



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
Facultad de Tecnología de la Construcción

Monografía

**DISEÑO DE PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES COM-
PUESTO POR UN REACTOR ANAERÓBICO Y BIOFILTROS PARA EL BE-
NEFICIO HUMEDO DE CAFÉ: FINCA LA ESPERANZA, EN EL MUNICIPIO DE
DIPILTO, NUEVA SEGOVIA**

Para optar al título de ingeniero civil

Elaborado por

Br. David Alejandro Moreno Molina

Tutor

Msc. Ing. Dionisio Vidal Cáceres

Managua, Julio 2017



Carta del Catedrático Guía

El presente trabajo monográfico titulado “DISEÑO DE PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES INDUSTRIALES COMPUESTO POR UN REACTOR ANAERÓBICO Y BIOFILTROS PARA EL BENEFICIO HUMEDO DE CAFÉ: FINCA LA ESPERANZA, EN EL MUNICIPIO DE DIPILTO, NUEVA SEGOVIA”, presentado por el Br. David Alejandro Moreno Molina, es un material de carácter investigativo y practico en el campo del Medio Ambiente e Ingeniería Sanitaria, cuyo alcance va más allá del área de Investigación y Desarrollo de la Facultad de Tecnología de la Construcción e incluye aportes al tratamiento de las aguas mieles del beneficio húmedo de café, seleccionando una alternativa viable y sobre todo ecológica en el tratamiento de Aguas Residuales Industriales de los beneficio de café, lo que es una solución idónea a la problemática de Saneamiento de Aguas y Conservación de Recursos Naturales que enfrenta el país.

El principal objetivo en este trabajo fue diseñar el Sistema de tratamiento de las aguas mieles de un beneficio de café, con el único fin de verter un efluente que cumpla las leyes ambientales del país.

El entusiasmo y la dedicación que demostró el Br. David Alejandro Moreno Molina, fue clave para culminar el presente trabajo monográfico, además de su disposición en realizar los trabajos de campo que les permitió obtener la información necesaria que más tarde se procesaría para emitir los criterios utilizados en el diseño.

Supervisando muy de cerca el trabajo efectuado tanto en campo como en teoría, puedo afirmar que el éxito del mismo se debió al interés y la voluntad que demostró el Br., Moreno, por lo tanto solicito a los honorables miembros del Jurado la aprobación del presente trabajo monográfico y se otorgue el título de Ingeniero Civil a la Br. David Alejandro Moreno Molina.


MSc. Ing. Dionisio Vidal Cáceres Antón

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
FACULTAD DE TECNOLOGIA DE LA CONSTRUCCION
DECANATURA



DEC-FTC-REF-No.051
Managua, Mayo 18 del 2016

Bachilleres
DAVID ALEJANDRO MORENO MOLINA
Estimados Bachilleres:

Es de mi agrado informarles que el PROTOCOLO de su Tema MONOGRAFICO, titulado "DISEÑO DE PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES COMPUESTO POR UN REACTOR ANAERÓBICO Y BIOFILTROS PARA EL BENEFICIO HUMEDO DEL CAFÉ: FINCA LA ESPERANZA, EN EL MUNICIPIO DE DIPILTO, NUEVA SEGOVIA", ha sido aprobado por esta Decanatura.

Asimismo les comunico estar totalmente de acuerdo, que el **Ing. Dionisio Vidal Cáceres Antón**, sea el tutor de su trabajo final.

La fecha límite, para que presenten concluido su documento, debidamente revisado por el tutor guía será el **18 de Noviembre del 2016**.

Esperando puntualidad en la entrega de la Tesis, me despido.

Atentamente,



Dr. Ing. Oscar Gutiérrez Somarriba
Decano

CC: Protocolo
Tutor
Archivo*Consecutivo
IJGG*Dara



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
FACULTAD DE TECNOLOGIA DE LA CONSTRUCCION
DECANATURA

DEC.FTC.REF No. 0147
Managua, 27 Octubre del 2016.

Bachiller
DAVID ALEJANDRO MORENO MOLINA
Presente

Estimado Bachiller:

En atención a su carta de solicitud de **PRORROGA (DE 2 MESES)**, para finalizar su trabajo De **Monografía** titulado "**DISEÑO DE PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES COMPUESTO POR UN REACTOR ANAERÓBICO Y BIOFILTROS PARA EL BENEFICIO HÚMEDO DEL CAFÉ: FINCA LA ESPERANZA, EN EL MUNICIPIO DE DIPILTO, NUEVA SEGOVIA**". Esta Decanatura aprueba la misma considerando los problemas planteados en su comunicación.

Deberá presentar concluido su documento debidamente revisado por el tutor guía **el 18 Enero del 2016**. (Según fecha límite de la carta del tema aprobado).

Esperando de ustedes puntualidad en la entrega de su trabajo final, me despido.

Atentamente,



Dr. Ing. Oscar Gutiérrez Somarriba
Decano

CC: Tutor
Archivo-Consecutivo



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
FACULTAD DE TECNOLOGIA DE LA CONSTRUCCION
DECANATURA

DEC.FTC.REF No. 069
Managua, 18 Mayo del 2017.

Bachiller
DAVID ALEJANDRO MORENO MOLINA
Presente

Estimado Bachiller:

En atención a su carta de solicitud de **PRORROGA (DE 1 MES)**, para efectuar la pre-defensa de su trabajo De **Monografía** titulado "**DISEÑO DE PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES COMPUESTO POR UN REACTOR ANAERÓBICO Y BIOFILTROS PARA EL BENEFICIO HÚMEDO DEL CAFÉ: FINCA LA ESPERANZA, EN EL MUNICIPIO DE DIPILTO, NUEVA SEGOVIA**". Esta Decanatura aprueba la misma considerando los problemas planteados en su comunicación.

Deberá presentar concluido su documento debidamente revisado por el tutor guía **el 19 Junio del 2017**. Para la programación de su fecha de pre-defensa.

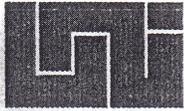
Esperando de ustedes puntualidad en la entrega de su trabajo final, me despido.

Atentamente,

Dr. Ing. Oscar Gutiérrez Somarriba
Decano



CC: Tutor
Archivo-Consecutivo



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
FACULTAD DE TECNOLOGÍA DE LA CONSTRUCCIÓN
SECRETARIA

CARTA DE EGRESADO

El Suscrito Secretario de la Facultad de Tecnología de la Construcción, hace constar que el (a) **BR. DAVID ALEJANDRO MORENO MOLINA** Carné No. 2011-39483 Turno diurno de conformidad con el Reglamento de Régimen Académico Vigente en la Universidad, es **EGRESADO** de la Carrera de **INGENIERÍA CIVIL**.

Se extiende la presente **CARTA DE EGRESADO** a solicitud de la parte interesada en la Ciudad de Managua, a los 24 días del mes de Mayo del año dos mil dieciséis.



DR. ING. EFRAIN CHAMORRO BLANDON
Secretario de Facultad

Cc: Archivo.
DIFECB/Claus*

Universidad nacional de Ingenieria

ISNTITUTO DE ESTUDIOS SUPERIORES

CARTERA Y COBRO UNI - IES

Managua Nicaragua

SOLVENCIA ECONOMICA

La Oficina de Contabilidad del Instituto de Estudios Superiores de la Universidad Nacional de Ingeniería hace constar que el Br. (a): *DAVID A. MORENO MOLINA*, Carnet: 2011-39483. Estudiante de la carrera de Ing. CIVIL se encuentra **Solvente Económicamente con la institución**. En el pago de **Matrícula** y pagos de las (6) cuotas de la defensa monográfica.

Se extiende la presente solvencia económica a solicitud de la parte interesada para trámites de Defensa de Título, a los dieciocho días del mes de Mayo del año dos mil Diecisiete.

Atentamente,



E. Suezar
Lic. Ereina Suezar Ramírez.

Responsable de Contabilidad
IES-UNI

Dedicatoria

A *Dios nuestro Señor* por ser el dador de vida de cada día, su misericordia que se renueva todos los días, y me dio la salud, la inteligencia, su guía y la capacidad para concluir esta monografía.

A *mi familia* por ser siempre el apoyo en mi vida. Por su amor, ayuda y confianza en Dios y en mí. Quienes no me dejaron caer ante las dificultades materiales y fueron sus motivaciones quienes me ayudaron a terminar mi monografía.

A *cada uno de mis maestros* por ser una inspiración en mi vida, por compartir sus conocimientos y experiencias de campo de la carrera y poder ejercerlas con paciencia, tolerancia y siempre tener el tiempo para cualquier consejo profesional.

A *mis amistades de gran confianza y hermanos en la fe*, gracias por su apoyo, sus ánimos y oraciones en cada lucha y desafíos que pude vencer gracias al acuerdo de todos en oración para mover la mano de Dios.

A nuestro *Decano Dr. Oscar Gutiérrez Somarriba* por ser el representante en nuestra Facultad de Tecnología de la Construcción (F.T.C.), gracias a su ayuda por desarrollar y mejorar los planes de estudio, para que nosotros los estudiantes podamos aprovechar los beneficios de educación de nuestra facultad, un hombre comprometido a formar profesionales de éxitos y al servicio de nuestra patria.

Al señor *Salatíel Zavala y familia* por abrirme las puertas de su hogar para poder realizar mi monografía en su finca de café y poder apoyarme en las visitas de campo con su hospitalidad.

David Alejandro Moreno Molina

Agradecimientos

Le agradezco especialmente a nuestro tutor *Msc. Ing. Dionisio Vidal Cáceres Antón* (Catedrático UNI y Director del Programa BIOMASA), por su apoyo incondicional, siendo mi guía hasta el final de este arduo trabajo. Al señor Salatiel Zavala por disponer su finca al estudio y realización de este tema monográfico y disponer de su tiempo para atender las necesidades de las investigaciones.

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:

- *Ing. Carlos Laínez* (Ingeniero hidráulico con especialidades en hidrología), por sus consejos para poder escoger los tratamientos más eficientes para mi sistema de tratamiento.
- Programa BIOMASA y parte de su equipo de trabajo en ayuda de todo el proceso de mi monografía.
- *Ing. Roland Montenegro* (Ingeniero Sanitario en programa de asistencia técnica en agua y saneamiento-PROATAS de ENACAL) por su aporte en asesoría de mi monografía y consejos personales.
- *Ing. Samuel Zavala* (Ingeniero Agrónomo) por su aporte en datos necesarios de la finca La Esperanza, y el beneficiado húmedo del café.
- *Ing. Jonathan Martínez*, por su apoyo en ciertos cálculos necesarios para cumplir mis objetivos planteados.

A todos los Catedráticos de la UNI por brindarme 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 industriales generadas, en el beneficio húmedo del café de la finca La Esperanza en la Comunidad de Las Manos, del municipio de Dipilto en el departamento de Nueva Segovia. El análisis se basó en las proyecciones de consumo de agua y generación de agua residuales proveniente únicamente del lavado del café, ya que el despulpe del fruto del café es realizado a través de proceso en seco, sin uso de agua.

Se seleccionó las alternativas de tratamiento en base a experiencias que existen nacional e internacionalmente y la experiencia del programa de BIOMASA de la Universidad Nacional de Ingeniería (UNI) de Nicaragua respecto a la industria de beneficiado húmedo del café. La características fisicoquímicas del agua residuales se definieron en base a investigación en beneficios húmedos del café con el mismo sistema de operación y uso del agua en el proceso, para así, determinar las etapas de tratamiento más viables para remoción de contaminante de una manera rápida y efectiva, siendo también las opciones más factible en el tema de hidráulica, sanitaria y economía. A continuación se describe las etapas de tratamiento:

- ➔ **Tratamiento preliminar:** Se diseña un canal de entrada con rejilla de limpieza manual y un desarenador.

- ➔ **Tratamiento primario:** Se establece el diseño de una Pila de hidrólisis, instalación de criba hidrostática y el diseño de un Reactor anaeróbico.

- ➔ **Tratamiento secundario:** Conformado por un Filtro de flujo descendente y un Biofiltro de flujo horizontal.

Con este sistema de tratamiento se aprovechará unos de los subproductos generados, como es: El biogás producido por la degradación anaerobia en el reactor, para ser aprovechado en la cocina para la elaboración de alimentos para los trabajadores recolectores del café y para el tostado de cierto porcentaje del café producido, que es destinado a la comercialización propia por el propietario.

El caudal proyectado es de 14.78 m³/día, esto se hizo con la visión de producción máxima diaria en una proyección de 5 años por el propietario de la finca, esta proyección es de 600 latas diarias. Con esta proyección más, un factor de seguridad por aumento de proyección futura (10.00%) se calculó el consumo de agua para esta producción máxima diaria, calculando el caudal a través de un factor de consumo de agua por latas (22.4 lts/latas). En base a este caudal de diseño se obtuvieron las dimensiones finales del sistema mencionadas a continuación:

Canal de entrada: El canal de entrada tendrá una altura de 0.30 m, ancho de 0.60 m y longitud de 1.50 m. **Desarenador:** se dimensiona en alturas de 0.65 m y 0.85 m, ancho de 0.60 m y longitud de 2.00 m. **Pila de hidrólisis:** con dimensiones de altura de 2.50 m, ancho de 2.00 m y longitud de 3.50 m. **Reactor anaeróbico:** con dimensiones de altura de 3.00 m, ancho de 3.60 m y longitud de 7.20 m. **Filtro de flujo descendente:** con dimensiones de altura de 1.30 m, ancho por 4.00 m de longitud de respectivamente. **Biofiltro de flujo horizontal:** se diseñan dos unidades con las dimensiones de altura de 0.90 m, ancho de 8.50 m y longitud de 9.00 m.

El costo total del proyecto asciende a US \$ 39,416.59 (Treinta y nueve mil, cuatrocientos dieciséis dólares estadounidenses con cincuenta y nueve centavos). Y el costo total para operación y mantenimiento de todo el sistema de tratamiento es aproximadamente de US \$ 4,073.00 (Cuatro mil, setenta y tres dólares estadounidenses) anuales.

ALCANCES Y LIMITACIONES

Dentro de la realización de las áreas establecidas a efectuar en el proyecto, se efectuó la búsqueda de información investigativa e información de campo, así como agentes indispensables de tiempo, costo e inversión, para cumplir los objetivos planteados. En nuestro caso, se requirió de mucha información bibliográfica, estudios ya realizados en la línea del tema del proyecto y levantamientos de datos tales como topografía del terreno, levantamiento de condiciones actuales del manejo de aguas residuales, datos de consumo de agua en tres cosechas de café, entre otros.

En este trabajo se adecuó el proyecto a condiciones reales, pero no toda la búsqueda de datos pudo cumplirse, estos datos faltantes fueron las características fisicoquímicas del agua residual de la industria, debido a que no estaba al alcance, por factores de tiempo del trabajo anual de la industria de beneficiado húmedo del café de la finca y factores económicos, se logró encontrar alternativas ideales en la información que se necesitaba para diseñar el sistema de tratamiento de aguas residuales.

Para la realizar todo el trabajo monográfico se presentaron algunos inconvenientes, siendo uno de ellos el levantamiento de las características fisicoquímicas del agua residual, por el tiempo limitado de cosecha del café y por ende también el trabajo de beneficiado húmedo del café. Otra limitante fue el viaje al sitio para poder hacer cada uno de los demás levantamientos de datos en campo lo cual pudo lograrse las visitas a un tiempo muy prolongadas que freno la verdadera fecha de entrega del proyecto.

ÍNDICE

CAPITULO I.....	1
1.1.- GENERALIDADES.....	2
1.2.- ANTECEDENTES.....	4
1.3.- JUSTIFICACIÓN.....	6
1.4.- OBJETIVOS.....	8
1.4.1.- Objetivo general.....	8
1.4.2.- Objetivos específicos.....	8
CAPITULO II.....	9
2.1.- MARCO TEÓRICO.....	10
2.1.1.- Aguas residuales o aguas servidas.....	10
2.1.1.1.- Tipos de aguas residuales según su origen.....	10
2.1.1.2.-Características importantes de las aguas residuales.....	11
2.1.1.3.- Clasificación de los contaminantes de las aguas residuales.....	12
2.1.1.4.- Impactos que ocasionan los contaminantes de las aguas residuales.....	20
2.1.2- Beneficiado húmedo del café.....	20
2.1.2.1.- Tipos de beneficios en Nicaragua.....	21
2.1.2.2.- Proceso del beneficiado húmedo.....	22
2.1.2.3.- Subproductos contaminantes del beneficiado del café.....	29
2.1.3.- Aguas mieles del café (Aguas Residuales Industriales).....	30
2.1.3.1.- Tipos de contaminantes en las aguas mieles.....	31
2.1.4.- Tratamiento de aguas residuales.....	32
2.1.4.1.- Sistema de tratamiento de aguas residuales.....	32
2.1.5.- Etapas de tratamiento de aguas residuales.....	34
2.1.5.1.- Tratamiento preliminar.....	34
2.1.5.2.- Tratamiento primario.....	36
2.1.5.3.- Tratamiento secundario.....	54

2.1.5.4.- Tratamiento terciario o avanzado.....	68
2.1.6.- Métodos de disposición de Aguas Residuales	70
2.1.6.1.- Reglamentos, metas y normas establecidas.....	71
CAPITULO III.....	74
3.1.- DISEÑO METODOLÓGICO	75
3.1.1.- Aporte de aguas residuales	75
3.1.2.- Sistema de Tratamiento y característica fisicoquímicas propuestas para las Aguas residuales industriales de la finca	75
3.1.2.1.- Pre- tratamiento o Tratamiento preliminar.....	78
3.1.2.2.- Tratamiento primario	81
3.1.2.3.- Tratamiento secundario	87
3.1.2.4.- Tratamiento de lodos	92
3.1.2.5.- Pila de almacenamiento final	93
CAPITULO IV	95
4.1.- DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO.....	96
4.1.1.- Localización del área de estudio	96
4.1.1.1.- Macrolocalización.....	96
4.1.1.2.- Microlocalización	96
4.1.2.- Características de la zona del proyecto.....	98
CAPITULO V	118
5.1.- DESARROLLO	120
5.1.1.- Determinación del caudal.....	120
5.1.2.- Caracterización de las aguas residuales industriales a tratar.....	121
5.1.3.- Análisis y selección de alternativas.....	124
5.1.4.- Descripción general del sistema de tratamiento	125
5.1.4.1.- Tratamiento Preliminar	125
5.1.4.2.- Tratamiento Primario.....	127
5.1.4.3.- Tratamiento Secundario.....	130

CAPITULO VI	131
6.1.- PRESENTACIÓN DE RESULTADOS.....	133
6.1.1.- Dimensionamiento final del sistema de tratamiento de aguas residuales Industriales del Beneficio Húmedo del café de la Finca La Esperanza	133
6.1.2.- Características del efluente final	133
6.1.3.- Disposición de efluente final	134
6.1.4.- Producción y uso de Biogás generado en el digester anaerobio	134
6.1.5.- Presupuesto	136
6.1.5.1.- Presupuestos de Construcción	136
6.1.5.2.- Presupuesto de operación y mantenimiento	136
6.1.6.- Especificaciones técnicas.....	137
6.1.7.- Manual de operaciones y mantenimiento.....	137
CAPITULO VII	138
CONCLUSIONES	140
RECOMENDACIONES	143
BIBLIOGRAFÍA	145
ANEXOS.....	147

ÍNDICE DE ANEXOS

APENDICE A. TABLAS DE GASTOS DE AGUA POR DIA.....	i
A.1.- Producción diaria y consumo de agua (Cosecha: 2013-2014).....	ii
A.2.- Producción diaria y consumo de agua (Cosecha: 2014-2015).....	v
A.3.- Producción diaria y consumo de agua (Cosecha: 2015-2016).....	viii

APENDICE B. DISEÑO DEL SISTEMA PROPUESTO.....	xi
B.1.-Tabla de características físico-químicas del agua residual de beneficios húmedos indagados.....	xii
B.2.- Tratamiento Preliminar.....	xiii
B.3.- Tratamiento Primario.....	xix
B.4.- Tratamiento Secundario.....	xxix
B.5.- Diseño de la Pila de Secado de Lodos.....	xxxviii
B.6.- Diseño de la Pila de Almacenamiento Final.....	xxxix
B.7.- Dimensionamiento final del Sistema de Tratamiento.....	xli
B.8.- Concentración físico-química final para descarga del Afluente.....	xli
APENDICE C. COTIZACION DE CRIBA HIDROSTATICA.....	xlii
C.1.- Cotización de Criba Hidrostática.....	xliii
C.2.- Imagen de muestra de la Criba Hidrostática.....	xliv
APENDICE D. ESPECIFICACIONES TECNICAS.....	xliv
D.1.- Especificaciones Técnicas.....	xlvi
D.1.1.- Alcances de la obra.....	xlvi
D.1.1.1.- Normas y Códigos.....	xlvi
D.1.1.2.- Seguridad.....	xlvi
D.1.2.- Selección y siembra de las plantas de pantano.....	xlvii
D.1.2.1.- Procedimiento de siembra de las plantas.....	xlviii
APENDICE E. MANUAL DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO.....	I
E.1.- Operación y mantenimiento del Sistema de tratamiento.....	li
E.1.1.- Generalidades.....	li
E.1.2.- Actividades de operación y mantenimiento del sistema.....	lv
E.1.3.- Problemas de operación y sus soluciones.....	lxii
E.1.4.- Operación y control del reactor anaeróbico.....	lxiii
E.1.5.- Determinación de la calidad del biogás.....	lxviii
E.1.6.- Medición de caudal del sistema.....	lxxi
E.1.7.- Normas de seguridad en la planta de biogás.....	lxxii
E.1.8.- Actividades rutinarias de operación y mantenimiento del sistema de tratamiento.....	lxxiii

E.1.9.- Parámetros a analizar para el control del sistema de tratamiento.....lxxxii

APENDICE F. PRESUPUESTO GENERAL DEL SISTEMA.....lxxxiii

F.1.- Preliminar.....lxxxiv

F.2.- Canal con Rejilla y Desarenador.....lxxxv

F.3.- Pila de Hidrólisis.....lxxxvi

F.4.- Reactor Anaeróbico.....lxxxvii

F.5.- Filtro de Flujo Descendente.....lxxxviii

F.6.- Biofiltro de Flujo Horizontal.....xc

F.7.- Pila de Secado de Lodos.....xcii

F.8.- Pila de Almacenamiento Final.....xciii

F.9.- Tubería de conexión en la planta.....xciv

F.10.- Presupuesto Final del Sistema de Tratamiento de Aguas Residuales.....xcv

APENDICE G. PRESUPUESTO: OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO.....xcvi

G.1.- Presupuesto de herramientas y materiales necesarios para la operación y mantenimiento del sistema de tratamiento.....xcvii

G.2.- Presupuesto de Mano de Obra para la operación y mantenimiento del sistema de tratamiento.....xcviii

G.3.- Presupuesto de Análisis de Caracterización de las aguas en laboratorio Certificado.....xcix

G.4.- Presupuesto Total para la operación y mantenimiento del Sistema de Tratamiento.....c

APENDICE H. FOTOGRAFIA: FINCA Y PROCESO DE BENEFICIADO.....ci

APENDICE I. TABLAS PARA DISEÑO DEL STAR.....cvi

Tabla I.1.- Valores Típicos de Coeficientes de Rugosidadcvii

Tabla I.2.- Información para diseño de desarenador de flujo horizontal (Guía Técnica - INAA).....cvii

APENDICE J. GRAFICAS ILUSTRATIVAS.....	cviii
Grafica J.1.- Grafica de aguas mieles y pulpa de café según su ciclo agrícola.....	cix
Grafica J.2.- Producción de Agua Residual (Cosecha: 2013-2014).....	cix
Grafica J.3.- Producción de Agua Residual (Cosecha: 2014-2015).....	cx
Grafica J.4.- Producción de Agua Residual (Cosecha: 2015-2016).....	cx
APENDICE K: PLANO DE DISEÑO DEL SISTEMA.....	cxii



CAPÍTULO I:
INTRODUCCION

1.1.- GENERALIDADES

La fase de procesamiento del café en los beneficios húmedos culmina con los esfuerzos del caficultor realizados durante la fase de cosecha, siendo una labor importante que lleva al beneficiado seco y que permite comercializar la producción a nivel nacional e internacional. El beneficiado húmedo es una de las fases más contaminantes, que necesita una gran demanda de agua, que luego del proceso de beneficiado son convertidas en aguas residuales industriales conocidas como aguas mieles. Las aguas residuales industriales constituyen un importante foco de contaminación de los sistemas acuáticos, siendo necesarios los sistemas de depuración antes de evacuarlas, como medida importante para la conservación del medio ambiente.

Todo tipo de aguas residuales industriales deben ser llevadas de carácter obligatorio a un sistema de tratamiento de aguas residuales industriales según normas o decretos nacionales. El tratamiento de aguas residuales industriales consiste en una serie de procesos físicos, químicos y biológicos que tienen como fin eliminar los contaminantes físicos, químicos y biológicos presentes en el agua para luego estas aguas con los parámetros de limpieza que establece los decretos nacionales puedan ser trasladadas a una fuente natural de agua cercano a la zona o usadas para sistema de riego según la producción de la industria o propias de la comunidad.

En Nicaragua, los beneficios que tratan sus aguas residuales industriales en su mayoría no llegan a cumplir los rangos y límites máximos permisibles de descargas en forma directa e indirecta a cuerpo receptores descritos por el decreto No. 33-95, artículo 38 del Ministerio del Ambiente y los Recursos Naturales (MARENA), otros beneficios solo filtran las aguas mieles al suelo o las conducen a ríos sin ningún tratamiento previo. Lo cual ha generado un problema ambiental en el ecosistema de sus alrededores, así como un problema sanitario con las comunidades que limitan con la industria.

Las aguas residuales industriales vertidas a fuentes superficiales ponen en peligro la vida de especies acuáticas reduciendo la calidad del agua, siendo este el causante de malos olores y la contaminación de los cuerpos receptores por las elevadas cargas orgánicas contenidas en estas aguas residuales, afectando a la población que hace uso de los recursos hídricos. Estas aguas residuales industriales también son acumuladas en pilas donde son almacenadas y son generadoras de focos de epidemias para las poblaciones aledañas.

Una posible solución para resolver este tipo de problema es diseñar sistemas de tratamiento para las aguas residuales industriales con procesos que puedan lograr una buena remoción de la carga contaminante y que al mismo tiempo generen subproductos que pueden ser aprovechados en los mismos beneficios húmedos, para proteger el medio ambiente y también la salud humana. Para establecer estas tecnologías es necesario analizar las condiciones y necesidades de las localidades y aplicar conocimientos técnicos e ingenieriles, dentro del marco de referencia de las leyes y normas que regulan la calidad del agua y la sanidad ambiental a nivel nacional.

El presente trabajo monográfico consiste en diseñar una Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Industriales (PTARI) y el aprovechamiento de los subproductos (biogás y abono líquido) producto de la degradación anaerobio de las aguas mieles del beneficio húmedo del café, Finca La Esperanza, en el municipio de Dipilto, Nueva Segovia. Con la implementación de la PTARI se pretende mejorar la calidad del agua residual vertida al cuerpo receptor y uso para riego de nuevos cultivos de café, contribuyendo de esta manera a la preservación del Medio Ambiente.

1.2.- ANTECEDENTES

El café en Nicaragua desde 1850 ha sido un pilar importante para la economía del país. En el año 2013 el producto de mayor valor agregado en la actividad agrícola, según datos del BCN¹ fue el café oro (US\$138.5 millones). Para el ciclo 2014-2015 hubo una producción superior a los 2 millones de quintales en el país informó José Ángel Buitrago, presidente de la Asociación de Exportadores de Café de Nicaragua, EXCAN.

El café de Nicaragua se cultiva en un área total de 185,567 manzanas distribuidas en diez departamentos del país: Jinotega (31.7%), Matagalpa (24.9%), Nueva Segovia (10.9%), Madriz (6.8%), Managua (5.6%), Carazo (5.3%), Masaya (2.9%), Boaco (2.8%), Granada (2.1%) y Estelí (1.9%); los que representan el 94.9% de área total cafetalera². La fase de mayor contaminación del beneficiado húmedo del café es el despulpe del café y lavado del mucilago para llegar al grano oro del café, generando residuos como la pulpa y aguas mieles.

La preocupación del tratamiento de las aguas mieles vienen desde los primero año del beneficiado húmedo del café en Nicaragua, problema que se agudiza en el año 2010, al aumentar las producciones nacionales se presentaron problemas ambientales y en la salud de pobladores, con los desechos del café en las zonas de beneficiado húmedo del país³. No hay un inventario que cuantifique los beneficios que realicen tratamientos a sus aguas residuales industriales en el país, los beneficios húmedos que realizan tratamientos a sus aguas mieles son por lo general las grandes empresas privadas e internacionales asentadas en el país, mientras que las medianas y pequeñas empresas nacionales de beneficiado húmedo del café no ponen mucha atención a este factor de riesgo ambiental y conllevan a consecuencias de contaminación a fuentes de agua, ecosistemas terrestres y la salud humana.

¹ Informe 2013, Banco Central de Nicaragua ² Documento Borrador: Plan Nacional de Desarrollo Competitivo de la Caficultora en Nicaragua 2007 – 2011 /CONACAFE – MAGFOR; Marzo 2007. ³ Artículo Prensa: “Buscan com tratar aguas mieles” 2010, Luis Martínez.

El beneficio húmedo de café “Finca La Esperanza” se localiza en Dipilto, Nueva Segovia. Actualmente no cuenta con un sistema de tratamiento para las aguas residuales industriales generadas en el beneficio húmedo, desde su inicio de operación hasta la actualidad sus aguas residuales industriales son llevadas a una pila de almacenamiento y luego son infiltradas al suelo natural, actualmente con la generación de agua mieles, sobrepasa los límites de capacidad de la pila de almacenamiento, luego estas aguas mieles son bombeadas a una zanja de infiltración natural en las cercanías a la quebrada “El Cambalache” que tiene parte de su trayectoria dentro de la finca, además de abastecer de agua a comunidades, aguas abajo.

La manguera de conducción que se utiliza para llevar estas aguas a la zanja de infiltración está en mal estado; por lo que se va regando en el campo antes de llegar a la zanja, ocasionando que haya acumulaciones (charcas) en el suelo, que genera malos olores y foco de enfermedades para las poblaciones cercanas.

1.3.- JUSTIFICACIÓN

Las zonas cafetaleras del país suman producciones de millones de café que pasan por un beneficiado húmedo para obtener el grano oro, usando grandes cantidades de agua para obtener este producto. Convertidas en aguas residuales industriales, que son conducidas a fuentes de aguas naturales, antes de ser vertidas no todas reciben algún tipo de tratamientos y si hay tratamiento no son efectivos para su depuración.

En los últimos once ciclos agrícolas las cantidades estimadas de aguas residuales industriales generadas por el beneficiado húmedo del café a nivel del país han variado de 2,199,436 a 4,200,000 metros cúbicos de aguas mieles (calculado con un consumo mínimo de 2.00 metros cúbicos por quintal oro)⁴, con un equivalente poblacional entre 1,374,317 a 2,624,369 personas por año, es decir una contaminación que puede generar entre el 26.7% y el 51.0% de la población total nicaragüense⁵ (Ver Apéndice J: Graficas Ilustrativas; Grafica J.1. Grafica de aguas mieles y pulpa de café según su ciclo agrícola).

Las gestiones ambientales del beneficiado húmedo del café, está regulado a través de leyes, reglamentos, resoluciones y normas ambientales del país, a pesar de la existencia de estas regulaciones no hay ningún control. Tratar las aguas residuales industriales se considera como un gasto sin recuperación para las industrias del país. Una solución es diseñar sistemas de tratamientos con procesos naturales en la limpieza de sus aguas residuales, con menos costos de inversión y mantenimiento y que puedan generar subproductos que beneficien a los productores del café y al medio ambiente.

Ante la inexistencia de un sistema de tratamiento para las aguas residuales generadas por el beneficio húmedo de la finca La Esperanza, el agua de la quebrada El Cambalache de la localidad está en peligro, en donde se abastece la población

⁴Documento Borrador: Plan Nacional de Desarrollo Competitivo de la Caficultora en Nicaragua 2007 – 2011 /CONACAFE – MAGFOR; Marzo 2007. ⁵Censo del 2005 establece una población de 5.142,098 habitantes.

cercana del lugar. El estudio surge de la necesidad de evitar la contaminación del Medio Ambiente, proteger la salud pública y hacer uso de los subproductos generados del sistema de tratamiento, proporcionando una propuesta de tratamiento para este tipo de aguas residuales.

Además de contribuir a la preservación del medio ambiente y la salud humana, con la aplicación del Sistema de Tratamiento para las Aguas Residuales industriales generadas en el beneficio húmedo de la finca La Esperanza, también se aprovecharán los subproductos generados por el mismo, tales como: 1) biogás, como fuente de energía, 2) El efluente será usado para riego de los mismos cafetales y otros cultivos que posea el dueño de la finca.

1.4.- OBJETIVOS

1.4.1.- Objetivo general

Diseñar un sistema de tratamiento de aguas residuales compuesto por un Reactor Anaeróbico y Biofiltros para el tratamiento de las aguas mieles generadas en el beneficio húmedo de café: Finca La Esperanza, en el municipio de Dipilto, Nueva Segovia.

1.4.2.- Objetivos específicos

- 1) Recopilar información sobre la problemática ambiental actual del beneficio húmedo del café de la finca La Esperanza, para el tratamiento de sus aguas residuales.
- 2) Determinar el caudal de diseño en base al consumo de agua actual y su proyección.
- 3) Determinar los criterios de diseño, en base a información de otros beneficios del país que posean las mismas características.
- 4) Diseñar cada una de las unidades del sistema de tratamiento para las aguas residuales industriales del beneficio húmedo del café a partir del caudal de diseño y características fisicoquímicas de las aguas residuales investigadas.
- 5) Determinar la remoción esperada de cada una de las etapas del sistema, y comparar según los valores normados en el artículo 38 del decreto No. 33-95 del Ministerio del Ambiente y los Recursos Naturales, para el beneficiado húmedo del café.
- 6) Dibujo de los planos constructivo de la PTARI.
- 7) Examinar las alternativas posibles de uso del subproducto biogás, generado en la degradación anaerobia del reactor para beneficio de la finca.



CAPÍTULO II:
MARCO TEÓRICO

2.1.- MARCO TEÓRICO

2.1.1.- Aguas residuales o aguas servidas

Las aguas residuales resultan después de haber sido utilizadas en nuestros domicilios, en las fábricas, en actividades ganaderas, etc. Las aguas residuales aparecen sucias y contaminadas: llevan grasas, detergentes, materia orgánica, residuos de la industria y de los ganados, herbicidas y plaguicidas y en ocasiones algunas sustancias muy tóxicas.

Con frecuencia se diferencia entre aguas servidas y aguas residuales en el sentido que las primeras solo provendrían del uso doméstico y las segundas corresponderían a la mezcla de aguas domésticas e industriales. Estas aguas residuales, antes de volver a la naturaleza, deben ser depuradas. Para ello se conducen a las plantas o estaciones depuradoras, donde se realiza el tratamiento más adecuado para devolver el agua a la naturaleza en las mejores condiciones posibles.

2.1.1.1.- Tipos de aguas residuales según su origen

a) Aguas residuales domésticas y comerciales

Son las que provienen de viviendas, edificios públicos, locales comerciales 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.

b) Aguas residuales industriales

Son aquellas que proceden de cualquier actividad o negocio en cuyo proceso de producción, transformación o manipulación se utilice el agua. Son enormemente variables en cuanto a caudal y composición, difiriendo las características de los vertidos, no sólo de una industria a otro, sino también dentro de un mismo tipo de

industria. Su alta carga unida a la enorme variabilidad que presentan, hace que el tratamiento de las aguas residuales industriales sea complicado, siendo preciso un estudio específico para cada caso.

c) Aguas residuales agrícolas

Las aguas de usos agrícolas y pluviales urbanas están adquiriendo cada día mayor importancia, debido a que los escurrimientos de fertilizantes (fosfatos) y pesticidas representan los principales causantes del envejecimiento de lagos y pantanos proceso llamado eutrofización.

d) 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 ésta hacia el sistema de alcantarillado a través de tuberías y otras instalaciones defectuosas.

e) Agua de lluvia

Incluye todas las formas de precipitación: lluvia, nieve, granizo y niebla.

2.1.1.2.-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 industriales 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.

2.1.1.3.- Clasificación de los contaminantes de las aguas residuales

Las sustancias contaminantes que pueden aparecer en un agua residual son muchas y diversas. Los contaminantes del agua se clasifican en:

* Contaminantes químicos

Estos componen tanto productos químicos orgánicos como inorgánicos. El aspecto fundamental de la contaminación de productos orgánicos es la disminución del oxígeno como resultante de la utilización del existente en el proceso de degradación biológica, llevando con ello a un desajuste y a serias perturbaciones en el medio ambiente. En el caso de compuestos inorgánicos el resultado más importante es su posible efecto tóxico, más que una disminución de oxígeno. Sin embargo, hay casos en los cuales los compuestos inorgánicos presentan una demanda de oxígeno, contribuyendo a la disminución del mismo. Sus características son:

- a) *pH*: El rango de existencia de vida biológica oscila entre: 5 – 9. Parámetro importante para el tratamiento.
- b) *Alcalinidad*: Su función neutralizar ácidos, la encontramos en presencia de hidróxidos, carbonatos y bicarbonatos. En sistemas anaerobios o de nitrificación amortigua ácidos.
- c) *Los compuestos inorgánicos*: Agregados a las aguas durante su uso son principalmente: sales, nutrientes, trazas de elementos y tóxicos.

* Contaminantes orgánicos

Son compuestos cuya estructura química está compuesta fundamentalmente por carbono, hidrógeno, oxígeno y nitrógeno. Son los contaminantes mayoritarios en

vertidos urbanos y vertidos generados en la industria agroalimentaria. Los compuestos orgánicos que pueden aparecer en las aguas residuales industriales son:

- a) *Proteínas*: Proceden fundamentalmente de excretas humanas o de desechos de productos alimentarios. Son biodegradables, bastante inestables y responsables de malos olores. Son portadores de nitrógeno y fósforo.
- b) *Carbohidratos*: Incluimos en este grupo azúcares, almidones y fibras celulósicas. Proceden, al igual que las proteínas, de excretas y desperdicios.
- c) *Aceites y Grasas*: Son todas aquellas sustancias de naturaleza lipídica, que al ser inmiscibles con el agua, van a permanecer en la superficie dando lugar a la aparición de natas y espumas. Estas natas y espumas entorpecen cualquier tipo de tratamiento físico o químico, por lo que deben eliminarse en los primeros pasos del tratamiento de un agua residual. Son altamente estables, proceden de desperdicios alimentarios en su mayoría, a excepción de los aceites minerales que proceden de otras actividades.
- d) *Otros específicos*: Incluiremos varios tipos de compuestos, como los tensoactivos, fenoles, organoclorados y organofosforados, etc. Su origen es muy variable y presentan elevada toxicidad.

- Medida del Contenido Orgánico

Los métodos para determinar el contenido orgánico en el agua son: DBO₅, DQO y COT. El grado de contaminación de las aguas residuales industriales 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).

➤ *La DQO, o demanda química de oxígeno:* La carga contaminante de las aguas residuales industriales también puede expresarse mediante la DQO (demanda bioquímica 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. Existe una relación de DBO_5 / DQO que posee una medición que nos proporciona el tipo de agua residual y tratamiento a emplear:

- DBO_5/DQO entre 0.3 y 0.8 = ARD.
- $DBO_5/DQO > 0.5$, tratamiento biológico.
- $DBO_5/DQO < 0.3$ 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 CO_2 formado. Teóricamente, la cantidad de carbono orgánico puede variar entre aproximadamente 8% (para CCl_4) y 94% (para $C_{10}H_8$ - 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 industriales 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.

