elaborado para Industria Avícolas Integradas S.A. (INDAVINSA), por el Programa Biomasa, pudimos visualizar en las proyecciones realizadas, un incremento porcentual en la cantidad de aves a sacrificar del 10% anual, ese valor se debe a que la cantidad de aves sacrificadas en el año Nº 1 en esa industria, es mucho mayor que la cantidad que proponemos en el año Nº 10, por eso a esas 15000 aves sacrificadas para el año Nº 1, le aumentamos un 35% anual a partir del año Nº 2.

Esto se hizo con la finalidad de suplir las necesidades de demanda que existan en un futuro de este producto, y para poder equilibrar el déficit existente en la producción y en la matanza de aves que proyectaron en la tesina, por eso al momento de establecer esta granja se deberá tomar en consideración ese incremento en la producción, sólo así se podrá cumplir con la cantidad de aves destinadas para sacrificio, como se refleja en la Tabla Nº 16.

Tabla Nº 16. Proyección de la cantidad de aves (pollos) destinados para matanza.

Nº de Años	Cantidad de Aves destinadas para matanza
1	15000
2	20250
3	27338
4	36906
5	49823
6	67261
7	90802
8	122582
9	165486
10	223406

Fuente: Elaboración propia.

El caudal se determinó, como la sumatoria de las aguas resultantes de: el promedio de agua eliminada por orina y desperdiciada por los cerdos al tomar agua, más las aguas de lavado de las porquerizas de la granja porcina, más el agua procedente de la matanza de aves y cerdos, todos los caudales expresados en m³/día.

⊕ **Determinación del caudal aportado por el agua de desperdicio de los cerdos al tomar agua y eliminados en la orina (Q_w):**

Primero se determinó la Demanda de agua que consume un cerdo al tomar agua para ver cuánto consumía en promedio diariamente:

Según el Libro de Hidrología Subterránea en el Capítulo 20, de Llamas Madurga, Manual of Individual Water Supply Systems, Water Well Handbook, señala en un cuadro resumen denominado: Demanda de agua adicional en comunidades y/o ciudades, que la demanda de agua por día en el tipo de consumo de un cerdo es de 20 litros, es decir que 0.020 m³/día (5.28 Gls/día) de agua consume un cerdo durante un intervalo de 24 horas.

En el Internet se encontró en la página web :
http://www.Ganadería_Porcinos_CuencaRural_ElcampoenInternetquemassabedecampo_Argentina.htm, un cuadro denominado: Equilibrio hídrico del cerdo durante el crecimiento, el cual especifica, los ingresos en mililitros de agua en cada cerdo en crecimiento, que por cada 4000 mililitros (4 litros) de agua de bebida que consume cada animal, se desechan por medio de la orina 2930 mililitros, es decir que 2.930 litros de líquido egresan por medio de esta necesidad fisiológica.

Se realizó una regla de tres para determinar cuanta cantidad de líquido se pierde por cada 20 litros de agua al día que consume un cerdo en general, ya que solo tenía los valores por cada cerdo en crecimiento, dando como resultado 14.65 Litros que equivale a 0.01465 m³ (3.8676 Gls) de líquido eliminados en la orina por cada 20 litros que consume un cerdo al día.

Se consideró que de los 20 Litros (0.020 m^3) que consume un cerdo diariamente, se desperdicia un 10% al tomar agua, es decir el agua que cae al suelo. Entonces al multiplicar los 0.020 m^3 por el 10% de agua de desperdicio, da como resultado $0.002 \text{ m}^3/\text{cerdo}/\text{día}$ ó 2 Litros/cerdo/día ($0.528 \text{ Gls}/\text{cerdo}/\text{día}$) de agua desperdiciada por cada animal.

Al sumar las cantidades de aguas eliminadas en la orina cuyo valor es 14.65 Litros más el valor de 2 Litros de las aguas desperdiciadas al consumirla, da como resultado total 16.65 Litros de agua por día, lo que equivale a $0.01665 \text{ m}^3/\text{cerdo}/\text{día}$ que elimina en la orina y que desperdicia un porcino, en este período de tiempo.

Para la determinación del caudal en la demanda de agua asociada al promedio de agua eliminada por orina y desperdiciada por un cerdo durante 24 horas, se multiplicó por $0.01665 \text{ m}^3/\text{cerdo}/\text{día}$, que es el total de las aguas eliminadas por la orina y desperdiciadas en un día, por las proyecciones de las cantidades de cerdos predestinadas en cada año. Dando los valores de los caudales investigados expresados en $\text{m}^3/\text{día}$.

Se realizaron las proyecciones para los años del 1 al 10, para observar el comportamiento de los caudales en cada uno de estos años. Ver tabla Nº 17.

⊕ **Estimación del Caudal a través del gasto de agua utilizado en el lavado del área que ocupa un cerdo (Q_x):**

Para la estimación del caudal a través del lavado de las porquerizas, realizamos investigaciones en bibliografías e internet, acerca de la cantidad de área que ocupa un cerdo de acuerdo a su peso vivo en kilogramos, ya que no tenemos las dimensiones del área de las galeras donde se establecerán los cerdos en el CEA-UNI, de acuerdo a la información que presenta la página web:

http://www.nanta.es/pdf/area_tecnica/normas_minimas_proteccion_cerdos.pdf, se describe en el Cuadro Nº 5, el área en metros cuadrados que ocupa un cerdo de acuerdo al peso vivo en kilogramos que este posea, a dichos valores de área le calculamos un promedio total dando como resultado 0.46 m², esto se hizo para poder determinar un valor que nos sirviera como factor base para la determinación del área que ocupa un porcino en sus diferentes etapas de crecimiento.

Cuadro Nº 5. Representa el valor los pesos vivos por cerdo de acuerdo a su peso en kilogramos y el área en metros cuadrados que estos puedan ocupar.

Peso en vivo (kg)	m ²
Hasta 10	0.15
Entre 10 y 20	0.2
Entre 20 y 30	0.3
Entre 30 y 50	0.4
Entre 50 y 85	0.55
Entre 85 y 100	0.65
Superior a 110	1
Promedio	0.46

Según un estudio realizado por el Centro de Producción más Limpia, denominado “Proyecto de Auditoría Ambiental de la Granja Porcícola Masada”, ubicada en Panamá, determinó que se gastan 0.34 galones de agua por cada pie cuadrado de área (0.34 Gls/pie²), lo que equivale a 0.01385253 metros cúbicos de agua por cada metro cuadrado de área, (0.01385253 m³/m²).⁴⁵

⁴⁵ Producción más Limpia (PmL), Informe de Auditoría Ambiental, Granja Porcícola Masada; Auditor Ambiental: Lic. Itzia Stanzola; Panamá, Octubre de 2006.

Luego teniendo estos valores se multiplicó la cantidad de cerdos proyectados por cada año, por el promedio del área destinada por cada animal en metros cuadrados es decir por 0.46 m^2 , por $0.01385253 \text{ m}^3/\text{m}^2$, que es la cantidad de metros cúbicos de agua utilizada por cada metro cuadrado que ocupa un cerdo en un espacio de área determinada, luego las cantidades de metros de agua resultantes se multiplicaron por 2, ya que es la frecuencia de veces al día que se sugiere que se laven los corrales, es decir una vez en la mañana y una vez en la tarde, este valor da como resultado la cantidad en metros cúbicos por día del agua residual proveniente del lavado de las porquerizas, si este valor se multiplica por los 365 días del año pues se pretende que estos se laven diariamente; esto dará el resultado general de la cantidad de m^3 de agua total utilizada en cada año en el lavado de los corrales. Ver tabla Nº 17.

⊕ **Determinación del Caudal a través de la cantidad de agua que se utilizan por la matanza de cada cerdo (Q_y):**

Para la determinación de la cantidad de aguas utilizadas en la matanza de los cerdos, primero se revisó la bibliografía nacional e internacional, así como estudios realizados por el Programa Biomasa en el país, para establecer un criterio racional que nos permitiese establecer la cantidad de agua que se dispone en todo el proceso industrial en la matanza de un porcino.

En el Informe de Buenas Prácticas Operativas de Producción más Limpia para Rastros y Mataderos en Nicaragua, aparece un cuadro, al que denominamos como Cuadro Nº 6, que muestra que la cantidad en metros cúbicos de agua por animal en pie, destinada en la matanza de un cerdo según el estudio es de $0.41 \text{ m}^3/\text{animal en pie}$, siendo mayor que la cantidad de agua utilizada en la matanza de una res en todo su proceso industrial. Este valor nos pareció muy alto debido a que basados en los estudios elaborados en diferentes mataderos del país por el Programa Biomasa demuestran que el promedio en litros que se requiere por cada cerdo en su matanza es de 300 litros/animal en pie ($0.3 \text{ m}^3/\text{animal en pie}$).

Esta diferencia de datos nos hizo investigar más acerca de la cantidad de aguas que realmente se utiliza en este tipo de procedimiento industrial, y según indica el Manual de Disposición de aguas residuales -Origen, Descarga, Tratamiento y Análisis de las Aguas Residuales en su TOMO I. gtz, de la COOPERACIÓN TÉCNICA REPÚBLICA FEDERAL ALEMANA, basados en estudios realizados en diferentes mataderos de ese país, que la cantidad de agua residual utilizada en la matanza de un cerdo es de 0.26 m³/animal. Al comparar las 3 opciones optamos por admitir como criterio el valor de 0.3 m³/animal, establecido por el Programa Biomasa-UNI, debido a que se apega más a las condiciones de disponibilidad de agua que puedan existir en mataderos establecidos en Nicaragua.

Cuadro Nº 6. Indicadores de desarrollo sostenible en Rastros y Mataderos de Nicaragua.⁴⁶

Línea base de Rastros y Mataderos				
Nº	Nombre del Indicador	Res	Cerdo	Descripción
1	Consumo de agua en relación a la res en pie ¹	0.35	0.41	Metros cúbicos de agua/ animal en pie
2	Rendimiento cárnico del animal ¹	45%	74%	Porcentaje de aprovechamiento del animal en pie
Nº	Nombre del Indicador	Micro	Pequeña y Rastros municipales	Descripción
3	Consumo de energía eléctrica en relación al animal en pie	1.54		kWh/animal en pie

¹ Fuente: Visitas técnicas y Diagnósticos técnicos realizados por el CPmL-N y Manual de Buenas Prácticas Operativas de Producción más Limpia para la Industria de Matadero.

⁴⁶ <http://pmi.org.ni/Documentos/MATADEROS.pdf>

Posteriormente se multiplicó la cantidad de cerdos proyectados para matanza en cada año, por $0.3 \text{ m}^3/\text{animal}$ en pie, siendo la cantidad de m^3 de agua utilizada en dicho proceso por cada cerdo, eso nos da como resultado la cantidad de m^3 de agua residual utilizada por animal al año, producto de la matanza; luego el valor anterior se dividió entre 104 días, que surge de la cantidad de días proyectados para matanza tanto de aves como de cerdos, para obtener el caudal en $\text{m}^3/\text{día}$, debido a que se pretende realizar dicha actividad 2 veces por semana, las cuales se realizarán los días lunes y jueves de cada semana, si este valor lo multiplicamos por las 52 semanas del año, dará como resultado 104 días hábiles para matanza anualmente (se trabajará hasta días feriados).

Se pensó realizar solamente 2 días de matanza con la finalidad de prever para poder determinar el caudal máximo. Si en un caso se llegase a aumentar la producción de animales (cerdos y aves) y por ende su sacrificio de forma descontrolada a lo ya proyectado, haciendo que ésta actividad se realice diariamente, provocaría un aumento repentino en el caudal, la carga y las concentraciones de las aguas que entraran al sistema, por lo que afectaría el buen funcionamiento de la misma.

Realizando los cálculos anteriores obtendremos como resultado la cantidad de metros cúbicos de agua residual al día que se gastarán anual en la matanza de los porcinos, para poder determinar el caudal que necesitamos obtener.

⊕ **Determinación del Caudal a través de la cantidad de agua que utilizan por la matanza de cada aves (Q_z):**

Para la determinación de este caudal primero se investigó en bibliografía la cantidad de agua que se utiliza en la matanza de un ave (pollo) en todo su proceso industrial según datos establecidos a nivel mundial esta cantidad es 28 Litros/animal que equivale a $0.0028 \text{ m}^3/\text{animal}$ ($7.4 \text{ Gl}/\text{animal}$), luego este valor se multiplicó por la cantidad de animales proyectados por año, dando como

resultado la cantidad de agua residual total utilizada por cada año expresada en metros cúbicos, posteriormente se dividió entre 104 días, que es la cantidad de días proyectados por matanza en cada año, al realizar estas operaciones nos dará como resultado la cantidad de metros cúbicos de agua residual producida al día que se utilizarán producto de la matanza de las aves, esto nos servirá para poder determinar el caudal de diseño expresado en $m^3/día$, que necesitamos obtener.

3.3.2. Determinación del Caudal total.

La sumatoria de los 4 caudales antes descritos nos dan los caudales teóricos proyectados en $m^3/día$, como vemos en la tabla Nº 17, se muestra la variación de caudales que hay en cada año, y que el caudal en el año Nº 5 no es ni la mitad del caudal proyectado para el año Nº 10, pues estos van aumentando a medida que crece la población animal en las granjas y las proyecciones de aves y cerdos destinados para matanza. Cabe señalar que el comportamiento del incremento poblacional en los animales no es igual a como se calculan las de poblaciones humanas, por eso la diferencia en los caudales proyectados en cada año.

Para seleccionar un caudal determinado se consideraron tres condiciones que no se tomaron en cuenta a la hora de sacar las proyecciones de la cantidad de cerdos que estarían en la granja:

- i. Los promedios de vida de una camada de cerditos, anda entre los 9 a 12 lechones que puedan sobrevivir, ya que una cerda puede parir entre 5 hasta 25 lechones, en cada parto, por eso al proyectar la cantidad de lechones por camada en cada parto se trabajó con el parámetro de mayor valor en este caso 12 cerditos/parto por cada cerda, ya que una cerda puede tener 2.4 camadas por año. Sin embargo en Nicaragua se dice que los niveles de vida anda entre 8 y 9 lechones/camada, aunque no se trabajó con este criterio; pero a la hora de escoger el caudal si se tomó en cuenta este señalamiento.

- ii. La tasa de nacidos muertos aumenta lentamente después de la cuarta parición de manera que la ventaja de mantener cerdas más viejas se pierde en forma gradual. El tamaño de la primera camada se incrementa con el número de ciclo estruales previos al apareamiento. Según el estudio realizado por el Centro de Producción más Limpia en la Granja Porcícola Masada en Panamá, se determinó, que la mortalidad total en un mes varía entre el 1.4% al 2% de la natalidad total proyectada mensualmente.⁴⁷
- iii. También existe la posibilidad de que haya venta de cerdos en pie, a partir del año N° 6, pues para ese año existirá una cantidad considerable de porcinos que permitirá la venta de los mismos a los diferentes compradores que lo soliciten realizar, por lo que se estarían eliminando una cantidad considerable de cerdos en la granja, los cuales no estarían aportando aguas provenientes de la orina de los mismos y del desperdicio al tomar el vital líquido.

Las tres consideraciones anteriores se tomaron en cuenta a la hora de fijar un caudal para el diseño de nuestro sistema de tratamiento.

Si se observa la tabla N° 17 (pág. 108), para el año N° 10 tenemos un caudal teórico de 123 m³/día, pero si consideramos que a partir del año N° 6 se toman en cuenta las tres condiciones anteriormente mencionadas como menos un 3% del caudal e incrementando anualmente ese mismo valor, tendremos para el año N° 10 un porcentaje del 15%, si se elimina el 15% de los 123 m³/día nos dará como resultado 104.6 m³/día de agua residual, pero por motivos de ajustes de diseño este valor se redondeó en **105 m³/día**.