* Contaminantes inorgánicos

Son de origen mineral y de naturaleza variada: sales, óxidos, ácidos y bases inorgánicas, metales pesados, etc. Aparecen en cualquier tipo de agua residual, aunque son más abundantes en los vertidos generados por la industria. Los componentes inorgánicos de las aguas residuales industriales estarán en función del material contaminante así como de la propia naturaleza de la fuente contaminante. Un ejemplo clásico de contaminante inorgánico es la arena. Entendemos como tales, a una serie de particular de tamaño apreciable y que en las masas de agua cuando están en movimiento, o bien forman depósitos de lodos si encuentran condiciones adecuadas para sedimentar.

- ◆ Conductividad: Es la capacidad de una solución para conducir la corriente eléctrica. Indicador de la concentración de sólidos disueltos totales.
- ◆ pH: El rango de existencia de vida biológica oscila entre: 5 – 9. Parámetro importante para el tratamiento.
- ◆ 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: sales, nutrientes, trazas de elementos y 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: $\text{pH} < 9.3$ - Amoniaco: $\text{pH} > 9.3$), nitritos, nitratos y nitrógeno orgánico.
 - *Fósforo*: En un nutriente esencial. Las aguas residuales domésticas pueden tener entre: 4 - 12 mg/L. 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 microelementos 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.
- e) *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.
- 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.
 - Dióxido de carbono (CO_2), la concentración es función del pH y el equilibrio químico del agua, también se encuentran monóxido de carbono (CO). El CO_2 en el agua es producido durante la respiración de microorganismos en aguas residuales y como producto de la descomposición biológica.
 - Metano CH_4 , de la descomposición anaerobia de materia orgánica. Se encuentra en condiciones anaerobias donde hay descomposición en condiciones anóxicas.
 - 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.

- 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.

* Contaminantes físicos⁶

Los contaminantes físicos son aquellos que no alteran la naturaleza del agua residual, se definen las siguientes:

- a) *Cambios térmicos*: La temperatura es un parámetro muy importante por su efecto en la vida acuática, en las reacciones químicas, velocidades de reacción y en la aplicabilidad del agua a usos útiles, como el caso de las aguas provenientes de las plantas industriales, relativamente calientes después de ser usadas en intercambiadores.

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.

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.

- b) *El color*: Determina cualitativamente el tiempo de las aguas residuales, es por ello que si el agua es reciente esta suele ser gris; sin embargo como quiera los

⁶. Ingeniería Sanitaria, Tratamiento, Evacuación; Metcalf & Eddy; México, Mc Graw- Hill, 1995.

compuestos orgánicos son descompuestos por las bacterias, el oxígeno disuelto en el agua residual se reduce a cero y el color cambia a negro.

- c) *La turbidez*: Originada por los sólidos en suspensión.
- d) *Olor*: El agua residual fresca da un olor inofensivo. Podemos mencionar algunos generadores de olores como son: indol, eskatol, mercaptanos, sulfuro de hidrógeno.
- e) *Sólidos totales*: 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.

* Contaminantes biológicos

Son organismos que pueden ir en mayor o menor cantidad en las aguas residuales industriales y que son capaces de producir o transmitir enfermedades (El cólera y la tifoidea). Dentro de los contaminantes biológicos están los:

- a) *Microorganismos*: En las aguas residuales industriales pueden ser protistas, vegetales y animales. Entre los protistas encontramos bacterias, hongos, protozoos y algas.
- b) *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.

2.1.1.4.- Impactos que ocasionan los contaminantes de las aguas residuales

Los impactos de las aguas residuales de industrias se reflejan en la siguiente tabla:

Tabla 1.- Impacto que ocasionan los contaminantes del agua residual

Contaminante	Parámetro	Impacto que ocasiona
Sólidos suspendidos	Sólidos suspendidos totales, SST	Cuando los residuos no tratados son volcados en el ambiente acuático, esto conlleva al desarrollo de depósitos de barro (lodo), lo que provoca condiciones anaerobias.
Compuestos orgánicos biodegradables	DBO DQO	Compuesto principalmente de proteínas, carbohidratos y grasas, por lo general, se mide en términos de DBO y DQO. Al encontrarse en el ambiente sin tratarse previamente, su estabilización biológica puede llevar al consumo del oxígeno natural y al desarrollo de condiciones sépticas.
Nutrientes	Nitrógeno Fosforo	Nitrógeno y fosforo, junto con el carbono son nutrientes esenciales para la vida acuática. La presencia de estos provoca el desarrollo de una vida acuática no deseable (excesivo crecimiento de algas, lo que conlleva a reducción de biodiversidad acuática debido a disminución de la concentración de oxígeno y problemas tóxicos). También pueden contaminarse las aguas subterráneas.

Fuente: Centro de Producciones más limpias Nicaragua (CPML)

2.1.2- Beneficiado húmedo del café

Es el proceso que remueve las envolturas que cubren la semilla del fruto del café, desarrollándose generalmente la actividad entre los meses de octubre a di-

⁷ IICA, MAGFORT, JICA / Nicaragua 2004.

ciembre de un año y enero a marzo del siguiente año⁷. El beneficiado húmedo se realiza en dos fases denominadas vía húmeda y vía seca, la primera debe su nombre al uso de agua para el proceso y la segunda a raíz de efectuarse las operaciones en ausencia total de agua.

2.1.2.1.- Tipos de beneficios en Nicaragua⁸

- a) *Beneficios tradicionales (Existencia del 37% a nivel nacional)*: pertenecientes a estructuras familiares, construidos treinta años atrás con tecnología generada a mediados del siglo pasado, sin adaptabilidad a procesos novedosos de selección y clasificación del grano, dónde se realizan labores de mantenimiento, reparación o reemplazo de maquinaria y equipo por deterioro o desperfectos. Estos beneficios tienen capacidad instalada limitada, y los efluentes generados en el proceso de despulpe (pulpa y aguas mieles de despulpe) y proceso de lavado y clasificación (aguas mieles de lavado), son vertidas sobre los cuerpos superficiales de agua (quebradas, criques o ríos).
- b) *Beneficios empresariales (Existencia del 47% a nivel nacional)*: propiedad de productores independientes o forman parte de la organización del exportador, son instalaciones con infraestructura moderna y su funcionamiento se basa en la organización y dinámica empresarial; siendo la producción procesada en estos beneficios, controlada por tres compañías nacionales y cuatro extranjeras.
- c) *Beneficios independientes (Existencia del 16% a nivel nacional)*: propiedad de empresas privadas o grupos cooperativos que acopian y exportan el grano oro (verde).

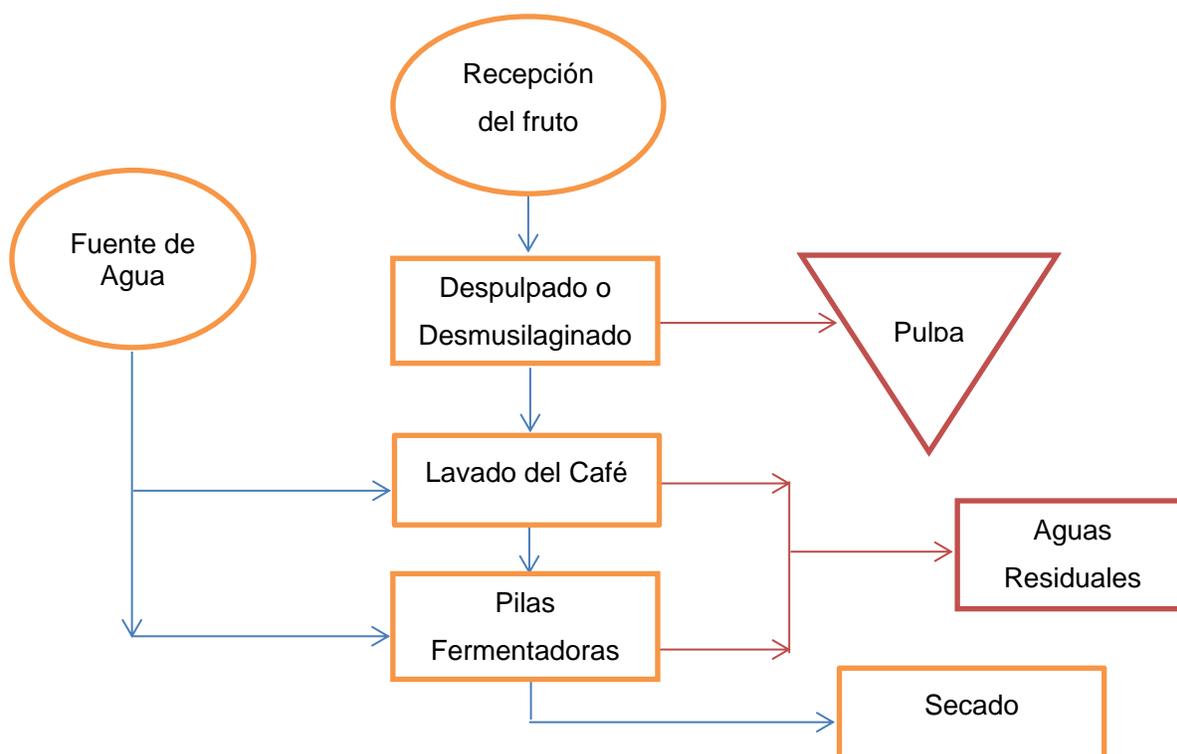
⁸. Documento la “Cadena Industrial del Café de Nicaragua”, IICA, MAGFORT, JICA / Nicaragua 2004.

2.1.2.2.- Proceso del beneficiado húmedo⁹

Se define como la transformación del fruto de café maduro a café pergamino seco de punto comercial, a través de las siguientes etapas:

Recolección del fruto, recibo y clasificación del fruto, despulpado del fruto, clasificación del café despulpado, remoción del mucílago del café despulpado, lavado del café fermentado, clasificación del café lavado, secamiento del café lavado, almacenamiento del café seco y manejo de los subproductos se muestra en el siguiente Flujo grama, los procesos que realiza la finca La Esperanza en su beneficiado húmedo del café:

Flujo grama 1.- Proceso de beneficiado húmedo del café: Finca La Esperanza



Fuente: Finca La Esperanza

⁹. https://www.anacafe.org/glifos/index.php/Caficultura_BeneficiadoHumedo

A continuación, se mencionan los procesos e instrumentos utilizados en beneficiado húmedo del café desde el fruto hasta llegar al grano oro de café:

◆ Clasificación del fruto

Es una de las etapas del proceso de beneficiado húmedo que nunca se debe eliminar, es necesaria, dado que las plantaciones de café son afectadas por plagas y enfermedades, que generan frutos de menor densidad (flotes y vanos), por lo que se debe clasificar el fruto en sifones de paso continuo de un metro cúbico de capacidad y sistemas de cribado para flotes. También separan piedras y basuras que pueden provocar deterioro a la maquinaria de despulpado, se deben limpiar diariamente para evitar granos rezagados, que podrían dañar la partida del día siguiente.

Fotografía 1.- Clasificado del fruto del café



Fuente: Finca La Esperanza

◆ Despulpado del fruto

Es la fase mecánica del proceso en la que el fruto es sometido a la eliminación de la pulpa (epicarpio), se realiza con máquinas que aprovechan la cualidad lubricante del mucílago del café, para que por presión suelten los granos. Si la operación

se realiza dañando el pergamino o el propio grano, entonces el defecto permanecerá a través de las distintas etapas del beneficiado, provocando trastornos en el punto de fermentación y secamiento, alterando por consiguiente la calidad de la bebida. Como los sistemas de despulpado funcionan en forma mecánica, es imposible despulpar completamente frutos de distintos tamaños, por eso es preferible que pase fruto sin ser despulpado, a que se lastimen o quiebren.¹⁰

Debe despulsarse el mismo día del corte, después de 4 horas de despulpado el grano debe echarse en otra pila de fermentación para evitar fermentaciones disparadas, limpiar diariamente el despulpador para evitar granos y pulpas rezagadas que podrían dañar la partida del día siguiente.

Es importante incorporar despulpadores que estén diseñados para operar en seco, lo que contribuirá a evitar la contaminación generada en el proceso de beneficiado.

Algunas de las ventajas de no utilizar agua en el despulpado son:

- Reducción del tiempo de fermentación
 - No se contamina el agua.
 - Preservación de los nutrientes orgánicos de la pulpa.
 - El beneficio no queda supeditado a la disponibilidad de grandes cantidades de agua.
-
- La zaranda

Consisten en planchas metálicas perforadas en forma oval reciben el café en uno de sus extremos, y oscilan en el plano horizontal, desplazando el café de segunda y la cáscara al otro extremo, para que sea descargado a un despulpador de repaso. El grano normal, bien despulpado, cae a través de las perforaciones (el tama-

¹⁰ Menchú, 1973.

ño de estas debe estar de acuerdo con el café a despulpar) y es conducido a pilas de fermentación de primera. Se recomienda una por despulpador y su tamaño va depender de la capacidad de dicho despulpador.

La mayor efectividad se logra cuando el café despulpado entra a la zaranda en forma laminar y no en chorro, deben operar entre 300 a 350 movimientos por minuto. Es necesario realizar la limpieza diaria de dichos equipos para evitar que se contamine la partida del día siguiente, por granos despulpados rezagados.

Fotografía 2.- Despulpado del fruto del café



Fuente: Finca La Esperanza

◆ Remoción del Mucílago del café despulpado (Fermentación natural)

El mucílago o miel representa entre el 15.5 y el 22 % en peso del fruto maduro, por tratarse de un material gelatinoso insoluble en el agua (hidrogel) es necesario solubilizarlo para convertirlo en un material de fácil remoción en el lavado (hidrosol). Para esto es necesario forzarlo a su degradación mediante la fermentación natural (bioquímica), en tanques o pilas de madera, concreto, ladrillo, plástico, fibra de vidrio, etc. en períodos de tiempo que van de 6 a 48 horas dependiendo de la temperatura ambiente, capacidad de drenaje de los tanques, altura de la masa

de café, calidad del agua utilizada en el despulpado, estado de madurez del fruto, microorganismos presentes, etc. Este sistema se le conoce como tradicional y es el que se ha empleado durante muchos años en diferentes países.

Para determinar el punto de lavado o de fermento, es necesario muestrear constantemente y se puede hacer introduciendo un palo rollizo en diferentes partes de la masa de café en el tanque hasta tocar el fondo, si al sacarlo queda hecho el orificio, entonces se toman muestras de café de diferentes puntos del tanque, se lava luego se frota con las manos y si le da un sonido a cascajo o se siente áspero al tacto es señal que ya está listo para lavar. Las pilas de fermentación deben lavarse todos los días para evitar granos rezagados que contaminarían la partida del día siguiente.

Fotografía 3.- Preparación del café para su fermentación natural



Fuente: Finca La Esperanza

◆ Lavado del café fermentado (Lavado manual)

Es la operación de quitar la miel que queda adherida al pergamino, por medio de la inmersión y paso de una corriente de agua en un canal de correteo o clasificación utilizando paletas de madera.

Fotografía 4.- Preparación del canal para el lavado del café



Fuente: Finca La Esperanza

◆ Secamiento del café lavado

El proceso de beneficiado húmedo termina cuando logramos bajar la humedad del café hasta punto comercial (10-12% del grano oro). El grano del café se constituye como uno de los más difíciles de secar debido a varias razones:

- a) Posee un alto contenido de humedad al salir de la clasificación (canal correteo), aproximadamente 50-55%. Otros granos al momento de cosecharlos poseen 20% de humedad (maíz, arroz).

- b) El pergamino y el grano poseen diferentes características físico-químicas. El pergamino se endurece durante el secamiento, sobre todo si se efectúa en forma violenta con el uso de altas temperaturas. El grano contiene células que reducen su tamaño durante el proceso de secamiento. Entonces se forma una cámara de aire entre ambos que interfiere con la transferencia de calor hacia el interior del grano y con el paso hacia el exterior de la humedad, en forma de vapor de agua.

c) Existe volatilización de los componentes aromáticos si se emplean altas temperaturas durante el secado, afectando la calidad del café. El recalentamiento del grano afecta la apariencia física, así como las características de la taza. La masa de café puede alcanzar y tolerar durante unas pocas horas (4 a 10) a 50 grados centígrados de temperatura, sin deterioro sensible de taza; pero solamente un período menor de una hora a 60 grados centígrados de temperatura.

➤ Secado natural

El secamiento al sol es la práctica más común, en lugares donde puede aprovecharse la energía solar y la energía propia del aire, además los costos de inversión en equipos y los costos de operación son razonablemente más bajos. Algunas recomendaciones generales para el proceso son:

- a) El grosor del café lavado en el patio es de 5 a 6 centímetros y debe moverse constantemente para obtener un punto parejo. Por cada metro cuadrado de patio caben 70 libras de café lavado (50-55% de humedad).
- b) No se deben mezclar cafés de diferentes soles, el secamiento es disparejo.
- c) No debe extenderse el café cuando el patio esté muy caliente, se puede rajar el pergamino, de preferencia aprovechar las primeras horas de la mañana.
- d) Los patios deben limpiarse todos los días, para evitar que se contamine la partida nueva.
- e) Construir los patios de concreto con una pendiente longitudinal máxima del 2%.
- f) Construir casillas para resguardar el grano en caso de lluvia y por la noche.

Fotografía 5.- Secado natural del café en beneficio seco

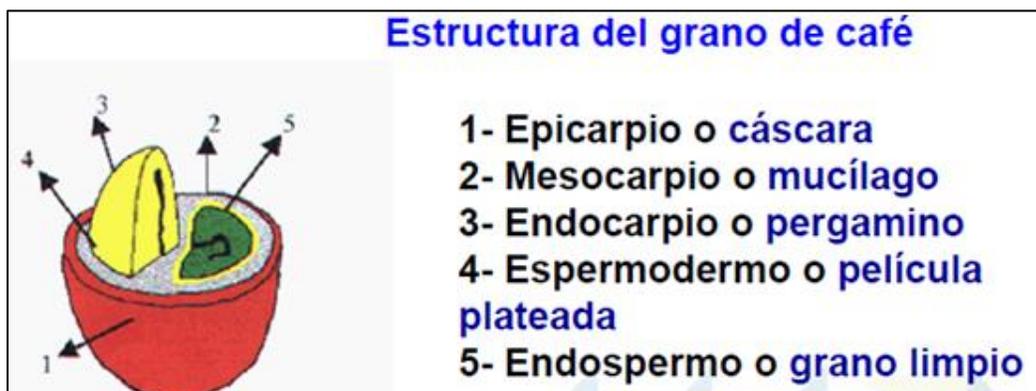


Fuente: *Beneficiado seco del café en la ciudad de Dipilto*

2.1.2.3.- Subproductos contaminantes del beneficiado del café

- a) *La Pulpa*: Dentro de los subproductos sólidos, la pulpa es la más voluminosa. La composición química de este residuo, al sufrir un proceso de fermentación, puede provocar que se formen cargas orgánicas de 20 Kg por quintal oro procesado, esto como un desecho sólido no reutilizado. Las aguas del despulpado pueden generar hasta un máximo en términos de D.Q.O., de 52,277 mg O₂ /Litro, equivalente siempre en términos de D.Q.O a 7.18 Kg O₂ /quintal oro.
- b) *El Mucílago*: Puede poseer una carga orgánica, en el agua del primer lavado, expresado en D.Q.O., de 26,535 mg O₂ /Litro, equivalente a 3.64 Kg. O₂ /quintal oro producido. El mucílago representa entre 20 y 22% del peso del fruto y conforma una importante proporción de la carga orgánica potencial, por su alto contenido de azúcares, pectinas y ácidos orgánicos.
- c) *La Cascarilla o Cascabillo*: El pergamino suelto es un subproducto que representa alrededor del 4.5 ó 5% del peso del fruto del café; no representa riesgo contaminante en el beneficio húmedo y es un valioso material que puede utilizarse como combustible sólido en el secamiento mecánico del café. Genera aproximadamente 4,000 kilocalorías por kilogramo.

Imagen 1.- Estructura del grano de café



Fuente: Centro de Producciones más limpias Nicaragua (CPML)

2.1.3.- Aguas mieles del café (Aguas Residuales Industriales)

Es el agua utilizada en el beneficio húmedo para despulpar y lavar el café, convirtiéndose en agua residual (agua-miel). Su naturaleza química está relacionada con la composición físico-química de la pulpa y el mucílago, debido a que estos dos elementos proporcionan partículas y componentes durante el contacto turbulento e intenso con el agua limpia. Así se origina su aporte como carga orgánica, del primero y segundo lavado.

Se encuentran composiciones química del agua miel en procesos de despulpe y lavado. En el despulpe del café hay compuestos de proteínas, taninos, ácidos Clorogenicos, Acido Cafeico, Cafeina y Azucares. En el proceso de lavado tenemos sustancias pépticas, celulosas y azucares a como se muestra en la siguiente tabla con su porcentaje de concentración.

Tabla 2.- Composición química del agua miel en procesos de despulpe y lavado

COMPUESTOS		COMPOSICION DEL AGUA MIEL				
		% Concentración	Materia Extraída (Kg/QQ oro)	Estimado DQO (Kg/QQ oro)		
Agua	Despulpe	Proteínas	12.00	0.16	0.25	9.1%
		Taninos	2.40	0.14	0.27	9.8%
		Ácido Clorogénico	2.60	0.28	0.4	14.5%
		Ácido Cafeico	0.07	0.01	0.02	0.7%
		Cafeína	1.60	0.29	0.57	20.7%
		Azucares	8.30	1.13	1.24	45.1%
	TOTAL		26.97	2.01	2.75	100.0%
	Lavado	Sustancias Pépticas	35.80	1.45	1.2	29.5%
		Celulosa	45.90	1.85	2.04	50.1%
		Azucares	17.00	0.69	0.83	20.4%
TOTAL		98.70	3.99	4.07	100.0%	
TOTAL				6.82	Kg DQO / QQ oro	

Fuente: Estudio de Ramas Industriales RAMA-CAFÉ / MARENA-FPP

2.1.3.1.- Tipos de contaminantes en las aguas mieles

Los contaminantes que caracterizan estas aguas residuales industriales son: DBO₅, DQO, pH, sólidos suspendidos, sólidos sedimentables y grasa y aceite. Siendo de mayor preocupación el pH, por ser de valores muy bajos, en cambio los sólidos suspendidos y DQO presenta valores muy altos en cada etapa. La siguiente tabla, da un ejemplo de las características de estas aguas residuales industriales en un caudal de 162.25 m³/d en el despulpado y un caudal de 209.03 m³/d en el lavado.

Tabla 3.- Caracterización del agua residual de beneficio húmedo del café

Parámetros	Rangos y Límites Máximos Permisibles	Despulpado		Lavado	
		Agua del despulpe	Salida del filtro hidrostático	Afluente a la pila	Efluente de la pila
pH	6.5 – 9	5.32	5.25	4.30	3.98
DQO, mg/l	200	32,096	36,785	14,305	11,660
DBO ₅ , mg/l	120	17,500	24,334	5,973	4,634
N - Kjeldahl, mg/l	Ausente	360.30	435.40	245	232.40
Fosfato totales, mg/l	Ausente	45.33	59.10	24.32	25.20
Solidos suspendidos, mg/l	150	2,760	3,923	5,810	4,042
Solidos sedimentales, mg/l	1.00	3	0.50	0	0
Grasas y Aceites, mg/l	10	18	15	27.60	12.20

Fuente: Centro de Producciones más limpias Nicaragua (CPML)

2.1.4.- 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.

2.1.4.1.- Sistema de tratamiento de aguas residuales

El tratamiento de aguas residuales consiste en una serie de procesos físicos, químicos y biológicos que tienen como fin eliminar los contaminantes físicos, químicos y biológicos presentes en el agua, efluente del uso humano o industrias. Los

procesos utilizados en el tratamiento de agua residual se pueden clasificar en 3 grandes grupos:

- ✓ Operaciones unitarias físicas
- ✓ Procesos biológicos unitario
- ✓ Procesos químicos unitarios

* Operaciones unitarias físicas

Estos son los primeros procesos utilizados en el tratamiento de aguas residuales, utilizan las leyes de la física como principio de operación. Hoy en día se presentan en casi todas los sistemas de tratamiento de agua residual. Los principales procesos de esta clase son: Tamizado, Aireación, Mezcla y floculación, Filtración, Sedimentación, Flotación, Homogenización.

* Procesos químicos unitarios

Son los procesos empleados en el tratamiento de las aguas residuales industriales en los que se producen las transformaciones mediante reacciones químicas. Con el fin de alcanzar los objetivos de tratamiento del agua residual, los procesos químicos unitarios se llevan a cabo en combinación con las operaciones físicas unitarias. Los procesos químicos unitarios más comúnmente usados son:

- ✓ Oxidación.
- ✓ Neutralización
- ✓ Precipitación química
- ✓ Desinfección
- ✓ Coagulación o Intercambio iónico

* Procesos biológicos unitarios

Son los métodos de tratamiento en los que la remoción de los contaminantes se lleva a cabo por la actividad biológica de los microorganismos. La remoción de la materia orgánica biodegradable tanto coloidal como disuelta por acción biológica,

constituye la principal aplicación de este tipo de proceso. Los procesos biológicos en el agua residual, gracias a la acción de una variedad de los microorganismos, son:

- ✓ La eliminación del material orgánico carbonoso disuelto.
- ✓ La eliminación de nutrientes como el nitrógeno y el fósforo.
- ✓ La coagulación y eliminación de los sólidos coloidales no sedimentables.
- ✓ La estabilización de la materia orgánica.

2.1.5.- Etapas de tratamiento de aguas residuales

En el tratamiento de aguas residuales industriales se pueden distinguir hasta cuatro etapas que comprenden procesos químicos, físicos y biológicos:

2.1.5.1.- Tratamiento preliminar

Se trata de un tratamiento previo, diseñado para remover partículas grandes, tales como plásticos, pelos, papeles, etc., ya sea que floten o se sedimenten, antes de que lleguen a las unidades de tratamiento posteriores. Aquí se emplean mayoritariamente rejillas o tamices.

a) Rejas

Se conocen como rejillas todo tipo 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 fun-

cionamiento 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.

Imagen 2.- Canal de Entrada con Rejas



Fuente: Sistema de tratamiento de AR., del Matadero PROINCASA

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/m^3 , con la excepción de cuando se quiera remover partículas de arena con diámetros diferentes.¹¹

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 remo-

¹¹ Norma Bolivariana NB 688 Instalaciones sanitarias - Alcantarillado sanitario, pluvial y tratamiento de aguas residuales; Dirección General de Saneamiento Básico DIGESBA, 2001.

ver, 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.¹²

Imagen 3.- Desarenador



Fuente: Sistema de tratamiento Chichigalpa

2.1.5.2.- Tratamiento primario

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.

a) 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

¹² <http://fluidos.eia.edu.co/suministroydisposiciondeaguas/temasdeinteres/desarenadores/desarenadores.htm>

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.

Imagen 4.- Pila de Hidrolisis



Fuente: STAR, Beneficio de café Santa Emilia

b) 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.

Imagen 5.- Criba Hidrostática



Fuente: Sistema de tratamiento de AR., del Matadero PROINCASA

c) Reactor

Un reactor 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.

* Reactores anaeróbicos

Más conocidos como biodigestores es un contenedor cerrado, hermético e impermeable (llamado reactor), dentro del cual se deposita el material orgánico a fermentar en determinada dilución de agua para que a través de la fermentación anaerobia se produzca biogas y fertilizantes orgánicos ricos en nitrógeno, fósforo y potasio, y además, se disminuya el potencial contaminante de los excrementos. Son utilizados generalmente para tratar sustratos concentrados con alto contenido de sólidos con altas cargas orgánicas.

Imagen 6.- Reactor Anaerobio



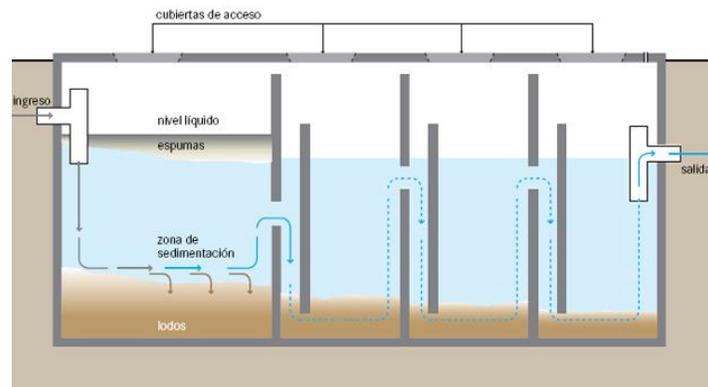
Fuente: Sistema de tratamiento Lácteos La Montaña

Un reactor 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. Dentro de los reactores hay muchos tipos, entre ellos están:

- 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

Imagen 7.- Flujo grama de un Reactor anaerobio



Fuente: Sistema de Información del Diagnóstico Sanitario Rural
(Aguas del Huila en Colombia)

➤ Etapas de la digestión anaeróbica¹³

La degradación anaerobia es realizada por la actividad de tres tipos de bacterias anaerobias: fermentativas, acetanogénicas 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.

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

¹³. Diseño de una planta de biogás en el Rastro de Granada; Claudia Marina Lorente Fiallos, Filo Javier Miranda Rojas; Agosto, 1998 (Monografía).

contacto con los microorganismos. En el presente caso, esta etapa se dará en menor escala en el digestor, ya que mayor parte de ésta ocurrió en la pila de hidrólisis.

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 STR principalmente ácidos orgánicos saturados (acetato, propionato, butirato), H₂, CO₂. En dependencia de las condiciones ambientales del proceso (pH y presión parcial de H₂) 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.

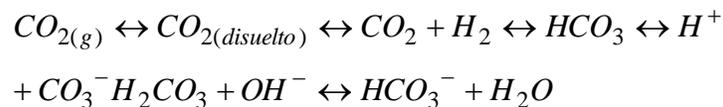
c) Acetogénesis: Existen dos procesos principales del metano, el ácido acético y el hidrógeno, de tal forma que los demás productos de la fase anterior deben ser ne-

cesariamente transformados a estos dos. Se realiza con las bacterias acetogénicas productoras de hidrógeno y las consumidoras de hidrógeno.

d) *Metanogénesis*: Esta etapa es la más importante del proceso, pues es en ella es 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 hidrogenoclásticas.

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.

e) *pH*: Es un parámetro de control muy importante en el proceso anaerobio, ya que su valor puede influir en la actividad de diferentes microorganismos presentes en la digestión anaerobia. Se recomienda generalmente un rango de pH entre 6 y 8. El pH de una fermentación resulta principalmente de la reacción de productos del metabolismo ácido o básico y del sistema tampón. El tampón más importante de una fermentación de metano es el sistema CO_2/HCO_3 . El CO_2 se disuelve en agua, con formación parcial de ácido carbónico que luego se disocia en HCO_3^-/H^+ .



El ácido carbónico reacciona con iones hidróxilos que proceden de la reacción de amoníaco generado en la degradación de las proteínas. Las causas de descensos del pH son, entre otras:

- Aumento repentino de la carga
- Incremento en la toxicidad de la materia prima
- Cambio súbito de la temperatura

En los diferentes grupos de microorganismos se tienen diferentes pH; las bacterias hidrolíticas operan mejor entre pH de 7.2 y 7.4, las acetogénicas en pH debajo de 6.5 disminuye la actividad metanogénica y solo persiste la actividad de los otros grupos, pero limitada. A un pH menor de 4.5 cesa toda actividad microbiana.

g) *Temperatura*: Según la temperatura presente en el digestor, la fermentación anaerobia puede dividirse de acuerdo al trabajo de las diferentes bacterias en las siguientes fases y rangos de temperatura:

- Fermentación psicrófila: (10-20 °C)
- Fermentación mesófila (20-50°C)
- Fermentación termófila (50-60°C)

La mayoría de las bacterias que participan en la generación de metano tiene una temperatura óptima en el rango mesófilico de 33-45°C. Esto significa que una gran parte de las bacterias metanogénicas siempre vivirán a temperaturas menores que su temperatura óptima.

g) *Sustancias de influencia*: Estas son sustancias producidas durante la fermentación o introducidas al sistema:

- *Antiácidos y desinfectantes*

Estos son muy perjudiciales para el proceso, por tal razón se debe evitar al máximo su ingreso al digestor anaerobio, ya que pueden causar severos daños en la flora bacteriana.

- *Ácido sulfhídrico*

Este se forma por la descomposición de la materia orgánica que contiene azufre por la reducción de sulfitos y sulfatos minerales. No se forma en presencia de un abundante suministro de oxígeno. Se trata de un gas incoloro, inflamable, que tiene olor característico de huevos podridos. El ennegrecimiento del agua residual y del fango se debe generalmente a la formación de sulfuro de hidrógeno que se combina con el hierro presente para formar sulfuro ferroso (SFe). Aunque el sulfuro de hidrógeno es el gas formado más importante desde el punto de vista de los olores, pueden formarse otros compuestos volátiles, tales como el indol, escatol y mercaptanos durante la descomposición anaeróbica que pueden producir olores peores que el del sulfuro de hidrógeno.

- *Amoníaco*

Es otro agente inhibidor potencial del proceso anaerobio y se encuentra en equilibrio químico con el ión amonio de mayor capacidad tóxica. Este es generado por la actividad de las bacterias proteolítica que degradan la proteína sostenida en el sustrato. Cuando el amoniaco se presenta en ciertas concentraciones es tóxico para las bacterias. La capacidad toxicidad no solamente depende de la concentración absoluta en el sustrato, sino también de la adaptación de las bacterias, del pH y otros factores. Por lo general en el alcance de 1500-1300 mg/L de NH_4^+ (a un $\text{pH} > 7.4$) se debe contar con una concentración inhibitoria de NH_3 , a concentraciones mayores el ión amonio por sí mismo ya es tóxico.

- *Ácidos grasos volátiles*

Son generados en el transcurso de la fermentación por el trabajo de las bacterias fermentativas y acetogénicas, pero existen sustratos que ya tienen un contenido alto de ácidos grasos volátiles. Aunque son productos del metabolismo, en concentraciones elevadas ellos provocan una inhibición del proceso. Es decir en el caso de la actividad demasiado alto de las bacterias fermentativas o muy bajas de

las acetogénicas y metanogénicas puede subir la concentración de ácido acético, propiónico, butírico, etc. A un pH apropiado de 6.8 las concentraciones mayores a 3 mg/L de AGV pueden ser tóxicas, a más de 10 g/L se paraliza la producción de metano. La manera más práctica para determinar la concentración de AGV es por la medida de la alcalinidad.

- *Alcalinidad*

La medida de *la* alcalinidad indica la capacidad tampón del medio y por tanto, sobre la resistencia del pH a variar en función de las anomalías de operación. Se recomienda operar a valores superiores a 3 g/L de HCO_3^- por lo que cuando se tiene un efluente de bajo poder tampón puede ser necesaria la adición externa de álcalis.

- *Nutrientes*

Las bacterias necesitan principalmente carbono y nitrógeno para vivir; también necesitan pequeñas cantidades de sodio, calcio, potasio, fósforo, cinc y hierro. Primordial es la relación en la cual se encuentra el carbono y el nitrógeno, pues por lo general los otros nutrientes se encuentran en cantidades suficientes. Se recomienda una relación de C/N de 16:1 y una proporción máxima de 45:1.

- *Biogás*

El biogás se compone mayoritariamente de metano (CH_4) y dióxido de carbono (CO_2), que en dependencia del sustrato puede alcanzar valores entre 60 a 90% de metano, obteniendo además otros gases generalmente en concentraciones de trazas, entre los que se encuentran: Sulfuro de hidrogeno (H_2S), nitrógeno (N_2), hidrógeno (H_2) y monóxido de carbono (CO). La DQO eliminada de la corriente de entrada, excepto la destinada al crecimiento celular, se recupera en forma de biogás. Por ello la medida del caudal y su composición del biogás producido es un excelente indicador de la eficiencia del sistema. Un aumento importante de la con-

centración de dióxido de carbono o un descenso en la proporción de metano es indicativo de variaciones simultáneas en el pH y alcalinidad del líquido y anuncia un proceso de acidificación avanzada.

➤ **Condiciones de la fermentación anaeróbica**

En este proceso de fermentación intervienen una serie de condiciones y factores los cuales directa e indirectamente la productividad del digestor, 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 4.- Porcentaje de metano dependiendo del material de fermentación

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

Fuente: Manual de biogás, MINENERGIA / PNUD / FAO / GE

- *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:

$$\text{Tiempo de retención} = \frac{\text{Volumen del digestor}}{\text{Volumen de carga diaria}}$$

- *Carga orgánica volumétrica*¹⁴

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:

$$C.O = \frac{C_i * Q}{V}$$

¹⁴."Desing of anaerobic processes for the treatment of industrial and municipal wastes"; Malina Joseph; Pohland Frederick; Water Quality Management Library; Volume 7; Tecnominc; USA; 1992.

Dónde:

C.O= kg. DQO/m³ día

C_i= Concentración afluente (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 CO₂/HCO₂. El dióxido de carbono se disuelve en agua con formación parcial de ácido carbónico que luego se disocia en HCO₂/ H⁺. 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 5.- Valores de pH para la producción de Biogás

pH≅ 7.00	Óptimo
pH [6.5	Retarda la acidificación
pH] 7.6	Retarda la amonización

Fuente: Programa de BIOMASA/UNI

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 mesófilico 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: 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.¹⁵

Se pueden reconocer 2 grupos de sustancias tóxicas:

- Sustancias producidas durante la fermentación: entre éstas tenemos: ácido sulfhídrico, amoníaco y ácidos grasos volátiles.

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

- 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.

d) *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 anaeróticamente, 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:¹⁶

$$\% \text{ Remoción} = \frac{\text{DQO}_{\text{efluente}}}{\text{DQO}_{\text{afluente}}} * 100$$

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:

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

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 princi-

¹⁶. "Parámetros operativos de un UASB"; Fiel, Jim; Universidad de Wageningen, Holanda; 1987.

pal fuente de remoción es la DQO que se convierte a metano, la DQO equivalente del gas puede calcularse con factores normalizados de conversión.

e) Tiempo de retención hidráulico (TRH): 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.¹⁷

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 faltas de bacterias suficientes para degradarla.

f) Producción de biogás: 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.¹⁸

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.

¹⁷. Universidad Nacional de Ingeniería; "Tratamiento de aguas potables y residuales"; Managua, Nicaragua; 1993.

¹⁸. 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).

g) *Porcentaje de metano*: El valor calorífico del biogás depende del porcentaje de metano, a la vez indica cómo se encuentra la actividad metanogénica en el digestor.¹⁹

h) *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.

i) *Inoculo*: 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.²⁰

➤ 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.

Se ilustra la siguiente tabla con datos de composición del biogás, según el programa de BIOMASA/UNI:

¹⁹. Universidad Nacional de Ingeniería; "Tratamiento de aguas potables y residuales"; Managua, Nicaragua; 1993.

²⁰. "Operación y control de digestores anaerobios"; Soto Manuel; Méndez Ramón; Lema Juan; Universidad de Galicia; España, 1992.

Tabla 6.- Composición del Biogás

COMPOSICIÓN	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 %
Ácido Sulfhídrico	H ₂ S	0.1 %

Fuente: Programa BIOMASA/UNI

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 Kcal/m³ (CH₄: 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.

a) *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/d, por lo que en plantas de pequeña escala no es conveniente usar el gas para accionar motores.

b) *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 7.- 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*

Fuente: Manual de biogás, MINENERGIA / PNUD / FAO / GE

2.1.5.3.- Tratamiento secundario

El fundamento del tratamiento secundario es la inclusión de procesos biológicos en los que predominan las reacciones bioquímicas, generadas por microorganismos.

mos que logran eficientes resultados en la remoción de entre el 50 y el 95% de la DBO₅. Los sistemas más empleados son:²¹

- 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.

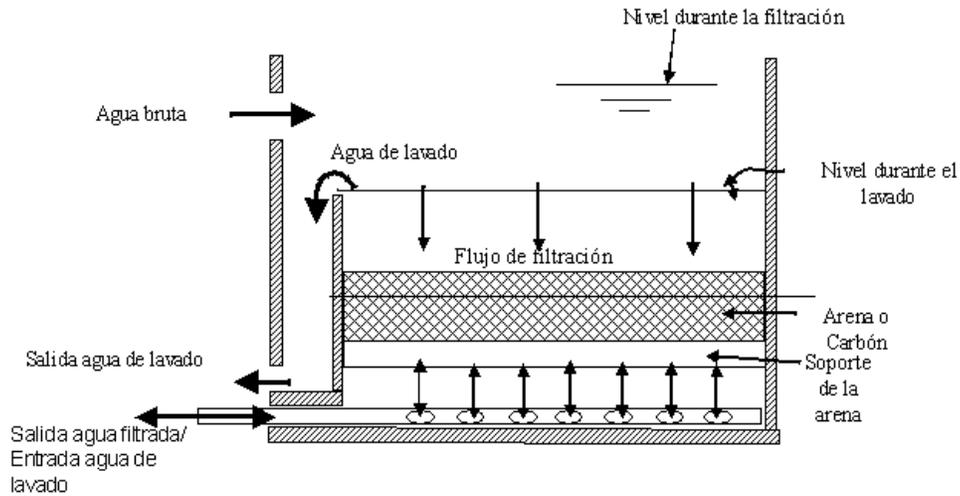
a) Filtro de flujo descendente

El filtro de flujo descendente consiste en un tanque que contiene un lecho de material grueso, compuesto en la gran mayoría de los casos de materiales sintéticos o piedras de diversas formas, de alta relación área/volumen, sobre el cual son aplicadas las aguas residuales industriales por medio de tubería ranurada para la distribución, estas puede ser fijos o móviles. Alrededor de este lecho se encuentra adherida una población bacteriana que descompone las aguas residuales industriales a medida que éstas percolan hacia el fondo del tanque.

Después de cierto tiempo, la capa bacteriana adquiere un gran espesor y se desprende hidráulicamente del lecho de piedras para pasar luego a un clarificador secundario en donde se efectúa la separación de los lodos formados. Los filtros pueden ser utilizados en casos donde no se necesite una eficiencia muy alta en la remoción de DBO. Las características de diseño se mencionan a continuación:

²¹.. Universidad Nacional de Ingeniería; Parte 2: Tratamiento y Reuso de Aguas Residuales; Lima- Perú, Año 2000.

Imagen 8.- Diseño y Flujo grama de un Filtro de flujo descendente



*Fuente: Sistema de Información del Diagnóstico Sanitario Rural
(Aguas del Huila en Colombia)*

➤ Geometría

El reactor o filtro consta de un recipiente cilíndrico o rectangular con diámetros variables, hasta de 60 m y con profundidades entre 1.50 y 12 m.

➤ Medios de soporte

El medio filtrante puede ser piedra triturada o un medio plástico manufacturado especialmente para tal fin. El medio debe ser durable, resistente al resquebrajamiento, insoluble y no debe aportar sustancias indeseables al agua tratada.

➤ Características físicas y geométricas

Rocas y medios similares: La escoria de roca o cualquier medio filtrante no debe contener más de un 5% por peso de materia, cuya dimensión mayor sea tres veces su dimensión menor. No contendrá material delgado alargado y achatado, polvo, barro, arena o material fino. Deben estar conforme a los tamaños y granulome-

tría presentados en la siguiente tabla cuando se clasifiquen mecánicamente a través de tamices vibratorios con aberturas cuadradas.

Tabla 8.- Granulometría de los medios de roca o similares

Tamiz	Porcentaje por peso
Pasando tamiz de 11.4 cm (4 ½ “)	100%
Retenido tamiz de 7.62 cm (3”)	95-100%
Pasando por tamiz de 5.08 cm (2”)	0-2%
Pasando por tamiz de 2.54 cm (1”)	0-1%

Fuente: (Guía Técnica para el diseño de alcantarillado sanitario sistemas de tratamiento de aguas residuales industriales – INAA)

➤ Manejo y colocación del medio

El material entregado en la obra debe almacenarse sobre superficies de madera u otras áreas duras y limpias. Ningún material similar debe ser pasado por tamices nuevamente en el lugar de la obra. Este material se coloca a mano cuidadosamente hasta una profundidad de 30 cm sobre los desagües de manera que no causen daños a éstos.

Tabla 9.- Comparación de propiedades físicas de medios de filtros percoladores

Tiempo de medio	Tamaño Nominal, mm.mm	Densidad, Kg/m ³	Area superficial Relativa, m ² /m ³	Relación de vacío, %
Empaquetado	610 610 1220	32.04 – 80.10	88.59 – 104.99	>95
Bundle	610 610 1220	64.08 – 96.12	137.80 – 147.65	>94

Fuente: (Guía Técnica para el diseño de alcantarillado sanitario sistemas de tratamiento de aguas residuales industriales – INAA)

Tabla 9.- Comparación de propiedades físicas de medios de filtros percoladores
(continuación)

Tiempo de medio	Tamaño Nominal, mm.mm	Densidad, Kg/m ³	Area superficial Relativa, m ² /m ³	Relación de vacío, %
Roca	25.4 – 76.2	1441.8	62.3	50
Roca	50.8 – 101.6	1602	46	60
Desordenado	Varios	32.04 – 64.08	82 - 115	>95
Plástico	Varios	48.06 – 80.10	138 - 164	>94
Madera	1200x1200x900	165	46	76

Fuente: (Guía Técnica para el diseño de alcantarillado sanitario sistemas de tratamiento de aguas residuales industriales – INAA)

➤ Profundidad del filtro

El medio filtrante, en el caso de la piedra debe tener una profundidad mínima de 90 cm y máxima de 180 cm sobre los desagües, excepto cuando los estudios justifiquen una construcción especial. En el caso del medio plástico, la profundidad debe determinarse por medio de estudios pilotos o experiencias previas debidamente sustentadas ante la autoridad competente. Deben proveerse un espacio libre mínimo de 15 cm entre los brazos distribuidores y el medio filtrante.

➤ Tipos de filtros

Los filtros se clasifican según su carga: Filtros de baja carga y Filtros de alta carga y se caracterizan de la siguiente manera:

- Filtros de baja carga

Filtros lentos en los cuales el agua hace un solo paso a través del filtro, con cargas volumétricas bajas, permitiendo además una nitrificación relativamente completa. Este tipo de filtro es seguro y simple de operar. Producen una composición del efluente bastante estable, pero crean problemas de olores y moscas.

- Filtros de alta carga

Emplean la recirculación para crear una carga hidráulica más homogénea, diluyendo por otra parte la DBO5 influente. El porcentaje de recirculación puede llegar a 400%. Este sistema de filtración tiene una eficiencia tan buena como la de los filtros de baja tasa, y evita en gran medida el problema de moscas y de olores.

➤ Tasa de carga orgánica volumétrica

Los filtros percoladores operan con cargas volumétricas entre 0.1 y 0.8 kg DBO5/m³ día. En la tabla 11-31 se presentan los valores que se deben usar para cada tipo de filtro. En caso de usar valores diferentes se debe sustentar adecuadamente con base en estudios piloto o experiencias anteriores adecuadamente evaluadas por parte de la autoridad competente.

➤ Tasa de carga hidráulica

Los valores de tasa de carga hidráulica que se deben usar para cada tipo de filtro se encuentran en la siguiente tabla en caso de usar valores diferentes se debe sustentar adecuadamente con base en estudios piloto o experiencias anteriores adecuadamente evaluadas por la parte de la autoridad competente.

b) Humedal artificial: Biofiltro de flujo horizontal y vertical

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 industriales pre tratadas, mediante un flujo horizontal. 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%.²³

* Biofiltro de flujo horizontal

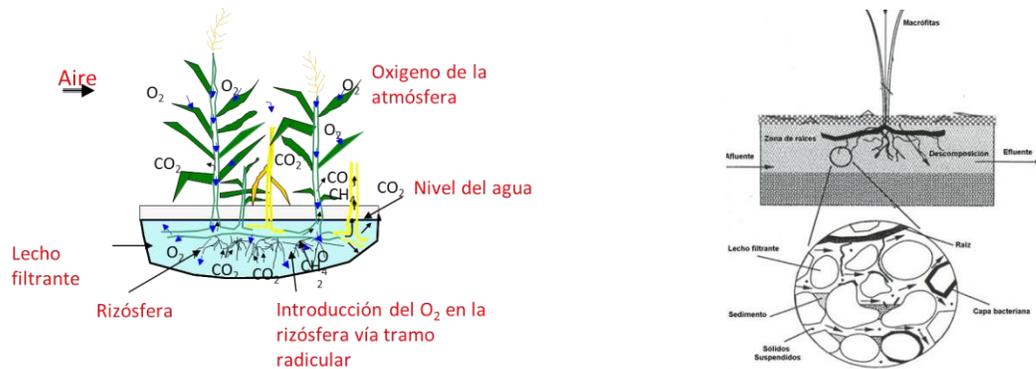
El agua circula horizontalmente a través del sustrato de manera continua. Se favorecen las condiciones anaerobias al mantenerse el nivel del agua por debajo del sustrato. Consiste de pilas rectangulares con profundidades que oscilan entre 60 y 100 cm, rellenas con grava o piedra volcánica y sembradas con plantas macrófitas. En éste las aguas residuales industriales fluyen lentamente desde la zona de distribución en la entrada de la pila, en una trayectoria horizontal a través del lecho filtrante, hasta que llegan a la zona de recolección del efluente.

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.

Durante el recorrido, el agua residual está en contacto con zonas aeróbicas (alrededor de las raíces de las macrófitas) y anaeróbicas (en áreas lejanas a las raíces). Durante su trayectoria el agua residual es depurada por la degradación microbiológica proporcionada por la biocapa formada en la superficie del lecho filtrante y por procesos físico-químicos, como se muestra en siguientes figuras.

²³ Feachem et-al., 1983; Mara et-al., 1992; Yáñez, 1992; Norma Técnica OS.090.

Imagen 9.- Procesos de intercambio entre la atmósfera, lecho filtrante del Biofiltro



Fuente: Sistema de Información del Programa Biomasa/UNI

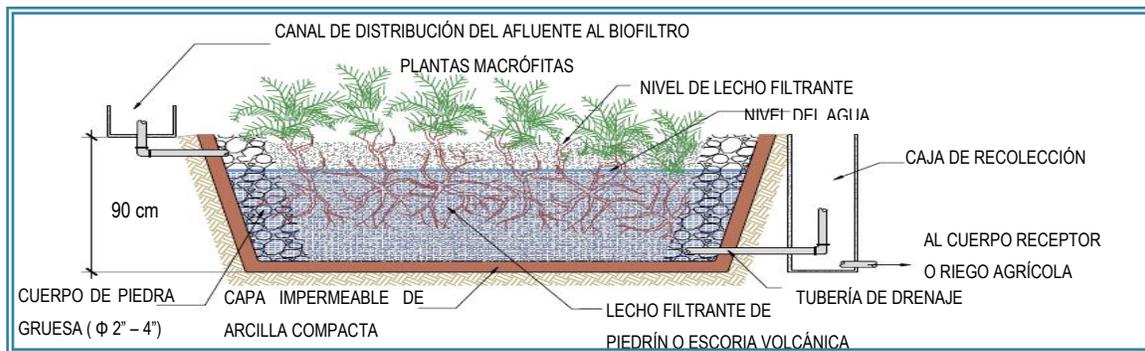
El tratamiento biológico dentro del lecho filtrante horizontal es del tipo facultativo, lo que significa que en el cuerpo del filtro existen zonas con y sin oxígeno. Las raíces de las plantas permiten el paso de aire de la atmósfera al subsuelo, con lo cual se agrega oxígeno al agua y se establece una 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. Un Biofiltro de flujo horizontal tiene las siguientes características principales:

- La nitrificación se da a niveles bajos debido a que la cantidad de oxígeno transportado por medio de las hojas y tallos hacia las raíces de las macrófitas es un factor limitante para la descomposición aeróbica en la rizósfera.
- Posee un alto tiempo de retención, normalmente en el rango de 3-7 días.
- La homogeneidad del lecho filtrante hace poco posible los cortocircuitos en el régimen hidráulico.
- Las raíces de las macrófitas crecen vertical y horizontalmente proporcionando una vía o ruta hidráulica a través de la cual fluye el agua.

- La eficiencia de tratamiento obtenida en sistemas de Biofiltros de flujo horizontal es buena en términos de remoción de sólidos suspendidos y DBO₅ pero baja en términos de remoción de nutrientes.

➤ Partes principales de un Biofiltro ²⁴

Imagen 10.- Partes de un Biofiltro de flujo horizontal



Fuente: Sistema de Información del Programa Biomasa/UNI

- 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.
- 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 industriales 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.

²⁴ 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 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. Se presenta la siguiente imagen ilustrativa de un Biofiltro de flujo horizontal y sus partes:

➤ Característica y granulometría del lecho filtrante en el Biofiltro

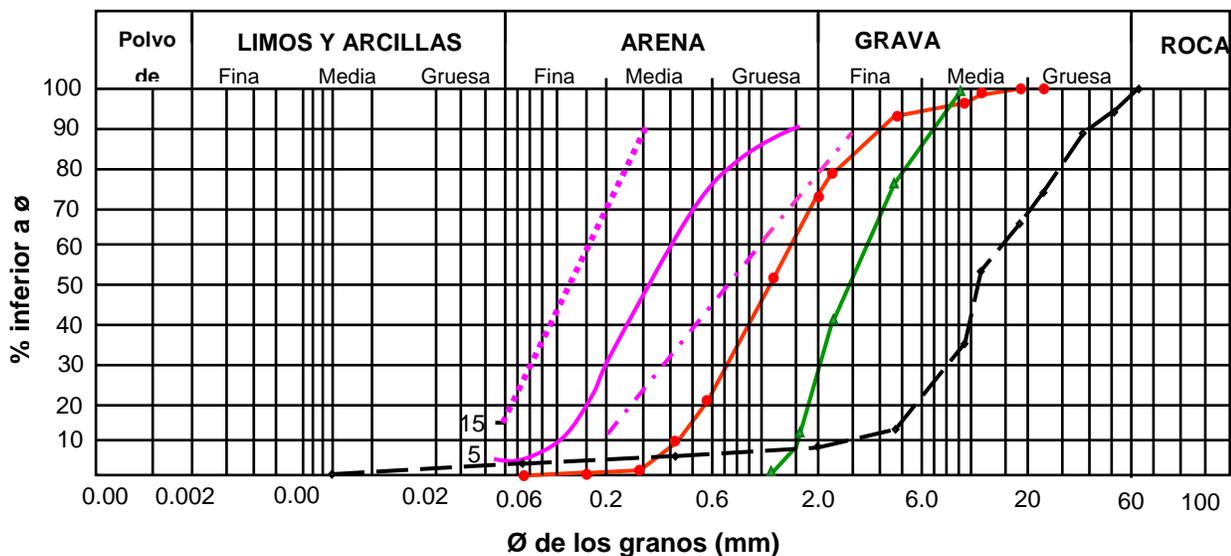
Una de las características fundamentales para la selección del material que servirá como filtro es la resistencia que tenga el material del lecho filtrante ante el desgaste provocado por las aguas residuales, lo cual debe garantizar que no se deteriore a medida que pase el tiempo. La porosidad del material 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 ½" 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. 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.

Gráfico 1.- Curvas granulométricas (Fuente: Bahlo & Wach, 1995; Proyecto ASTEC, 2000)



- Granulometría máxima recomendada para Biofiltros de flujo vertical, (BFV)
- Curva granulométrica típica de material usado para lecho filtrante de BFH
- - - - Granulometría máxima recomendada para Biofiltros de flujo horizontal, (BFH)
- Curva granulométrica del hormigón rojo
- ▲— Curva granulométrica de la piedra triturada
- — Curva granulométrica del hormigón negro

Fuente: Programa BIOMASA/UNI

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.

➤ Dimensionamiento del Biofiltro

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:

- a) *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.
- b) *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.

➤ Tratamiento de lodos²⁵

El lodo extraído y producido en las operaciones y procesos de tratamiento de las aguas residuales industriales 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

²⁵Castellón 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).

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

Imagen 11.- Tratamiento de Lodos



Fuente: Sistema de tratamiento INDAVinsa

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 re-

ducir los costos de la disposición final de los lodos, cuando existan limitaciones de terreno, estos pueden incinerarse.

2.1.5.4.- Tratamiento terciario o avanzado

Está dirigido a la reducción final de la DBO, metales pesados y/o contaminantes químicos específicos y la eliminación de patógenos y parásitos. El tratamiento terciario se emplea para separar la materia residual de los efluentes de procesos de tratamiento biológico, a fin de prevenir la contaminación de los cuerpos de agua receptores, o bien, obtener la calidad adecuada para el reúso, factor de importancia en la planeación de recursos hidráulicos donde el abastecimiento de agua potable es limitado, como ocurre en las grandes metrópolis de nuestro país

Los sistemas terciarios frecuentemente implican elevados costos de inversión. El tratamiento terciario es el procedimiento más completo para tratar el contenido de las aguas residuales, pero no ha sido ampliamente adoptado por ser muy caro. Este tratamiento consiste en un proceso físico-químico que utiliza la precipitación, la filtración y/o la cloración para reducir drásticamente los niveles de nutrientes inorgánicos, especialmente los fosfatos y nitratos del efluente final.

Los métodos de tratamiento terciario de Aguas residuales industriales son:

- Ósmosis inversa
- Electro diálisis
- Destilación
- Coagulación
- Adsorción
- Filtración
- Extracción por solvente
- Intercambio iónico
- Oxidación química
- Precipitación
- Nitrificación – denitrificación

➤ Métodos de Tratamiento terciario

- a) *La Coagulación y Floculación*: son dos procesos dentro de la etapa de clarificación del agua. Ambos procesos se pueden resumir como una etapa en la cual las partículas se aglutinan en pequeñas masas llamadas flocos tal que su peso específico supere a la del agua y puedan precipitar.
- b) *Ósmosis Inversa*: Es una tecnología de membrana en la cual el solvente (agua) es transferido a través de una membrana densa diseñada para retener sales y solutos de bajo peso molecular.
- c) *Electrodialisis*: Separa las moléculas o iones en un campo eléctrico debido a la diferencia de carga y de velocidad de transporte a través de la membrana. Las membranas tienen lugares cargados y poros bastante estrechos (1-2 mm).
- d) *Destilación*: La destilación es la colección de vapor de agua, después de hervir las aguas residuales. Con un retiro correctamente diseñado del sistema de contaminantes orgánicos e inorgánicos y de impurezas biológicas puede ser obtenido, porque la mayoría de los contaminantes no se vaporizan. La adsorción es un proceso donde un sólido se utiliza para eliminar una sustancia soluble del agua.
- e) *Adsorción*: En este proceso el carbón activo es el sólido. El carbón activo se produce específicamente para alcanzar una superficie interna muy grande (entre 500 - 1500 m² /g). Esta superficie interna grande hace que el carbón tenga una adsorción ideal. El carbón activo viene en dos variaciones: Carbón activado en polvo (PAC) y carbón activado granular (GAC).
- f) *Filtración*: Esta tecnología se utiliza principalmente para remover sólidos suspendidos de los suministros de agua. Estos sólidos pueden consistir de suciedad, cieno u otras partículas que puedan interferir con el uso intencionado del agua o una tecnología de tratamiento corriente abajo.

- g) *Extracción por solvente*: El proceso de extracción por solventes (o extracción líquido-líquido) es una técnica de separación, la cual involucra transferencia de masa entre dos fases inmiscibles.
- h) *Intercambio iónico*: El intercambio iónico es un proceso donde un ion es sustituido o intercambiado por otro de la misma carga.
- i) *Oxidación química*: Es un procedimiento alternativo a la adsorción en tratamiento de agua potable y sistemas de tratamiento de aguas residuales.
- j) *Precipitación*: Hasta hace poco, el tratamiento convencional de efluentes de curtiembres aplicaba una primera etapa de tratamiento en la que se precipitaba la totalidad de los efluentes utilizando sales de hierro.
- k) *Nitrificación – Denitrificación*: Son procesos llevados a cabo por determinados grupos de microorganismos bacterianos que se utilizan en aquellas plantas de tratamiento de aguas residuales.

2.1.6.- 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 industriales y vertido de los efluentes a cuerpos de agua o al suelo.
- ✓ Disposición de las aguas residuales industriales en el suelo: Irrigación.
- ✓ Uso del agua ya tratada en riego de cultivos.

2.1.6.1.- Reglamentos, metas y normas establecidas

* Calidad de Agua Residual para su vertido por Dilución

Para la preservación del medio ambiente, las normativas de vertido de aguas residuales industriales tratadas para pequeñas comunidades son las mismas que para grandes comunidades o industrias de grandes producciones y valores altos de contaminantes. De esta forma, los requerimientos de descarga para aguas residuales industriales tratadas son cada vez más estrictos para pequeñas y grandes descargas. Para la Industria del Beneficiado Húmedo del café la calidad del agua deberá ser según el Decreto 33-95 de artículo 38 del MARENA.

Tabla 10.- Normas de calidad de agua residual del beneficio de café

Parámetros	Rangos y límites máximos permisibles
pH	6.5-9
Solidos sedimentables totales, mg/l	1.0
Solidos suspendidos totales, mg/l	150
DBO, mg/l	120
DQO, mg/l	200
Materia flotante, mg/l	Ausente
Grasas y aceites, mg/l	10

Fuente: Decreto 33-95, artículo 38 del MARENA

* Calidad del Agua Residual para su vertido por riego

Para mantener la calidad y productividad de los suelos cultivables se debe controlar la calidad del agua irrigada, la cual está influida principalmente por las siguientes características:

- Concentración total de las sales solubles.
- Proporción relativa de Sodio con respecto a otros cationes (SAR).
- Concentración de Boro y otros elementos que pueden ser tóxicos.
- En algunos casos, la relación entre concentración de Bicarbonatos y la Dureza.

Las descargas de aguas residuales industriales tratadas utilizadas para el riego agrícola, en la producción de cultivos hortícolas deberán cumplir con los rangos y límites máximos permisibles descritos en el Capítulo VIII, Artículo 57 del Decreto 33-95.

Tabla 11.- Calidad del AR tratada dispuesta a Riego²⁶

PARÁMETRO	LÍMITE MÁXIMO O RANGO
pH	6.5 a 8.5
Conductividad Eléctrica (micromhos/cm)	200
DBO (mg/l)	120
DQO (mg/l)	200
Sólidos Suspendidos Totales (mg/l)	120
Aluminio (mg/l)	5
Arsénico (mg/l)	0.1
Boro (mg/l)	1
Cadmio Total (mg/l)	0.01
Cianuros (mg/l)	0.02
Cobre (mg/l)	0.2
Cromo Total (mg/l)	0.1
Hierro (mg/l)	5
Fluoruros (mg/l)	3
Manganeso (mg/l)	0.2
Níquel (mg/l)	0.2
Plomo Total (mg/l)	5
Selenio (mg/l)	0.02
Zinc (mg/l)	2
Coliformes Fecales (cada 100 ml)	1000 ²⁷
Huevos de Helmintos (cada 100 ml)	1

Fuente: Capítulo VIII, Arto. 57 Dec. 33-95

²⁶. Capítulo VIII, Arto. 57 Dec. 33-95.

²⁷. Otras bibliografías como los documentos del ASTEC utilizan como límite máximo hasta 10E+5.



CAPÍTULO III:
DISEÑO
METODOLÓGICO

3.1.- DISEÑO METODOLÓGICO

3.1.1.- Aporte de aguas residuales

El aporte de agua residual del sistema de tratamiento se determinó por la producción máxima diaria proyectada por el dueño de la finca en los futuros 5 años, de acuerdo al indicador determinado en una serie de mediciones realizadas en el beneficio, del consumo de agua (litro) por proceso de una lata de café (cereza) procesada, determinándose así la cantidad de metro cúbico por día. Para esto se realizó un análisis gráfico de la información que presenta la finca de las últimas 3 producciones anuales de café en grano por día, así como su consumo de agua. Ver en anexos: Apéndice A y J.

3.1.2.- Sistema de Tratamiento y característica fisicoquímicas propuestas para las Aguas residuales industriales de la finca

El sistema propuesto queda definido con el diseño de: canal de entrada con rejilla y desarenador como pre tratamiento del sistema; Un tanque de igualación y/o homogenización (Pila de hidrólisis), Criba, dispositivo de control de pH, Digestor anaeróbico, seguido de un Filtro de flujo descendente, para un cumplir la eficiencia del tratamiento primario; y para el tratamiento secundario se diseñará dos Biofiltros de Flujo horizontal. (Ver esquema No. 1)

Para la determinación de los parámetros de caracterización de las aguas residuales industriales que entrarán como afluente a la Planta de tratamiento de aguas residuales, no se cuenta con el análisis de caracterización físico-químico de las aguas residuales industriales que salen del proceso de beneficiado húmedo de la finca, por lo que se consultó para su determinación: bibliografías, beneficios húmedos con mismos proceso de beneficiado y con sistema de tratamiento y control de parámetros de entrada y salida de sus aguas residuales industriales de los departamentos de Matagalpa y Jinotega (7 fincas), control del Centro de Producción más Limpia de Nicaragua (CPML) y parámetros nacionales de El Salvador y Cuba.

Esquema 1.- Esquema general del sistema de tratamiento de aguas residuales
propuesto de la finca: La Esperanza

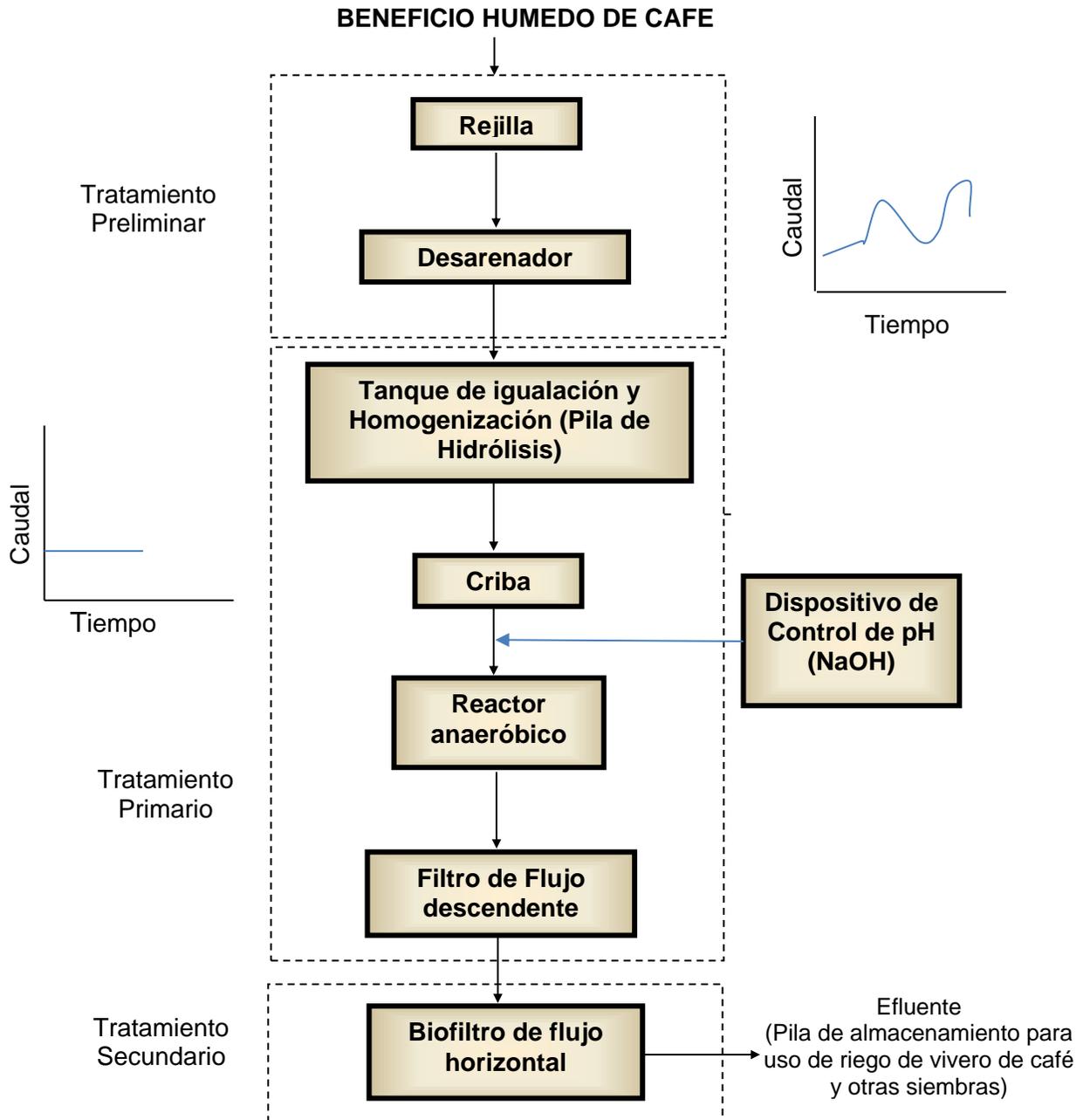


Tabla 12.- Tabla de Características físico-químicas de agua residual de beneficios húmedos indagados

	País	Nicaragua							Cuba	El Salvador	Promedio	
	Ciudad	Matagalpa	Matagalpa	Matagalpa	Jinotega	Jinotega	Jinotega	Jinotega	CPML	La Habana		El Salvador
Característica del Agua Residual	Finca	Monte Cristo	Santa Emilia	Alianza	La colonia	DECAFESA	José María	La Viola				
	Consumo agua (lt/lata)	23.40	18.50	33.78	20.20	25.00	22.50	20.50	28.00	30.00	22.10	
	DQO (mg/L)	6,261.00	8,606.64	12,582.45	7,213.44	7,656.80	12,026.88	4,780.80	11,660.00	8,100.00	5,200.00	8,408.80
					S= 422.50	S= 162.44	S=133.02	S=80.31				
	DBO5 (mg/L)	3,570.00	5,755.80	9,760.00	3,173.94	3,598.96	7,592.50	2,190.55	4,634.00	5,300.00	3,500.00	4,907.58
					S=113.16	S= 93.15	S=601.04	S=289.25				
	Aceites y grasas (mg/L)	68.23	36.00	148.33	13.20	20.07	10.00	10.00	12.20			39.75
	Solidos sedimentables (mg/L)	1.20		221.55	3.00	0.50	17.00	15.00	2.75			37.29
	Solidos suspendidos (mg/L)	1,338.00	2,290.00	947.50	19.80	738.40	2,818.68	318.00	4,042.00	4,100.00		1,845.82
	pH	4.48	4.12	5.90	4.17	3.73	4.01	4.11	3.98	4.20	4.50	4.32

Los parámetros finales para diseño se muestran en el desarrollo de cálculos del sistema de tratamiento de aguas residuales industriales del beneficio húmedo del café en estudio. Las formulas mostradas en las siguientes secciones fueron tomadas de libros, monografías y manuales que son de referencia para diseños de STARI en el programa de BIOMASA/UNI y que serán nombradas en la bibliografía.

3.1.2.1.- Pre- tratamiento o Tratamiento preliminar

➔ *Canal de entrada*

La velocidad del canal antes de la criba o rejilla, debe mantenerse entre 0.30 y los 0.60 m/s. El caudal de diseño del canal de entrada se realizó con la siguiente ecuación:

$$Q_{DCE} = \frac{(QD * 1000)}{(3600 * 3)}$$

Ec.1

BIBLIOGRAFIA DE BIOMASA/UNI

El caudal máximo se obtuvo de la siguiente expresión:

$$Q_{\text{máx}} = Q_{DCE} * 3$$

Ec.2

BIBLIOGRAFIA DE BIOMASA/UNI

➔ *Rejas*²⁸

El canal abierto para la alimentación de la etapa del desarenador contiene una reja de limpieza manual, cuyo objetivo es remover los sólidos gruesos que son traídos junto con el agua residual proveniente del beneficio húmedo. El canal estará proyectado en forma recta, sin baches e imperfecciones de tal modo que se evite la acumulación de arena u otros materiales pesados, que trae consigo el agua residual, 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 no 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.

²⁸. 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.

La rejilla estará colocada en un ángulo de inclinación de 45° con respecto a la horizontal, y será construida con marco de angulares de $\frac{1}{4}$ " de acero inoxidable, con malla de lámina de acero inoxidable, con ranuras de 2.00 mm tanto horizontal como verticalmente. En la parte superior de la rejilla se colocara una placa perforada para que los objetos retenidos (cascara de café) puedan almacenarse temporalmente para su evacuación.

➔ *Desarenador*

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 para diseño y parámetros de área superficial y transversal:

Tabla 13.- Parámetros para diseño del desarenador

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	F	4	Adimensional	Experiencia Programa BIOMASA

Tabla 14.- Parámetros de área superficial y transversal para el diseño del desarenador

Área superficial				
Parámetro	Simbología	Unidad de Medida	Fórmula	Ec.
Área superficial requerida	As	m ²	$As = \frac{(f * QD)}{Vs}$	Ec.3
Área superficial propuesta	Asp	m ²	Asp= B*L	Ec.4
Relación Largo/Ancho	L/B	-	2.5≤ L/B≤5	Ec.5
Área Transversal				
Parámetro	Simbología	Unidad de Medida	Fórmula	Ec.
Profundidad media	Pm	m	$Pm = \frac{(Pi + Pf)}{2}$	Ec.6
Sección transversal	St	m ²	St=(tQmáx +Pi)*B	Ec.7
Velocidad horizontal	Vh	m/s	$vh = \frac{QD}{(St * 3600)}$	Ec.8
Tiempo que se tarda en atravesar una sección del flujo	Th	S	$th = \frac{L}{vh}$	Ec.9
Tiempo que tarda en sedimentar una partícula	Ts	S	$ts = \frac{(Pm)}{vs}$	Ec.10
Intervalo de limpieza	IL	Días	$IL = \frac{Pm * L * B}{(Ss/1000 * QD)}$	Ec.11

En el apéndice I se encuentran las características geométricas y recomendadas para el diseño de desarenadores de flujo horizontal según criterios sugeridos por el INAA.

3.1.2.2.- Tratamiento primario

➔ Pila de hidrólisis

El caudal de diseño de la pila de hidrólisis que se utilizó es el caudal máximo (Q_D). El volumen útil de la Pila (V_{uph}) será la cantidad de agua residual que entrará a la pila expresada en m^3 , y esta depende del caudal máximo. El período de retención (Tr) 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:

Tabla 15.- Parámetros para diseño de la pila de hidrólisis

Parámetro	Simbología	Unidad de Medida	Fórmula	Ec.
Volumen de vacío (15% asumido)	V_{vph}	m^3	$V_{vph} = V_{uph} * V_v$	Ec. 12
Carga de entrada	$C_{entrada}$	kg de DQO/d	$C_{entrada} = \frac{C_{DQO}}{1000} * Q_D$	Ec. 13
Carga degradada de DQO	$C_{degradada}$	kg de DQO/d	$C_{degradada} = C_{entrada} * R_{DQO}$	Ec. 14
Producción de sólidos	A_c	kg de SSV/d	$A_c = C_{degradada} * S_o$	Ec. 15
Sólidos totales	ST	kg de SST/d	$ST = \frac{A_c}{(100 - S_i/100)}$	Ec. 16
Producción de lodos	PL	kg/d	$PL = \frac{ST}{1 - (H_u/100)}$	Ec. 17
Volumen de lodos producidos	VL	m^3	$VL = \left(\frac{PL}{1000}\right) Tr$	Ec.18
Volumen de diseño de la Pila de Hidrólisis	V_{dph}	m^3	$V_{dph} = V_{uph} + V_{vph} + VL$	Ec.19

Tabla 15.- Parámetros para diseño de la pila de hidrólisis (continuación)

Parámetro	Simbología	Unidad de Medida	Fórmula	Ec.
Ancho de la Pila de Hidrólisis	Bph	m	$Bph = (Vdph / H * 1.75)^{1/2}$	Ec.20
Largo de la Pila de Hidrólisis	Lph	m	$Lph = 1.75 * Bph$	Ec. 21
Altura del volumen de vacío	Hv	m	$Hv = \frac{Vvph}{Bph * Lph}$	Ec. 22
Altura del volumen de lodo	Hlodo	m	$H_{lodo} = \frac{VL}{Bph * Lph}$	Ec. 23
Altura del volumen útil de agua residual	Hu	m	$Hu = \frac{Vuph}{Bph * Lph}$	Ec. 24
Altura total de la Pila de Hidrólisis	HTph	m	$HTph = H_{lodo} + Hv + Hu$	Ec. 25
Volumen total final de la pila de hidrólisis	Vf	m ³	$Vf = Bph + Hph + Lph$	Ec. 26

➡ *Criba Hidrostática*

Dentro de la pila de hidrólisis, el agua será llevada por efecto de gravedad hacia una criba hidrostática provista de una malla fina de acero inoxidable, con abertura de 0.50 mm y capacidad máxima de 5 GPM. La malla filtrante está conformada por pequeñas barras de una forma que la parte plana de aquella está encarada al flujo. Esta criba debe de limpiarse dos o tres veces al día, para eliminar los sólidos acumulados. Esta criba fue cotizada en Costa Rica en la Empresa AGROTEK OP, S.A. Para mayores detalles ver Apéndice C.

➤ *Reactor anaeróbico*

◆ Tratamiento anaeróbico de flujo ascendente y descendente³⁰

El diseño de reactor anaeróbico de flujo ascendente y descendente se realizó mediante la metodología utilizada por el Programa Biomasa de la Universidad Nacional de Ingeniería de Nicaragua. A continuación se presentan algunos criterios de diseño para el digester:

Tabla 16.- Criterios de diseño para Reactor anaeróbico de flujo ascendente y descendente

Criterios de diseño	Simbología	Valor	Unidad de Medida	Observaciones
Período de retención de aguas residuales	Trdi	3	Día	$Trdi = \frac{\text{Volumen del reactor}}{\text{Volumen de carga diaria}}$
Porosidad del lecho filtrante en el reactor	Pr	60	Porcentaje (%)	Experiencia BIOMASA/UNI
Volumen de vacío para el reactor	Vvre	20	Porcentaje (%)	Se considera un 20% del Volumen útil del reactor (Vudi). Experiencia BIOMASA/UNI
Cantidad de claros	Df		Adimensional	Asumida
Profundidad del Reactor	Hre		m	Asumida

La profundidad o altura del reactor en Nicaragua en este tipo de tratamientos varía entre 3.00 a 5.00 m, esto se sustenta en los diseños de Planta de Tratamiento de Aguas residuales industriales que ha realizado el Programa BIOMASA de la Universidad Nacional de Ingeniería de Nicaragua. Una altura de 3.00 metros en el reactor, permitirá también reducir los costos de excavación al momento de su

³⁰ <http://amarengo.org/construccion/normas/rne/habilitaciones-urbanas/obras-de-saneamiento/os090/disposiciones-especificas>

construcción y también cumplir con la remoción necesaria de contaminantes en este proceso. Se dimensiona este reactor tomando en cuenta las siguientes fórmulas:

Tabla 17.- Parámetros para diseño de reactor anaerobio de flujo ascendente y descendente

Parámetro	Simbología	Unidad de Medida	Formula	Ec.
Cálculo del volumen útil	Vure	m ³	$V_{udi} = QD * Tr_{di}$	Ec. 27
Volumen ocupado por el lecho filtrante	Vlf	m ³	$V_{lf} = V_{udi} * (1 - Pr)$	Ec. 28
Volumen de los deflectores	Vdf	m ³	$V_{df} = (Bd) * b_p * (Df - 1)$	Ec. 29
Grosor de las paredes	Bp	m	asumida	
Volumen de vacío del reactor	Vvre	m ³	$V_{vdi} = V_{udi} * V_{vdi}$	Ec. 30
Volumen de diseño del Reactor	Vdre	m ³	$V_{ddi} = V_{udi} + V_{vdi} + V_{df}$	Ec. 31
Ancho del reactor	Bre	m	$V_{udi} = \left(\frac{V_{ddi}}{H_{di} * 2} \right)^{1/2}$	Ec. 32
Largo del reactor	Lre	m	$L_{di} = 2 * B_{di}$	Ec. 33

El reactor estará compuesto con 5 recámaras, que estarán rellenas de lecho filtrante (piedra quemada). Para la conservación del biogás producido por la degradación anaerobia, el reactor tendrá también la colocación de un domo metálico de Hierro Negro (H.N) de 1/8" de espesor, pintado con anticorrosivo y asfaltado por dentro, con platina de refuerzo de tubos de 3" x 3/8" de espesor. Se instalarán tuberías de PVC SDR 26 para transporte del biogás al área de cocina, especificaciones dadas en el desarrollo de cálculos.