⁴⁷ Producción más Limpia (PmL), Informe de Auditoría Ambiental, Granja Porcícola Masada; Auditor Ambiental: Lic. Itzia Stanzola; Panamá, Octubre de 2006

Tabla Nº 17. Representación de los caudales teóricos expresados en m³/día de los años proyectados descritos a continuación:

Nº de Años	Caudal proveniente de la eliminación en la orina y el desperdicio de los cerdos al tomar agua	Caudal de agua proveniente la granja porcina	Caudal proveniente de la cantidad de agua que se utilizan por la matanza cerdo	Caudal proveniente de la cantidad de agua utilizada en la matanza de las aves (pollos)	Sumatoria de caudales en cada año	Expresados en:
1	4.2	3.2	0.4	4.0	11.9	m ³ /día
2	4.7	3.6	0.5	5.5	14.3	m ³ /día
3	8.0	6.1	0.7	7.4	22.2	m ³ /día
4	11.4	8.8	0.9	9.9	31.1	m ³ /día
5	14.6	11.3	1.2	13.4	40.5	m ³ /día
6	18.5	14.3	1.7	18.1	★ 52.6	m ³ /día
7	22.2	17.1	2.3	24.5	66.1	m ³ /día
8	24.5	18.9	3.1	33.0	79.5	m ³ /día
9	26.6	20.5	4.1	44.6	95.8	m ³ /día
10	32.3	24.9	5.6	60.2	123	m ³ /día

Fuente: Elaboración propia.

Al dividir los 105 m³/día entre 2, nos dará como resultado **52.5 m³/día**, el cual será nuestro caudal de diseño, que coincide con el caudal teórico proyectado en el año Nº 6, este caudal de **52.5 m³/día** nos permitirá trabajar de una manera más cómoda si existiese el caso de hacer una parte del sistema en forma modular, pues no habría ninguna dificultad en el dimensionamiento de los diferentes tratamientos para el año Nº 10, así como tampoco habrá un sobre dimensionamiento, sino que se tendría en cuenta el crecimiento del mismo basado en las proyecciones futuras.

3.4. Caracterización de las aguas residuales a tratar.

Para la determinación de los parámetros de caracterización de las aguas residuales que entrarán como afluente a la planta de tratamiento, indagamos en varios trabajos de investigación que se han realizado en esta disciplina a nivel nacional e internacional.

Debido a lo delicado de la caracterización de estas aguas residuales, es de suma importancia señalar las consultas realizadas al Ingeniero Químico Néstor Fong Jorge (Asesor Técnico en Proyectos de Medio Ambiente - Programa BIOMASA), al cual le solicitamos varias aclaraciones para poder determinar la caracterización de las aguas crudas que entrarán al sistema de tratamiento, él nos indicó que escogiéramos los valores de estos parámetros como si fuesen un todo, es decir que tomáramos una sola caracterización de aguas residuales, ya fuesen de las provenientes de mataderos de pollos, o solo de cerdos, o solo de lavado de porquerizas, ya que existen caracterizaciones a nivel nacional e internacional de cada una de éstas, pero que estos valores dependen o son influenciados por la cantidad de animales a manejar y por las diferentes actividades que se hagan en un determinado sitio (ya sea matanza o crianza de animales).

También nos explicó, que no se puede escoger valores al azar de las características físico-químicas de cada una de estas aguas, ya que podría afectar el diseño del sistema de tratamiento.

Lo anteriormente expresado nos llevó a analizar y escoger cual sería la caracterización de las aguas residuales que seleccionaríamos, por lo que decidimos trabajar con las caracterizaciones de las concentraciones provenientes de los desechos de porquerizas, debido a que este tipo de aguas entrarán al sistema diariamente, mientras que las aguas de matanza entrarán al sistema cada vez que haya sacrificios de animales, es decir solamente 2 veces por semana (Lunes y Jueves).

Entonces se investigó el tipo de caracterización de las aguas provenientes de granjas porcinas a nivel Internacional y nacional, que tuvieran similitud con la cantidad de animales que manejaría el CEA-UNI, obteniendo buenos resultados, pues se encontraron granjas con gran similitud a la cantidad de cerdos que manejaremos en la granja, de las cuales se abordara a medida se avance en el tema.

En la tabla N° 18 se representan algunos rangos para concentraciones de desechos provenientes de porquerizas, basados en análisis realizados por el Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del ambiente (CEPIS) y estudios ejecutados por la DIA (Dirección de Investigación Ambiental), éstas permiten formar una idea sobre la composición del desecho del lavado de pisos en instalaciones de cría de porcinos.⁴⁸ Los valores de las concentraciones varían con la edad de los animales en cría o engorde, la alimentación y la cantidad de agua utilizada para lavado de pisos por animal o metro u pie cuadrado de instalación.

Tabla N° 18. Rangos de concentraciones para desechos de porquerizas.⁴⁹

PARÁMETRO	RANGO CON CONCENTRACIONES
DBO ₅ , mg/l	495 - 12,918
DQO, mg/l	1,000 - 16,125
Nitrógeno orgánico, mg/l	60 - 308
Nitrógeno amoniacal, mg/l	167 - 1,335
Sólidos sedimentables, ml/l	20.8 - 150
Sólidos totales, mg/l	3,850 - 12,472
Valor del pH, unidades	6 - 7.9

⁴⁸ DIA. Primer Informe del Estudio Integral del comportamiento dinámico de lagunas de estabilización de residuales líquidos industriales. Ministerio del Ambiente y los Recursos Naturales Renovables. 27 de Abril de 1979, Caracas.

⁴⁹ Fuente: <http://www.cepis.ops-oms.org/bvsacd/scan2/011643/011643-09.pdf>. Parámetros y características de las aguas residuales. Ing. Armando Cubillos (Profesor, CIDIAT). División de Protección de la Salud Ambiental. Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente. Lima - Perú.

Estos parámetros nos conllevaron a investigar sobre los Requisitos para el uso de procesos biológicos, ya que existe un límite para la adaptabilidad de los microorganismos. Por esta razón, se debe estudiar la composición del agua residual a través de pruebas de laboratorio para determinar su adaptación a un proceso biológico específico. Esto nos llevó a considerar la relación DBO_5 y DQO , para poder determinar los criterios buscados.

➤ **Relación entre DBO_5 y DQO :**⁵⁰

La relación DBO_5 : DQO se emplea para evaluar las posibilidades de éxito de los procesos biológicos en el tratamiento de las aguas residuales. La relación DBO_5 : DQO es:

en aguas residuales domésticas	aproximadamente 0,5
en aguas residuales comerciales	menor de 0,5
en aguas residuales industriales descargadas por las fábricas de alimentos y bebidas	mayor de 0,5

Los cocientes o relaciones por encima de 0,5 sirven para indicar que los procesos biológicos han extraído considerablemente las sustancias que producen DBO_5 y DQO . La descomposición biológica empieza de inmediato y prosigue rápidamente.

En el caso de valores por debajo de 0,5 es posible que los compuestos ahí presentes sean degradados parcialmente o sólo con dificultad, y que los procesos biológicos sean inhibidos o retardados como resultado de los efectos tóxicos, la falta de sales minerales o la lenta adaptación de los microorganismos.

⁵⁰ GTZ, Cooperación Técnica República Federal Alemana, Manual de Disposición de las Aguas Residuales; Tomo II, Lima 1991, pág.559.

Según SIMONS, en la superficie deben prevalecer los siguientes cocientes mínimos de DBO₅: DQO para indicar la probabilidad de degradación de las aguas residuales comerciales cuando se utilizan microorganismos inadaptados:

aguas residuales fáciles de tratar biológicamente	0,6
aguas residuales accesibles a un tratamiento biológico	0,4
aguas residuales inaccesibles a un tratamiento biológico o que necesitan aclimatación (adaptación)	0,2
ambiente tóxico que no permite la aclimatación (adaptación)	0,0

Los procesos de descomposición en el agua pueden producirse en flóculos bacterianos activos o sobre las superficies colonizadas de la película biológica. En ambos casos, la descomposición se basa en los mismos principios. En el primero, la biomasa forma flóculos que flotan en el agua, mientras que en el segundo, la membrana biológica envuelve a las partículas de tierra y otros materiales de relleno como una película bacteriana.