◆ Producción estimada de Biogás

Para la estimación de la producción de Biogás, se utilizó la metodología que efectúa el Programa Biomasa de la UNI, en sus análisis de producción de Biogás. Se tomaron en consideración los siguientes aspectos y procedimientos:

- a) El porcentaje de remoción de la materia orgánica en el reactor 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. El procedimiento para su determinación es:³¹

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

$$✓ \text{CD}_{\text{entrada}} = \text{Caudal} * \text{DQO de entrada} \quad (\text{Kg de DQO/d}) \quad \text{Ec. 34}$$

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

$$✓ \text{CD}_{\text{degradada}} = \text{CD}_{\text{entrada}} * \% \text{ de Remoción esperada de DQO en el Digestor} \quad \text{Ec.35}$$

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

$$✓ \text{DQO de entrada} = \text{CD}_{\text{entrada}} - \text{CD}_{\text{degradada}} \quad \text{Ec. 36}$$

³¹. Referencias de Programa BIOMASA/UNI

iv. Producción de metano (Volumen de Metano esperado): El Volumen de Metano es expresado en m³/d.

- ✓ Metanogénesis: 0.30 m³/Kg de DQO degradado

$$V_{\text{metano}} = \text{DQO de entrada} * \text{Metanogénesis} \quad \text{Ec. 37}$$

v. Volumen de Biogás: El Volumen de Biogás es expresado en m³/d.

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

$$V_{\text{biogás}} = \left(\frac{V_{\text{metano}}}{\text{Porcentaje estimado de metano}} \right)$$

Ec. 38

Para mayores detalles ver Apéndice B: Diseño del sistema propuesto (Pág. xxiv).

Tabla 18.- 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

Fuente: <http://biogasqci.tumblr.com/>

En algunas observaciones en consumo de biogás se tiene que:

- ✓ El consumo de biogás en quemadores domésticos es de 0.2 a 0.4 m³/h.
- ✓ El consumo de biogás en quemadores industriales será de 1 a 3 m³/h.

- ✓ En términos ambientales se ha calculado que en 1 m³ 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).

3.1.2.3.- Tratamiento secundario ³²

➔ *Filtro de flujo descendente (FD)*

Con el fin de lograr la retención de flóculos procedentes del Reactor anaerobio que no se lograron separar en la pila de efluente y también para lograr un tratamiento biológico inicial por medio del establecimiento de bacterias facultativas en el lecho filtrante, se construirá una unidad de filtros de flujo descendente. Estos filtros, dado su bajo tiempo de retención, servirán para reducir la materia orgánica carbonácea y garantizar que el agua entre al biofiltro libre de sólidos suspendidos que puedan obstruir el lecho filtrante.

Los parámetros típicos de diseño que fueron utilizados en este 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):

$$AFD = \frac{QFD}{Kt} * \ln \left(\frac{C_e - C}{C_s - C} \right)$$

Ec. 39

Dónde:

AFD: Área requerida del Filtro, m²

QFD: Caudal, m³/d

C_e: Concentración de DBO₅ de entrada, mg/L

C_s: Concentración de DBO₅ de salida, mg/L

³²· 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 INGENIERIA; Febrero, 2010.

C: Concentración subordinada de DBO_5 , mg/L

kt: Constante específica de biodegradación, m/d

A partir de esta fórmula se despeja las medidas en que serán necesarias realizar en el filtro de acuerdo a un ancho asumido. 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 se utilizó en el sistema fue 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.

➡ *Biofiltro de flujo horizontal (BFH)*

Se diseñaron dos unidades de Biofiltro que operarán en paralelo, con el objetivo de tener la oportunidad de darles mantenimiento sin necesidad de tener que enviar las aguas sin tratamiento cuando esto sea necesario. El Biofiltro es un filtro biológico de grava o piedra volcánica, sembrado con plantas de pantano y atravesado de forma horizontal o vertical con aguas residuales pre-tratadas. Las bacterias, responsables para la degradación de la materia orgánica, utilizan la superficie del lecho filtrante para la formación de una película bacteriana y de esta manera existe una población bastante estable que no puede ser arrastrada hacia la salida.

El diseño de los Biofiltro de flujo horizontal presentado, fue basado según los criterios de diseño en función de los requerimientos hidráulicos.³³

³³ 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.

◆ Criterios de diseño en función de los requerimientos hidráulicos

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

$$W = \frac{Q}{K_f * I}$$

Ec. 40

Dónde:

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

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

K_f: Permeabilidad del lecho filtrante, (m/d)

I: Pendiente hidráulica, (m/m)

Tabla 19.- 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 0.40 y 2.00 mm. Otro criterio utilizado para la selección del material es el factor de uniformidad, el cual se define como:

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

Ec. 41

Dónde:

U: factor de uniformidad

d₁₀: diámetro de partícula correspondiente al 10% del material

d₆₀: diámetro de partícula correspondiente al 60% del material

Este factor debe ser menor que 4. El factor de conformidad para el hormigón 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 ($B_{\text{mín}}$), 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:

$$B_{\text{mín}} = \frac{W}{h_{\text{ef}}}$$

Ec. 42

Es recomendable tomar como ancho final (B) del Biofiltro un valor más alto que el valor de $B_{\text{mín}}$, 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.

Cuando se diseñan Biofiltros de gran capacidad, se recomienda que el valor de 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 AS-TEC).

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 industriales a tratar así lo requiera.

Calculado el ancho mínimo se asume el ancho final del Biofiltro y con respecto a la relación largo/ancho se obtuvo el largo final de la pila. 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.

Las cargas hidráulicas recomendadas, oscilan entre 28 y 35 m/año. La carga hidráulica se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$C_H = \frac{Q}{A} \quad (\text{m/año}) \quad \text{Ec. 43}$$

Dónde:

C_H : Carga hidráulica, m/año

Q : Caudal de diseño, $\text{m}^3/\text{año}$

A : Área superficial, m^2 (ancho*longitud)

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

$$t_r = \frac{V_{\text{útil}}}{Q} = \frac{L \cdot B \cdot h_{\text{ef}} \cdot \text{pbh}}{\text{CH} \cdot \left(\frac{A}{365}\right)}$$

Ec. 44

$$3 < t_r < 7 \text{ días}$$

Dónde:

L: longitud del Biofiltro, (m)

B: ancho del Biofiltro, (m)

hef: profundidad efectiva, (m)

pbh: porosidad del lecho filtrante como fracción decimal

Q: caudal, (m³/día)

CH: Carga Hidráulica

A: Área necesaria para la remoción de la DBO₅

3.1.2.4.- Tratamiento de lodos

El tratamiento de lodos se hará mediante una losa de secado, a través de la cual se dispondrán los sólidos gruesos retenido en la rejilla, nata flotante, lodo sedimentado en el desarenador, materia sedimentada y la nata flotante de la pila de hidrólisis y lodos del reactor anaerobio. A continuación se muestran las fórmulas utilizadas para el dimensionamiento de la pila de secado de lodos.

Tabla 20.- Parámetros para diseño de tratamiento de lodos

Parámetro	Simbología	Unidad de Medida	Formula	Ec.
Cantidad de lodos en pila de hidrólisis	Cl	m ³ /mes	$Cl = \frac{Pl * 30}{1000}$	Ec.45
Cantidad de lodos en Desarenador	Cld	m ³ /mes	$Cld = Pm * L * A$	Ec.46
Cantidad de lodos secos	Cls	m ³ /mes	$Cls = (Cl + Cld) * 0.01$	Ec.47
Altura de la capa de lodos en la pila	Hclp	m	Asumir	Ec.48
Área requerida para el secado	Ars	m ²	$Ars = \frac{Cls}{hclp}$	Ec.49
Relación largo/ancho	R	Adimensional	$R = \frac{L}{B}$	
Ancho de la pila de secado de lodos	Bsl	m	$Bsl = \sqrt{\left(\frac{A}{R}\right)}$	Ec.50
Largo de la pila de secado de lodos	Lsl	m	$Lsl = Bsl * R$	Ec.51
Volumen Total de la Pila	VTp	m ³	$VTp = Bsl * Lsl * hcl$	Ec.52

Dónde:

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

30: Son los 30 días del mes (Ec.45).

3.1.2.5.- Pila de almacenamiento final

Como un anexo al diseño en el sistema, se diseñó una pila de almacenamiento del agua ya tratada para hacer uso del agua en riego de viveros de café u otros cultivos del dueño (plátanos y naranjas). Se diseñó con una capacidad para recibir 3 días del caudal de diseño a través de las siguientes formulas:

Tabla 21.- Criterios de diseño para Pila de almacenamiento final

Criterios	Simbología	Unidad de Medida	Formula	Ec.
Período de retención de aguas residuales	$T_{r_{pf}}$	Días		Ec.53
Profundidad de la pila de Hidrólisis	H_{pf}	m	Asumir	Ec.54

Tabla 22.- Parámetros para diseño de Pila de almacenamiento final

Criterios	Simbología	Unidad de Medida	Formula	Ec.
Cálculo del volumen útil del digestor	V_{upf}	m^3	$V_{udi} = Q_D * T_{r_{pf}}$	Ec.55
Relación L/B de la pila de Hidrólisis	L_{pf}	m	$1.75 * B_{ph}$	Ec.56
Ancho de la Pila de Hidrólisis	B_{pf}	m	$B_{ph} = \left(\frac{V_{upf}}{H_{pf} * 1.75} \right)^{1/2}$	Ec.57
Largo de la Pila de Hidrólisis	L_{pf}	m	$L_{pf} = 1.75 * B_{pfp}$	Ec.58



**CAPÍTULO IV:
DESCRIPCION DEL
AREA DE ESTUDIO**

4.1.- DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

4.1.1.- Localización del área de estudio

La finca La Esperanza se encuentra ubicada en la comunidad de Las Manos del municipio de Dipilto, departamento de Nueva Segovia. Comunidad que pertenece a la micro región No.3 del municipio, junto con las comunidades: El Cambalache, Buenos Aires y Los Planes.³⁴ La finca se localiza en el kilómetro número 248 de la carretera panamericana Managua-Las manos, que comunica al municipio con la frontera de Honduras y 800 metros al oeste dejando la carretera principal, la finca se encuentra a 26.6 km de la cabecera municipal del departamento: Ocotol, está ubicada en una zona con elevaciones de entre 600 y 850 m.s.n.m.

4.1.1.1.- Macrolocalización

El terreno de la finca de estudio, en especial el área donde se encuentra el beneficio húmedo y el área a diseñar el sistema de tratamiento, se sitúa en el centro de la Comunidad Las Manos. Parte del terreno de sembraría de café comprende en la área límite propia de la comunidad El Cambalache que es parte de la misma micro región en la que pertenece la comunidad Las Manos. Alrededor de la finca de estudio encontramos terrenos de fincas, caseríos, terrenos privados de cultivos y áreas naturales no ocupadas por población.

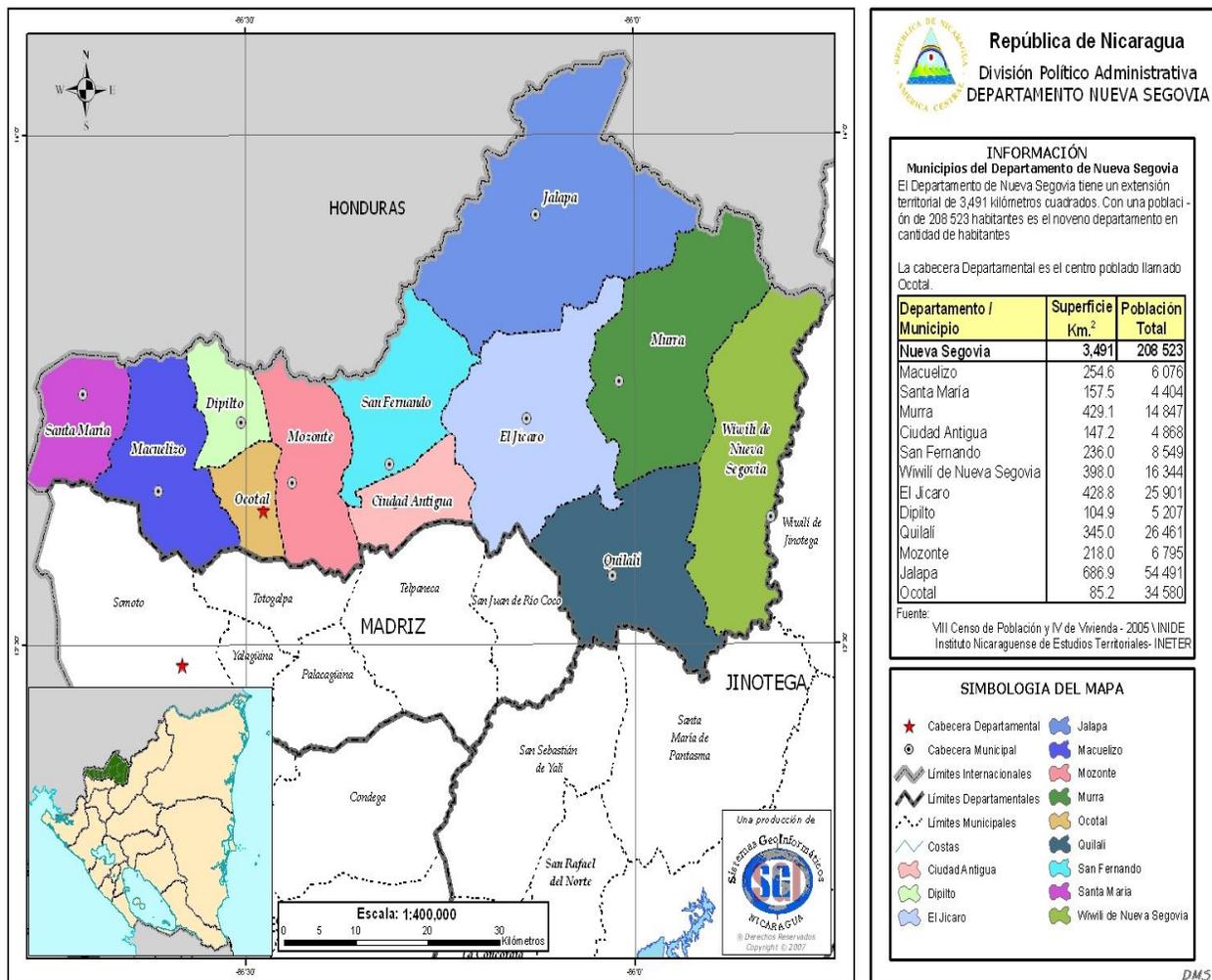
4.1.1.2.- Microlocalización

Todo el terreno que comprende la finca La Esperanza está a nombre del propietario: Salatiel Zavala. La Finca posee una área de 32.75 Mz, donde está dividido en 25 Mz de cultivos de café, 6 Mz de Área Natural de protección ambiental (Topografía: Zona de Montaña) y 1.75 Mz de construcción que comprende: casa principal del propietario, área de cuartos y cocina para trabajadores en tiempo de cose-

³⁴ Plan de ordemaniento forestal-Nueva Segovia-Municipio de Dipilto (POSAF/MARENA/INAFOR) 2005.

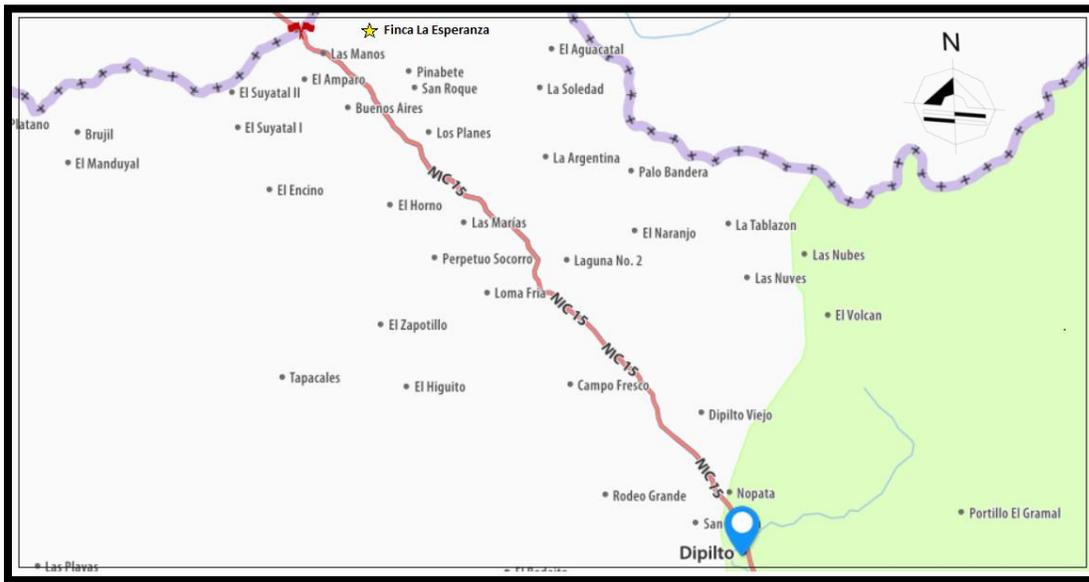
cha y área del beneficio húmedo. Para la construcción del sistema de tratamiento propuesto se ocupara parte del área que comprende las 25 Mz de cultivos de café, buscando la pendiente a favor del sistema para el paso del agua residual a cada etapa por medio de la gravedad.

Mapa 1.- Macrolocalización: Comunidad Las Manos, municipio de Dipilto del departamento de Nueva Segovia



Fuente: Sistema Geoinformatico de Nicaragua

Mapa 2.- Microlocalización: Finca La Esperanza



Fuente: Google Maps

➤ *Límites del terreno:*

Norte:	Propiedad de Petrona García (Finca).
Este:	Propiedad de Joaquín Lovo (Finca Bella Aurora).
Sur:	Propiedad de Eudoro Guillen (Finca San José).
Oeste:	Propiedad de Filicita Gonzales (Finca).

4.1.2.- Características de la zona del proyecto

◆ Descripción fisiográfica³⁵

El Departamento de Nueva Segovia es un altiplano situado entre 600 hasta 900 m.s.n.m. La comunidad Las Manos se encuentra abrazada de las cordilleras de Dipilto y Jalapa (Frontera natural entre la Republica de Honduras y Nicaragua). En el municipio de Dipilto encontramos la sub cuenca o distrito del río Dipilto, es un recurso hídrico de mucha importancia dentro de la producción cafetalera del de-

³⁵. Plan de ordenamiento forestal-Nueva Segovia-Municipio de Dipilto (POSAF/MARENA/INAFOR) 2005.

partamento y del país, la cual es de alrededor de 29,000 qq de café oro en 3,038 manzanas cultivadas.

Se ubica en la cuenca de su mismo nombre en el municipio de Dipilto y se desplaza desde la frontera con el hermano país de Honduras hasta la ciudad de Ocotlán. En el municipio de Dipilto se encuentran las siguientes microcuencas, potenciales de desarrollo del mismo y las comprende: La Tablazón, Las Gradadas, La Laguna, Río Dipilto, El Nancital, San Ramón, El Marinero y La Podrida.

◆ Factores Climáticos³⁶

El tipo de clima que predomina en el municipio es el subtipo Semi cálido – sub húmedo de mayor humedad, donde las temperaturas medias anuales son bastantes estables, oscilando éstas entre 18.60°C y 24.5°C con temperaturas media del mes más frío de 19.9°C (Septiembre). El régimen de precipitación anual es relativamente variable, con valores medios anuales en la porción más seca de 833.5 mm (Occidente del municipio) y en la parte más húmeda con valores hasta de 1,341.8 mm (Comunidad Los Planes).

La principal característica del régimen térmico de las microcuencas del río Dipilto radica en efecto del relieve y ubicación de la misma. Se presentan cuatro zonas distribuidas sobre el recorrido de las micro cuencas: zonas altas húmedas con temperaturas menores de 20°C; zonas media húmedas con temperaturas de 20 a 22°C; zonas bajas semi-seca con temperatura 22 a 24°C y zonas bajas secas que presentan temperaturas de 24 a 29°C.

El patrón de humedad relativa media anual y la zona máxima de humedad relativa con valores mayores del 74% corresponde a la zona de máxima pluviosidad, Las zonas representan el 88% del área total. Igualmente, la zona de valores de mínima humedad relativa menores de 70%, también coinciden con la zona de mínima pre-

³⁶. Plan de ordenamiento forestal-Nueva Segovia-Municipio de Dipilto (POSAF/MARENA/INAFOR) 2005.

cipitación, debido a la relación directamente proporcional entre la humedad relativa y la precipitación, estas zonas de mínimos rangos representan el 12% del área.

◆ Precipitaciones³⁷

El municipio de Dipilto, a 800 msnm de altura, tiene una precipitación media anual de 1160 mm, con meses lluviosos entre Mayo y Noviembre; considerándose Septiembre como el mes más lluvioso, con un promedio de 175 mm. Tiene un periodo canicular débil en el mes de julio, y un promedio de 40 mm de lluvia por mes durante el periodo de Diciembre a Marzo. La evapo-transpiración promedia mensual en estos últimos meses es aproximadamente 110-120 mm/mes. El déficit teórico acumulado es de unos 360 mm al final de la época seca, y la lixiviación acumulada es de unos 170 mm. Hay variaciones grandes de año en año en la precipitación debido a la presencia de fenómenos naturales (huracanes o tormentas tropicales).

En el periodo de mayo a octubre, se logra acumular un promedio de 735 mm, que corresponden al 62.7% del total anual; mientras que en el primer y segundo sub periodo lluvioso (mayo - julio y agosto - octubre), se logra acumular un promedio de 325 y 409 milímetros respectivamente, representando porcentajes aproximados de 28 y 35 %. En el periodo seco de noviembre a abril se acumulan 198 mm (16.9 %), dejando muy marcada la diferencia entre el periodo húmedo y el seco.

◆ Influencia del viento³⁸

En Dipilto, la presión atmosférica es bastante estable durante el año, y presenta sus valores máximos durante la estación seca, siendo el mes de enero el que presenta el valor más alto con 945.4 HPa. (Hectapascal o milibar), y mayo el más bajo con 941.4 HPa. El viento alcanza sus velocidades máximas en el mes de marzo con valores de 3.3 m/s. Predominancia de vientos alisios, con velocidades horarias máximas se registran entre las 11 y las 13 horas en el período seco y entre las 12

³⁷. Plan de ordenamiento forestal-Nueva Segovia-Municipio de Dipilto (POSAF/MARENA/INAFOR) 2005.

³⁸. Plan de ordenamiento forestal-Nueva Segovia-Municipio de Dipilto (POSAF/MARENA/INAFOR) 2005.

y 14 horas en el período lluvioso. En cambio, las velocidades mínimas en ambos períodos se registran principalmente en horas de la mañana. La dirección predominante del viento durante todo el año es de componente Norte - Este.

◆ Topografía y Relieve

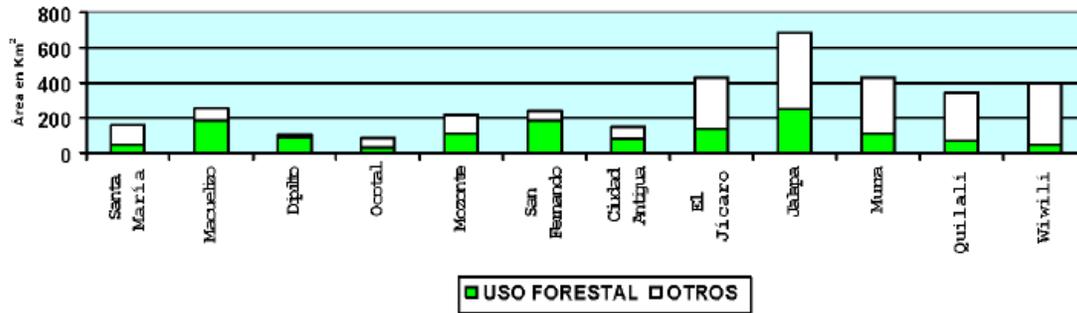
Para la descripción del relieve y topografía departamental de Nueva Segovia se ha establecido categorías de uso. Las Categorías de uso forestal, uso pecuario y uso agrícola agrupan unidades de uso actual de la Tierra, donde se logra identificar el uso actual del territorio de municipio de Dipilto con sus porcentajes de áreas ocupadas según la categoría, las cuales son descritas a continuación:

- Tierras con uso actual forestal

Categoría que comprende aquellas tierras que aún presentan vegetación boscosa y/o bosques en regeneración natural o por reforestación constituida por Bosque de Latifoliados (cerrado y abierto), Bosque de Galería, Bosque de Pinares (denso, ralo y atacado por el gorgojo descortezador) incluyendo Bosque mixto. Cubren 1332.57 Km² para el 38.17% del área. La mayoría de la superficie está en proceso de intervención (despale) y atacadas por el gorgojo descortezador del Pino,

En el ámbito municipal, las tierras con uso actual forestal ocupan el 28.64% del área de Santa María, el 72.04% del área de Macuelizo, **el 81.81% del área de Dipilto**, el 32.81% del área de Ocotlán, el 51.12% del área de Mozote, el 1.44% del área de San Fernando, el 53.99% del área de Ciudad Antigua, el 31.54% del área de El Júcaro, el 36.59% del área de Jalapa, el 26.47% del área de Murra, el 19.84% del área de Quilalí y el 11.50% del área de Wiwilí de Nueva Segovia.

Gráfica 2.- Tierra con uso actual forestal en Nueva Segovia, año 2013



Fuente: *Uso actual de la tierra. Estudio de suelo del Departamento de Nueva Segovia (INETER)*

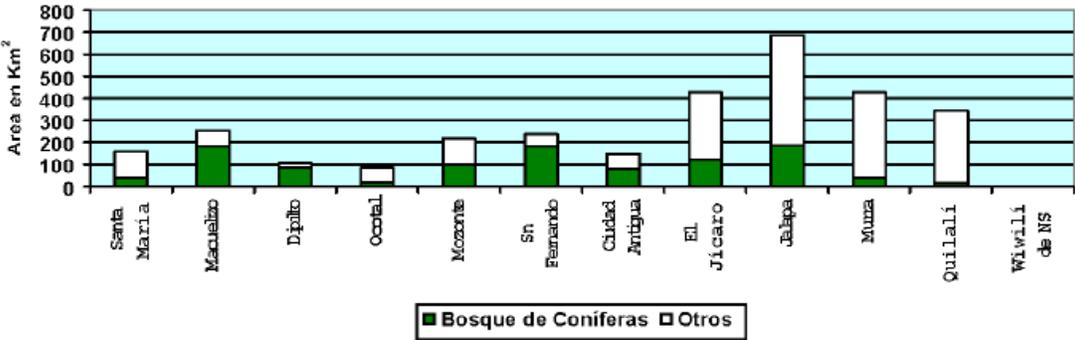
- Bosque de Coníferas o Pinares

Forestas de pinares, con altura mayor de 12 metros y densidad de cobertura de copas hasta un 70%, con pastos en los claros. Estos bosques están siendo atacados por el gorgojo descortezador del pino y en algunos sectores, bajo este pretexto están siendo diezmados, y están en regeneración natural en áreas despaladas o en áreas intervenidas por los cortadores madereros e invadidos por Robles en algunos sitios. Cubren 1,045.87 km² para el 29.96% del área. Los bosque de pinares fueron explotados en forma indiscriminadas desde los años 50 y la superficie actual de pinares que fue y sigue siendo intervenida, está en estos momentos en proceso de regeneración natural, los cuales tienen generalmente altura promedio de 10 a 18 metros y un DAP (Diámetro a la Altura del Pecho) de 40 centímetros, hay pinos que tienen mayores y menores alturas de crecimiento.

Las áreas afectadas por el gorgojo descortezador se encuentran también en regeneración natural con altura promedio de 5 metros o menos en su mayoría, con una densidad muy alta de plantas, por lo que debe ser regulada con un Plan de Manejo Forestal para asegurar la calidad genética y garantizar un bosque de calidad.

En el ámbito municipal el Bosque de Coníferas o Pinares ocupa el 23.89% del área de Santa María, el 71.99% del área de Macuelizo, **el 81.81% del área de Dipilto**, el 21.98% del área de Ocotlal, el 44.69% del área de Mozonte, el 76.95% del área de San Fernando, el 53.32% del área de Ciudad Antigua, el 128.33% del área de El Jícaro, el 26.83% del área de Jalapa, el 9.40% del área de Murra y el 4.85% del área de Quilalí.

Gráfica 3.- Uso Actual de Coníferas en Nueva Segovia, año 2013



Fuente: *Uso actual de la tierra. Estudio de suelo del Departamento de Nueva Segovia (INETER)*

- Tierras con uso actual pecuario

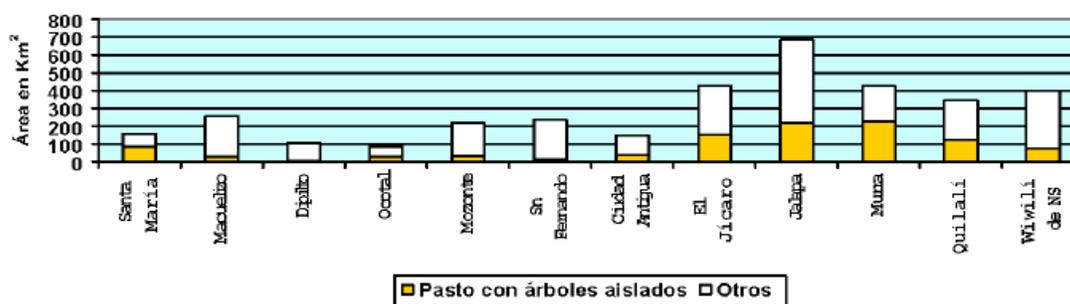
Categoría que comprende tierras destinadas para pastoreo del ganado (mayor y menor) y pastizales degradados (Pasto mejorado, Pm; Pastos con árboles aislados, P+a; Pastos con maleza, P+m; Maleza compacta, Mz). Ocupa 1,584.19 Km² para el 45.38% del área

- Pasto con árboles aislados

Tierras deforestadas, empastadas o con pasto natural asociado a árboles individuales diseminados en proporción muy inferior al 20% de cobertura de copas, utilizadas para ganadería extensiva. Cubre 1,017.89 Km² para el 29.16% del área.

En el ámbito municipal las tierras de Pasto con árboles aislados ocupan el 54.36% del área de Santa María, el 9.92% del área de Macuelizo, el 2.96% del área de Dipilto, el 29.85% del área de Ocotál, el 13.83% del área de Mozonte, el 5.93% del área de San Fernando, el 25.21% del área de Ciudad Antigua, el 35.10% del área de El Jícaro, el 31.54% del área de Jalapa, el 53.49% del área de Murra, el 36.08% del área de Quilalí y el 19.03% del área de Wiwilí de Nueva Segovia

Gráfica 4.- Uso actual de área de pasto con árboles aislados (potreros) en Nueva Segovia, año 2013



Fuente: *Uso actual de la tierra. Estudio de suelo del Departamento de Nueva Segovia (INETER)*

➡ Tierras con uso actual agrícola

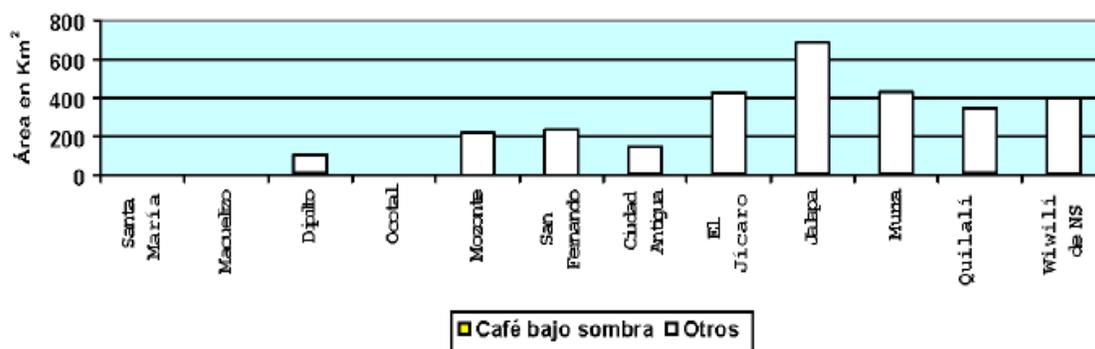
Son las áreas donde se realizan actividades agrícolas, incluyendo áreas en barbecho (pastos con cultivos).

- (Cs) Café bajo sombra

Esta ocupación agroeconómica que corresponde a un Sistema de Producción Agroforestal, en su mayoría la realizan sin manejo tecnificado del cafetal, ni prácticas de conservación de suelos. Cubren 47.58 Km² para el 1.36% del área. En los últimos años (desde los 90) han incorporado nuevas tierras y actualmente están incorporando más tierras con café bajo sombra arralando el bosque.

En el ámbito municipal las tierras de Café bajo sombra ocupan **el 7.72% del área de Dipilto**, el 0.03% del área de Mozonte, el 0.95% del área de San Fernando, el 2.02% del área de Ciudad Antigua, el 1.65% del área de El Jícaro, 0.91% del área de Jalapa, el 0.84% del área de Murra, el 2.77% del área de Quilalí y el 1.93% del área de Wiwilí de Nueva Segovia.

Gráfica 5.- Uso actual de área de café bajo sombra en Nueva Segovia, año 2013



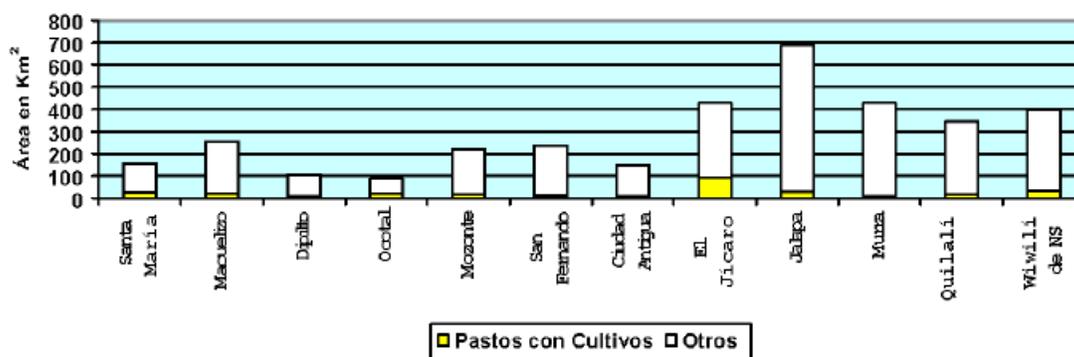
Fuente: *Uso actual de la tierra. Estudio de suelo del Departamento de Nueva Segovia (INETER)*

- (P+c) Pastos con cultivo

Tierras en barbecho o tierras empastadas asociadas con áreas de cultivos anuales en surco (agricultura transitoria o de subsistencia con tierras temporalmente en descanso) en proporción 60% con pastos y 40% con cultivos. Cubren 278.07 Km² para el 7.96% del área.

En el ámbito municipal, las tierras en barbecho de pastos con cultivos anuales ocupan el 16.13% del área de Santa María, el 8.31% del área de Macuelizo, el **6.85% del área de Dipilto**, el 22.57% del área de Ocotla, el 6.70% del área de Mozonte, el 4.62% del área de San Fernando, el 3.84% del área de Ciudad Antigua, el 20.99% del área de El Jícaro, el 4.11% del área de Jalapa, el 1.20% del área de Murra, el 4.87% del área de Quilali y el 8.48% del área de Wiwilí de Nueva Segovia.

Gráfica 6.- Uso actual de área de pastos con cultivos anuales (barbecho) en Nueva Segovia, año 2003



Fuente: *Uso actual de la tierra. Estudio de suelo del Departamento de Nueva Segovia (INETER)*

➤ Zona Urbanizada

Corresponde al casco urbano de las Cabeceras Municipales (CM) y centros poblados concentrados. Cubre 19.60 Km² para un 0.56% del área total del departamento.

➤ Cuerpos de Agua, Cárcavas y Bancos de arena

Ocupa un área de 6.52 Km² para un 0.19% del área total del departamento

➤ Suelo⁴⁰

Para clasificar los suelos se utilizó el Sistema de Clasificación Taxonómica de la 7^a aproximación de 1974, más los Suplementos de la 7^a aproximación de 1967 y 1970, y las modificaciones del Soil taxonomy de la USDA, 1975. Hay seis categorías en este sistema de clasificación, pero para el estudio de los suelos de los municipios del departamento Nueva Segovia se llegó hasta el cuarto nivel. Las categorías son: Orden – Suborden – Gran Grupo – Subgrupo – Familia – Serie de Suelo. Tomando de ejemplo el Orden Entisol tenemos:

Orden	Typic Ustorthents	Orden Entisol
Suborden	Typic Ustorthents	Suborden Orthents
Gran Grupo	Typic Ustorthents	Gran Grupo Ustorthents
Subgrupo	Typic Ustorthents	Subgrupo Typic Ustorthents

Se presentan los tipos de suelos en el territorio de Dipilto con sus características y sus áreas ocupacionales:

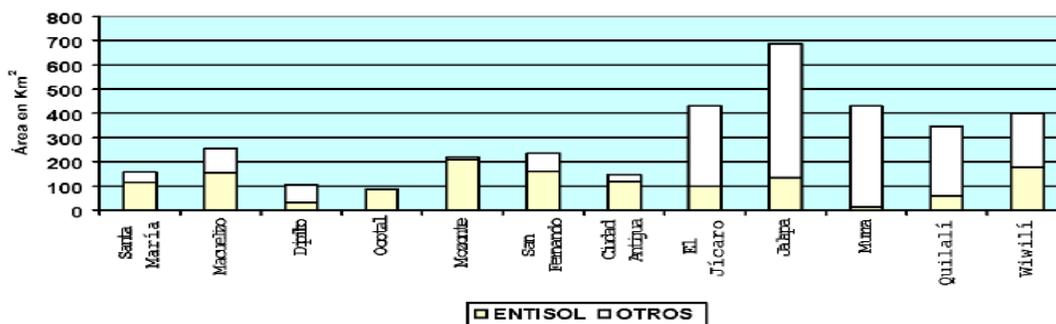
⁴⁰. Suelos. Estudio de suelo del Departamento de Nueva Segovia (INETER).

➔ ENTISOL

Son suelos minerales de desarrollo reciente, que sus horizontes no presentan aún características bien definidas de suelos (horizontes alterados, en proceso de meteorización), aunque hay casos en que se encuentra un horizonte de poco espesor que indica un grado de evolución muy incipiente; y suelos muy degradados en superficies erosivas muy activas; de muy baja fertilidad natural, moderadamente profundos a muy superficiales (de 75 a menos de 25 cm de profundidad a la roca inalterada o poco alterada), en casos donde el horizonte meteorizado es de gran espesor tienen 90 o más cm de profundidad.

Estos suelos no tienen capacidad para soportar actividades agrícolas, su mejor uso es para el manejo forestal y bosques de protección y conservación en dependencia de la pendiente del terreno y otros factores. En el ámbito municipal, los suelos ENTISOL ocupan el 72.69% del área de Santa María, el 61.09% del área de Macuelizo, **el 30.83% del área de Dipilto**, el 98.79% del área de Ocotlal, el 95.46% del área de Mozonte, el 67.81% del área de San Fernando, el 80.10% del área de Ciudad Antigua, el 22.90% del área de El Jícaro, el 19.46% del área de Jalapa, el 3.10% del área de Murra, el 16.71% del área de Quilalí y el 44.52% del área de Wiwilí.

Gráfico 7.- Extensión del suelo ENTISOL en municipios de Nueva Segovia



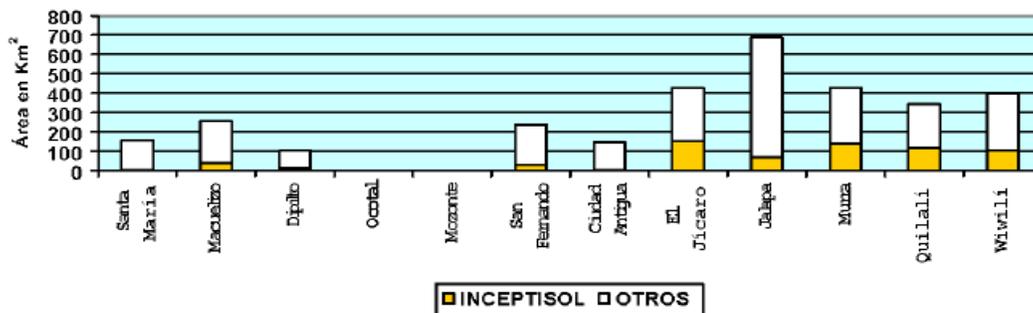
Fuente: Estudio de suelo del Departamento de Nueva Segovia (INETER)

➔ INCEPTISOL

Son suelos minerales de desarrollo incipiente, que en el primer horizonte ya han desarrollado características y propiedades de suelo y en el subsuelo, que se encuentra en formación, presenta un horizonte alterado (altamente meteorizado) que tiene estructura de suelo o ausencia de estructura de roca por lo menos en la mitad del volumen. En parte se han desarrollado de rocas ácidas y de rocas metamórficas que han sido fuertemente lixiviadas por lo que en ambos casos presentan baja fertilidad natural. Estos suelos están fuerte a severamente erosionados, en su mayoría, perdiendo la capa superficial y en casos lamentables hasta parte del subsuelo, por lo que son poco profundos (40 a 60 cm) a profundos (>90 cm) sobre el estrato rocoso.

En el ámbito municipal los suelos INCEPTISOL ocupan el 2.97% del área de Santa María, el 15.65% del área de Macuelizo, el **11.61% del área de Dipilto**, el 12.83% del área de San Fernando, el 3.76% del área de Ciudad Antigua, el 35.52% del área de El Jícaro, el 10.02% del área de Jalapa, el 32.78% del área de Murra, el 33.78% del área de Quilalí y el 25.78% del área de Wiwilí. En los Municipios de Ocotal y Mozonte no se encontraron estos suelos.

Gráfico 8.- Extensión del suelo INCEPTISOL en municipios de Nueva Segovia



Fuente: Estudio de suelo del Departamento de Nueva Segovia (INETER)

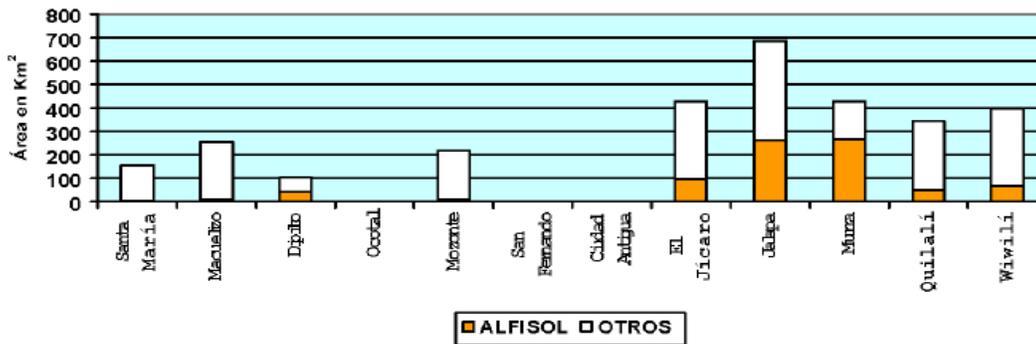
➡ ALFISOL

Son suelos minerales de desarrollo maduro, que se encuentran en la etapa intermedia de intemperismo químico, es decir, que presentan una moderada a intensa alteración de los minerales primarios, con horizontes (capas de suelo) bien desarrollados y el subsuelo es de acumulación de arcilla iluvial con un contenido mayor de arcilla que los Mollisols y de colores pardo rojizos a rojo amarillento. Son de fertilidad moderada a baja, producto de la lixiviación de sus minerales básicos.

Estos suelos que son porosos, en períodos lluviosos normales se mantienen húmedos o mojados y durante lluvias intensas, prolongadas y continuas se saturan y sobresaturan. Ocupan 799.87 Km² para el 22.90% del área. Son profundos a muy profundos (90 cm de profundidad), excepto aquellos suelos que han sido fuertemente erosionados y han perdido parte o todo el horizonte superficial y parte del subsuelo y el material está a poca profundidad. Son aptos para los cultivos que se adapten a las condiciones de suelos y clima, cultivos anuales, semiperennes y perennes, sistemas agroforestales, plantaciones para la explotación forestal, requiriendo siempre el manejo correspondiente a las prácticas de conservación de suelos y de los recursos naturales disponibles

En el ámbito municipal los suelos ALFISOL ocupan el 1.83% del área de Santa María, el 2.64% del área de Macuelizo, **el 39.28% del área de Dipilto**, el 3.87% del área de Mozonte, el 22.64% del área de El Jícaro, el 38.12% del área de Jalapa, el 62.40% del área de Murra, el 14.12% del área de Quilalí y el 16.54% del área de Wiwilí. En los Municipios Ocotlán, San Fernando y Ciudad Antigua no se halló estos suelos.

Gráfico 9.- Extensión del suelo ALFISOL en municipios de Nueva Segovia



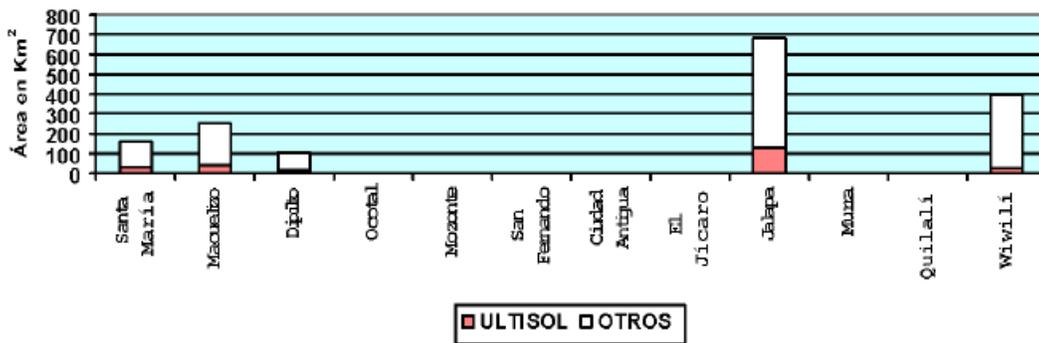
Fuente: Estudio de suelo del Departamento de Nueva Segovia (INETER)

➡ ULTISOL

Son suelos minerales de desarrollo senil, que se encuentran en la última etapa de intemperismo químico, presentando una intensa alteración de los minerales primarios, además, por una destrucción casi total de la red cristalográfica. La precipitación abundante y continua, y la alta porosidad de los suelos favorece una percolación continua del agua a través del perfil del suelo, provocando un intenso lavado de bases y sílice, aumentando la acidez de los suelos, baja fertilidad natural y presentando contenido variable de aluminio. Son profundos a muy profundos (90 cm de profundidad), de colores claros a pardo amarillentos.

En el ámbito municipal los suelos ULTISOL ocupan el 19.13% del área de Santa María, el 16.15% del área de Macuelizo, **el 16.98% del área de Dipilto**, el 19.60% del área de Jalapa, el 6.08% del área de Wiwilí. En los Municipios Ocotal, Mozonite, San Fernando, Ciudad Antigua, El Jícaro, Murra y Quilalí no se encontró estos suelos.

Gráfico 10.- Extensión del suelo ULTISOL en municipios de Nueva Segovia



Fuente: Estudio de suelo del Departamento de Nueva Segovia (INETER).

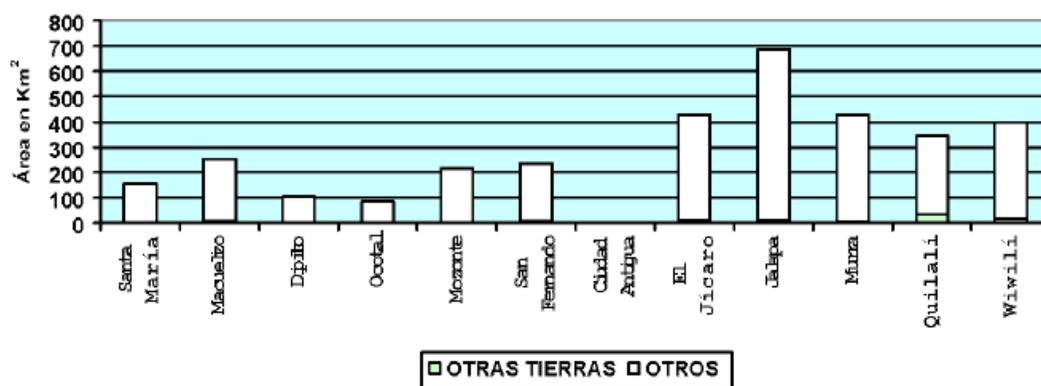
➡ Otras tierras

Aquí se agrupan los suelos Vérticos que presentan un horizonte superficial de diferente textura sobre un subsuelo de arcilla media, semi impermeable; las Tierras Aluviales que son formadas por los suelos y materiales gruesos (gravas, guijarros y fragmentos rocosos) depositados por las corrientes de los ríos durante sus crecidas, formando las terrazas en sus cauces y áreas adyacentes (lecho menor y lecho mayor de cada río); y las Tierras Coluviales que son formadas por los materiales removidos de las partes altas de las laderas por acción de la gravedad y (en períodos lluviosos) por erosión hídrica y depositados en las partes bajas al pie de las laderas, llamado también pie de monte. Las Tierras Aluviales y Coluviales presentan diferencia textural, secuencia textural y contenido de materiales gruesos variado.

En el ámbito municipal los suelos Vérticos ocupan el 1.42% del área de Santa María, el 0.05% del área de Macuelizo, el 0.50% del área de Ocotlal, el 2.89% del área de El Jicaró, el 1.35% del área de Jalapa, el 9.13% del área de Quilalí, el 0.99% del área de Wiwilí.

Las Tierras Aluviales ocupan el 0.41% del área de Santa María, el 1.26% del área de Macuelizo, el 0.70% del área de Ocotlal, el 0.67% del área de Mozonte, el 3.82% del área de San Fernando, el 0.14% del área de El Jícaro, el 0.52% del área de Jalapa, el 0.91% del área de Quilalí y el 2.32% del área de Wiwilí. Las Tierras Coluviales ocupan el 1.64% del área de Macuelizo, **el 1.31% del área de Dipilto**, el 0.95% del área de Murra y el 0.34% del área de Wiwilí.

Gráfico 11.- Extensión de OTRAS TIERRAS en municipios de Nueva Segovia



Fuente: Estudio de suelo del Departamento de Nueva Segovia (INETER).

◆ Cuencas⁴¹

En el municipio de Dipilto, se puede percibir tres tipos de sensación térmica; en bosque latifoliado cerrado, en el bosque de pino abierto y tacotales con árboles

⁴¹. Plan de ordenamiento forestal-Nueva Segovia-Municipio de Dipilto (POSAF/MARENA/INAFOR) 2005.

aislados. Las micro cuencas en que prevalecen los bosques latifoliados cerrados es donde se encuentran la mayor parte de los manantiales que recargan al Río Dipilto. En el municipio de Dipilto se encuentran las siguientes micro cuencas, potenciales de desarrollo del mismo:

Sub Cuenca del Río Dipilto: Comprende Las siguientes micro cuencas de La Tablazón, Las Gradadas, La Laguna, Río Dipilto, El Nancital, San Ramón, El Marinero y La Podrida. A continuación se describen los parámetros físicos de cada una:

- a) *Micro cuenca La Tablazón:* con un área total de 13.99 km²; un perímetro de 16.92 km; con una longitud de 4.96 km; elevación media de 1319 msnm y pendiente media del 19.5%.
- b) *Micro cuenca Las Gradadas:* con un área total de 9.17 km²; un perímetro de 17.29 km; con una longitud de 6.06 km; elevación media de 1078 msnm y pendiente media del 7.69%.
- c) *Micro cuenca La Laguna:* con un área total de 9.17 km²; un perímetro de 14.14 km; con una longitud de 4.58 km; elevación media de 1205 msnm y pendiente media del 15.28%.
- d) *Micro cuenca Dipilto:* con un área total de 4.9 km²; un perímetro de 10.24 km; con una longitud de 7.95 km; elevación media de 1275 msnm y pendiente media del 17.31%.
- e) *Micro cuenca El Nancital:* con un área total de 4.86 km²; un perímetro de 11.81 km; con una longitud de 5.41 km; elevación media de 1013 msnm y pendiente media del 15.86%.

- f) *Micro cuenca San Ramón*: con un área total de 4.08 km²; un perímetro de 9.68 km; con una longitud de .69 km; elevación media de 1054 msnm y pendiente media del 16.02%.

En general la sub cuenca del Río Dipilto presenta una frecuencia de Ríos de 1.11 ríos por kilómetro cuadrado, considerándose el área con mayor potencial de agua; en relación a la densidad de drenaje existe un 1.4 kilómetro por kilómetro cuadrado, lo que es considerado como zona de alto riesgo de torrentes y crecidas; el tiempo de concentración de sus aguas es del 2.5 horas, presentando alta velocidad y escasa infiltración. En sus micro cuencas, el Río Dipilto presenta una elevación media de 844 msnm y la lámina de agua excedente es del 0.57 m³ / segundo. En un área 8 manzanas de la finca de estudio, dos de ellas con cultivos de café, se encuentra parte de la fuente de agua (manantial) El Liquidambar que surge de la montaña la Piconá, de dicha fuente surge el riachuelo El Cambalache que cruza toda el área del terreno de la finca. Este riachuelo se mantiene con un caudal mínimo los días de verano y en invierno aumenta inconstantemente, por lo cual la finca se abastece desde la fuente original de agua.

◆ Agua potable⁴²

El recurso agua para el municipio de Dipilto es abundante, pero no se garantiza calidad del vital líquido, estando el 100% de la población expuesta a enfermedades, principalmente la niñez. Los valores relativamente altos para enero, febrero y marzo, dado que ya para entonces las precipitaciones son muy escasas, pueden obedecer a los flujos de aguas mieles provenientes del beneficiado húmedo de café en Dipilto.

De acuerdo a información suministrada por la regional, aproximadamente un 17.20 % de la población toman agua de pozos, el 6.20 % se abastecen de los puestos de agua y el restante 1.10% por medio de pipas. En zonas rurales la gente cam-

⁴². Plan de ordenamiento forestal-Nueva Segovia-Municipio de Dipilto (POSAF/MARENA/INAFOR) 2005.

pesina extrae aguas de fuentes superficiales locales para usos en las casas y otros usos de las fincas (ganadería, beneficiado de café, riego de cultivos agrícolas). En el caso del poblado de Dipilto el agua la toman del río y riachuelos del área y no existe una conexión de red pública de abastecimiento.

La finca de estudio se abastece de la asiente de agua “El Liquidambar” donde todo el año tiene circulación del agua, aguas arriba abastece también a poblaciones específicas de la comunidad. Este asiente origina un afluente conocido como el riachuelo El Cambalache que también cruza dentro del área de la finca con un caudal mínimo por lo cual no es utilizado en la finca para ningún uso.

◆ Red de evacuación de aguas pluviales y residuales

En lo que se refiere a las aguas pluviales tanto el área urbana como las comunidades rurales carecen de sistemas adecuados de drenaje. En el municipio no existe el drenaje por tuberías, siendo éste superficial y sin ningún diseño adecuado, por lo cual las calles se dañan severamente todos los años con las lluvias, igual problema se presenta en los caminos de las áreas rurales. De las aguas residuales industriales se puede señalar que en todo el municipio, tanto en el medio urbano como rural se hace uso de sumideros y letrinas, no existiendo alcantarillado sanitario.⁴³

Actualmente la red domiciliar de la finca está dividida por las aguas residuales industriales de la casa del propietario más el agua residual del área de los trabajadores (un baño, ducha externas para uso de trabajadores en tiempo de cosecha) estas aguas residuales industriales son dirigidas a una pila séptica donde su funcionamiento es estable con respecto a su capacidad y al acercarse al límite de capacidad son llevadas a través de pipas a sistema de tratamiento municipal. Las aguas residuales industriales provenientes del proceso de beneficiado húmedo

⁴³ Plan de ordenamiento forestal-Nueva Segovia-Municipio de Dipilto (POSAF/MARENA/INAFOR) 2005.

son llevadas a otra pila séptica con una capacidad de 4.5 m³ donde esta agua residual desaparece por absorción del suelo y evaporación.

Actualmente pila séptica que almacena el agua residual del beneficio húmedo, al subir la producción a sobre pasado sus límites de diseño y por la característica de estas aguas la materia orgánica va generando capas que hacen perder capacidad a la pila y ocasiono en varios días laborales la detención del beneficiado y el traslado del café a otro lugar a beneficiar por temor a colapsar dicha pila séptica.

La alternativa que desarrollo el propietario es hacer una zanja de infiltración natural a una distancia de 8.50 metros de la pila séptica que almacena el agua residual del beneficio, el agua residual es impulsada a través de una bomba y llevada por un tubo flexible, en esta distancia atraviesa el riachuelo El Cambalache donde baja la elevación con respecto a la pila séptica en al área de circulación del rio, elevación comienza a subir hasta llegar a la ubicación zanja y volver casi a la misma elevación que posee la pila séptica del beneficio. La zanja tiene una longitud de 20.00 m, con 1.00 m de ancho y 0.50 m de profundidad (10 m³) cuando llega la pila séptica a punto de rebalse, comienza a trabajar la bomba quien lleva estas aguas residuales industriales a la zanja de infiltración natural, esta alternativa esta propensa a también no ser útil cuando las capas orgánicas hayan ocupado la mayor parte de volumen de dicha zanja.

◆ Luz eléctrica

La energía que es suministrada a las áreas construidas para vivienda y el propio beneficio húmedo de café de la finca es facilitada por el tendido eléctrico que existe en la comunidad y que está a cargo de UNIÓN FENOSA. El agua potable que suministra el asiente es llevada a las tuberías principales por gravedad, lo cual no genera ningún uso energético generado por una bomba en este proceso, solo el uso de la bomba usado en el bombeo de la aguas residuales industriales a la zanja de infiltración natural.



CAPÍTULO V:
DESARROLLO

5.1.- DESARROLLO

5.1.1.- Determinación del caudal

El beneficio húmedo de la finca La esperanza inicia sus operaciones en un estimado de los últimos días del mes de diciembre y finaliza sus operaciones en la última semana de marzo y puede llegar a extenderse las primeras semanas de Abril (4 meses). Antes de determinar el caudal diseño, se hizo un estudio con la información existente de los gastos de agua por día en los ciclos de producción: 2013-2014, 2014-2015, 2015-2016.

El beneficio húmedo realiza un gasto de 22.40 litros por lata de café, cifra que fue compartida por el dueño de la finca. Según los análisis en los tres ciclos de estudio, no pudo verse un patrón de consumo de agua con características idénticas, por lo que el beneficiado húmedo de la finca no tiene actualmente un cifra exacta por día del despulpe y lavado del café (Ver Apéndice A). El ciclo 2014-2015 fue el ciclo donde el café fue atacado por la Troya y las producciones disminuyeron considerablemente a un 45% en comparación al ciclo anterior. Ver graficas en Apéndice J.

El caudal de la producción más alta diaria en latas en los tres ciclos de producción, se generó en el ciclo 2015-2016 con 318 latas de café (1780.80 libra café oro), haciendo un consumo de agua de 7.12 m^3 , para el caudal de diseño del sistema de tratamiento se consultó al dueño de la finca el aumento en 5 años de una producción diaria máxima lo cual estableció la cifra de 600 latas (2800 libra café oro), es decir un aumento de producciones diaria de beneficiado del 88.68 % con respecto a la producción máxima diaria del ciclo 2015-2016, estas 600 latas generara un caudal de agua residual de 13.40 m^3 , aplicando un factor de seguridad por posible aumento de proyección futura (Criterio del diseñador) del 10%, el caudal de diseño para nuestro sistema de tratamiento será de 14.78 m^3 .

Para mayor detalles ver Apéndice B: Diseño del sistema propuesto (Pág. xiii).

5.1.2.- Caracterización de las aguas residuales industriales a tratar

Las características de estas aguas fueron investigadas según el mismo proceso de beneficiado húmedo de nuestra finca de estudio, donde se realiza el despulpe en seco (sin consumo de agua) y con el único y último proceso que hace uso de agua: Lavado del café. Podemos decir que una de la característica importante de nuestras aguas residuales industriales será que no tendrá una alta carga orgánica que es proporcionada por la pulpa del café, ya que en nuestro beneficio húmedo el despulpe es realizado por el método en seco. Debido a nuestras características de las aguas residuales industriales de varias industrias del café, no se puede escoger valores al azar de cada una de las características físico-químicas de estas aguas, ya que podría afectar la eficiencia del sistema de tratamiento.

Según los análisis y consultas, se realizó un promedio de cada parámetro, proporcionando valores más reales y máximos que pueden de tener nuestras aguas residuales. Este promedio se convirtió en los parámetros de diseño de las aguas residuales industriales para el sistema de tratamiento. En la siguiente tabla se representan la caracterización del agua residual para el diseño del sistema de tratamiento en la finca La Esperanza.

Tabla 23.- Características físico-químicas del agua residual para criterios de diseño en la finca La Esperanza

Finca La Esperanza		
Criterio de Diseño / Características de Aguas Residuales		
Parámetros	Unidad	Datos / Promedio
DQO	mg/L	8,408.80
DBO5	mg/L	4,907.58
Solidos Suspendidos totales	mg/L	1,845.82
Solidos Sedimentables totales	mg/L	37.29
Aceites y grasas	mg/L	39.75
pH		4.32

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 las experiencias del programa de BIOMASA de la Universidad Nacional de Ingeniería de Nicaragua (UNI), 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 los parámetros según la caracterización de la carga de las aguas a tratar que proponemos en el estudio.

Se enfatizo una eficiencia mínima para poder evaluar si el sistema de tratamiento propuesto es eficiente en cada uno de los procesos.

Estos parámetros conllevaron a investigar sobre los requisitos para el uso de procesos biológicos, ya que existe un límite para la adaptabilidad de los microorganismos. Esto nos llevó a considerar la relación DBO_5 y DQO, para poder determinar los criterios buscados.

◆ Relación entre DBO_5 y DQO⁴⁴

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:

Tabla 24.- Relación DBO_5 : DQO

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

Fuente: GTZ, Cooperación Técnica República Federal Alemana, Manual de Disposición de las Aguas Residuales; Tomo II

⁴⁴. GTZ, Cooperación Técnica República Federal Alemana, Manual de Disposición de las Aguas Residuales; Tomo II, Lima 1991.pág.559.

Los cocientes o relaciones por encima de 0.5 sirven para indicar que los procesos biológicos han extraído considerablemente las sustancias que producen DBO₅ 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.

En la superficie deben prevalecer los siguientes cocientes mínimos de DBO₅: DQO para indicar la probabilidad de degradación de las aguas residuales industriales comerciales cuando se utilizan microorganismos inadaptados.

Tabla 25.- Relación DBO₅: DQO, cocientes mínimos

Aguas residuales industriales fáciles de tratar biológicamente	0.6
Aguas residuales industriales accesibles a un tratamiento biológico	0.4
Aguas residuales industriales inaccesibles a un tratamiento biológico o que necesitan aclimatación (adaptación)	0.2
Ambiente tóxico que no permite la aclimatación (adaptación)	0.0

Fuente: GTZ, Cooperación Técnica República Federal Alemana, Manual de Disposición de las Aguas Residuales; Tomo II

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 DBO_5 : DQO escogimos 0.5 siendo un valor neutro que nos permite determinar el valor de la DBO_5 , sin mayores dificultades.

El valor de la DQO salió del promedio de los valores de las DQO de la tabla N° 19, dando como resultado 8408.80 mg/L y para la DBO_5 el promedio dio un resultado de 4907.58 mg/l. Analizando la relación DBO_5 : DQO, se multiplicó el valor de la DQO por 0.5, dando el valor de 4204.4 mg/l para obtener el DBO_5 . Ante el valor obtenido en promedio y el análisis de la relación DBO_5 : DQO hay una diferencia de 703.18, una diferencia mínima lo cual nos asegura un buen valor de la DBO_5 asignado. Tomaremos el valor mayor por seguridad de diseño.

5.1.3.- Análisis y selección de alternativas

Para la alternativa posible de tratamiento de las aguas residuales industriales a tratar, se consultó bibliografía y monografías sobre diseños de sistema de tratamiento de aguas residuales industriales y sistema de tratamientos nacionales existentes para este tipo específico de industria, examinando las tecnologías in situ para proponer las etapas indicadas del sistema en términos de eficiencia y que no se causen daños al medio ambiente.

La alternativa propuesta es la opción más viable en el área sanitaria, hidráulica y económica, que se adapta mejor que otro tipo de tecnologías a la topografía, ambiente y área del terreno. También se prevé obtener subproductos como es: Biogás y calidad de agua para uso como fertilizantes de las siembras. Se analizó específicamente la producción de biogás para mostrar si es viable su aprovechamiento para un futuro uso en el área de cocina de la finca en alimentación de los trabajadores y tostado de café.

En la conformación del sistema de tratamiento se tiene como tratamiento preliminar, el diseño de un canal de entrada con rejilla y un desarenado con trampa de grasa; como tratamiento primario se consideró una la Pila de Hidrólisis, un Digestor anaeróbico, Criba y Dispositivo de control de Ph; y como tratamiento secundario se determinó un Filtro de flujo descendente y dos Biofiltro de Flujo Horizontal. Para el porcentaje de remoción esperada de cada etapa del sistema se emplearon los parámetros que establece las experiencias del programa de BIOMASA de la Universidad Nacional de Ingeniería de Nicaragua, utilizando los valores mínimos de remoción según cada característica del agua residual que serán reducidas en cada proceso.

5.1.4- Descripción general del sistema de tratamiento

5.1.4.1.- Tratamiento Preliminar

➔ Canal de entrada y rejilla

El caudal de agua residual sin tratar es transportado directamente del beneficio húmedo a la planta de tratamiento en un pequeño tramo de 1.50 m por tuberías de pvc. La tubería de entrada al sistema será de 6" (150 mm) de diámetro, para luego ingresar al canal de entrada con reja.

El caudal de diseño del canal de entrada es el caudal propuesto para una producción máxima al año 2021, de 14.74 m³/día, con el cual se obtuvo una altura de agua de 0.02 m, se considera una altura de canal de 0.30 m por el tamaño de la reja que se usara y el paso de cualquier objeto flotante inusual de mayor tamaño en el caudal, un ancho de 0.30 m en una longitud de 1.50 m. Con estas dimensiones se tendrá una velocidad de flujo de 0.46 m/s y una velocidad máxima de 0.68 m/s, ambas velocidades cumplen las normas de diseño de INAA (Instituto Nacional de Acueductos y Alcantarillado). Ver cálculos en Apéndice B: Diseño del sistema propuesto (Pág. xiv).

La rejilla de dimensiones 0.30 m x 0.30 m será construida con marco de angulares de ¼" de acero inoxidable, con malla de lámina de acero inoxidable con ranuras de 2.00 mm tanto horizontal como verticalmente, este tamaño de espaciamiento entre barras es debido al tipo de industria donde solo puede verse por descuido en cantidades grandes de producción, frutos de café no procesados y semillas de café como elementos sólidos, difícil de procesarlos y que deben ser detenidos por las rejas.

➡ Desarenador

Luego de atravesar el canal de entrada con rejilla, el agua residual pasa al proceso efectuado por el desarenador, para retener partículas con un tamaño menor a los 2.00 mm, como grava, arena y partículas provenientes de la industria que pasaron por las aberturas de la reja.

Con un caudal de diseño de 14.78 m³/día, se obtuvo un ancho de 0.60 m, un largo de 2.00 m, una profundidad inicial de 0.35 m y una profundidad de salida de 0.55 m, dentro del diseño estará sumar la altura de 0.30 m del canal de entrada a ambas profundidades donde entrará al desarenador y saldrá el caudal al siguiente tratamiento, dando la altura final de diseño de 0.65 m y 0.85 m respectivamente. Se garantiza con estas dimensiones una velocidad horizontal óptima de 0.02 m/s, El tiempo que tarda en atravesar el desarenador la sección del flujo es de 108.12 segundos y el tiempo que tarda en sedimentar una partícula es de 0.004 segundos. Ver cálculos en Apéndice B: Diseño del sistema propuesto (Pág. xv).

La remoción esperada de contaminantes a eliminar en unidades de mg/L, establecido según experiencia del programa de BIOMASA de la Universidad Nacional de Ingeniería de Nicaragua, previste una remoción para: DQO, un 10%; para DBO₅, un 15%; Sólidos suspendidos totales, una remoción del 15%; Sólidos sedimentados totales, 15% de remoción y una remoción del 15% de las grasas y aceites.

5.1.4.2.- Tratamiento Primario

➡ Pila de hidrólisis

El caudal de diseño de la Pila de Hidrolisis es de 14.78 m³/día siendo el caudal máximo proyectado para un día laboral, cumpliendo todas las actividades proyectadas. Esta pila tendrá una altura de 2.50 m que incluye altura útil, altura de vacío y altura de lodo; un ancho de 2.00 m y una longitud total de 3.50 m. Este sistema hará una producción de lodos de 0.36 kg/día que serán transportados a la pila de lodos para trabajar este subproducto del proceso de tratamiento. Ver cálculos en Apéndice B: Diseño del sistema propuesto (Pág. xix).

En la tubería de salida de la pila de hidrolisis será añadido un sifón hidráulico donde es un sistema de tubo en forma de "n" con uno de sus extremos sumergidos en un líquido, que asciende por el tubo a mayor altura que su superficie o hasta ella, desaguando por el otro extremo. Para que el sifón funcione debe estar lleno de líquido, ya que el peso del líquido en la rama del desagüe es la fuerza que eleva el fluido en la otra rama como se mostrara en planos finales del sistema de tratamiento.

La remoción esperada de los contaminantes del agua residual proveniente de este proceso en unidades de mg/L, es de: DQO, un 20% de remoción; para DBO₅, un 20% de remoción; Solidos suspendidos totales, una remoción del 37%; Solidos sedimentados totales un 40% de remoción y una remoción del 5% de las grasas y aceites.

➡ Criba Hidrostática

Para definir las dimensiones de la criba hidrostática el caudal de diseño de 14.78 m³/día se convirtió la unidad a GPM, dando como resultado 2.704 GPM, se redondeó este valor a 3 GPM. Luego le solicitó a la Empresa AGROTEK O.P.S.A. con sede

en Costa Rica, enviar la cotización de una criba que cumpliera aproximadamente con las siguientes especificaciones:

➤ Descripción:

- ✓ Separador de Caja o estructura de acero inoxidable.
- ✓ Separador de sólido por gravedad
- ✓ La criba tiene un caudal máximo de 3.00 GPM
- ✓ Para un tubo plástico de PVC de 4"
- ✓ La capacidad de sólidos retenidos es de 0.5 mm

La cotización y la fotografía que enviaron de la criba hidrostática se puede observar en el Apéndice C. 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 5 GPM.

➤ Reactor Anaeróbico

El Reactor Anaeróbico tiene un periodo de retención de 3.00 días. El caudal de diseño para el digestor, será de 44.35 m³/día (volumen útil). A este volumen se le suma el volumen del lecho filtrante de piedra quemada (porosidad del 60%), deflectores y volumen de vacío del reactor, obteniéndose un volumen total de diseño de 77.76 m³. El reactor tendrá un dimensionamiento rectangular, con una altura de 3.00 m, un ancho de 3.60 m, un largo de 7.20 m respectivamente, el cual también constará de 5 claros o deflectores internos lo cual cada pared tendrá 0.30m de borde libre, inferior o superior a la pared, dependiendo del diagrama de flujo de las aguas residuales internas en el reactor. Cada pared tendrá un grosor de 0.20 m. (Ver apéndice K: Planos de Diseño del Sistema).

El reactor estará cubierto con domo metálico sumergido en un sello de agua, para la conservación del biogás generado por la degradación anaerobia y por tubería de PVC para la conducción del biogás hacia la cocina, en una distancia de 25.00 m., el diámetro mínimo de la tubería que usara será de ¾". En la instalación inter-

na de la cocina se usara un diámetro de tubería de ½". Ver cálculos en Apéndice B: Diseño del sistema propuesto (Pág. xxiv).

La remoción esperada de los contaminantes del agua residual proveniente del reactor anaeróbico en unidades de mg/L, será de: DQO, un 70% en remoción; para DBO₅, un 70% en remoción; Solidos suspendidos totales, una remoción del 85%; Solidos sedimentados totales un 85% de remoción y una remoción del 5% de las grasas y aceites. La concentración de contaminantes del agua residual, provenientes del tratamiento preliminar y tratamiento primario es:

Tabla 26.- Concentración de contaminantes del agua residual provenientes del tratamiento preliminar y tratamiento primario del sistema en diseño

Parámetros	Simbología	Valor	Unidades	Afluente del BHC. Decreto 33-95, Art. 38 del MARENA
Concentración de DQO	C _{DQO(salida)}	1,816.30	mg/L	200
Concentración de DBO ₅	Co _(salida)	1,001.15	mg/L	120
Sólidos suspendidos totales	SS _(salida)	148.27	mg/L	150
Solidos sedimentados totales	Ssed _(salida)	2.85	mg/L	1
Grasas y aceites	Ga _(salida)	11.23	mg/L	10

Estos valores demuestran que es necesario un tratamiento siguiente para eliminar más porcentaje de concentración de DQO y DBO₅, ya que con estos no se garantiza la calidad que cita el decreto 33-95 del artículo 38, del Ministerio del Ambiente y los Recursos Naturales (MARENA), referido a los beneficios húmedos del café.

➡ Filtro de flujo descendente

Luego del tratamiento que ofrece la pila de hidrólisis y el digester como tratamiento primario, le continúa un filtro de flujo descendente, utilizando el caudal de diseño de 14.78 m³/día, sus dimensiones calculadas fueron: altura total de 1.30 m que

incluye una altura de vacío de 0.20 m (altura que nos ayuda a crear una superficie de agua en todo el filtro), el ancho y largo del filtro de 4.00 m. La porosidad del lecho filtrante descendente en el filtro vertical es de un 60% (piedra quemada), en el filtro descansaran dos lechos de grava, el lecho inferior es de 0.55 m (altura) de grava de Ø 4" (100 mm) y el superior de 0.55 m (altura) de grava de Ø 2" (50.8 mm). Ver cálculos en Apéndice B: Diseño del sistema propuesto (Pág. xxix).

En la eficiencia de remoción de contaminantes del filtro de flujo descendente se asume una eficiencia del 60% en la remoción de DQO y un 60% en materia orgánica DBO_5 , 55% en remoción de Sólidos suspendidos totales, 55 % también para los sólidos sedimentables totales y el 30% de remoción de grasas y aceite. La concentración del efluente del filtro es de 726.52 mg/L en DQO, 400.46 mg/L en materia orgánica (DBO_5), 66.72 mg/L en sólidos suspendidos totales, 1.28 mg/L en sólidos sedimentados totales y 7.86 mg/l en grasas y aceites. Es necesario el diseño del Biofiltro como última etapa de nuestro sistema de tratamiento.

5.1.4.3.- Tratamiento Secundario

➡ Biofiltro de flujo horizontal

Se propone dos unidades en un mismo Biofiltro de flujo horizontal (partición del caudal de diseño) 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 (largo y ancho). La planta que se recomienda emplear es el Carrizo (*Phragmites australis*) y el lecho filtrante Hormigón rojo con una permeabilidad de 604.80 m/día y una porosidad del 60 %.

El Biofiltro consta de dos pilas, el caudal de diseño utilizado en esta etapa es de 14.78 m³/día, siendo el caudal de diseño por cada pila de 7.40 m³/día. Las dimensiones obtenidas son: altura efectiva de 0.80 m, más borde libre de 0.10 m; ancho de 8.50 m y longitud de 9.00 m. Estos Biofiltros tendrán una carga hidráulica de

35.27 m/año, valor eficiente para industrias ya que según experiencia de BIOMASA (UNI) se contemplan valores en el rango de 28 m/año a 35 m/año. El periodo de retención es de 5.00 días, la carga orgánica aplicada es de 0.03 kg/ha.d. Ver cálculos en Apéndice B: Diseño del sistema propuesto (Pág. xxxiii).

La eficiencia que ofrece este último tratamiento de este sistema es una constante de biodegradación (k_{DQO}) de 61 m/año; Constante de biodegradación (k_{DBO5}) de 70 m/año; Un 80% de remoción en sólidos suspendidos totales; Remoción del 80% en sólidos sedimentados totales y una remoción del 65% de las grasas y aceites.

➡ Pila de lodos

La cantidad de lodos que se generará en el desarenador y la pila de hidrolisis de acuerdo a los cálculos de diseño, es de 0.55 m³/mes, se recomienda un periodo de limpieza o extracción de 30 días. Los lodos han de ser transportados hacia la pila de secado mediante el efecto de gravedad. Se obtiene una pila de secado de 2.00 m de ancho, 1.15 m de largo y con una altura de la capa de lodos de 0.25 m. Ver cálculos en Apéndice B: Diseño del sistema propuesto (Pag. xxxviii)

➡ Pila de Almacenamiento Final

Como final del efluente para uso del agua en la finca se diseñó una pila de almacenamiento para una captación de 3 días del caudal diario de diseño, haciendo un volumen de diseño de la pila de 45.5 m³ con dimensiones de 2.00 m de altura, un ancho de 3.50 m y una longitud de 6.50 m. Para uso de esta agua será llevada por tubería su destino final de uso. Ver cálculos en Apéndice B: Diseño del sistema propuesto (Pag. xxxix).