El valor del pH, la temperatura, las sustancias minerales, así como los inhibidores y las sustancias tóxicas son importantes al aplicar los procesos biológicos de tratamiento.

Al comparar estas dos alternativas sobre la relación de DBO₅: DQO escogimos 0.5 siendo un valor neutro que nos permite determinar el valor de la DBO₅, sin mayores dificultades.

El valor de la DQO salió del promedio del valor de las DQO de la tabla N° 18, dando como resultado 8565.5 mg/l, luego este valor se multiplicó por 0.5, dando el valor de 4282.75 mg/l para obtener el DBO₅. Los sólidos sedimentables se consideraron como 100 ml/l, los cuales andan en el rango que aparece en la tabla anterior. El valor de los sólidos suspendidos totales con el cual trabajaremos es de 3418 mg/l y el valor de las Grasas y Aceites seleccionado es 143 mg/l, estos datos fueron extraídos de los promedios de varios muestreos realizados en los chiqueros de la Granja existente en el Centro de Acopio de

Leche La Montaña, ubicada en el departamento de Chontales. A continuación se muestra la tabla Nº 19, donde aparecen los datos con los cuales trabajamos para realizar los cálculos del sistema propuesto.

Tabla Nº 19. Valores de parámetros a considerar en el diseño propuesto.

PARÁMETRO	Rangos de concentraciones elegidas
DBO ₅ , mg/l	4282.75
DQO, mg/l	8565.5
Sólidos sedimentables (SS), ml/l	100
Sólidos suspendidos totales (SST), mg/l	3418
Grasas y aceites, mg/l	143

3.5. Análisis de la ubicación del sistema de tratamiento de aguas residuales

El CEA-UNI cuenta con 48.21 mz, sin embargo el plan maestro no contempló la ubicación de las granjas, mataderos y la planta de tratamiento, debido a que son proyectos pilotos nuevos, cuyos estudios están siendo apoyados por el Programa de Administración de Unidades de Servicios (PAUS-UNI) y la Facultad de Tecnología de la Construcción (F.T.C.).

Para la ubicación del sitio donde se establecerá el sistema de tratamiento propuesto, se tomó en cuenta la topografía del terreno, la ubicación del CEA con respecto a la velocidad y la procedencia de los vientos predominantes procedentes del Este (Ver Figura Nº 5. Microlocalización. pág.81 e Influencia del viento pág. 83), la cercanía de las casas de la población vecina (en el caso de que existiese en el sistema propuesto un desperfecto), y las futuras construcciones del parque tecnológico que se establecerán en los terrenos del Centro experimental según el Plano denominado Plan Maestro del CEA-UNI. (Ver Apéndice L. Planos Constructivos. Plano I/01).

Al realizar el análisis con la valoración de las condiciones mencionadas, también se tomó en cuenta los resultados del Estudio de suelo efectuado en el sitio seleccionado, determinándose que el lugar propuesto ubicado en el noreste del CEA, es el más indicado para la construcción de las granjas, mataderos y el sistema propuesto.

Sin embargo cualquier mal olor que pueda provenir de la pila de secado de lodos podrá ser estabilizado aplicando cal a los lodos mediante la mezcla de los mismos. Si hubiese algún desperfecto en las otras etapas del sistema, se deberá actuar rápidamente para cubrir cualquier fisura, provocadas por fallas en su fase constructiva o negligencia en la operación y mantenimiento del mismo, por lo que se deberá seguir paso a paso con las actividades que se plantean en los manuales propuestos, para evitar cualquier tipo de daños al sistema, a la salud humana de los habitantes cercanos al CEA y así como ambiental de acuerdo al entorno natural que lo rodea. (Ver Anexos: Apéndice H. Especificaciones técnicas y Apéndice I. Manual de Operación y Mantenimiento).

3.6. Análisis y selección de alternativas.

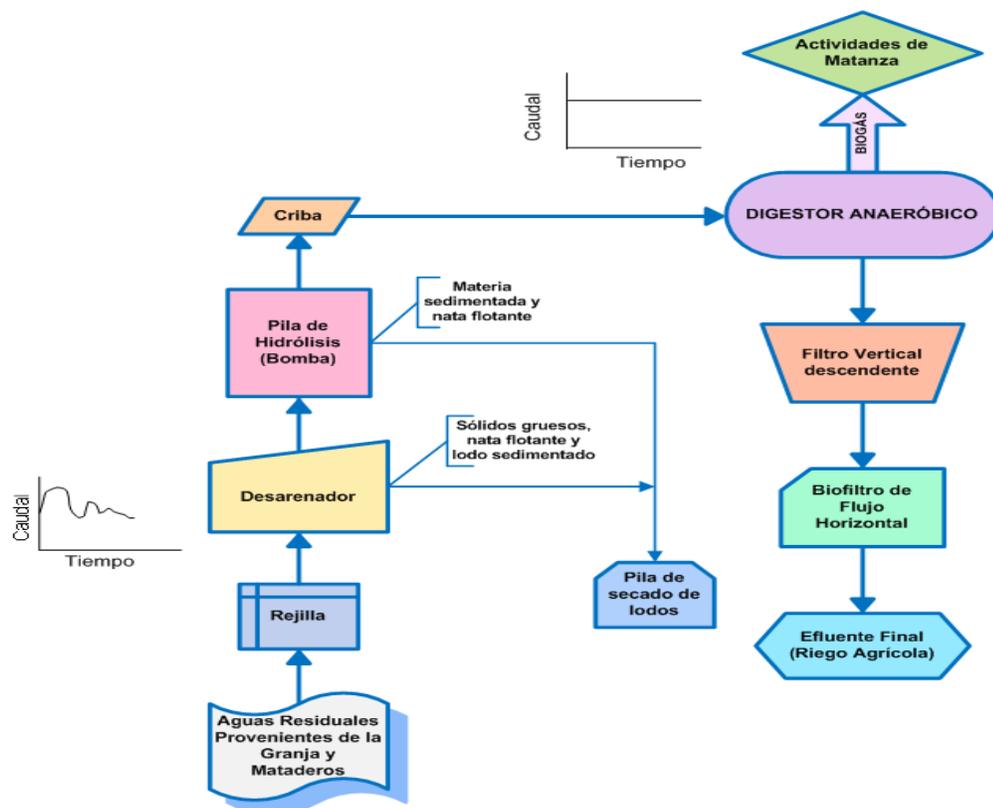
Al analizar las alternativas posibles de tratamiento de las aguas residuales a tratar, se consultó bibliografía y monografías sobre diseños de sistemas de tratamientos, también se valoró diferentes procesos de tratamientos de aguas residuales que existen en el país, utilizados como métodos para tratar las aguas provenientes de distintos tipos de mataderos y granjas porcinas, se comparó su costo constructivo, de operación y mantenimiento, así como la eficiencia de los mismos, su adaptabilidad al tipo de terreno y principalmente la existencia de estudios realizados sobre las distintas tecnologías consultadas en sus diferentes etapas de tratamiento en el departamento de Masaya como zona de ubicación del proyecto. Esto se logró también gracias a los trabajos, estudios y ensayos realizados por el Programa Biomasa-UNI y a la visita de campo realizada en la

Granja Porcina de la Misión Técnica Taiwán ubicada en el Km. 98 Carretera a Rivas, pudiendo visualizar y examinar las tecnologías in situ y así poder proponer las indicadas en términos responsables y que no causen daño al medio ambiente.

La alternativa propuesta a continuación, es la opción más viable sanitaria, hidráulica y económica, y que se adapta mejor que otro tipo de tecnologías a la topografía del terreno; como conformación del tratamiento preliminar se propuso rejilla y desarenador; como tratamiento primario se consideró una la Pila de Hidrólisis y un Digestor; y el tratamiento secundario lo conforman Filtros descendentes y Biofiltros horizontales.

En la Figura Nº 6, que a continuación se presenta, muestra el Esquema del Sistema de Tratamiento Propuesto.

Figura Nº 6. Esquema de la planta de tratamiento propuesta.



Fuente: Elaboración propia.