**CAPÍTULO VI:
PRESENTACIÓN
DE RESULTADOS**

6.1.- PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

6.1.1.- Dimensionamiento final del sistema de tratamiento de aguas residuales Industriales del Beneficio Húmedo del café de la Finca La Esperanza

Etapas	Altura (m)	Ancho (m)	Longitud (m)	Área (m ²)
Canal de Entrada	0.30	0.30	1.50	0.45
Desarenador	0.65	0.60	2.00	1.20
	0.85			
Pila de Hidrólisis	2.50	2.00	3.50	7.00
Reactor Anaeróbico	3.00	3.60	7.20	25.92
Diseño de Filtro Descendente (FD)	1.30	4.00	4.00	16.00
Biofiltros de Flujo Horizontal (BFH)	0.90	7.00	7.50	105.00
Pila de Secado de Lodos	0.25	2.00	1.15	2.30
Pila de Almacenamiento final	2.00	3.50	6.50	45.50
			Total	203.37

6.1.2.- Características del efluente final

Las características finales del efluente que paso por todos los procesos físicos-naturales de nuestro sistema de tratamiento garantiza en materia orgánica: DQO, una concentración en el efluente de 128.86 mg/L, un DBO₅ de 55.03 mg/L de concentración en el efluente, los sólidos suspendidos totales presentan una concentración en el efluente de 13.34 mg/L, mientras los sólidos sedimentados totales una concentración de 0.26 mg/L y grasa y aceites con concentración finales de 2.75 mg/L.

Los límites máximos permisibles según el decreto 33-95 del artículo 38, del Ministerio del Ambiente y los Recursos Naturales (MARENA), referido a los beneficios húmedos del café., nos dan valores de alcance de 200 mg/L para concentración DQO, 120 mg/L para la concentración final de DBO₅, 150 mg/L en solidos suspen-

didados totales, 1 mg/L para concentración de sólidos sedimentados totales y para grasa y aceites una concentración de 10 mg/L.

Podemos mostrar que con los porcentajes mínimo de remoción esperado que se aplicó a las aguas residuales industriales en cada etapa, pudimos cumplir, estar debajo de estos límites máximos que establece el decreto para descarga de nuestras aguas residuales industriales en forma directa o indirecta. Comparando con los rangos límites máximos para uso de riego agrícola en la producción de cultivos hortícolas también cumple con requerimientos para este tipo de uso.

6.1.3.- Disposición de efluente final

Dependiendo las necesidades hídricas de la finca o comunidad, así como de las condiciones edafo-climáticas propias de la zona del proyecto. La disposición final del efluente del sistema de tratamiento será destinada para riego de vivero de plantas de café u otras plantaciones que tenga el dueño de la finca. El efluente puede ser utilizado también para ser descargado a cuerpos de agua ya que cumple con los parámetros establecidos por el MARENA en el Decreto 33-95.

6.1.4.- Producción y uso de Biogás generado en el digestor anaerobio

La producción de biogás estimada diariamente con un contenido alrededor del 60% de metano, es de un volumen de 13.43 m³/día. El biogás generado se utilizará en las actividades de cocina para los 3 tiempos de alimentación de los trabajadores del corte de café en tiempo de cosecha (actualmente se contratan 30 cortadores de café), el otro uso del biogás será para el tostado las de café que el propietario destina para su marca de comercialización. Para mayor detalle ver apéndice B: Diseño del sistema propuesto (Pág. xxvi).

Tomando en consideración que el consumo de biogás en quemadores domésticos es de 0.2 a 0.4 m³/h, el propietario posee una cocina de 3 quemadores, estimando un consumo máximo de Biogás por cada quemador de 0.4 m³/h. El propietario de

la finca afirma que al hacer los 3 tiempos de comida diariamente se usan 7.5 horas de uso incluyendo el cocer frijoles.

Se determinó la cantidad de m^3 de Biogás utilizados en una cocina doméstica, solo basta multiplicar el consumo de Biogás por las horas de uso al día (7 horas/día) por el N° de quemadores de la cocina (3 quemadores), eso da como resultado $9.00 m^3/día$.

Para consumo de biogás para el tostado de café por día, destinado por el propietario para su comercialización, se propone el uso de una cocina de 2 quemadores industriales en los cuales se colocaran en ambos, 2 sartenes de gran tamaño. El propietario nos afirma que en días de tostar café realiza dicho proceso para 400 libras de café y que le lleva el uso de fuego calorífico por 12 horas, es decir 3 horas para cada 100 libras de café. El consumo de biogás en quemadores industriales es de de 1 a $3 m^3/h$. Actualmente el tostado del café lo realiza en fogón así que podemos considerar que para dos quemadores industriales estas horas de consumo podemos disminuirlas a un 30% menos, siendo las horas de consumo para 100 libras de café de 2.10 horas.

Para tostar las 400 libras de café se emplearían 8.40 horas en la cocina industrial y tomando un consumo mínimo de $1 m^3/h$ de biogás para cada quemador, se necesitaría ocupar $16.80 m^3/h$ de biogás. Restando el uso de biogás usado en la cocina para los alimentos de los trabajadores, según el volumen diario generado por el digestor nos queda un restante de $4.43 m^3/h$, realizando regla de tres pudimos llegar a que con este volumen de biogás sin uso se podría solo tostar 100 libras de café cuando el propietario hiciera dicho proceso, realizando un consumo de biogás de $4.20 m^3/h$. Se propone al propietario poder tostar el café por etapas de 100 libras al día para aprovechar el beneficio de este subproducto y no usar leña para este proceso.

En términos ambientales se ha calculado que en 1 m³ 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:

$$x \text{ (hectáreas)} = \frac{13.43 \text{ m}^3 * 0.335 \text{ ha}}{1 \text{ m}^3}$$

Al realizar esta operación podremos saber que se evitaría la deforestación de 4.50 hectáreas por día de bosques con un promedio de 10 años de vida de los árboles. Es decir 6.38 manzanas de bosques al día.

6.1.5.- Presupuesto

6.1.5.1.- Presupuestos de Construcción

El costo de la Planta de tratamiento es el precio del Costo unitario de los Materiales y su transporte. El Costo de construcción del proyecto asciende a US \$ 39,416.59. Ver Apéndice F: Presupuesto general del sistema.

6.1.5.2.- Presupuesto de operación y mantenimiento

El costo de operación y mantenimiento del sistema de tratamiento propuesto asciende a unos US \$ 4,073.00 anual, aproximadamente. Los que serán necesarios para garantizar el buen funcionamiento del Sistema de Tratamiento de Aguas residuales industriales en sus diferentes etapas, este valor se ve influenciado debido a los análisis de laboratorio para la caracterización del agua residual en el reactor y efluente final, la compra de materiales de limpieza y el pago monetario de 2 operadores del sistema. Ver Apéndice G: Presupuesto: Operación y mantenimiento.

6.1.6.- Especificaciones técnicas

En las especificaciones técnicas para los objetivos de nuestro proyecto se mencionan la calidad de los materiales para construcción y cumplir con las especificaciones de dimensionamiento del sistema. La seguridad de los trabajadores para la construcción del sistema, así como el mantenimiento debe ser el apropiado para prevenir cualquier tipo de accidente. Otra de las especificaciones necesarias es la selección de las plantas del biofiltro donde es necesario poder saber los tipos de plantas, su eficiencia, el procedimiento de siembra y provecho después del corte. Ver más detalles en Apéndice D: Especificaciones Técnicas.

6.1.7.- Manual de operaciones y mantenimiento

Antes de comenzar a dar funcionamiento al sistema de tratamiento es necesario realizar un manual de operación para cumplir los objetivos de cada etapa del sistema y poder dar el mejor mantenimiento del sistema periódicamente en el tiempo de operación que se destina, el uso del sistema será en un tiempo total de 6 meses donde 4 meses son las producciones máximas de la cosecha y se destina 2 meses donde se recogen los últimos frutos de la cosecha para su beneficiado. Es necesaria en su operación y mantenimiento la capacitación de los trabajadores asignados a la vigilancia del buen funcionamiento del sistema.

En el control del funcionamiento del sistema se controlara además de la buena circulación de agua residual, la remoción esperada de contaminantes en el efluente final donde se estudia muestras del agua para medir las características físico-químicas del agua y ver el cumplimiento de estar debajo de los límites permisibles establecidos por el MARENA. También se estudiara el buen funcionamiento del digester anaerobio a través de la verificación de la remoción de contaminantes esperada en esta etapa, etapa importante ya que realiza la mayor remoción de cargas orgánicas del agua residual.

Para el efluente final se realizarán 3 muestreos compuestos cada 2 meses, en los 6 meses de trabajo del sistema y para el control de eficiencia de remoción del digester anaerobio se realizarán 2 muestreos compuestos cada 2 meses en los 4 meses de producciones máximas de café. Ver más detalles en Apéndice E: Manual de operaciones y mantenimiento.



**CAPÍTULO VII:
CONCLUSIONES Y RE-
COMENDACIONES**

CONCLUSIONES

- 1) Con la información documentada podemos confirmar que hay una problemática ante el manejo de las aguas residuales industriales generada en el proceso de beneficiado húmedo del café de la finca La Esperanza, donde el aumento de producción ha rebasado los límites de almacenamiento de las aguas residuales en pila existente convirtiéndose en un problema ambiental, principalmente para los cuerpos receptores (quebrada El Cambalache), verter aguas sin ningún tipo de tratamiento.
- 2) El sistema que se diseñó, está compuesto por 3 etapas de tratamiento, siendo la opción más viable sanitaria, hidráulica y económica, que se adapta mejor a las condiciones del terreno (topografía) y al tipo de agua residual generada; etapas de tratamiento capacitadas para garantizar un efluente final sanitariamente seguro, las concentraciones de salida cumplen con los valores permisibles citados en el artículo 38 del Decreto 33-95 del MARENA y también cumple con el artículo 57 del mismo Decreto para uso del efluente para riego Agrícola. En cuanto al efluente podrá ser descargado al ambiente o usado para riego de cultivos hortícolas, sin causar problemas de contaminación. En nuestro caso el efluente será ocupado para riego de vivero de la nueva generación de plantas de café y sembradíos de plátanos y naranjas que posee el propietario.
- 3) La caracterización de las aguas residuales industriales cuyos parámetros se consideraron en el diseño propuesto fueron obtenidos a través de bibliografía consultada y beneficios húmedos del país, así como internacionales (Cuba y El Salvador); se utilizaron los siguientes valores: DQO de 8,408.80 mg/L. DBO₅ de 4,907.58 mg/L, Sólidos suspendidos totales: 1,845.82mg/L, Sólidos sedimentados totales: 37.29 mg/L, Grasas y aceites de 39.75 mg/L y pH de 4.32.

- 4) El caudal de diseño del sistema de tratamiento es de $14.78 \text{ m}^3/\text{día}$, siendo el caudal máximo proyectado para 5 años futuros, en un día de labor de beneficiado húmedo del café de 600 latas cumpliendo con todas las actividades a realizar en cada proceso, éste caudal se utilizó para el dimensionamiento del canal de entrada y rejilla, desarenador como etapa preliminar del sistema; para el tratamiento primario se dimensiono una pila de hidrólisis y un reactor anaeróbico con tiempo de retención de tres días, para un volumen de $44.35 \text{ m}^3/\text{día}$. El Filtro descendente diseñados para un caudal de $14.78 \text{ m}^3/\text{día}$ y dos Biofiltros para recoger cada uno, un volumen de $7.4 \text{ m}^3/\text{día}$ de agua residual.

- 5) La producción diaria de biogás, que se generara producto de la degradación anaeróbica en el reactor, será de $13.43 \text{ m}^3/\text{día}$, con un contenido aproximadamente del 60% de metano. El biogás producido se usara en la cocción de alimentos para los trabajadores de la finca, en la Cocina doméstica de 3 quemadores, usados un volumen de biogás de $9.00 \text{ m}^3/\text{día}$, en 7.30 horas/día, con un volumen restante de $4.43 \text{ m}^3/\text{día}$, se usara para tostar café 100 libras de café diario en una cocina industrial de 2 quemadores, en un tiempo de 2.10 horas, El biogás utilizado en cocción de alimento y tostado de café, estará salvando 4.50 hectáreas (6.38 manzanas) por día de bosques con un promedio de 10 años de vida de los árboles.

- 6) Las características finales del efluente fueron resultado de la remoción de los contaminantes en cada proceso físicos-naturales de nuestro sistema de tratamiento. Garantizando que el efluente final en materia orgánica: DQO, una concentración en el efluente de 128.86 mg/L , un DBO_5 de 55.03 mg/L de concentración en el efluente, los sólidos suspendidos totales presentan una concentración en el efluente de 13.34 mg/L , mientras los sólidos sedimentados totales una concentración de 0.26 mg/L y grasa y aceites con concentración finales de 2.75 mg/L . Características que estar por debajo de lo permisibles según descrito en el decreto 33-95 del artículo 38, del Ministerio del Ambiente y los Recursos Naturales (MARENA), referido a los beneficios húmedos del café.

- 7) El costo total del Proyecto en todo el proceso de construcción de la PTAR es de US \$ 39,416.59, influenciado por el Costo Unitario de los materiales y costo aproximado de la mano de obra. El costo total para la operación y mantenimiento del sistema asciende a unos US \$ 4,073.00 anuales, 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 del operador del sistema.

RECOMENDACIONES

- 1) La Planta de tratamiento de aguas residuales industriales debe ser construida en el sitio propuesto, ya que es el único lugar que cumple con las condiciones topográficas para su edificación y la cercanía a la pila de fermentación y canaleta de lavado de café, para disminuir el trayecto por tubería de las aguas residuales industriales hacia el canal de entrada.
- 2) Aprovechar al máximo la producción de Biogás saliente por el reactor, en las actividades de cocina y tostado de café.
- 3) Emplear los lodos de la Pila de secado una vez éste se haya deshidratado, como abono orgánico en las siembras existente de café u otras producciones que genere el propietario (Plátano y naranja), incorporándolo en el suelo como mejorador del mismo, para optimizar su textura, estructura y sus capacidades productivas.
- 4) 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.
- 5) El mantenimiento y la puesta en marcha de las diferentes unidades (a excepción del digestor anaeróbico, cuyo arranque debe ser monitoreado por alguien especializado) son sencillos, lo que implica que la persona encargada de ello no necesita de conocimientos superiores.
- 6) Garantizar el cambio en la entrada del Biofiltro, el primer metro del lecho de Hormigón en todo el ancho de la pila del Biofiltro cada tres o cuando según sea necesario, durante la vida útil del sistema.

- 7) 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.

- 8) Realizar análisis fisicoquímico al efluente de las aguas residuales industriales en la entrada y salida del sistema, así como mediciones del caudal, una vez entre en funcionamiento la planta de tratamiento, para verificar si satisface las especificaciones de las normativas establecidas por el MARENA.

BIBLIOGRAFÍA

1. Alternativas para mejorar la calidad microbiológica del efluente de un biofiltro de flujo horizontal en la planta piloto de Masaya; Monografía; Referencia del programa BIOMASA/UNI.
2. “Arranque de reactores anaerobios, revisión de literatura”; Molina Francisco; Universidad de Antioquía; Memorias IV Seminario Latinoamericano: Tratamiento anaerobio de aguas residuales; Colombia, 1996.
3. Beneficiado Húmedo Limpio del Café. José Manuel Fandiño Pérez, Juan Carlos Pineda Escoto, Roberto Emilio Vallecillo Sevilla.-- 1a ed.-- Managua: Enlace, 2004.
4. Biofiltro: Una opción sostenible para el tratamiento de aguas residuales industriales en pequeñas localidades. Cooperación austriaca para el desarrollo y UNI (2006).
5. Biofiltro; Reed Beds & Constructed. Wetlands for wastewater treatment; Severn Trent Water; Referencia del programa de BIOMASA/UNI
6. Disposiciones para el control contaminación provenientes descargas de aguas residuales domésticas, industriales y agropecuarias; DECRETO No. 33-95; MARENA, Junio, 1995.
7. Determinación de la cinética de remoción de diferentes contaminantes en biofiltro de flujo horizontal; Monografía; Referencia del programa de BIOMASA/UNI.
8. Evaluación del arranque y estabilización del proceso de fermentación anaeróbico para el tratamiento de las aguas residuales del rastro de Chinandega; Es-

pinoza Sánchez Gilmer Antonio, Ulloa Díaz Manuel Antonio; Marzo, 1997). (Monografía UNI).

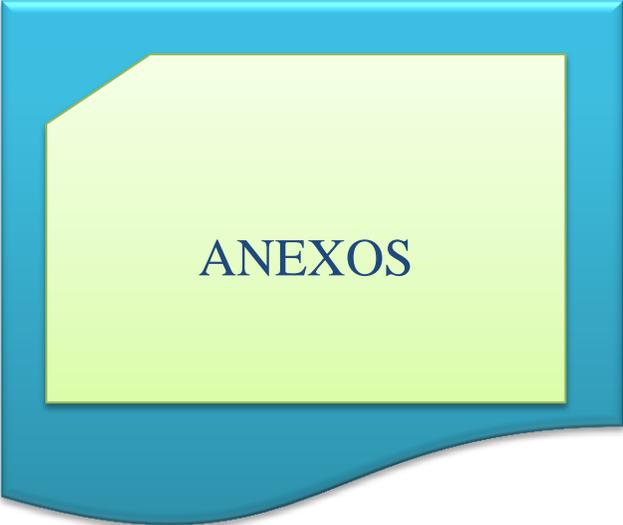
9. GTZ, Cooperación Técnica República Federal Alemana, Manual de Disposición de las Aguas Residuales; Tomo I, Lima 1991.
10. GTZ, Cooperación Técnica República Federal Alemana, Manual de Disposición de las Aguas Residuales; Tomo II, Lima 1991.
11. Ingeniería de aguas residuales; Tratamiento de vertido y reutilización (Tomo II); Referencia del programa de BIOMASA/UNI.
12. Metodología de la Investigación. Roberto Hernández Sampieri; Carlos Fernández Collado y Pilar Baptista Lucio. McGraw-Hill Interamericana.
13. Manual de Disposición de Aguas Residuales (Tomo I y II); Cooperación técnica, República Federal de Alemania; Programa de Salud Ambiental; Referencia del programa de BIOMASA/UNI.
14. Proyecto Rehabilitación del Sector Cafetalero en Nicaragua: Diagnostico y Diseño de Beneficios Húmedos de Café. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA), PROMECAFE, Nicaragua y gobierno nacional (2010).
15. Taller de Capacitación Sistema de Aguas residuales industriales para el Sector Café, Ministerio de Fomento Industria y Comercio (MIFIC), Centro de apoyo a la Micro, Pequeña y Mediana Empresa (CAMIPYME) Y gobierno nacional (2007).
16. Tratamiento de Aguas Residuales, por Alejandro Marsilli (2005), tierramor.org.

17. "Tratamiento anaerobio de aguas residuales"; Orozco Álvaro; Giraldo Eugenio; Universidad de los Andes; Colombia; 1986.

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

Enlaces de Internet:

- http://www.anacafe.org/glifos/index.php?title=Caficultura_ManejoSubproductos#El_Agua_Miel
- <http://seminariomonografico.blogspot.com/2013/05/como-redactar-la-metodologia-o-diseno.html>
- <http://fluidos.eia.edu.co/suministroydisposiciondeaguas/temasdeinteres/desarenadores/desarenadores.htm>
- <http://www.google.com.ni/CARACTERISTICAS+FISICAS+DEL+AGUA+RESIDUAL>



ANEXOS

**APÉNDICE A:
TABLA DE GASTO
DE AGUA POR DIA
EN LA FINCA**

Diseño del Sistema de Tratamiento de Aguas Residuales

Beneficio Húmedo del Café: Finca La Esperanza

Dipilto - Nueva Segovia, Nicaragua

A.1.-

PRODUCCION DIARIA Y CONSUMO DE AGUA

COSECHA: 2013-2014

Producción: Latas

Factor de consumo de agua: 22.40 lt/latas

Nota: Cada lata producida es equivalente a 28 libras, para producir 1 quintal (100lb) de café oro exportable se necesitan de 18 a 20 latas en café uva, café que aún no ha pasado por el proceso de beneficiado húmedo.

Valor mayor por mes

Días Laborales (Fecha)	Producción en Latas	Café en uva (lb)	Café en pergamino (lb)	Café en oro (lb)	Factor de consumo de agua (lt/latas)	Agua Residual (lt)	Agua Residual (m ³)
DICIEMBRE							
23/12/2013	120.00	3,360.00	1,344.00	672.00	22.40	2,688.00	2.69
26/12/2013	140.00	3,920.00	1,568.00	784.00	22.40	3,136.00	3.14
27/12/2013	140.00	3,920.00	1,568.00	784.00	22.40	3,136.00	3.14
28/12/2013	129.00	3,612.00	1,444.80	722.40	22.40	2,889.60	2.89
30/12/2013	150.00	4,200.00	1,680.00	840.00	22.40	3,360.00	3.36
Promedio Mensual	135.80	3,802.40	1,520.96	760.48	22.40	3,041.92	3.04
ENERO							
01/01/2014	157.00	4,396.00	1,758.40	879.20	22.40	3,516.80	3.52
03/01/2014	155.00	4,340.00	1,736.00	868.00	22.40	3,472.00	3.47
04/01/2014	168.00	4,704.00	1,881.60	940.80	22.40	3,763.20	3.76
06/01/2014	173.00	4,844.00	1,937.60	968.80	22.40	3,875.20	3.88
07/01/2014	187.00	5,236.00	2,094.40	1,047.20	22.40	4,188.80	4.19
08/01/2014	190.00	5,320.00	2,128.00	1,064.00	22.40	4,256.00	4.26
09/01/2014	190.00	5,320.00	2,128.00	1,064.00	22.40	4,256.00	4.26
11/01/2014	180.00	5,040.00	2,016.00	1,008.00	22.40	4,032.00	4.03
13/01/2014	190.00	5,320.00	2,128.00	1,064.00	22.40	4,256.00	4.26
14/01/2014	193.00	5,404.00	2,161.60	1,080.80	22.40	4,323.20	4.32
15/01/2014	189.00	5,292.00	2,116.80	1,058.40	22.40	4,233.60	4.23
16/01/2014	195.00	5,460.00	2,184.00	1,092.00	22.40	4,368.00	4.37
17/01/2014	192.00	5,376.00	2,150.40	1,075.20	22.40	4,300.80	4.30
18/01/2014	189.00	5,292.00	2,116.80	1,058.40	22.40	4,233.60	4.23
20/01/2014	178.00	4,984.00	1,993.60	996.80	22.40	3,987.20	3.99
21/01/2014	177.00	4,956.00	1,982.40	991.20	22.40	3,964.80	3.96
22/01/2014	200.00	5,600.00	2,240.00	1,120.00	22.40	4,480.00	4.48
23/01/2014	197.00	5,516.00	2,206.40	1,103.20	22.40	4,412.80	4.41
24/01/2014	185.00	5,180.00	2,072.00	1,036.00	22.40	4,144.00	4.14
25/01/2014	178.00	4,984.00	1,993.60	996.80	22.40	3,987.20	3.99
27/01/2014	175.00	4,900.00	1,960.00	980.00	22.40	3,920.00	3.92

Días Laborales (Fecha)	Producción en Latas	Café en uva (lb)	Café en pergamino (lb)	Café en oro (lb)	Factor de consumo de agua (lt/latas)	Agua Residual (lt)	Agua Residual (m3)
ENERO							
28/01/2014	200.00	5,600.00	2,240.00	1,120.00	22.40	4,480.00	4.48
29/01/2014	200.00	5,600.00	2,240.00	1,120.00	22.40	4,480.00	4.48
30/01/2014	200.00	5,600.00	2,240.00	1,120.00	22.40	4,480.00	4.48
31/01/2014	184.00	5,152.00	2,060.80	1,030.40	22.40	4,121.60	4.12
Promedio Mensual	184.88	5,176.64	2,070.66	1,035.33	22.40	4,141.31	4.14
FEBRERO							
01/02/2014	195.00	5,460.00	2,184.00	1,092.00	22.40	4,368.00	4.37
03/02/2014	197.00	5,516.00	2,206.40	1,103.20	22.40	4,412.80	4.41
04/02/2014	180.00	5,040.00	2,016.00	1,008.00	22.40	4,032.00	4.03
05/02/2014	189.00	5,292.00	2,116.80	1,058.40	22.40	4,233.60	4.23
06/02/2014	182.00	5,096.00	2,038.40	1,019.20	22.40	4,076.80	4.08
07/02/2014	177.00	4,956.00	1,982.40	991.20	22.40	3,964.80	3.96
08/02/2014	180.00	5,040.00	2,016.00	1,008.00	22.40	4,032.00	4.03
10/02/2014	200.00	5,600.00	2,240.00	1,120.00	22.40	4,480.00	4.48
11/02/2014	195.00	5,460.00	2,184.00	1,092.00	22.40	4,368.00	4.37
12/02/2014	200.00	5,600.00	2,240.00	1,120.00	22.40	4,480.00	4.48
13/02/2014	185.00	5,180.00	2,072.00	1,036.00	22.40	4,144.00	4.14
14/02/2014	170.00	4,760.00	1,904.00	952.00	22.40	3,808.00	3.81
15/02/2014	177.00	4,956.00	1,982.40	991.20	22.40	3,964.80	3.96
17/02/2014	168.00	4,704.00	1,881.60	940.80	22.40	3,763.20	3.76
18/02/2014	180.00	5,040.00	2,016.00	1,008.00	22.40	4,032.00	4.03
19/02/2014	180.00	5,040.00	2,016.00	1,008.00	22.40	4,032.00	4.03
20/02/2014	170.00	4,760.00	1,904.00	952.00	22.40	3,808.00	3.81
21/02/2014	180.00	5,040.00	2,016.00	1,008.00	22.40	4,032.00	4.03
22/02/2014	200.00	5,600.00	2,240.00	1,120.00	22.40	4,480.00	4.48
24/02/2014	190.00	5,320.00	2,128.00	1,064.00	22.40	4,256.00	4.26
25/02/2014	187.00	5,236.00	2,094.40	1,047.20	22.40	4,188.80	4.19
26/02/2014	190.00	5,320.00	2,128.00	1,064.00	22.40	4,256.00	4.26
27/02/2014	189.00	5,292.00	2,116.80	1,058.40	22.40	4,233.60	4.23
28/02/2014	200.00	5,600.00	2,240.00	1,120.00	22.40	4,480.00	4.48
Promedio Mensual	185.88	5,204.50	2,081.80	1,040.90	22.40	4,163.60	4.16
MARZO							
01/03/2014	200.00	5,600.00	2,240.00	1,120.00	22.40	4,480.00	4.48
03/03/2014	200.00	5,600.00	2,240.00	1,120.00	22.40	4,480.00	4.48
04/03/2014	181.00	5,068.00	2,027.20	1,013.60	22.40	4,054.40	4.05
05/03/2014	177.00	4,956.00	1,982.40	991.20	22.40	3,964.80	3.96
06/03/2014	200.00	5,600.00	2,240.00	1,120.00	22.40	4,480.00	4.48
07/03/2014	198.00	5,544.00	2,217.60	1,108.80	22.40	4,435.20	4.44
08/03/2014	188.00	5,264.00	2,105.60	1,052.80	22.40	4,211.20	4.21
10/03/2014	175.00	4,900.00	1,960.00	980.00	22.40	3,920.00	3.92
11/03/2014	180.00	5,040.00	2,016.00	1,008.00	22.40	4,032.00	4.03

Días Laborales (Fecha)	Producción en Latas	Café en uva (lb)	Café en pergamino (lb)	Café en oro (lb)	Factor de consumo de agua (lt/latas)	Agua Residual (lt)	Agua Residual (m ³)
MARZO							
12/03/2014	190.00	5,320.00	2,128.00	1,064.00	22.40	4,256.00	4.26
13/03/2014	199.00	5,572.00	2,228.80	1,114.40	22.40	4,457.60	4.46
14/03/2014	190.00	5,320.00	2,128.00	1,064.00	22.40	4,256.00	4.26
15/03/2014	200.00	5,600.00	2,240.00	1,120.00	22.40	4,480.00	4.48
17/03/2014	200.00	5,600.00	2,240.00	1,120.00	22.40	4,480.00	4.48
18/03/2014	196.00	5,488.00	2,195.20	1,097.60	22.40	4,390.40	4.39
19/03/2014	200.00	5,600.00	2,240.00	1,120.00	22.40	4,480.00	4.48
20/03/2014	190.00	5,320.00	2,128.00	1,064.00	22.40	4,256.00	4.26
21/03/2014	183.00	5,124.00	2,049.60	1,024.80	22.40	4,099.20	4.10
22/03/2014	192.00	5,376.00	2,150.40	1,075.20	22.40	4,300.80	4.30
24/03/2014	198.00	5,544.00	2,217.60	1,108.80	22.40	4,435.20	4.44
25/03/2014	200.00	5,600.00	2,240.00	1,120.00	22.40	4,480.00	4.48
26/03/2014	200.00	5,600.00	2,240.00	1,120.00	22.40	4,480.00	4.48
27/03/2014	200.00	5,600.00	2,240.00	1,120.00	22.40	4,480.00	4.48
28/03/2014	180.00	5,040.00	2,016.00	1,008.00	22.40	4,032.00	4.03
29/03/2014	191.00	5,348.00	2,139.20	1,069.60	22.40	4,278.40	4.28
31/03/2014	190.00	5,320.00	2,128.00	1,064.00	22.40	4,256.00	4.26
Promedio Mensual	192.23	5,382.46	2,152.98	1,076.49	22.40	4,305.97	4.31
ABRIL							
01/04/2014	190.00	5,320.00	2,128.00	1,064.00	22.40	4,256.00	4.26
02/04/2014	178.00	4,984.00	1,993.60	996.80	22.40	3,987.20	3.99
03/04/2014	170.00	4,760.00	1,904.00	952.00	22.40	3,808.00	3.81
04/04/2014	170.00	4,760.00	1,904.00	952.00	22.40	3,808.00	3.81
05/04/2014	150.00	4,200.00	1,680.00	840.00	22.40	3,360.00	3.36
07/04/2014	147.00	4,116.00	1,646.40	823.20	22.40	3,292.80	3.29
Promedio Mensual	167.50	4,690.00	1,876.00	938.00	22.40	3,752.00	3.75
Promedio Anual	173.26	4,851.20	1,940.48	970.24	22.40	3,880.96	3.88
Total	15,765.00	441,420.00	176,568.00	88,284.00		353,136.00	353.14
Total (qq)		4,414.20	1,765.68	882.84			
Producción Máxima	Latas de Café	A.R (m³)					
16 repeticiones	200.00	4.48					

Diseño del Sistema de Tratamiento de Aguas Residuales

Beneficio Húmedo del Café: Finca La Esperanza

Dipilto - Nueva Segovia, Nicaragua

A.2.-

PRODUCCION DIARIA Y CONSUMO DE AGUA

COSECHA: 2014-2015

Producción: Latas

Factor de consumo de agua: 22.40 lt/latas

Nota: Cada lata producida es equivalente a 28 libras, para producir 1 quintal (100lb) de café oro exportable se necesitan de 18 a 20 latas en café uva, café que aún no ha pasado por el proceso de beneficiado húmedo.

Valor mayor por mes

Días Laborales (Fecha)	Producción en Latas	Café en uva (lb)	Café en pergamino (lb)	Café en oro (lb)	Factor de consumo de agua (lt/latas)	Agua Residual (lt)	Agua Residual (m ³)
DICIEMBRE							
29/12/2014	59.00	1,652.00	660.80	330.40	22.40	1,321.60	1.32
30/12/2014	57.00	1,596.00	638.40	319.20	22.40	1,276.80	1.28
Promedio Mensual	58.00	1,624.00	649.60	324.80	22.40	1,299.20	1.30
ENERO							
01/01/2015	55.00	1,540.00	616.00	308.00	22.40	1,232.00	1.23
02/01/2015	59.00	1,652.00	660.80	330.40	22.40	1,321.60	1.32
03/01/2015	60.00	1,680.00	672.00	336.00	22.40	1,344.00	1.34
05/01/2015	50.00	1,400.00	560.00	280.00	22.40	1,120.00	1.12
07/01/2015	84.00	2,352.00	940.80	470.40	22.40	1,881.60	1.88
08/1/2015	76.00	2,128.00	851.20	425.60	22.40	1,702.40	1.70
09/01/2015	90.00	2,520.00	1,008.00	504.00	22.40	2,016.00	2.02
10/01/2015	80.00	2,240.00	896.00	448.00	22.40	1,792.00	1.79
12/01/2015	88.00	2,464.00	985.60	492.80	22.40	1,971.20	1.97
13/01/2015	97.00	2,716.00	1,086.40	543.20	22.40	2,172.80	2.17
14/01/2015	125.00	3,500.00	1,400.00	700.00	22.40	2,800.00	2.80
15/01/2015	106.00	2,968.00	1,187.20	593.60	22.40	2,374.40	2.37
16/01/2015	110.00	3,080.00	1,232.00	616.00	22.40	2,464.00	2.46
17/01/2015	130.00	3,640.00	1,456.00	728.00	22.40	2,912.00	2.91
19/01/2015	122.00	3,416.00	1,366.40	683.20	22.40	2,732.80	2.73
20/01/2015	111.00	3,108.00	1,243.20	621.60	22.40	2,486.40	2.49
21/01/2015	124.00	3,472.00	1,388.80	694.40	22.40	2,777.60	2.78
22/01/2015	127.00	3,556.00	1,422.40	711.20	22.40	2,844.80	2.84
23/01/2015	117.00	3,276.00	1,310.40	655.20	22.40	2,620.80	2.62
24/01/2015	128.00	3,584.00	1,433.60	716.80	22.40	2,867.20	2.87
25/01/2015	101.00	2,828.00	1,131.20	565.60	22.40	2,262.40	2.26
26/01/2015	118.00	3,304.00	1,321.60	660.80	22.40	2,643.20	2.64
27/01/2015	129.00	3,612.00	1,444.80	722.40	22.40	2,889.60	2.89
28/01/2015	103.00	2,884.00	1,153.60	576.80	22.40	2,307.20	2.31

Días Laborales (Fecha)	Producción en Latas	Café en uva (lb)	Café en pergamino (lb)	Café en oro (lb)	Factor de consumo de agua (lt/latas)	Agua Residual (lt)	Agua Residual (m3)
ENERO							
29/01/2015	111.00	3,108.00	1,243.20	621.60	22.40	2,486.40	2.49
30/01/2015	130.00	3,640.00	1,456.00	728.00	22.40	2,912.00	2.91
31/01/2015	100.00	2,800.00	1,120.00	560.00	22.40	2,240.00	2.24
Promedio Mensual	101.15	2,832.15	1,132.86	566.43	22.40	2,265.72	2.27
FEBRERO							
02/02/2015	125.00	3,500.00	1,400.00	700.00	22.40	2,800.00	2.80
03/02/2015	120.00	3,360.00	1,344.00	672.00	22.40	2,688.00	2.69
04/02/2015	112.00	3,136.00	1,254.40	627.20	22.40	2,508.80	2.51
05/02/2015	119.00	3,332.00	1,332.80	666.40	22.40	2,665.60	2.67
06/02/2015	90.00	2,520.00	1,008.00	504.00	22.40	2,016.00	2.02
07/02/2015	111.00	3,108.00	1,243.20	621.60	22.40	2,486.40	2.49
09/02/2015	98.00	2,744.00	1,097.60	548.80	22.40	2,195.20	2.20
10/02/2015	90.00	2,520.00	1,008.00	504.00	22.40	2,016.00	2.02
11/02/2015	110.00	3,080.00	1,232.00	616.00	22.40	2,464.00	2.46
12/02/2015	80.00	2,240.00	896.00	448.00	22.40	1,792.00	1.79
13/02/2015	122.00	3,416.00	1,366.40	683.20	22.40	2,732.80	2.73
14/02/2015	125.00	3,500.00	1,400.00	700.00	22.40	2,800.00	2.80
16/02/2015	89.00	2,492.00	996.80	498.40	22.40	1,993.60	1.99
17/02/2015	92.00	2,576.00	1,030.40	515.20	22.40	2,060.80	2.06
18/02/2015	80.00	2,240.00	896.00	448.00	22.40	1,792.00	1.79
19/02/2015	93.00	2,604.00	1,041.60	520.80	22.40	2,083.20	2.08
20/02/2015	73.00	2,044.00	817.60	408.80	22.40	1,635.20	1.64
21/02/2015	76.00	2,128.00	851.20	425.60	22.40	1,702.40	1.70
23/02/2015	123.00	3,444.00	1,377.60	688.80	22.40	2,755.20	2.76
24/02/2015	117.00	3,276.00	1,310.40	655.20	22.40	2,620.80	2.62
25/02/2015	95.00	2,660.00	1,064.00	532.00	22.40	2,128.00	2.13
26/02/2015	110.00	3,080.00	1,232.00	616.00	22.40	2,464.00	2.46
27/02/2015	70.00	1,960.00	784.00	392.00	22.40	1,568.00	1.57
28/02/2015	88.00	2,464.00	985.60	492.80	22.40	1,971.20	1.97
Promedio Mensual	100.33	2,809.33	1,123.73	561.87	22.40	2,247.47	2.25
MARZO							
02/03/2015	80.00	2,240.00	896.00	448.00	22.40	1,792.00	1.79
03/03/2015	80.00	2,240.00	896.00	448.00	22.40	1,792.00	1.79
04/03/2015	89.00	2,492.00	996.80	498.40	22.40	1,993.60	1.99
05/03/2015	112.00	3,136.00	1,254.40	627.20	22.40	2,508.80	2.51
06/03/2015	102.00	2,856.00	1,142.40	571.20	22.40	2,284.80	2.28
07/03/2015	130.00	3,640.00	1,456.00	728.00	22.40	2,912.00	2.91
09/03/2015	124.00	3,472.00	1,388.80	694.40	22.40	2,777.60	2.78
10/03/2015	119.00	3,332.00	1,332.80	666.40	22.40	2,665.60	2.67
11/03/2015	95.00	2,660.00	1,064.00	532.00	22.40	2,128.00	2.13
12/03/2015	111.00	3,108.00	1,243.20	621.60	22.40	2,486.40	2.49
13/03/2015	129.00	3,612.00	1,444.80	722.40	22.40	2,889.60	2.89
14/03/2015	92.00	2,576.00	1,030.40	515.20	22.40	2,060.80	2.06

Días Laborales (Fecha)	Producción en Latas	Café en uva (lb)	Café en pergamino (lb)	Café en oro (lb)	Factor de consumo de agua (lt/latas)	Agua Residual (lt)	Agua Residual (m ³)
MARZO							
16/03/2015	110.00	3,080.00	1,232.00	616.00	22.40	2,464.00	2.46
17/03/2015	87.00	2,436.00	974.40	487.20	22.40	1,948.80	1.95
18/03/2015	65.00	1,820.00	728.00	364.00	22.40	1,456.00	1.46
19/03/2015	55.00	1,540.00	616.00	308.00	22.40	1,232.00	1.23
20/03/2015	67.00	1,876.00	750.40	375.20	22.40	1,500.80	1.50
21/03/2015	50.00	1,400.00	560.00	280.00	22.40	1,120.00	1.12
23/03/2015	52.00	1,456.00	582.40	291.20	22.40	1,164.80	1.16
24/03/2015	45.00	1,260.00	504.00	252.00	22.40	1,008.00	1.01
25/03/2015	40.00	1,120.00	448.00	224.00	22.40	896.00	0.90
Promedio Mensual	87.33	2,445.33	978.13	489.07	22.40	1,956.27	1.96
Promedio Anual	86.70	2,427.70	971.08	485.54	22.40	1,942.16	1.94
Total (lbs)	7,089.00	198,492.00	79,396.80	39,698.40		158,793.60	158.79
Total (qq)		1,984.92	793.97	396.98			
Producción Máxima	Latas de Café	A.R (m³)					
03 repeticiones	130.00	2.91					

Diseño del Sistema de Tratamiento de Aguas Residuales

Beneficio Húmedo del Café: Finca La Esperanza

Dipilto - Nueva Segovia, Nicaragua

A.3.-

PRODUCCION DIARIA Y CONSUMO DE AGUA

COSECHA: 2015-2016

Producción: Latas

Factor de consumo de agua: 22.40 lts/latas

Nota: Cada lata producida es equivalente a 28 libras, para producir 1 quintal (100lb) de café oro exportable se necesitan de 18 a 20 latas en café uva, café que aún no ha pasado por el proceso de beneficiado húmedo.

Valor mayor por mes

Días Laborales (Fecha)	Producción en Latas	Café en uva (lb)	Café en pergamino (lb)	Café en oro (lb)	Factor de consumo de agua (lt/latas)	Agua Residual (lt)	Agua Residual (m ³)
DICIEMBRE							
28/12/2015	61.00	1,708.00	683.20	341.60	22.40	1,366.40	1.37
29/12/2015	55.00	1,540.00	616.00	308.00	22.40	1,232.00	1.23
30/12/2015	44.00	1,232.00	492.80	246.40	22.40	985.60	0.99
31/12/2015	61.00	1,708.00	683.20	341.60	22.40	1,366.40	1.37
Promedio Mensual	55.25	1,547.00	618.80	309.40	22.40	1,237.60	1.24
ENERO							
01/01/2016	65.00	1,820.00	728.00	364.00	22.40	1,456.00	1.46
02/01/2016	50.00	1,400.00	560.00	280.00	22.40	1,120.00	1.12
04/01/2016	82.00	2,296.00	918.40	459.20	22.40	1,836.80	1.84
05/01/2016	146.00	4,088.00	1,635.20	817.60	22.40	3,270.40	3.27
06/01/2016	149.00	4,172.00	1,668.80	834.40	22.40	3,337.60	3.34
07/01/2016	158.00	4,424.00	1,769.60	884.80	22.40	3,539.20	3.54
08/01/2016	144.00	4,032.00	1,612.80	806.40	22.40	3,225.60	3.23
09/01/2016	105.00	2,940.00	1,176.00	588.00	22.40	2,352.00	2.35
11/01/2016	104.00	2,912.00	1,164.80	582.40	22.40	2,329.60	2.33
12/01/2016	97.00	2,716.00	1,086.40	543.20	22.40	2,172.80	2.17
13/01/2016	146.00	4,088.00	1,635.20	817.60	22.40	3,270.40	3.27
14/01/2016	151.00	4,228.00	1,691.20	845.60	22.40	3,382.40	3.38
15/01/2016	153.00	4,284.00	1,713.60	856.80	22.40	3,427.20	3.43
16/01/2016	150.00	4,200.00	1,680.00	840.00	22.40	3,360.00	3.36
18/01/2016	211.00	5,908.00	2,363.20	1,181.60	22.40	4,726.40	4.73
19/01/2016	228.00	6,384.00	2,553.60	1,276.80	22.40	5,107.20	5.11
20/01/2016	177.00	4,956.00	1,982.40	991.20	22.40	3,964.80	3.96
21/01/2016	294.00	8,232.00	3,292.80	1,646.40	22.40	6,585.60	6.59
22/01/2016	260.00	7,280.00	2,912.00	1,456.00	22.40	5,824.00	5.82
23/01/2016	150.00	4,200.00	1,680.00	840.00	22.40	3,360.00	3.36
24/01/2016	228.00	6,384.00	2,553.60	1,276.80	22.40	5,107.20	5.11
25/01/2016	250.00	7,000.00	2,800.00	1,400.00	22.40	5,600.00	5.60
26/01/2016	260.00	7,280.00	2,912.00	1,456.00	22.40	5,824.00	5.82

Días Laborales (Fecha)	Producción en Latas	Café en uva (lb)	Café en pergamino (lb)	Café en oro (lb)	Factor de consumo de agua (lt/latas)	Agua Residual (lt)	Agua Residual (m ³)
ENERO							
27/01/2016	270.00	7,560.00	3,024.00	1,512.00	22.40	6,048.00	6.05
28/01/2016	263.00	7,364.00	2,945.60	1,472.80	22.40	5,891.20	5.89
29/01/2016	172.00	4,816.00	1,926.40	963.20	22.40	3,852.80	3.85
Promedio Mensual	171.65	4,806.31	1,922.52	961.26	22.40	3,845.05	3.85
FEBRERO							
01/02/2016	318.00	8,904.00	3,561.60	1,780.80	22.40	7,123.20	7.12
02/02/2016	280.00	7,840.00	3,136.00	1,568.00	22.40	6,272.00	6.27
03/02/2016	293.00	8,204.00	3,281.60	1,640.80	22.40	6,563.20	6.56
04/02/2016	180.00	5,040.00	2,016.00	1,008.00	22.40	4,032.00	4.03
05/02/2016	138.00	3,864.00	1,545.60	772.80	22.40	3,091.20	3.09
06/02/2016	50.00	1,400.00	560.00	280.00	22.40	1,120.00	1.12
08/02/2016	143.00	4,004.00	1,601.60	800.80	22.40	3,203.20	3.20
09/02/2016	237.00	6,636.00	2,654.40	1,327.20	22.40	5,308.80	5.31
10/02/2016	151.00	4,228.00	1,691.20	845.60	22.40	3,382.40	3.38
11/02/2016	314.00	8,792.00	3,516.80	1,758.40	22.40	7,033.60	7.03
12/02/2016	232.00	6,496.00	2,598.40	1,299.20	22.40	5,196.80	5.20
13/02/2016	97.00	2,716.00	1,086.40	543.20	22.40	2,172.80	2.17
14/02/2016	129.00	3,612.00	1,444.80	722.40	22.40	2,889.60	2.89
15/02/2016	130.00	3,640.00	1,456.00	728.00	22.40	2,912.00	2.91
16/02/2016	133.00	3,724.00	1,489.60	744.80	22.40	2,979.20	2.98
17/02/2016	118.00	3,304.00	1,321.60	660.80	22.40	2,643.20	2.64
18/02/2016	132.00	3,696.00	1,478.40	739.20	22.40	2,956.80	2.96
19/02/2016	85.00	2,380.00	952.00	476.00	22.40	1,904.00	1.90
20/02/2016	112.00	3,136.00	1,254.40	627.20	22.40	2,508.80	2.51
21/02/2016	82.00	2,296.00	918.40	459.20	22.40	1,836.80	1.84
Promedio Mensual	167.70	4,695.60	1,878.24	939.12	22.40	3,756.48	3.76
MARZO							
01/03/2016	145.00	4,060.00	1,624.00	812.00	22.40	3,248.00	3.25
02/03/2016	170.00	4,760.00	1,904.00	952.00	22.40	3,808.00	3.81
03/03/2016	180.00	5,040.00	2,016.00	1,008.00	22.40	4,032.00	4.03
04/03/2016	156.00	4,368.00	1,747.20	873.60	22.40	3,494.40	3.49
05/03/2016	120.00	3,360.00	1,344.00	672.00	22.40	2,688.00	2.69
07/03/2016	170.00	4,760.00	1,904.00	952.00	22.40	3,808.00	3.81
08/03/2016	155.00	4,340.00	1,736.00	868.00	22.40	3,472.00	3.47
09/03/2016	200.00	5,600.00	2,240.00	1,120.00	22.40	4,480.00	4.48
10/03/2016	198.00	5,544.00	2,217.60	1,108.80	22.40	4,435.20	4.44
11/03/2016	188.00	5,264.00	2,105.60	1,052.80	22.40	4,211.20	4.21
12/03/2016	125.00	3,500.00	1,400.00	700.00	22.40	2,800.00	2.80
14/03/2016	164.00	4,592.00	1,836.80	918.40	22.40	3,673.60	3.67
15/03/2016	140.00	3,920.00	1,568.00	784.00	22.40	3,136.00	3.14
16/03/2016	165.00	4,620.00	1,848.00	924.00	22.40	3,696.00	3.70
17/03/2016	146.00	4,088.00	1,635.20	817.60	22.40	3,270.40	3.27
18/3/2016	183.00	5,124.00	2,049.60	1,024.80	22.40	4,099.20	4.10

Días Laborales (Fecha)	Producción en Latas	Café en uva (lb)	Café en pergamino (lb)	Café en oro (lb)	Factor de consumo de agua (lt/latas)	Agua Residual (lt)	Agua Residual (m ³)
MARZO							
19/03/2016	234.00	6,552.00	2,620.80	1,310.40	22.40	5,241.60	5.24
20/03/2016	203.00	5,684.00	2,273.60	1,136.80	22.40	4,547.20	4.55
29/03/2016	160.00	4,480.00	1,792.00	896.00	22.40	3,584.00	3.58
30/03/2016	160.00	4,480.00	1,792.00	896.00	22.40	3,584.00	3.58
31/03/2016	130.00	3,640.00	1,456.00	728.00	22.40	2,912.00	2.91
Promedio Mensual	166.32	4,656.91	1,862.76	931.38	22.40	3,725.53	3.73
ABRIL							
01/04/2016	115.00	3,220.00	1,288.00	644.00	22.40	2,576.00	2.58
Promedio Mensual	115.00	3,220.00	1,288.00	644.00	22.40	2,576.00	2.58
Promedio Anual	135.18	3,785.16	1,514.07	757.03	22.40	3,028.13	3.03
Total (lbs)	11,812.00	330,736.00	132,294.40	66,147.20		264,588.80	264.59
Total (qq)		3,307.36	1,322.94	661.47			
Producción Máxima	Latas de Café	A.R (m³)					
01 repetición	318.00	7.12					



**APÉNDICE B:
DISEÑO DEL
SISTEMA
PROPUESTO**

B.1.- Tabla de Características físico-químicas de agua residual de beneficios húmedos indagados

	País	Nicaragua							Cuba	El Salvador	Promedio		
	Ciudad	Matagalpa	Matagalpa	Matagalpa	Jinotega	Jinotega	Jinotega	Jinotega	CPML	La Habana		El Salvador	
Característica del Agua Residual	Finca	Monte Cristo	Santa Emilia	Alianza	La colonia	DECAFESA	José María	La Viola					
	Consumo agua (lt/lata)	23.40	18.50	33.78	20.20	25.00	22.50	20.50	28.00	30.00	22.10		
	DQO (mg/L)	6,261.00	8,606.64	12,582.45	7,213.44	7,656.80	12,026.88	4,780.80	11,660.00	8,100.00	5,200.00	8,408.80	
					S= 422.50	S= 162.44	S=133.02	S=80.31					
	DBO5 (mg/L)	3,570.00	5,755.80	9,760.00	3,173.94	3,598.96	7,592.50	2,190.55	4,634.00	5,300.00	3,500.00	4,907.58	
					S=113.16	S= 93.15	S=601.04	S=289.25					
	Aceites y grasas (mg/L)	68.23	36.00	148.33	13.20	20.07	10.00	10.00	12.20				39.75
	Solidos sedimentables (mg/L)	1.20		221.55	3.00	0.50	17.00	15.00	2.75				37.29
Solidos suspendidos (mg/L)	1,338.00	2,290.00	947.50	19.80	738.40	2,818.68	318.00	4,042.00	4,100.00			1,845.82	
pH	4.48	4.12	5.90	4.17	3.73	4.01	4.11	3.98	4.20	4.50		4.32	

Diseño del Sistema de Tratamiento de Aguas Residuales

Beneficio Húmedo del Café: Finca La Esperanza
Dipilto - Nueva Segovia, Nicaragua

B.2.-

TRATAMIENTO PRELIMINAR

DATOS GENERALES PARA EL DISEÑO

Finca La Esperanza: Criterio de Diseño y características del agua residual					
Parámetros	Simbología	Valor	Unidades	Fórmulas	Criterios y observaciones
Agua generada en el lavado de café	A	22.40	lts/lata		Determinado en sitio vía aforo
Producción de café	P	600.00	latas		
Caudal	Q _d	13.44	m ³ /d	$Q_D = (P \cdot A) / 1000$	
Factor de Seguridad por aumento a proyección futura		10.00	%		Aumento del 10% del Q _d , por seguridad
Caudal de Diseño	Q _D	14.78	m ³ /d	$Q_D = Q_{d+} (Q_{d+} \cdot 10\%)$	
		0.00017	m ³ /s	$Q_D = Q_{d+} \cdot 86400$	Factor convertidor, de días a segundos
Concentración de DQO	C _{DQO(entrada)}	8408.80	mg/L		De Tabla de Características físico-químicas de beneficios húmedos indagados (Pág. xiii)
Concentración de DBO5	Co _(entrada)	4907.58	mg/L		
Sólidos suspendidos totales	SS _(entrada)	1845.82	mg/L		
Sólidos sedimentados totales	Ssed _(entrada)	37.29	mg/L		
Grasas y aceites	Ga _(entrada)	39.75	mg/L		
pH	pH	4.32			

DISEÑO DEL CANAL DE ENTRADA

Calculo del Caudal					
Datos	Simbología	Valor	Unidades	Fórmulas	Criterios y observaciones
Caudal de Diseño en Canal de Entrada	Q_{DCE}	1.37	l/s	$Q_{DCE} = \frac{(Q_D * 1000)}{(3600 * 3)}$	Experiencia BIOMASA/UNI
Caudal Máximo	$Q_{m\acute{a}x}$	4.11	l/s	$Q_{m\acute{a}x} = Q_{DCE} * 3$	Experiencia BIOMASA/UNI
Pendiente	I	1.00	%		
Coeficiente de Manning	n	0.013		Concreto	Rugosidad de los materiales, Ver Apéndice I
Velocidad de sedimentación	V_s	0.30	m/s		≥ 0.3 m/s: para evitar sedimentación en el canal (INAA)
Ancho del canal	B	0.30	m	Asumido por tanteo	Para asegurar limpieza

Calculo de tirante y velocidad en el Canal					
Datos	Simbología	Valor	Unidades	Fórmulas	Criterios y observaciones
Tirante del canal de entrada	t_{CE}	0.01	m	Asumido por tanteo	Introducir valores para el tirante en metros, hasta que la velocidad calculada cumpla el rango limite
Tirante Máximo	$t_{Qm\acute{a}x}$	0.02	m	$t_{Qm\acute{a}x} = t_{CE} * 2$	Experiencia BIOMASA/UNI
Velocidad en el Canal	V_c	0.46	m/s	$V_c = \frac{(Q_{DCE}/1000)}{(b * t_{CE})}$	≥ 0.45 m/s para evitar sedimentación (INAA)
Velocidad Máxima	$V_{m\acute{a}x}$	0.68	m/s	$V_{m\acute{a}x} = [(Q_{m\acute{a}x} * 1000) / (b * t_{Qm\acute{a}x})] / 100$	Introducir los valores de b , $t_{Qm\acute{a}x}$ en cm en la ecuación
Comprobación de Velocidad Máxima		Cumple			

DISEÑO DEL CANAL DE ENTRADA

Continuación

Dimensiones finales					
Datos	Simbología	Valor	Unidades	Fórmulas	Criterios y observaciones
Altura del Canal de entrada	H_{canal}	0.30	m		Dimensión por colocación de rejas y seguridad ante cualquier objeto flotante de mayor tamaño al material residual esperado
Base del Canal de entrada	B_{canal}	0.30	m		Para asegurar limpieza
Longitud del Canal de entrada	L_{canal}	1.50	m		

DISEÑO DEL DESARENADOR

Criterios de diseño para el desarenador					
Datos	Simbología	Valor	Unidades	Fórmulas	Criterios y observaciones
Caudal de diseño para el desarenador	Q_D	14.78	m ³ /día		
Velocidad de sedimentación para partículas con diámetro mayor que 0.2 mm a 26 °C, V_s , (m/h)	V_s	108.00	m/h		Experiencia BIOMASA/UNI
Factor de corrección de turbulencia	f	4.00			Experiencia BIOMASA/UNI
Área superficial requerida	A_s	0.55	m ²	$A_s = \frac{f * Q_D}{V_s}$	

DISEÑO DEL DESARENADOR

Continuación

Cálculo de la longitud y ancho del desarenador					
Datos	Simbología	Valor	Unidades	Fórmulas	Criterio y observaciones
Longitud del desarenador	Ld	2.00	m	Asumido por tanteo	
Ancho del desarenador	Bd	0.60	m	Asumido por tanteo	
Área superficial propuesta	Asp	1.20	m ²	Asp= B*L	
Relación largo/ancho	L/B	3.33			Si se cumple $2.5 \leq L/B \leq 5$, (INAA)

Cálculo de la sección transversal del desarenador					
Datos	Simbología	Valor	Unidades	Fórmulas	Criterio y observaciones
Profundidad inicial del desarenador	Pi	0.35	m	Asumida por tanteo	Pi ≤ 1m Experiencia BIOMASA/UNI
Profundidad final del desarenador	Pf	0.55	m	Asumida por tanteo	
Profundidad media del desarenador	Pm	0.45	m	$P_m = \frac{(P_i + P_f)}{2}$	
Relación ancho/alto	B/P	1.33			$1 \leq B/P \leq 5$, (INAA)
Sección transversal	St	0.20	m ²	$St = (t_{Q_{\max}} + P_i) * B$	
Velocidad horizontal en el desarenador.	Vh	0.02	m/s	$V_h = \frac{Q_D}{(St * 3600)}$	
Tiempo que tarda en atravesar el desarenador una sección del flujo	th	108.12	s	$t_h = L/V_h$	

DISEÑO DEL DESARENADOR

Continuación

Cálculo de la sección transversal del desarenador					
Datos	Simbología	Valor	Unidades	Fórmulas	Criterio y observaciones
Tiempo que tarda en sedimentar una partícula	t_s	0.004	s	$t_s = P_m / V_s$	$t_h > t_s$
Sólidos Sedimentables	S_s	100.00	l/m^3	Asumido	Valor Propuesto (Experiencia Biomasa)
Intervalo de limpieza	IL	0.40	días	$IL = \frac{P_m * L * B}{(S_s / 1000 * Q_D)}$	Se tiene que hacer limpieza todos los días

Dimensiones Finales					
Datos	Simbología	Valor	Unidades	Fórmulas	Criterio y observaciones
Altura del desarenador (profundidad inicial)	$H_{\text{desarenador}(1)}$	0.65	m		Suma de la altura del canal de entrada
Altura del desarenador (profundidad final)	$H_{\text{desarenador}(2)}$	0.85	m		Suma de la altura del canal de entrada
Base del Canal de entrada	$B_{\text{desarenador}}$	0.60	m		
Longitud del Canal de entrada	$L_{\text{desarenador}}$	2.00	m		

DISEÑO DEL DESARENADOR

Continuación

REMOCION ESPERADA EN EL TRATAMIENTO PRELIMINAR

Remoción esperada en el Tratamiento Preliminar			
Parámetro	Simbología	Valor	Unidades
DQO	$C_{DQO(Remocion)}$	10.00%	mg/L
DBO ₅	$Co_{(Remocion)}$	15.00%	mg/L
Sólidos suspendidos totales	$SS_{(Remocion)}$	15.00%	mg/L
Sólidos sedimentados totales	$Ssed_{(Remocion)}$	15.00%	mg/L
Grasas y aceites	$Ga_{(Remocion)}$	15.00%	mg/L

CONCENTRACION DE SALIDA DEL TRATAMIENTO PRELIMINAR

Concentración de salida del tratamiento preliminar					Valores permisibles de descarga de agua residuales	
Parámetros	Simbología	Valor	Unidades	Fórmulas	Afluyente del BHC. Decreto 33-95, Art. 38 del MARENA	Para riego Agrícola. Decreto 33-95, Art. 57 del MARENA
Concentración de DQO	$C_{DQO(salida)}$	7,567.92	mg/L	$C_{DQO(salida)} = C_{DQO(entrada)}(1 - C_{DQO}(\%Remocion))$	200	200
Concentración de DBO ₅	$Co_{(salida)}$	4,171.44	mg/L	$Co_{(salida)} = Co_{(entrada)}(1 - Co(\%Remocion))$	120	120
Sólidos suspendidos totales	$SS_{(salida)}$	1,568.95	mg/L	$SS_{(salida)} = SS_{(entrada)}(1 - SS(\%Remocion))$	150	120
Sólidos sedimentados totales	$Ssed_{(salida)}$	31.70	mg/L	$Ssed_{(salida)} = SSed_{(entrada)}(1 - SSed(\%Remocion))$	1	-
Grasas y aceites	$Ga_{(salida)}$	33.79	mg/L	$Ga_{(salida)} = Ga_{(entrada)}(1 - Ga(\%Remocion))$	10	-

Diseño del Sistema de Tratamiento de Aguas Residuales

Beneficio Húmedo del Café: Finca La Esperanza

Dipilto - Nueva Segovia, Nicaragua

B.3.-

TRATAMIENTO PRIMARIO

DISEÑO DE PILA DE HIDRÓLISIS

CONCENTRACION DE SALIDA DEL TRATAMIENTO PRELIMINAR

Parámetros de diseño para la Pila de Hidrolisis			
Datos	Simbología	Valor	Unidades
Caudal de diseño	Q_D	14.78	m ³ /día
Concentración de DQO	$C_{DQO(entrada)}$	7,567.92	mg/L
Concentración de DBO ₅	$Co_{(entrada)}$	4,171.44	mg/L
Sólidos suspendidos totales	$SS_{(entrada)}$	1,568.95	mg/L
Sólidos sedimentados totales	$Ssed_{(entrada)}$	31.70	mg/L
Grasas y aceites	$Ga_{(entrada)}$	33.79	mg/L

Criterios de diseño en Pila de Hidrólisis					
Datos	Simbología	Valor	Unidades	Fórmulas	Criterios y observaciones
Período de retención de aguas residuales	Tr	1.00	Días		0 - 1 día
Remoción asumida de DQO para cuestiones de seguridad en el dimensionamiento de la Pila de Hidrólisis	R_{DQO}	10.00	%		

DISEÑO DE PILA DE HIDRÓLISIS

Continuación

Criterios de diseño en Pila de Hidrólisis					
Datos	Simbología	Valor	Unidades	Fórmulas	Criterios y observaciones
Profundidad de la pila de Hidrólisis	H_{ph}	3.00	m		Asumido por tanteo
Relación L/B (pila de Hidrólisis)	L_{ph}		m	$1.75 * B_{ph}$	
Producción teórica de sólidos en la acidogénesis	S_o	0.16	kg de SSV/kg		de DQO degradado
Porcentaje asumido de sólidos inorgánicos	S_i	10.00	%		
Asumiendo humedad	H_u	95.00	%		
Tiempo de retención de lodos	T_{rl}	30.00	días		Para limpieza de sistema

Dimensionamiento de Pila de Hidrólisis					
Datos	Simbología	Valor	Unidades	Fórmulas	Criterios y observaciones
Volumen útil de la Pila de Hidrólisis	V_{uph}	14.78	m^3	$V_{uph} = Q_D * T_r$	
Volumen de vacío (15% asumido)	V_{vph}	2.22	m^3	$V_{vph} = V_{uph} * V_v$	
Carga de entrada	$C_{entrada}$	111.88	kg de DQO/d	$C_{entrada} = C_{DQO} / 1000 * Q_D$	
Carga degradada de DQO	$C_{degradada}$	11.19	kg de DQO/d	$C_{degradada} = C_{entrada} * R_{DQO}$	

DISEÑO DE PILA DE HIDRÓLISIS

Continuación

Dimensionamiento de Pila de Hidrólisis					
Datos	Simbología	Valor	Unidades	Fórmulas	Criterios y observaciones
Producción de sólidos	A_c	1.79	kg de SSV/d	$A_c = C_{degradada} * S_o$	
Sólidos totales	ST	0.02	kg de SST/d	$ST = \frac{A_c}{(100 - S_i/100)}$	
	P_L	0.36	kg/d	$PL = \frac{ST}{1 - (H_u/100)}$	
Volumen de lodos producidos	V_L	0.01	m^3	$V_L = (P_L/1000) T_{ri}$	
Volumen de diseño de la Pila de Hidrólisis	V_{dph}	17.01	m^3	$V_{dph} = V_{uph} + V_{vph} + V_L$	
Ancho de la Pila de Hidrólisis	B_{ph}	1.80	m	$B_{Ph} = \frac{V_{dph}}{(H_{PH} * 1.75)^{1/2}}$	
Ancho de la Pila de Hidrólisis Propuesto	B_{php}	2.00	m		Se asume B_{php}
Largo de la Pila de Hidrólisis	L_{ph}	3.50	m	$L_{ph} = 1.75 * B_{ph}$	
Largo de la Pila de Hidrólisis Propuesto	L_{php}	3.50	m		Se asume L_{php}
Altura del volumen de vacío	H_v	0.317	m	$H_v = \frac{V_{vph}}{B_{php} * L_{php}}$	
Altura del volumen de lodo	H_{lodos}	0.002	m	$H_{lodos} = \frac{V_L}{B_{php} * L_{php}}$	
Altura del volumen útil de agua residual	H_u	2.11	m	$H_u = \frac{V_{uph}}{B_{php} * L_{php}}$	

DISEÑO DE PILA DE HIDRÓLISIS

Continuación

Dimensionamiento de Pila de Hidrólisis					
Datos	Simbología	Valor	Unidades	Fórmulas	Criterios y observaciones
Altura total de la Pila de Hidrólisis	HTph	2.40	m	$H_{Tph} = H_{lodos} + H_v + H_u$	
Altura de la Pila de Hidrólisis Propuesto	Hphp	2.50	m		Se asume Hphp
Volumen final(pila de hidrólisis)	Vfph	17.50	m ³	$V_{fph} = B_{php} * H_{php} * L_{php}$	

Dimensionamiento final					
Datos	Simbología	Valor	Unidades	Fórmulas	Criterios y observaciones
Altura de la pila de hidrólisis	H _{pila de hidrólisis}	2.50	m		
Base de la pila de hidrólisis	B _{pila de hidrólisis}	2.00	m		
Longitud del Canal de entrada	L _{pila de hidrólisis}	3.50	m		

REMOCION ESPERADA EN LA PILA DE HIDRÓLISIS

Remoción esperada en la Pila de Hidrólisis			
Parámetro	Simbología	Valor	Unidades
DQO	C _{DQO(Remocion)}	20.00%	mg/L
DBO ₅	C _{O(Remocion)}	20.00%	mg/L
Sólidos suspendidos totales	SS _(Remocion)	37.00%	mg/L
Sólidos sedimentados totales	Ssed _(Remocion)	40.00%	mg/L
Grasas y aceites	Ga _(Remocion)	5.00%	mg/L

DISEÑO DE PILA DE HIDRÓLISIS

Continuación

CONCENTRACION DE SALIDA DE LA PILA DE HIDROLISIS

Concentración de salida de la Pila de Hidrolisis					Valores permisibles de descarga de agua residuales	
Parámetros	Simbología	Valor	Unidades	Fórmulas	Afluente del BHC. Decreto 33-95, Art. 38 del MARENA	Para riego Agrícola. Decreto 33-95, Art. 57 del MARENA
Concentración de DQO	$C_{DQO(salida)}$	6,054.34	mg/L	$C_{DQO(salida)} = C_{DQO(entrada)}(1 - C_{DQO(Remocion)})$	200	200
Concentración de DBO_5	$Co(salida)$	3,337.15	mg/L	$Co(salida) = Co(entrada)(1 - Co(Remocion))$	120	120
Sólidos suspendidos totales	$SS(salida)$	988.44	mg/L	$SS(salida) = SS(entrada)(1 - SS(Remocion))$	150	120
Sólidos sedimentados totales	$Ssed(salida)$	19.02	mg/L	$Ssed(salida) = Ssed(entrada)(1 - Ssed(Remocion))$	1	-
Grasas y aceites	$Ga(salida)$	32.10	mg/L	$Ga(salida) = Ga(entrada)(1 - Ga(Remocion))$	10	-

Diseño del Sistema de Tratamiento de Aguas Residuales

Beneficio Húmedo del Café: Finca La Esperanza

Dipilto - Nueva Segovia, Nicaragua

TRATAMIENTO PRIMARIO

DISEÑO DEL REACTOR ANAEROBICO

CONCENTRACION DE SALIDA DE LA PILA DE HIDRÓLISIS

Parámetros de diseño para Reactor Anaeróbico			
Datos	Simbología	Valor	Unidades
Caudal del todo el sistema	$Q_{D(entrada)}$	14.78	m ³ /día
Concentración de DQO	$C_{DQO(entrada)}$	6,054.34	mg/L
Concentración de DBO ₅	$Co(entrada)$	3,337.15	mg/L
Sólidos suspendidos totales	$SS(entrada)$	988.44	mg/L
Sólidos sedimentados totales	$Ssed(entrada)$	19.02	mg/L
Grasas y aceites	$Ga(entrada)$	32.10	mg/L

Criterios de diseño del Reactor Anaeróbico					
Datos	Simbología	Valor	Unidades	Fórmulas	Criterios y observaciones
Período de retención de aguas residuales	Trdi	3.00	día	$Trdi = \frac{\text{Volumen del Reactor}}{\text{Volumen de carga diaria}}$	
Porosidad del lecho filtrante en el Reactor	Pr	60.00	%		Experiencia BIOMASA/UNI
Volumen de vacío del Reactor	Vvre	20.00	%		Se considera un 20% del Volumen útil del digester (Vudi). Experiencia BIOMASA/UNI

DISEÑO DEL REACTOR ANAEROBICO

Continuación

Criterios de diseño del Reactor Anaeróbico					
Datos	Simbología	Valor	Unidades	Fórmulas	Criterios y observaciones
Cantidad de claros	Df	5.00		Asumida	Adimensional
Profundidad del Reactor	Hre	3.00	m	Asumida	
Borde libre (paredes de los deflectores)	Hbl	0.30	m	Asumida	
Altura de los deflectores	Hdf	2.70	m	$Hdf = Hre - Hbd$	
Largo	L		m	$L = 2 * B$	

Dimensionamiento del Reactor Anaeróbico					
Datos	Simbología	Valor	Unidades	Fórmulas	Criterios y observaciones
Cálculo del volumen útil del Reactor	Vure	44.35	m ³	$Vure = Q_D * Trdi$	
Volumen ocupado por el lecho filtrante	Vlf	17.74	m ³	$Vlf = Vure * (1 - Pr)$	
Ancho del Reactor	Br	2.50	m		Asumido
Grosor de las paredes	Bp	0.20	m		Asumido
Volumen de los deflectores	Vdf	5.40	m	$Vdf = B * bp * Hdf * (Df - 1)$	
Volumen de vacío del Reactor	Vvre	8.87	m ³	$Vvre = Vure * Vvre$	
Volumen de diseño del Reactor	Vdre	76.36	m ³	$Vdre = Vure + Vvre + Vdf$	
Ancho del Reactor	Bre	3.57	m	$Bre = \left(\frac{Vdre}{Hre * 2} \right)^{1/2}$	

DISEÑO DEL REACTOR ANAEROBICO

Continuación

Dimensionamiento del Reactor Anaeróbico					
Datos	Simbología	Valor	Unidades	Fórmulas	Criterios y observaciones
Ancho del Reactor propuesto	B _{rep}	3.60	m		
Largo del Reactor	L _{re}	7.20	m	$L_{re} = 2 * B_{rep}$	
Largo del Reactor propuesto	L _{rep}	7.20	m		
Volumen total final del Reactor	V _{fre}	77.76	m ³	$V_{fre} = H_{re} * B_{rep} * L_{rep}$	

Dimensión final					
Datos	Simbología	Valor	Unidades	Fórmulas	Criterios y observaciones
Altura del reactor	H _{reactor}	3.00	m		
Base del reactor	B _{reactor}	3.60	m		
Longitud del reactor	L _{reactor}	7.20	m		

Producción de Biogás					
Datos	Simbología	Valor	Unidades	Fórmulas	Criterios y observaciones
Carga de entrada de DQO para producción de Biogás	CD _{entrada}	89.51	kg de DQO/d	$CD_{entrada} = \left(\frac{Q_D * DQO_{entrada}}{1000 \text{ mg/l}} \right)$	Experiencia BIOMASA/UNI
Carga degradada de DQO para producción de Biogás	CD _{degradada}	62.66	Kg/día	$CD_{degradada} = CD_{entrada} * \%RE_{esperada \text{ DQO}}$	$\%RE_{esperado} = C_{DQO}$ Experiencia BIOMASA/UNI
DQO de entrada	DQO _{entrada}	26.85	kg de DQO/d	$DQO_{entrada} = CD_{entrada} - CD_{degradada}$	
Metanogénesis	Mt	0.30	m ³ /kg _{DQOdeg}		Experiencia BIOMASA/UNI

DISEÑO DEL REACTOR ANAEROBICO

Continuación

Producción de Biogás					
Datos	Simbología	Valor	Unidades	Fórmulas	Criterios y observaciones
Volumen de Metano esperado	V _{metano}	8.06	m ³ /d	$V_{\text{metano}} = \text{DQO}_{\text{entrada}} * \text{Mt}$	
Porcentaje estimado de metano	P _m	60.00	%		Experiencia BIOMASA/UNI
Volumen de Biogás	V _{biogás}	13.43	m ³ /d	$V_{\text{biogás}} = (V_{\text{metano}}/P_m)$	Experiencia BIOMASA/UNI

REMOCION ESPERADA EN EL REACTOR ANAEROBICO

Remoción esperada en el Reactor			
Parámetro	Simbología	Valor	Unidades
DQO	C _{DQO(Remocion)}	70.00%	mg/L
DBO ₅	C _{O(Remocion)}	70.00%	mg/L
Sólidos suspendidos totales	SS _(Remocion)	85.00%	mg/L
Sólidos sedimentados totales	Ssed _(Remocion)	85.00%	mg/L
Grasas y aceites	Ga _(Remocion)	5.00%	mg/L

DISEÑO DEL REACTOR ANAEROBICO

Continuación

CONCENTRACION DE SALIDA DEL REACTOR ANAEROBICO

Concentración de salida del Reactor Anaeróbico					Valores permisibles de descarga de agua residuales	
Parámetros	Simbología	Valor	Unidades	Fórmulas	Afluente del BHC. Decreto 33-95, Art. 38 del MARENA	Para riego Agrícola. Decreto 33-95, Art. 57 del MARENA
Concentración de DQO	$C_{DQO(salida)}$	1,816.30	mg/L	$C_{DQO(salida)} = C_{DQO(entrada)}(1 - C_{DQO(remocion)})$	200	200
Concentración de DBO_5	$Co(salida)$	1,001.15	mg/L	$Co(salida) = Co(entrada)(1 - Co(remocion))$	120	120
Sólidos suspendidos totales	$SS(salida)$	148.27	mg/L	$SS(salida) = SS(entrada)(1 - SS(remocion))$	150	120
Sólidos sedimentados totales	$Ssed(salida)$	2.85	mg/L	$Ssed(salida) = Ssed(entrada)(1 - Ssed(remocion))$	1	-
Grasas y aceites	$Ga(salida)$	11.23	mg/L	$Ga(salida) = Ga(entrada)(1 - Ga(remocion))$	10	-

Diseño del Sistema de Tratamiento de Aguas Residuales

Beneficio Húmedo del Café: Finca La Esperanza

Dipilto - Nueva Segovia, Nicaragua

B.4.-

TRATAMIENTO SECUNDARIO

DISEÑO DEL FILTRO DE FLUJO DESCENDENTE (FD)

Parámetros de diseño del Filtro de flujo descendente			
Datos	Simbología	Valor	Unidades
Caudal total de diseño en esta etapa	$Q_{D(entrada)}$	14.78	m ³ /día
Concentración de DQO	$C_{DQO(entrada)}$	1816.30	mg/L
Concentración de DBO ₅	$C_{O(entrada)}$	1001.15	mg/L
Sólidos suspendidos totales	$SS_{(entrada)}$	148.27	mg/L
Sólidos sedimentados totales	$S_{sed(entrada)}$	2.85	mg/L
Grasas y aceites	$Ga_{(entrada)}$	11.23	mg/L

Criterios de diseño del Filtro de flujo descendente					
Datos	Simbología	Valor	Unidades	Fórmulas	Criterios y observaciones
Número de unidades	NU	1.00			
Caudal diseño para una pila	QFD	14.78	m ³ /día	$QFD = Q_D / NU$	
Concentración subordinaria de DBO ₅	C	3.00	mg/L		
Constante específica de la	kt	0.852	m/día		

biodegradación				
Ancho del Filtro	Bfd	4.00	m	Asumido

DISEÑO DEL FILTRO DE FLUJO DESCENDENTE (FD)

Continuación

Criterios de diseño del Filtro de flujo descendente					
Datos	Simbología	Valor	Unidades	Fórmulas	Criterios y observaciones
Porosidad del lecho filtrante	plf	60.00	%		Experiencia BIOMASA/UNI
Volumen de vacío		20.00	%		

Dimensionamiento del Filtro de flujo descendente					
Datos	Simbología	Valor	Unidades	Fórmulas	Criterios y observaciones
Area del Filtro descendente	AFD	15.98	m ²	$AFD = \frac{QFD}{Kt} * \ln\left(\frac{C_e - C}{C_s - C}\right)$	
Longitud del Filtro descendente	Lfd	4.00	m	$Lfd = \frac{AFD}{Bfv}$	
Longitud del Filtro descendente Propuesta	Lfdp	4.00	m		Asumido
Volumen útil del Filtro descendente	Vufd	14.78	m ³		Será la cantidad de m ³ del caudal de diseño (Q _D en m ³ /día) utilizado en el dimensionamiento del filtro.
Volumen ocupado por el lecho filtrante	Vlfd	5.91	m ³	$Vlfd = QFD * (1 - plf)$	Dónde: p: porosidad del lecho filtrante= 60%
Altura del Filtro descendente	Hfd	1.30	m	$Hfd = \frac{Vufd - Vlfd}{Bfd * Lfd}$	
Altura total del Filtro descendente	HTfd	1.30			Asumido
Volumen total del lecho filtrante	VTfd	20.70	m ³	$Vtfd = Htfd * Lfdp * Bfd$	

DISEÑO DEL FILTRO DE FLUJO DESCENDENTE (FD)

Continuación

Dimensión final					
Datos	Simbología	Valor	Unidades	Fórmulas	Criterios y observaciones
Altura del Filtro de flujo descendente	H_{FD}	1.30	m		
Base del Filtro de flujo descendente	B_{FD}	4.00	m		
Longitud del Filtro de flujo descendente	L_{FD}	4.00	m		

REMOCION ESPERADA EN EL FILTRO DE FLUJO DESCENDENTE (FD)

Remoción esperada en el Filtro de flujo descendente			
Parámetro	Simbología	Valor	Unidades
DQO	$C_{DQO(Remoción)}$	60.00%	mg/L
DBO ₅	$CO_{(Remoción)}$	60.00%	mg/L
Sólidos suspendidos totales	$SS_{(Remoción)}$	55.00%	mg/L
Sólidos sedimentados totales	$Ssed_{(Remoción)}$	55.00%	mg/L
Grasas y aceites	$Ga_{(Remoción)}$	30.00%	mg/L

DISEÑO DEL FILTRO DE FLUJO DESCENDENTE (FD)

Continuación

CONCENTRACION DE SALIDA DEL FILTRO DE FLUJO DESCENDENTE (FD)