3.7. Resultados.

3.7.1. Estudio de suelo.

Para la realización del estudio de suelo, se efectuaron dos sondeos en el sitio, que permitieron determinar una estratigrafía no uniforme del suelo, encontrándose hasta la profundidad investigada los siguientes tipos de materiales:

Los tipos de materiales predominantes en las muestras 1 y 2 de ambos sondeos son arcillas inorgánicas (**CI**) de compresibilidad y plasticidad medias; en el primer sondeo en la muestra 3 y 4, también se encontró suelos arenosos con presencia de arenas bien graduadas y partículas de limo (**SW-SM**) este tipo de suelos son excelentes para cimentar ya que son suelos no plásticos; en el segundo sondeo en la muestra 3, se encontró arcillas o limos orgánicos (**OH**) de media a alta plasticidad y compresibilidad de media a alta; así también en este sondeo se encontraron en la muestra 4, suelos arenosos de fracción fina poca o nada plástica (**SM**), son suelos de compresibilidad nula o ligera, se considera como un material adecuado para cimentar.

El suelo presenta densidades adecuadas de cimentación a partir de los 0.91 m (3 pies) y los 1.83 metros (6 pies) de profundidad del nivel natural del terreno, con presiones admisibles de 1.5 kilogramos por centímetros cuadrados, la cual aumenta con la profundidad. Debido a los tipos de materiales encontrados únicamente se tiene que conformar y compactar la superficie donde se va a cimentar las estructuras de cada uno de los tratamientos propuestos. Hasta las profundidades investigadas no se detectó presencia del nivel freático. (Para mayores detalles Ver Apéndice C).

El área donde se realizaron los ensayos, de acuerdo a los resultados obtenidos, es el más apto para poder cimentar cualquier estructura de las tecnologías propuestas en cada una de las etapas de tratamiento del sistema, debido a las particularidades favorables de la topografía del terreno y las características estratigráficas del subsuelo.

3.7.2. Sistema de tratamiento descripción general.

- **Canal de entrada y Rejilla.**

El caudal de las aguas residuales sin tratar será transportado directamente de la Red de la granja porcina y el matadero a la planta de tratamiento, mediante tuberías de PVC. La tubería de entrada al sistema es de 6" (150 mm) de diámetro, luego es transportada hacia el canal con Reja. El caudal de diseño del canal es el caudal propuesto para el año N° 5, con el cual se obtuvo una altura de canal de 0.20 m, un ancho de 0.40 m, una altura de agua de 0.05 m. La velocidad de flujo de 0.48 m/s y una velocidad de paso de 0.73 m/s. La rejilla de dimensiones 0.4 m x 0.424 m será construida con marco de angulares de 1/4" de acero inoxidable, con malla de lámina de acero inoxidable con ranuras de 2 mm tanto horizontal como verticalmente. (Ver cálculos en Sección F.1. Apéndice F).

- **Desarenador.**

Luego de atravesar el canal con reja, el agua residual pasa al compartimiento del Desarenador, para retener partículas como la grava y arenas que no pudo retener la reja. El caudal de diseño es de 52.50 m³/día conducido por una unidad hacia la siguiente etapa de tratamiento. Se obtuvo así un ancho de 1.50 m, largo de 2.50 m, una profundidad inicial de 0.5 m y una profundidad de salida de 0.75 m. Garantizando con estas dimensiones una velocidad horizontal óptima de 0.01 m/s. El tiempo de sedimentación que se garantiza es de 94.31 seg y un tiempo de retención de 20.83 seg. (Ver cálculos en Sección F.2. Apéndice F).

- **Sistema de Tratamiento Anaerobio.**

- * **Selección de la bomba.**

El caudal de bombeo se determinó como el caudal máximo siendo de 52.5 m³/día (19.26 GPM), se asumió que la bomba trabajará durante 12 horas, con una velocidad de paso del flujo por la tubería y accesorios de 1m/s, para vencer una Carga Total Dinámica (CTD) de 26 pies (7.7 m).

La bomba seleccionada es del Modelo: STAR-RIDE (Cast Iron Submersible Sump Pumps) Serie DC233/DC250, Código de la bomba en el Catálogo utilizado por AQUATEC: DC250110T (ST50ASC), su potencia es de 1/2 Hp monofásica para un motor de 110 voltios y el diámetro estándar para una tubería de descarga de 1½", el diámetro del orificio de succión es de 1/2"; vence una CTD de 30 pies, a una altura de 25 pies puede bombear aproximadamente unos 27 GPM.

Cabe destacar que el Modelo de Bomba seleccionado según nos mencionaron sus distribuidores, puede pasar hasta 5 años sin el debido mantenimiento y no presentar problema alguno. Si llegara a ser necesario, el caudal de bombeo se podría controlar por medio de una válvula y un bypass de tubos PVC. El mantenimiento de estas bombas es mínimo, pero se tiene que llamar a un especialista para su limpieza y cuidado.

- * **Criba Hidrostática.**

Para definir las dimensiones de la criba hidrostática el caudal de diseño de 52.5 m³/día se pasó a GPM, dando como resultado 9.63 GPM, por lo que se redondeó este valor a 10 GPM. Luego le solicitó a la Empresa AGROTEK O.P.S.A con sede en Costa Rica, nos envíasen la cotización de una criba que cumpliera aproximadamente con las siguientes especificaciones: (Ver página 119).

➤ **Descripción:**

- ⊕ Separador de Caja o estructura de acero inoxidable.
- ⊕ Separador de sólido por gravedad
- ⊕ La criba tiene un caudal entre 10 - 15 Gpm
- ⊕ Para un tubo plástico de PVC de 4"
- ⊕ La capacidad de sólidos retenidos es de 0.5 mm
- ⊕ Se utilizará para cribar tres tipos de aguas que entrarán al sistema de tratamiento como son: aguas de lavado de los chiqueros de una granja, agua proveniente del lavado de la matanza de cerdos y pollos.

La cotización y la fotografía que nos enviaron de la criba hidrostática se puede observar en el Apéndice E.1. Siendo la criba sugerida por la Casa Comercial, provista de una malla fina de acero inoxidable, con abertura de 0.5 mm y capacidad máxima de 20 GPM.

● **Pila de Hidrólisis y Digestor.**

El caudal de diseño de la Pila de Hidrólisis es de $52.5 \text{ m}^3/\text{día}$ siendo el caudal máximo proyectado para un día cumpliendo todas las actividades proyectadas en la determinación de los caudales, ésta tiene una altura útil de 2.85 m sin incluir el borde libre; una longitud total de 6 m y un ancho de 3.5 m. El Digestor Anaerobio tiene un periodo de retención de 1.00 días. El caudal de diseño para el digestor, es de $17.5 \text{ m}^3/\text{día}$ esto es debido a que la Pila de Hidrólisis alimentará al digestor con un caudal de $17.5 \text{ m}^3/\text{día}$ durante tres días.

El digestor tiene una altura de 3.00 m, con un ancho inferior de 2.70 m y un ancho superior de 3.70 m, un largo inferior de 5.00 m y un largo superior de 6.00 m respectivamente, el cual también constará de 5 claros. Para lograr una mejor distribución del flujo se tienen unas aberturas de 0.40 m de altura a partir del nivel superior de la losa de fondo hacia arriba y se encuentran a 2.60 m por

debajo del nivel del borde del digestor, las cuales están ubicadas en las paredes intermedias Nº 3 y Nº 5 de la Vista de planta del Digestor (Ver Plano D/01). Las tuberías de entrada y salida en el digestor son de 4" PVC.

La producción de lodos de la pila de hidrólisis es de 135.91 kg/día, por lo que el volumen de lodos producido será de 4.08 m³/día, pero para favorecer la digestión de los lodos entrantes se sacará el 50 %. Se recomienda un periodo de limpieza o extracción de 30 días, a lo sumo un año. Los lodos han de ser transportados hacia la pila de secado mediante una bomba sumergible para aguas residuales de ½ Hp. (Ver Secciones F.3 y F.4. de Apéndice F).

Con el volumen de lodos producidos en el desarenador y la pila de Hidrólisis mensual se obtuvo una pila de secado de 1.1 m de ancho, 2.3 m de largo y con una altura de 0.20 m.

* Producción de Biogás.

Como se explicó con anterioridad, el caudal con el cual se trabajó en el dimensionamiento del digestor es de 17.5 m³/día, siendo la producción de biogás estimada diariamente, para el año Nº 5 o Nº 6, con un contenido aproximadamente del 60% de metano, es de 18.2 m³/día. Éste podrá ser utilizado en las actividades del proceso de matanza en los mataderos de aves y cerdos.

- ✓ Tomando en consideración que el consumo de biogás en quemadores domésticos es de 0.2 a 0.4 m³/h, podemos suponer una cocina de mesa con 3 quemadores y que el consumo de Biogás por cada quemador es de 0.4 m³/h. Se piensa que al hacer los 3 tiempos de comida diariamente se consideren unas 7 horas de uso incluyendo el cocer frijoles.

Si deseamos determinar la Cantidad de m³ de Biogás utilizados en una cocina doméstica (en nuestro caso tomaremos el mayor 0.4 m³/h) solo basta multiplicar

el Consumo de Biogás por las Horas de Uso al día (7 Horas/día) por el Nº de quemadores de la cocina (3 quemadores), eso dará como resultado $8.4 \text{ m}^3/\text{día}$. Si deseamos determinar el número de cocinas solo se divide La producción de metano en $\text{m}^3/\text{día}$ ($18.2 \text{ m}^3/\text{día}$) entre la Cantidad de m^3 de Biogás utilizados en una cocina doméstica con las condiciones antes mencionadas ($8.4 \text{ m}^3/\text{día}$), dará como resultado 2 Cocinas domésticas de 3 quemadores que se estarían abasteciendo con la producción de Biogás salido del Digestor.

- ✓ El consumo de biogás en quemadores industriales será de 1 a $3 \text{ m}^3/\text{h}$, si supusiéramos una cocina industrial de 3 quemadores y que el consumo de Biogás por cada quemador es de $1 \text{ m}^3/\text{h}$. Se piensa que al utilizar la cocina industrial diariamente se consideren unas 6 horas de uso.

Si deseamos determinar la Cantidad de m^3 de Biogás utilizados en una cocina industrial (en este caso tomaremos el menor $1 \text{ m}^3/\text{h}$) solo basta multiplicar el Consumo de Biogás por las Horas de Uso al día (6 Horas/día) por el Nº de quemadores de la cocina (3 quemadores), eso dará como resultado $18 \text{ m}^3/\text{día}$.

Si deseamos determinar el número de cocinas solo se divide La producción de metano en $\text{m}^3/\text{día}$ ($18.2 \text{ m}^3/\text{día}$) entre la Cantidad de m^3 de Biogás utilizados en una cocina doméstica con las condiciones antes mencionadas ($18 \text{ m}^3/\text{día}$), dará como resultado 1 Cocinas industrial de 3 quemadores que se estaría abasteciendo diariamente con la producción de Biogás salido del Digestor.

- ✓ En términos ambientales se ha calculado que en 1 m^3 de biogás utilizado para cocinar evita la deforestación de 0.335 hectáreas de bosques con un promedio de 10 años de vida de los árboles (Sasse 1989).

Si realizamos una regla de tres:

Al realizar esta operación podremos saber que se evitaría la deforestación de 6.1 hectáreas por día de bosques con un promedio de 10 años de vida de los árboles. (Ver Sección F 4.1. Apéndice F).

- **Filtro Descendente (FD).**

Luego del tratamiento que ofrece la pila de hidrólisis y el digestor como tratamiento primario, le continúan dos Filtros descendentes, el caudal de diseño utilizado en el Digestor de $17.5 \text{ m}^3/\text{día}$, se dividió entre 2 unidades, siendo el caudal de diseño en cada filtro de $8.75 \text{ m}^3/\text{día}$, sus dimensiones son: altura útil de 1.80 m, ancho de 2.50 m y largo de 2.80 m. Las tuberías de recolección de agua será de $\text{Ø} 6''$ PVC (152.4 mm) la exterior y interna de $2''$ PVC (50.8 mm). También las tuberías de entrada y salida son de $\text{Ø} 2''$ PVC (50.8 mm). Sobre la losa del falso fondo descansan dos lechos de grava, el lecho inferior es de 0.95 m de grava de $\text{Ø} 4''$ (100 mm) y el superior de 0.95 m de grava de $\text{Ø} 2''$ (50.8 mm).

La eficiencia del FD se colocó de acuerdo a los criterios utilizados por el Programa Biomasa. De esta forma se asume una eficiencia del 60% en la remoción de DQO y un 60% en Materia orgánica, DBO_5 y 50% en remoción de Sólidos Totales y el 30 % de remoción de Grasas y Aceite. Por la experiencia que ha tenido Biomasa-UNI. La concentración del efluente del FV es de 446.48 mg/L en Sólidos Totales, 415 mg/L en Materia orgánica (DBO), 830 mg/L en DQO y 11.65 mg/L. Estos valores demuestran que es necesario un tratamiento siguiente, ya que con estos no se garantiza la calidad que cita el Dec. 33-95. (Ver Sección F.5, Apéndice F).

- **Biofiltro de Flujo Horizontal.**

Se propone dos unidades de Biofiltro de Flujo Horizontal para evitar el empleo de grandes unidades y facilitar su mantenimiento. Ambos constarán de una pendiente hidráulica del 1% y talud 1:1 en ambas direcciones de largo y ancho.

La planta que se recomienda emplear es el Carrizo y el Lecho filtrante Hormigón rojo con una permeabilidad de 604.80 m/día (considerando el 50% del valor real para diseño), a excepción de los primeros 2.5 m y los últimos 1.5 m que deben ser de un material de mayor tamaño como es la Piedra gruesa (Grava) de 4" (100 mm).

El caudal de diseño utilizado en esta etapa es de 17.50 m³/día, siendo el caudal de diseño por cada unidad de 8.75 m³/día. Las dimensiones obtenidas son: altura efectiva de 0.80 m, altura total de 0.90 m, longitud de 10.00 m, ancho de 10.00 m.

El periodo de retención es de 5.49 días, basado en la porosidad de 0.5012⁵¹ que corresponde al Hormigón rojo del Banco San Antonio (Granada). La carga orgánica aplicada es de 726.25 kg/ha.d.

La eficiencia que ofrece este tratamiento es de 88% en remoción de Materia orgánica DBO₅, garantizando una concentración en el efluente de 49.80 mg/L; 88% en DQO y 99.60 mg/L de concentración en el efluente; y 80% de remoción de los Sólidos suspendidos Totales y de concentración en el efluente de 89.39 mg/L; 65% de remoción de Grasa y Aceites y de concentración en el efluente de 4.08 mg/L.

⁵¹ *Uso de la Escoria volcánica como agregado grueso para concreto*, José Alfonso Jeréz F, 1991 (Tesis monográfica UNI).

3.7.3. Disposición de efluente final.

Basados en los resultados de la eficiencia de remoción de nutrientes de las distintas etapas de tratamiento propuestas, la disposición final del efluente del sistema, deberá cumplir con los rangos y límites permisibles para su utilización y disposición indicados el Decreto 33-95.

Se deberá realizar investigaciones minuciosas, similares a las realizadas por el Programa Biomasa-CIEMA, donde según el “Estudio microbiológico de los cultivos irrigados con el efluente del Biofiltro Masaya”, se efectuaron ensayos en cultivos de diferentes especies, tales como: hortícolas, frutales y granos básicos, los que fueron irrigados con el efluente del sistema durante las épocas de invierno y verano mediante el método de riego superficial, obteniendo buenos resultados en sus rendimientos productivos, luego, basados en los análisis microbiológicos realizados en laboratorio y practicados en los cultivos, se determinó que varios de éstos, eran aptos para ser ingeridos, al comparar los resultados con los valores límites máximos permisibles para el consumo humano.

Entre los cultivos utilizados en los ensayos del estudio podemos nombrar a aquellos que pueden ser usados en trabajos futuros para irrigar con el efluente del sistema de tratamiento propuesto: pipián, melón, sandía, chiltoma, papaya, rábano, remolacha, cebolla, zanahoria, pepino, ayote, caña de azúcar, frijoles, arroz y maíz; musáceas y al cultivo de Marango que obtuvo excelentes rendimientos productivos por manzana sin presentar ninguna complicación.

El área de cultivo a irrigar puede variar, ya que ésta dependerá de la especie del cultivo que se vaya a establecer y de las necesidades hídricas que éste requiera, del marco de plantación (densidad de plantas/área), de las condiciones edafoclimáticas propias de la zona del proyecto, tipo de suelo y sus nutrientes, tipo de riego utilizado y la eficiencia del mismo, dependiendo de las condiciones anteriores se puede contar con 17.5 m³/día de agua residual tratada a utilizar para regadío.

Debido a su complejidad, la determinación de dichas áreas a irrigar por cada cultivo no es parte de los objetivos de éste trabajo, por lo deberán delimitadas cuando entre en funcionamiento la planta de tratamiento y se hayan realizado análisis físico-químicos y microbiológicos de las aguas del efluente, sólo así se podrán elegir los cultivos y el área a utilizar en los ensayos de estudios futuros.

3.7.4. Diagnóstico de Impacto Ambiental (DIA).

Como resultado del diagnóstico realizado, se deduce que los efectos negativos que trae consigo la construcción del Sistema de tratamiento, es compensado por los grandes beneficios que se generan una vez construida la planta y entre en actividad.

Uno de los elementos del ambiente afectados en la etapa de Construcción es la Capacidad agrológica del suelo y el Cambio de uso del suelo son los que presentan mayor puntuación en la matriz de valoración siendo ambos de -35, considerándose como (-) Moderados según la Tabla Nº 8. Rango de Valores y Categorías de Impacto ambiental.

Los más favorecidos en la etapa de Operación son la Capacidad agrológica del suelo con una puntuación de (+) 43 y la Generación de Ingresos cuyo valor es de (+) 41, ambos se consideran como (+) Moderados según la tabla Nº 8 (pág. 55) antes mencionada, ya que el agua del efluente del sistema será utilizado para riego agrícola, lo que evitará que se utilice el agua que nos suministran los pozos.

También los residuos sólidos y lodos residuales serán utilizados como abono para los cultivos, éstos son mejoradores del suelo aumentando su capacidad productiva y pueden ser vendidos a las personas que estén interesadas en adquirirlos. A esto se le suma la producción de biogás, la que generará ingresos y ahorros según la utilización y finalidad del mismo. (Ver Apéndice D).

3.7.5. Diseño Estructural.

Del diseño del desarenador: el espesor de 15 cm en las paredes lo cual se utilizara columna de 15 cm * 15 cm de concreto reforzado con una resistencia a los 28 días f'c de 3000 Psi, y 4 refuerzo Nº 3 y estribos Nº 2 @ cada 12 cm. El fondo tendrá un espesor de 10 cm de concreto reforzado con una resistencia a los 28 días f'c de 3000 Psi, con refuerzo Nº 3 a cada 30 cm en ambas direcciones.

Del diseño de la Pila de hidrólisis se obtuvo un espesor del muro de 18 cm y con columna de 25 cm * 25 cm con refuerzo Nº 4 y estribo Nº 3 @ cada 15 cm como se muestra en el plano C/01, y losa de fondo de 15 cm de espesor y con acero de refuerzo Nº 4 a cada 20 cm vertical y horizontal, todo de concreto reforzado con una resistencia a los 28 días f'c de 3000 Psi.

Del diseño estructural del digestor se obtuvo un espesor de las paredes y losa de fondo de 20 cm todo de concreto reforzado con una resistencia a los 28 días f'c de 3000 Psi, con acero de refuerzo Nº 4 vertical y horizontal @ cada 45 cm intercalado con acero Nº 5 @ cada 15 cm como se muestra en el plano D/01. (Ver Apéndice G).

3.7.6. Presupuestos.

El costo que la Planta de tratamiento propuesta implica es el precio del Costo Unitario de los Materiales y su transporte. El Costo de construcción del proyecto asciende a US \$ 77,826.60. (Ver Apéndice J. Presupuesto general del sistema propuesto).

El costo de operación y mantenimiento del sistema de tratamiento propuesto asciende a unos US \$ 1,775 aproximadamente anual, los que serán necesarios para garantizar el buen funcionamiento del Sistema de Tratamiento de Aguas Residuales en sus diferentes etapas, este valor se ve influenciado debido a los análisis de laboratorio para la caracterización de las aguas que van a ser tratadas y el pago monetario del operador del sistema. (Ver Apéndice K. Presupuesto para la operación y mantenimiento del sistema propuesto).

CONCLUSIONES

- a) Se realizó el diseño de un sistema de tratamiento de aguas residuales que cumple con las especificaciones técnicas establecidas por ENACAL, y que deberá cumplir con los rangos y límites máximos permisibles promedio diario de la calidad de agua residual para su utilización y disposición al medio ambiente establecidos en el Decreto 33-95.
- b) El caudal de diseño utilizado en el digester anaeróbico, permitió valorar una producción diaria de biogás, con un contenido aproximadamente del 60% de metano de 18.2 m³/día, certificando que el Biogás producido, podrá ser empleado para abastecer dos cocinas domésticas o una cocina industrial ambas de 3 quemadores respectivamente, salvando de esta manera 6.1 hectáreas de bosques por día mediante su utilización.
- c) El costo total del Proyecto en todo el proceso de construcción del sistema propuesto es de US \$ 77,826.60, influenciado por el Costo Unitario de los materiales. El costo total para la operación y mantenimiento del sistema asciende a unos US \$ 1,775 anuales, este valor es influenciado por el precio de los análisis de laboratorio para la caracterización de las aguas que van a ser tratadas y el pago del operador del sistema.
- d) Se elaboró un manual de Operación y Mantenimiento del Sistema de Tratamiento de Aguas Residuales, con los requerimientos mínimos de acuerdo a las normativas establecidas por el MARENA y ENACAL.
- e) Se efectuó una valoración de impactos que indica que el proyecto es viable, ya que la tendencia de impactos negativos, producto de movimientos de tierra y empleo de maquinaria pesada será contrarrestada por los efectos positivos que trae consigo la edificación de la planta de tratamiento, contribuyendo al cuidado de la salud humana y la sanidad ambiental.

RECOMENDACIONES

- a) Establecer la edificación del sistema de tratamiento en el sitio propuesto, ya que cumple con las condiciones topográficas y geotécnicas (según Estudio de Suelo), no se necesita rellenar con ningún tipo de material ya que el sustrato encontrado favorecerá cualquier tipo cimentación realizada en la etapa de construcción.
- b) Se recomienda que las granjas y mataderos se encuentren en las cercanías del Sistema para facilitar gastos económicos en tuberías de conducción de las aguas residuales hacia el mismo.
- c) Realizar aforamiento del caudal, así como análisis de laboratorios completos físico-químicos y microbiológicos de las aguas residuales, para determinar el valor de las concentraciones en la entrada y salida del sistema una vez entre en funcionamiento, para verificar si satisface los rangos y límites permisibles de disposición y para su utilización en el riego de cultivos hortícolas que establece el Decreto 33-95.
- d) Realizar investigaciones detalladas donde se efectúen análisis de laboratorios físico-químicos y microbiológicos a los diferentes cultivos que sean seleccionados para su estudio y sean irrigados con el efluente del sistema propuesto, para poder determinar si son aptos para el consumo humano valorando las alternativas de ser ingeridos de forma cruda o mediante cocción de acuerdo a los resultados obtenidos.
- e) Proponemos realizar nuevamente pruebas de infiltración más detallados, si esto es posible, ubicar cada punto con coordenadas y elevación, para tener un mejor conocimiento de la estratigrafía del lugar donde se recomienda ubicar el sistema propuesto.

- f) Se recomienda que en la construcción de la granja porcina y mataderos, la rasante de las instalaciones tengan por lo menos 0.30 m, para garantizar los 0.25 m de desplante de la tubería respecto al NPT, en caso de no desear tener visible la tubería y además garantizar su protección.
- g) Sugerimos que el Biogás saliente del Digestor sea utilizado en las actividades del proceso de matanza tanto de aves como de cerdos, por ejemplo, para calentar el agua que sirve para depilar y desplumar.
- h) Se recomienda el empleo del lodo de la Pila de secado una vez éste se haya secado, como abono orgánico en los cultivos que se establezcan en el CEA-UNI, incorporándolo en el suelo como mejorador del mismo, para optimizar su textura, estructura y sus capacidades productivas.
- i) Efectuar las debidas operaciones de inspección y mantenimiento de toda la Planta de tratamiento, de acuerdo a las Especificaciones Técnicas, para garantizar un funcionamiento óptimo.
- j) El arranque del digestor anaeróbico deberá ser monitoreado por alguien especializado, a excepción de los otros tratamientos del sistema, debido a que el mantenimiento y la puesta en marcha de las diferentes unidades son sencillos, lo que implica que la persona encargada de ello no necesita de conocimientos superiores.
- k) Pintar el Domo metálico por dentro y por fuera, mínimo una vez al año, para evitar la corrosión en la estructura metálica del mismo, teniendo sumo cuidado con el Biogás (metano) producido en el Digestor, de ser posible la persona encargada de hacerlo deberá utilizar una máscara especial para que no se afecte su salud.
- l) Se recomienda la construcción de un incinerador, para incinerar todos aquellos residuos sólidos provenientes de la matanza de aves y cerdos tales como pellejos, vísceras, tripas, plumas, sangre, etc, que puedan entrar al sistema de tratamiento y afectar su funcionamiento.

BIBLIOGRAFÍA

1. Disposiciones para el control contaminación provenientes descargas de aguas residuales domesticas, industriales y agropecuarias; DECRETO No. 33-95; MARENA, Junio, 1995.
2. GTZ, Cooperación Técnica República Federal Alemana, Manual de Disposición de las Aguas Residuales; Tomo I, Lima 1991.
3. GTZ, Cooperación Técnica República Federal Alemana, Manual de Disposición de las Aguas Residuales; Tomo II, Lima 1991.
4. DIA. Primer Informe del Estudio Integral del comportamiento dinámico de lagunas de estabilización de residuales líquidos industriales. Ministerio del Ambiente y los Recursos Naturales Renovables. 27 de Abril de 1979, Caracas.
5. Norma Bolivariana NB 688 Instalaciones sanitarias - Alcantarillado sanitario, pluvial y tratamiento de aguas residuales; Dirección General de Saneamiento Básico DIGESBA, 2001.
6. "Desing of anaerobic processes for the treatment of industrial and municipal wastes"; Malina Joseph; Pohland Frederick; Water Quality Management Library; Volume 7; Tecnonomic; USA; 1992.
7. Hydrologic Subterranean, Manual of Individual Watter Supply Systems, Water Well Handbook; Llamas Madurga; Estados Unidos, 1998.
8. "Operación y control de digestores anaerobios"; Soto Manuel; Méndez Ramón; Lema Juan; Universidad de Galicia; España, 1992.
9. Ingeniería Sanitaria, Tratamiento, Evacuación; Metcalf & Eddy; México, Mc Graw- Hill, 1995.

10. Universidad Nacional de Ingeniería; “Tratamiento de aguas potables y residuales”; Managua, Nicaragua; 1993.
11. Universidad Nacional de Ingeniería; Apuntes de Ingeniería Sanitaria II; ; Ing. María Elena Baldizón A.; Junio, 2002.
12. Universidad Nacional de Ingeniería; Parte 2: Tratamiento y Reuso de Aguas Residuales; Lima- Perú, Año 2000.
13. Uso de la Tecnología de Biofiltro en el Tratamiento de Aguas Residuales Domesticas; Ing. Vidal Cáceres A., Ing. Néstor Fong; PROGRAMA BIOMASA- UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA; Febrero, 2010.
14. Producción más Limpia (PmL), Informe de Auditoría Ambiental, Granja Porcícola Masada; Auditor Ambiental: Lic. Itzia Stanzola; Panamá, Octubre de 2006.
15. Norma Bolivariana NB 688 Instalaciones sanitarias - Alcantarillado sanitario, pluvial y tratamiento de aguas residuales; Dirección General de Saneamiento Básico DIGESBA, 2001.
16. Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico RAS- 2000, SECCION II, Título E: Tratamiento de aguas residuales; República de Colombia, Dirección de Agua Potable y Saneamiento Básico; Bogotá, D.C., Noviembre de 2000.
17. “Anaerobic treatment of wastewater in fixed film reactors, a literatura rewiw”; Henze, Mogens; Harremoës, Poul; Water Science & Technology; vol. 15; n. 1-2; 1983.
18. Norma Técnica OS.090. Feachem et-al., 1983; Mara et-al., 1992; Yánez, 1992.

19. “Parámetros operativos de un UASB”; Fiel, Jim; Universidad de Wageningen, Holanda; 1987.
20. Diseño de una planta de biogás en el Rastro de Granada. Agosto; Claudia Marina Lorente Fiallos, Filo Javier Miranda Rojas; 1998. (Monografía UNI).
21. “Evaluación físico-química y económica del proceso de tratamiento de aguas residuales del matadero de Masaya”; Blanco, Brenda; Managua, Nicaragua; 1993. (Monografía UNI).
22. Evaluación del arranque y estabilización del proceso de fermentación anaeróbico para el tratamiento de las aguas residuales del rastro de Chinandega; Espinoza Sánchez Gilmer Antonio, Ulloa Díaz Manuel Antonio; Marzo, 1997). (Monografía UNI).
23. Diseño del Sistema de Tratamiento de las Aguas Residuales del Recinto Universitario UNI - Norte, Estelí; Castellón Martínez Yesenia Lucia, Vanegas Corrales Tania del Carmen; Noviembre, 2009. (Monografía UNI).
24. Uso de la Escoria volcánica como agregado grueso para concreto, José Alfonso Jeréz F, 1991 (Tesis monográfica UNI).
25. Manual de operación del sistema de tratamiento de aguas residuales en la planta de procesos INDAVINSA; William Ramón Vargas Pérez; Wilber Antonio Chavarría López; Diciembre 2002. (Monografía UNI).
26. “Arranque de reactores anaerobios, revisión de literatura”; Molina Francisco; Universidad de Antioquía; Memorias IV Seminario Latinoamericano: Tratamiento anaerobio de aguas residuales; Colombia, 1996.
27. “Tratamiento anaerobio de aguas residuales”; Orozco Álvaro; Giraldo Eugenio; Universidad de los Andes; Colombia; 1986.

28. Estudio microbiológico de los cultivos irrigados con el efluente del Biofiltro de Masaya.; Programa Biomasa-CIEMA, Proyecto ASTEC- Austria; Managua, Junio 1999.
29. <http://fluidos.eia.edu.co/suministroydisposiciondeaguas/temasdeinteres/de-sarenadores/desarenadores.htm>
30. http://www.Ganadería_Porcinos_CuencaRural_ElcampoenInternetquemassabedecampo_Argentina.htm
31. http://www.nanta.es/pdf/area_tecnica/normas_minimas_proteccion_cerdos.pdf
32. <http://amarengo.org/construccion/normas/rne/habilitaciones-urbanas/obras-de-saneamiento/os090/disposiciones-especificas>
33. <http://fluidos.eia.edu.co/suministroydisposiciondeaguas/temasdeinteres/de-sarenadores/desarenadores.htm>
34. <http://www.cepis.ops-oms.org/bvsacd/scan2/011643/011643-09.pdf>.
Parámetros y características de las aguas residuales. Ing. Armando Cubillos (Profesor, CIDIAT). División de Protección de la Salud Ambiental. Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente. Lima – Perú.
35. <http://pml.org.ni/Documentos/MATADEROS.pdf>
36. <http://www.google.com.ni/CARACTERISTICAS+FISICAS+DEL+AGUA+RESIDUALCARACTERISTICAS+FISICAS+DEL+AGUA+RESIDUAL>
37. http://mundo-pecuario.com/tema249/reproduccion_cerdos.html
38. <http://www.nsph.elregante.com>