Concentración de salida del Filtro de flujo descendente (FD)					Valores permisibles de descarga de agua residuales	
Parámetros	Simbología	Valor	Unidades	Fórmulas	Afluyente del BHC. Decreto 33-95, Art. 38 del MARENA	Para riego Agrícola. Decreto 33-95, Art. 57 del MARENA
Concentración de DQO	$C_{DQO(salida)}$	726.52	mg/L	$C_{DQO(salida)} = C_{DQO(entrada)}(1 - C_{DQO(Remoción)})$	200	200
Concentración de DBO_5	$Co(salida)$	400.46	mg/L	$Co(salida) = Co(entrada)(1 - Co(Remoción))$	120	120
Sólidos suspendidos totales	$SS(salida)$	66.72	mg/L	$SS(salida) = SS(entrada)(1 - SS(Remoción))$	150	120
Sólidos sedimentados totales	$Ssed(salida)$	1.28	mg/L	$Ssed(salida) = Ssed(entrada)(1 - Ssed(Remoción))$	1	-
Grasas y aceites	$Ga(salida)$	7.86	mg/l	$Ga(salida) = Ga(entrada)(1 - Ga(Remoción))$	10	-

Diseño del Sistema de Tratamiento de Aguas Residuales

Beneficio Húmedo del Café: Finca La Esperanza

Dipilto - Nueva Segovia, Nicaragua

TRATAMIENTO SECUNDARIO

DISEÑO DEL BIOFILTRO DE FLUJO HORIZONTAL (BFH)

Parámetros de diseño del Biofiltro de flujo horizontal			
Datos	Simbología	Valor	Unidades
Caudal total de diseño en esta etapa	$Q_{D(entrada)}$	14.78	m ³ /día
Concentración de DQO	$C_{DQO(entrada)}$	726.52	mg/L
Concentración de DBO ₅	$Co_{(entrada)}$	400.46	mg/L
Sólidos suspendidos totales	$SS_{(entrada)}$	66.72	mg/L
Sólidos sedimentados totales	$Ssed_{(entrada)}$	1.28	mg/L
Grasas y aceites	$Ga_{(entrada)}$	7.86	mg/L

Criterios de diseño del Biofiltro de flujo horizontal					
Datos	Simbología	Valor	Unidades	Fórmulas	Criterios y observaciones
Número de Unidades	NU	2.00			
Caudal de diseño para una pila	Q_{bh}	7.40	m ³ /día	$Q_{bh} = Q_D / NU$	
Tipo de planta					Carrizo (<i>Phragmites australis</i>)
Material de Lecho Filtrante					Hormigón Rojo

Porosidad del lecho filtrante como fracción decimal	n	0.5012		Monografía Ing. Alfonso Jeréz
---	---	--------	--	-------------------------------

DISEÑO DEL BIOFILTRO DE FLUJO HORIZONTAL (BFH)

Continuación

Criterios de diseño del Biofiltro de flujo horizontal					
Datos	Simbología	Valor	Unidades	Fórmulas	Criterios y observaciones
Porosidad del lecho filtrante	pbh	0.60			Experiencia BIOMASA/UNI
Permeabilidad del lecho	Kf	604.80	m/d		Experiencia BIOMASA/UNI
Profundidad efectiva	hef	0.80	m		hef: 0.6 - 0.8 m
Talud horizontal	zh	1.00			
Talud vertical	zv	1.00			
Borde Libre	Bl	0.10	m		
Constante de biodegradación	k_{DQO}	61.00	m/año		Investigaciones realizada por BIOMASA/UNI-Biofiltro Masaya
Constante de biodegradación	k_{DBO}	70.00	m/año		Investigaciones realizada por BIOMASA/UNI-Biofiltro Masaya
Pendiente de fondo del Biofiltro Horizontal	I	1.00	%		Pendiente hidráulica: 0.5 - 1%

Dimensionamiento de una unidad de Biofiltro de Flujo Horizontal					
Datos	Simbología	Valor	Unidades	Fórmulas	Criterios y observaciones
Relación largo:ancho		1.05		L/B	Para unidades pequeñas 3:1 Para unidades grandes la relación mínima 0.5:1
Area de la Sección transversal efectiva del lecho	W	1.22	m ²	$W = \frac{Q_{bh}}{Kf * I}$	
Ancho mínimo de la pila	Bmín	1.53	m	W/h	

DISEÑO DEL BIOFILTRO DE FLUJO HORIZONTAL (BFH)

Continuación

Dimensionamiento de una unidad de Biofiltro de flujo horizontal					
Datos	Simbología	Valor	Unidades	Fórmulas	Criterios y observaciones
Ancho de la pila	Bbh	8.50	m	asumido	Bbmáx.=100m, Bbmín.=1.8 1 m
Largo de pila	Lbh	8.93	m	$Lbh = Bbh * (L/B)$	Lmáx. ≤ 50 m
Largo de pila propuesto	Lbhp	9.00	m		
Sección transversal efectiva	S _{efectiva}	4.08	m ²	$S_{efectiva} = Bbh * pbh * hef$	S _{efectiva} > W (Experiencia BIOMASA)
Ancho mínimo	Bbmín	1.53	m	$B_{hbmin} = W/hef$	
Carga hidráulica	CH	35.27	m/año	$CH = \frac{Q_{bh} * 365}{B_{hb} * L_{bhp}}$	28m/año ≤ CH ≤ 35m/año
Área necesaria para la remoción de la DBO ₅	A	76.50	m ²	$A = \frac{Q_{bh} * 365}{CH}$	
Caudal máximo de infiltración en una pila	Qmáx	41.13	m ³ /d	$Q_{máx} = Bbh * Kf * I * hef$	> 6.38 m ³ /d (Experiencia BIOMASA)
Volumen útil	Vub	61.20	m ³	$Vubh = L_{bhp} * B_{hb} * hef$	
Tiempo de retención en el Biofiltro horizontal	Trbh	5.00	días	$Trbh = \frac{B_{hb} * L_{bhp} * hef * pbh}{(CH * A/365)}$	3 < tr < 7 días
Carga orgánica aplicada	Coa	0.03	kg/ha.d	$C_{oa} = \left(\frac{B_{bh}/1000 * L_{bh}}{Q_{bh} * C_o} \right) * 1000$	(Experiencia BIOMASA)

DISEÑO DEL BIOFILTRO DE FLUJO HORIZONTAL (BFH)

Continuación

Dimensión final					
Datos	Simbología	Valor	Unidades	Fórmulas	Criterios y observaciones
Altura del BFH	$H_{\text{Biofiltro}}$	0.90	m		Incluye el borde libre
Base del BFH	$B_{\text{Biofiltro}}$	8.50	m		
Longitud del BFH	$L_{\text{Biofiltro}}$	9.00	m		

REMOCION ESPERADA EN EL BIOFILTRO DE FLUJO HORIZONTAL (BFH)

Remoción esperada en el Biofiltro de Flujo Horizontal					
Datos	Simbología	Valor	Unidades	Fórmulas	Criterios y observaciones
Constante de biodegradación	k_{DQO}	61.00	m/año		BIOMASA/UNI-BFH-Masaya
Constante de biodegradación	k_{DBO}	70.00	m/año		BIOMASA/UNI-BFH-Masaya
Sólidos suspendidos totales	$SS_{(\text{Remocion})}$	80.00%	mg/L		
Sólidos sedimentados totales	$S_{\text{sed}(\text{Remocion})}$	80.00%	mg/L		
Grasas y aceites	$Ga_{(\text{Remocion})}$	65.00%	mg/L		

DISEÑO DEL BIOFILTRO DE FLUJO HORIZONTAL (BFH)

Continuación

CONCENTRACION DE SALIDA DEL FILTRO DE FLUJO DESCENDENTE (FD)

Concentración de salida del Filtro de flujo descendente (FD)					Valores permisibles de descarga de agua residuales	
Parámetros	Simbología	Valor	Unidades	Fórmulas	Afluyente del BHC. Decreto 33-95, Art. 38 del MARENA	Para riego Agrícola. Decreto 33-95, Art. 57 del MARENA
Concentración de DQO	$C_{DQO(salida)}$	128.86	mg/L	$C_{eDQO} = C_o e^{-K_{DQO}/CH}$	200	200
Concentración de DBO_5	$C_o(salida)$	55.03	mg/L	$C_{eDBO5} = C_o e^{-K_{DBO5}/CH}$	120	120
Sólidos suspendidos totales	$SS(salida)$	13.34	mg/L	$SS(salida) = SS(entrada) (1-SS(Remocion))$	150	120
Sólidos sedimentados totales	$Ssed(salida)$	0.26	mg/L	$SSed(salida) = SSed(entrada)(1-SSed(Remocion))$	1	-
Grasas y aceites	$Ga(salida)$	2.75	mg/L	$Ga(salida) = Ga(entrada) (1-Ga(Remocion))$	10	-

Diseño del Sistema de Tratamiento de Aguas Residuales

Beneficio Húmedo del Café: Finca La Esperanza
Dipilto - Nueva Segovia, Nicaragua

B.5.- DISEÑO DE LA PILA DE SECADO DE LODOS

Criterios de diseño de la Pila de secado de lodos					
Datos	Simbología	Valor	Unidades	Fórmulas	Criterios y observaciones
Cantidad de lodos secos	Cl _s	0.551	m ³ /mes	$Cl_s = (Cl + Cl_d)$	
Altura de la capa de lodos	h _{cl}	0.25	m		
Area requerida para el secado (m ²)	A _{rs}	2.203	m ²	$A_{rs} = \frac{Cl_s}{h_{cl}}$	
Relación largo/ancho	R	0.60		$R = L/B$	
Ancho de la pila	B _{pl}	1.92	m	$B_{pl} = \sqrt{A/R}$	
Ancho de la pila propuesta	B _{plp}	2.00	m		
Largo de la pila	L _{pl}	1.15	m	$L_{pl} = B_{plp} * R$	
Largo de la pila propuesto	L _{plp}	1.15	m		
Volumen Total de la Pila	V _{tp}	0.575	m ³	$V_{tp} = B_{plp} * L_{plp} * h_{cl}$	

Dimensión final					
Datos	Simbología	Valor	Unidades	Fórmulas	Criterios y observaciones
Altura de la Pila de lodos	$H_{Pila\ de\ secado}$	0.25	m		Incluye el borde libre
Base de la Pila de lodos	$B_{Pila\ de\ secado}$	2.00	m		
Longitud de la Pila de lodos	$L_{Pila\ de\ secado}$	1.15	m		

Diseño del Sistema de Tratamiento de Aguas Residuales

Beneficio Húmedo del Café: Finca La Esperanza

Dipilto - Nueva Segovia, Nicaragua

B.6.-

DISEÑO DE LA PILA DE ALMACENAMIENTO FINAL

Criterios de diseño de la Pila de Almacenamiento final					
Datos	Simbología	Valor	Unidades	Fórmulas	Criterios y observaciones
Caudal de diseño	QD	14.78	m ³ /día		
Período de retención del agua en la pila	Trpf	3.00	Días		Para almacenar el volumen de agua proveniente del digester
Cálculo del volumen útil de la pila de almacenamiento final	Vupf	44.35	m ³	$V_{upf} = Q_D * Trpf$	
Profundidad de la pila de almacenamiento final	Hpf	2.00	m		Asumido por tanteo
Relación L/B de la pila de almacenamiento final	Lpf		m	$L_{pf} = 1.75 * B_{ph}$	
Ancho de la pila de almacenamiento final	Bpf	3.56		$B_{pf} = \left(\frac{V_{upf}}{H_{pf} * 1.75}\right)^{1/2}$	
Ancho de la Pila de la pila de almacenamiento final propuesto	Bpfp	3.50	m		
Largo de la Pila de Hidrólisis	Lpf	6.10	m	$L_{pf} = 1.75 * B_{pfp}$	

Largo de la Pila de la pila de almacenamiento final propuesto	L _{pf}	6.50	m		
Volumen final de la pila de almacenamiento final	V _{fpf}	45.50	m ³	$V_{fpf} = B_{pfp} * L_{pfp} * H_{pf}$	

DISEÑO DE LA PILA DE ALMACENAMIENTO FINAL

Continuación

DIMENSIONAMIENTO FINAL DE LA PILA DE ALMACENAMIENTO FINAL

Dimensión final					
Datos	Simbología	Valor	Unidades	Fórmulas	Criterios y observaciones
Altura de la Pila de la pila de almacenamiento final	H _{Pf}	2.00	m		Incluye el borde libre
Base de la pila de almacenamiento final	B _{Pf}	3.50	m		
Longitud de la pila de almacenamiento final	L _{Pf}	6.50	m		

Diseño del Sistema de Tratamiento de Aguas Residuales

Beneficio Húmedo del Café: Finca La Esperanza
Dipilto - Nueva Segovia, Nicaragua

B.7.-

DIMENSIONAMIENTO FINAL DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO

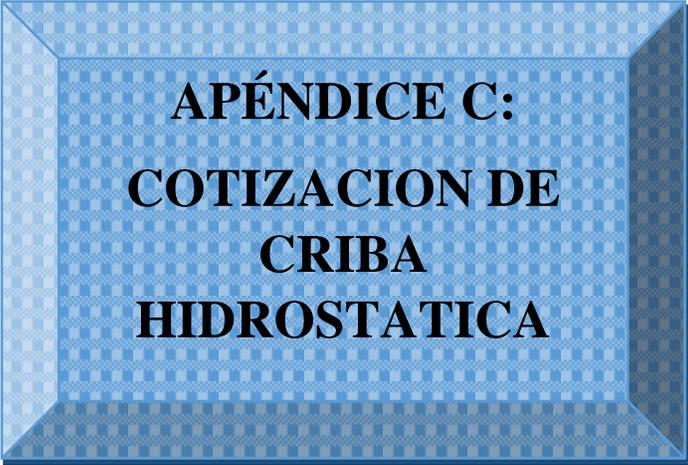
Etapas	Altura (m)	Ancho (m)	Longitud (m)	Área (m ²)
Canal de Entrada	0.30	0.30	1.50	0.45
Desarenador	0.65	0.60	2.00	1.20
	0.85			
Pila de Hidrólisis	2.50	2.00	3.50	7.00
Digestor Anaerobio	3.00	3.60	7.20	25.92
Diseño de Filtro Descendente (FD)	1.30	4.00	4.00	16.00
Biofiltros de Flujo Horizontal (BFH)	0.90	7.00	7.50	105.00
Pila de Secado de Lodos	0.25	2.00	1.20	2.40
Pila de almacenamiento final	0.20	3.50	6.50	22.75
			Total	180.72

B.8.-

CONCENTRACION FISICO-QUIMICA FINAL PARA DESCARGA DEL AFLUENTE

Concentración fisicoquímica final para descarga del afluente			
Datos	Simbología	Valor	Unidades

Concentración de DQO	$C_{DQO(entrada)}$	128.86	mg/L
Concentración de DBO_5	$Co_{(entrada)}$	55.03	mg/L
Sólidos suspendidos totales	$SS_{(entrada)}$	13.34	mg/L
Sólidos sedimentados totales	$Ssed_{(entrada)}$	0.26	mg/L
Grasas y aceites	$Ga_{(entrada)}$	2.75	mg/L



**APÉNDICE C:
COTIZACION DE
CRIBA
HIDROSTATICA**

C.1.- Cotización de Criba Hidrostática



Ced. Jurídica N 3-101-233337 Tel: (506) 453-2505 Fax:(506) 453-2506
 Apt. Postal 80-4300 Palmares, Alajuela, Costa Rica C.A
 E-mail: kondor@racsac.co.cr/ kondor@ica.co.cr

Empresa: UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA TELEFONO:
 Atención: Ing. Vidal Caceres A. FAX:
 Cotización válida por: 15 días FECHA: 18/01/2017

Cotización Ref. SPC-005/07-2010

Cod.	Cant.	Descripción	P/Unit	Total
SSC	1	Separador: caja o estructura en acero inoxidable AISI-430	\$1,000.00	\$1,000.00
		Separador de sólidos por gravedad. Entrada y salida para tubo PVC de 4" de diámetro. Malla separadora en acero inoxidable AISI-304 de 24" altura x 12" ancho. Con 5 gls/min capacidad y 0.50 mm de slot o apertura.		
		*****ULTIMA LINEA*****		
		transporte hasta almacén fiscal en Managua		\$250.00
Más de 1000 separadores de sólidos en toda Centroamérica y el Caribe.			SUBTOTAL:	\$1,250.00
			I.V.	Exento
			TOTAL:	\$1,250.00

PUEDEN DEPOSITAR EN NUESTRA CUENTA DEL BANC NICARAGUA
www.bac.net

Condiciones de venta:

Precio CFR AGRO TEK
 Pagadero en dólares USD .
 Pago: Anticipado/artes de embarque.
 Transporte: hasta almacén fiscal en Managua. No se incluye seguro.
 Tiempo de entrega: 1 semana después de recibir orden de compra.



ORLANDO PEREDA

C.2.- Imagen de muestra de la Criba Hidrostática





**APÉNDICE D:
ESPECIFICACIONES
TECNICAS**

D.1.- Especificaciones Técnicas

D.1.1.- Alcances de la obra

Estas especificaciones técnicas se han elaborado a fin de adquirir los bienes y servicios requeridos para la posible construcción de nuestro trabajo monográfico. Esto abarca los aspectos más importantes sobre los requerimientos mínimos que deben cumplir los materiales de construcción, la mano de obra, las herramientas, equipo y procedimientos constructivos a ser incorporados en el proyecto.

Todos los materiales y equipos suministrados deberán ser nuevos, de diseño corriente, hechura y calidad de primera clase. Trabajos de montaje y construcción deberán ser sin imperfección y de primera clase. Tanto los materiales como los equipos, deberán ser productos fabricados por manufactureros de reconocida experiencia y habilidad y en la calidad, clases y tipos especificados. Todo el equipo o material defectuoso o dañado durante su instalación o pruebas deberá ser reemplazado.

D.1.1.1.- Normas y Códigos⁴⁵

Toda instalación deberá ser ejecutada de acuerdo con las Normas establecidas por el INAA y las Normas NIC-80, con los requisitos de ley gubernamental, códigos, reglamentos y ordenanzas.

D.1.1.2.- Seguridad

Los trabajadores deberán usar el equipo apropiado como botas, anteojos protectores, orejeras, gorras vestimenta, máscaras protectoras faciales y todo cuanto sea necesario para prever accidentes al personal durante el proceso de construcción.

⁴⁵ 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).

Se podrá ordenar el paro de la obra si los trabajadores se exponen al peligro y/o riesgos de algún tipo, por falta del equipo apropiado durante la ejecución de la obra.

Se deberá ser sumamente cuidadoso en el montaje de sustancias tóxicas y volátiles tales como: combustibles, lubricantes, pintura y líquidos limpiadores en el sitio del proyecto. Estas sustancias deberán ser almacenadas en un lugar seguro.

D.1.2.- Selección y siembra de las plantas de pantano

Las plantas a sembrar se pueden seleccionar en base a la eficiencia proporcionada en el tratamiento de las aguas residuales. Hasta el momento, se tiene información fundamentada sobre el uso de plantas como el platanillo (*Heliconia*), zacate taiwán (*Pennisetum purpureum*), carrizo (*Phragmites australis*), tule (*Typha domingüensis*), *Cyperus articulatus* y *Phalaris arundinacea*. Todas estas plantas resultan efectivas en el tratamiento de aguas residuales y pueden indistintamente elegirse si se desea obtener algún efecto u obtener algún provecho de ellas. Por ejemplo, el platanillo u otras plantas de la familia de las *Heliconia* se pueden seleccionar con propósitos ornamentales, pues produce flores de diferentes colores, el zacate taiwán puede utilizarse como alimento de ganado vacuno y el tule y *Phalaris arundinacea* para obtener material de trabajo para la elaboración de artesanías.

Sin embargo, cuando se desea remover en mayor medida gérmenes patógenos, la planta más conveniente a utilizar es el carrizo (*Phragmites australis*), pues se ha comprobado que esta planta aumenta la eficiencia del biofiltro en la remoción de bacterias coliformes fecales. Además, si hay presencia de metales pesados en las aguas residuales, *Phragmites* y *Typha* son las plantas que remueven éstos en mayor cantidad (Cooper *et al.* 1996).

➔ **Phragmites australis (carrizo)**

Phragmites australis es la planta de pantano más utilizada en biofiltros a nivel mundial, pues es capaz de introducir entre 5 y 12 mg de oxígeno por m² y día al lecho filtrante. Los rizomas bien desarrollados de esta planta pueden llegar hasta una profundidad de 1.5 metros después de dos a tres años. Otra de las muchas ventajas en el uso de esta planta de pantano, es su gran tamaño y superficie de hojas que permite una evapotranspiración considerable del agua extraída del subsuelo. El lecho de raíces proporciona una vía o ruta hidráulica a través de la cual fluye el agua a tratar. Esta vía espaciosa, llamada rizósfera, es el espacio angular entre los rizomas, las raíces y el suelo circundante. El movimiento de la trama radicular en crecimiento (raíces y rizomas), abriéndose espacio en el suelo, previene la obstrucción de la rizósfera.

Las plantas aportan oxígeno atmosférico a la rizósfera a través de las hojas, tallos y rizomas. El agua residual se trata así aeróbicamente por la actividad bioquímica y microbiana en la rizósfera, y anaeróbicamente en el suelo circundante. Las diferentes zonas permiten así que se desarrolle una gran variedad de microorganismos dentro del lecho, incluyendo no sólo bacterias sino también protozoos.

D.1.2.1.- Procedimiento de siembra de las plantas

Se especifica procedimientos de siembra para opciones de plantillos de platanillo, tule, carrizo y zacate taiwan en el biofiltro.

- *Platanillo y tule*

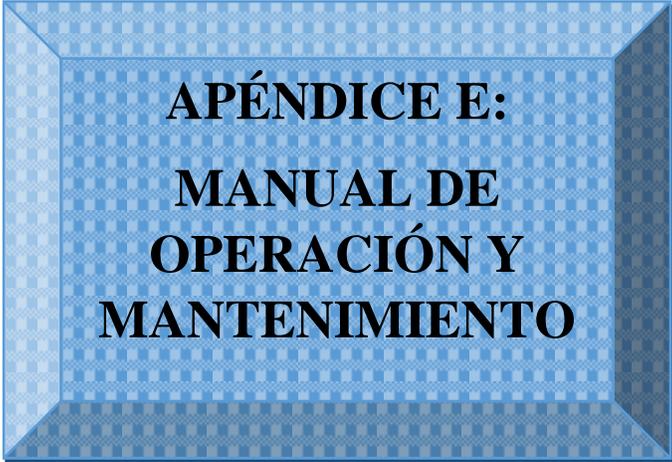
Se establece un vivero y cuando la planta alcanza un tamaño mínimo de 8" (con un crecimiento adecuado de las raíces), se trasplanta al biofiltro, donde se siembra en surcos a una distancia de 60.00 cm entre filas y columnas. La profundidad de siembra

es de 10.00 cm, que es la profundidad inicial a la que debe estar el nivel de agua dentro del Biofiltro al momento del arranque.

- *Carrizo y zacate taiwán*

La siembra se realiza mediante estacas de aproximadamente 15.00 – 20.00 cm de longitud que contengan 3 nodos cada una a una profundidad de 3.00 – 4.00 cm sobre el espejo de agua del lecho filtrante. Debido a su mayor crecimiento, la distancia entre filas y columnas es de 1.00 m para evitar que el Biofiltro tenga una sobrepoblación de plantas. En cada punto de siembra se depositan 3 estacas juntas para garantizar que al menos una de ellas se establezca.

Para que el carrizo se desarrolle satisfactoriamente, es necesario que el lecho filtrante permanezca saturado de agua todo el tiempo. La maduración del carrizo toma cerca de un año, antes de que el proceso funcione con 100% de eficiencia. La cosecha de la *Phragmites australis* (carrizo) debe realizarse entre 8 y 12 meses, dejando limpia de hojas y otro tipo de material vegetativo seco la superficie de los lechos filtrantes después del corte, para evitar de esta forma que la descomposición de estas plantas pueda colmatar el lecho filtrante del Biofiltro.



**APÉNDICE E:
MANUAL DE
OPERACIÓN Y
MANTENIMIENTO**

E.1.- Operación y mantenimiento del Sistema de tratamiento

E.1.1.- Generalidades

Una planta de tratamiento de aguas servidas sólo puede cumplir sus objetivos si se opera en forma apropiada y se le somete periódicamente a un mantenimiento efectivo, realizado por personal calificado. La frecuencia y la magnitud de este mantenimiento dependen del tipo y tamaño de la planta. La operación y el mantenimiento, incluida la apropiada disposición de los lodos, deben seguir las instrucciones formuladas por el diseñador y el fabricante del equipo. Estas instrucciones deben ser detalladas, de fácil comprensión, describir la frecuencia y el alcance de los trabajos de rutina, así como las medidas necesarias para el mantenimiento de todos los componentes de la planta, incluyendo el control de su grado de rendimiento.

El operador de las instalaciones debe llevar un diario de la operación, usando los formatos correspondientes, en los cuales deben anotarse los trabajos, observaciones y mediciones rutinarias efectuadas, las acciones de mantenimiento realizadas, los resultados obtenidos de cada uno de los procesos de tratamiento, y los sucesos específicos.

Debe disponerse en todo momento del personal, materiales, equipos y herramientas para efectuar el mantenimiento requerido. Cuando se presenten obstrucciones, se observe la formación de nudos y se detecten hundimientos, fugas, grietas y cualquier otro daño en las estructuras o equipos, éstas deben eliminarse de inmediato. La operación y mantenimiento de la planta deben ejecutarse de tal modo, que no presenten ningún peligro o molestia para el personal, ni para el ambiente. Esto se aplica en especial, a la extracción, transporte y disposición final de lodos, las natas y del material retenido en las rejillas. Debe mantenerse una reserva adecuada de piezas de repuesto.

▪ ***Trabajos a realizar en cada una de las etapas del sistema de tratamiento***

A continuación, se señalan algunas medidas, que deben cumplirse para asegurar la conservación y el funcionamiento apropiado de una planta de tratamiento:

- ✓ Cercado del terreno de la planta de tratamiento para evitar el acceso a personas sin autorización o animales que puedan provocar daños en las instalaciones, esto se hará a 3 metros del borde de la planta.
- ✓ Asignar para operación de la planta a personal calificado, y debidamente entrenado. En el caso de sistemas con biofiltro no se necesita a personas especializadas o con conocimientos superiores, ya que el trabajo a realizar es sumamente sencillo.
- ✓ La persona encargada de la operación o mantenimiento de la PTAR debe dedicarse a tiempo completo a su cuidado y funcionamiento.
- ✓ Conservar la planta perfectamente limpia y ordenada.
- ✓ Establecer un plan sistemático para la ejecución de las operaciones.
- ✓ Establecer un programa rutinario de inspección y lubricación.
- ✓ Registrar los datos operativos de cada equipo, enfatizando en lo relativo a incidentes poco usuales, y condiciones de funcionamiento anormales.
- ✓ Observar las medidas de seguridad establecidas.
- ✓ Establecer y desarrollar un programa de mantenimiento de los equipos, siguiendo las recomendaciones de los fabricantes.

▪ **Actividades para el arranque del sistema reactor anaeróbico**⁴⁶

El arranque del reactor debe hacerse de forma cuidadosa, puesto que es la parte fundamental en el sistema de tratamiento porque proporciona una parte muy importante de la remoción de contaminantes. Las actividades a realizar para el arranque se pueden resumir en las siguientes:

1. Realizar un control continuo de algunos parámetros que permiten monitorear el comportamiento del reactor y tomar a tiempo medidas correctivas en caso de que éste presente anomalías o problemas operativos. Estos análisis comprenden:
 - Control de la carga orgánica del agua cruda por medio de análisis de DQO, N-Kjeldahl y amonio.
 - Determinaciones de pH y factor de alcalinidad en el afluente y efluente del reactor.
 - Medición de temperatura, producción de biogás y contenido de CO₂ en el biogás.
2. Con este tipo de arranque y una alimentación progresiva de forma controlada, se puede lograr condiciones normales y estables de operación del reactor en un plazo aproximado de 30 a 40 días, sin la necesidad de adición de reactivos químicos para el control del pH.
3. En caso de presentarse problemas en el arranque del sistema, se debe considerar también el análisis de otros parámetros que pueden indicar el origen y solución de los problemas que se presenten. Entre estos análisis se encuentran sólidos suspendidos, volátiles y sedimentables, así como los ácidos grasos volátiles.

⁴⁶ 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).

4. En dependencia del problema detectado, el responsable de la planta de tratamiento considerará los cambios o variaciones en el arranque y manejo del sistema anaerobio, entre ellos están suspender temporalmente la alimentación del sistema, diluir el agua contenida en el digester con agua limpia, agregar reactivos como cal y carbonato sódico para el ajuste del pH y alcalinidad.
5. Extraer un inóculo de un sistema de tratamiento anaerobio funcionando satisfactoriamente y con plena carga durante más de un año, utilizado para el tratamiento de aguas residuales provenientes de plantas industriales similares. El inóculo debe consistir de lodo digerido con una concentración de sólidos suspendidos totales mayor o igual que 5%.
6. Llenar el reactor con agua limpia e inocularlo con el lodo digerido seleccionado cuando se requiere arrancar una planta por primera vez. El volumen de inóculo debe ser aproximadamente el 10% del volumen útil del reactor.
7. Esperar hasta que el agua con el inóculo alcance la temperatura de operación del sistema (normalmente $<30^{\circ}\text{C}$).
8. Posteriormente iniciar con una alimentación uniforme de aguas residuales frescas provenientes del proceso, aproximadamente con un 25% de la carga orgánica diaria de diseño e incrementar la misma gradualmente durante las siguientes 4 semanas.
9. Aspecto General:
 - Cercado del terreno de la planta de tratamiento para evitar el acceso a personas sin autorización o animales que puedan provocar daños en las instalaciones.
 - La persona encargada de la operación y mantenimiento de la planta de tratamiento se dedica a tiempo completo a su cuidado y funcionamiento. No se necesita a alguien especializado o con conocimientos superiores, ya que el trabajo a realizar es sumamente sencillo.

E.1.2.- Actividades de operación y mantenimiento del sistema

▪ *Programa completo de monitoreo para el control del sistema*

➔ Canal de entrada

1. Medición del caudal afluente del sistema de tratamiento durante todo el tiempo que duran las actividades en la planta de proceso, incluyendo el período de limpieza de la misma. Esto se puede hacer midiendo el tirante de agua en el canal con una regla graduada cada hora.

➔ Etapa anaerobia

1. Mediciones diarias del pH y temperatura en el afluente y efluente del digestor.
2. Análisis de DQO en el afluente y efluente del digestor y determinación del factor de alcalinidad del efluente.
3. Medición de la producción de Biogás y análisis de la composición del mismo (% de CH₄, CO₂).
4. Realización de un test visual para determinar la calidad del biogás; normal: llama tiene color amarillo con base azul; exceso de CO₂: llama tiene color azul y es inestable; exceso de H₂O: llama tiene color naranja y humo.
5. Determinación de la reducción de sólidos volátiles.
6. Realización de pruebas del olor que desprenden el biogás y los lodos digeridos que puedan dar indicios sobre el funcionamiento del sistema, tales como olor séptico, podrido, bien digerido, etc.

➔ **Caja de recolección**

1. Medición del caudal del efluente del sistema utilizando el método de aforo.

➔ **Sistema de tratamiento en general**

1. Realización de muestreos compuestos del afluente y efluente del sistema. Estos muestreos se realizarán cada 3 meses o según esté especificado en el permiso ambiental de la planta y deberán abarcar todo el período de producción de un día, con mediciones de caudal cada ½ hora y toma de muestras cada hora en los puntos especificados. Los parámetros a analizar en estos muestreos son los establecidos en el decreto 33-95 del artículo 38, del Ministerio del Ambiente y los Recursos Naturales (MARENA), referido a los beneficios húmedos del café, incluyendo: pH, sólidos suspendidos, sólidos sedimentables, DBO, DQO y Grasas y Aceites.
2. Los resultados de todos estos análisis deben ser utilizados para una buena operación y control del sistema de tratamiento y sirven para resolver rápidamente problemas de funcionamiento del mismo.

▪ **Listado de actividades rutinarias de operación y mantenimiento**

➔ **Canal de entrada**

1. Limpiar los sólidos sedimentados en el fondo del canal una vez por semana, usando pala y carretilla para su traslado hacia la pila de secado de lodos.
2. En la rejilla, hay que remover diariamente de forma manual los sólidos gruesos retenidos entre las barras y los acumulados sobre la platina perforada, utilizando un rastrillo metálico. El material inorgánico debe ser recolectado y enviado al basurero municipal y el material orgánico se deposita en la pila de secado de lodos.

3. Si el canal de entrada tiene poca pendiente o caudal, hay que sacar el material sedimentado en el fondo del mismo cada dos semanas con una pala.
4. En el canal de alimentación se puede determinar el caudal de agua que entra al sistema de tratamiento, para lo cual será necesario medir con una regla graduada el tirante de agua por lo menos tres veces al día (6:00 am, 1:00 pm y 7:00 pm).

➔ **Desarenador**

1. Extraer el material acumulado en el fondo del desarenador abriendo la válvula de desagüe que generalmente tienen estas unidades en el fondo. Si no existe esta válvula, se utiliza pala y carretilla. La frecuencia de limpieza se determina en función de la acumulación de material en el volumen establecido para el almacenamiento de los sedimentos.
2. La instalación del baffle le proporciona la función de trampa de grasa. La grasa y otros materiales flotantes se acumulan en forma de nata en la superficie del agua, por lo que se debe remover cada tres días con un pascón.

➔ **Pila de hidrólisis**

1. Limpiar diariamente la nata flotante que se acumula en la pila de hidrólisis utilizando un pascón, trasladando el material retirado a la pila de secado de lodos en una carretilla.
2. Extraer los lodos acumulados en el fondo de la pila de hidrólisis cada mes por medio de una bomba de succión de semisólidos, depositándolos en la pila de secado directamente con una manguera o por algún otro mecanismo disponible.

3. Chequear diariamente la operación de la bomba para detectar fugas, ajustes en la recirculación de agua, ruidos extraños, sobrecalentamiento de los equipos y presión de la succión y descarga.
4. Monitorear el tiempo de operación de los equipos de bombeo para asegurar su funcionamiento normal, según la forma de alimentación al digestor.
5. Realizar mantenimiento y limpieza de la bomba, según lo recomendado en su manual.
6. El operador deberá determinar diariamente el volumen de agua residual que se alimentará al digestor.
7. Determinar pH en el afluente y efluente de la pila de hidrólisis dos veces al día.

➔ **Criba hidrostática**

1. Retirar el material sólido depositado en el recipiente colocado al pie de la criba y trasladarlo a la pila de secado. Este recipiente recibe los sólidos retenidos en la malla de la criba, los cuales se deslizan hacia abajo hasta caer en el mismo.
2. Limpiar una vez al día la malla metálica de la criba utilizando un cepillo y agua a presión.
3. Con un balde o carretilla se deberá transportar constantemente los desechos retenidos en la criba hacia la pila de secado de lodos.

➔ **Reactor anaeróbico**

1. La alimentación debe realizarse en períodos largos de tiempo para evitar sobrecargas tanto hidráulicas como orgánicas en el tiempo de alimentación.

2. El volumen de alimentación debe mantenerse constante y tener un control muy estricto, para evitar variaciones que afectan en el proceso de degradación y fermentación anaerobia, disminuyendo el porcentaje de remoción, lo que generaría problemas de estabilidad y operación en el sistema de tratamiento.
3. Controlar en el manómetro la presión en el domo metálico del biogás producido dentro del reactor.
4. Drenar diario las trampas para la recolección de condensado ubicados en la tubería del biogás que lo conduce hacia el lugar donde se utiliza.
5. Chequear una vez por semana la estructura del domo metálico para detectar fugas o corrosión de las láminas metálicas.
6. Pintar el domo metálico al menos cada año por dentro y por fuera con pintura anticorrosiva. Para la aplicación interna se debe ventilar la estructura abriendo las compuertas ubicadas en los dos lados del tanque durante 3 días, utilizando un equipo de ventilación. Posteriormente, se lija la superficie metálica del domo y se aplican 2 manos de pintura anticorrosiva en la lámina libre de humedad y grasa.
7. Limpiar los canales de entrada y salida del digestor, así como los tubos de alimentación y de salida.
8. Anotar diariamente la producción de biogás por medio del contador de gas instalado antes de su evacuación o aprovechamiento.
9. Controlar diariamente el nivel y las condiciones de agua dentro del sello de agua del reactor. Ajustar la presión requerida dentro del digestor por medio de los 4 tubos instalados en el sello de agua.

10. Chequear cada 15 días el nivel y la condición de los lodos sedimentados en el fondo de la primera celda del reactor. Para este control se debe evacuar una pequeña cantidad de lodo de cada tubo de muestreo ubicados en la caja de control, con el fin de caracterizar los lodos en el digester por medio de análisis de sólidos suspendidos totales.
11. Medir dos veces al día el pH del afluente y efluente del reactor.
12. Extraer el lodo en exceso dentro del reactor anaeróbico cada dos años con una bomba para sólidos.

➔ **Filtro de flujo descendente**

1. En caso que se note un flujo superficial de aguas residuales en la entrada al Filtro vertical descendente, se recomienda remover el primer metro del material del lecho filtrante (después del material grueso) en todo el ancho de cada unidad del Filtro, sustituyéndose con material nuevo de las mismas características, para mantener la alta eficiencia de la planta durante varios años.
2. Control del espejo de agua, el cual siempre debe estar por debajo del lecho filtrante. Esto se hace con la manguera flexible de la caja de salida, ubicando la salida a la altura establecida en función de la pendiente hidráulica de diseño.
3. Realizar retro lavado.

➔ **Biofiltro de flujo horizontal**

1. Remoción de los flóculos sedimentados en el canal de distribución una vez por mes y reposición de la cubierta del mismo cuando esté en mal estado, para evitar la proliferación de mosquitos y zancudos transmisores de enfermedades.

2. Cosecha de plantas en función de su ciclo vegetativo (*Phragmites australis* (carrizo) cada 10 meses y de Zacate Taiwán cada 3 meses).
3. Limpieza de la superficie del lecho filtrante después del corte, para evitar que la descomposición de estas plantas en el sitio sature el lecho.
4. En caso que se note un flujo superficial de aguas residuales en la entrada al Biofiltro, se recomienda remover el primer medio metro del material del lecho filtrante (después del material grueso) en todo el ancho de cada unidad del Biofiltro por lo menos cada 3 ó 4 años, o simplemente cambiar el lecho filtrante en los puntos donde se hagan encharcamientos sustituyéndose con material nuevo de las mismas características, para mantener la alta eficiencia de la planta durante varios años, esto se hará anualmente.
5. Control del espejo de agua, el cual siempre debe estar por debajo del lecho filtrante. Esto se hace con la manguera flexible de la caja de salida, ubicando la salida a la altura establecida en función de la pendiente hidráulica de diseño.

- **Análisis a realizar para controlar la eficiencia del Biofiltro**

La eficiencia del tratamiento de aguas residuales por medio del Biofiltro se determina realizando análisis periódicos de los parámetros establecidos en las normas nacionales de vertido. Se deben efectuar muestreos compuestos de al menos 12 horas, tomando muestras del afluente al sistema de tratamiento y el efluente del mismo, con una frecuencia de 4 meses (3 muestreos por año), tal como se establece en las normas.

- ➔ **Pila de secado de lodos**

1. Sacar el lodo de la pila después de aproximadamente 4 meses de estabilización, utilizándolo ya sea para la producción de humus o como mejorador de suelos, incorporándolo al terreno ubicado en los alrededores del sistema.

2. Chequear diariamente la condición de los lodos dentro de la pila. En caso de que se generen problemas de malos olores, mezclar los lodos con cal.

➔ **Predio del sistema de tratamiento**

1. Mantener la vigilancia sobre el perímetro del sistema de tratamiento, para evitar que personas ajenas a la planta o animales se introduzcan en el área y puedan provocar daños u otro tipo de problemas de operación del sistema.
2. Mantener limpia el área del sistema, evitando el crecimiento de la vegetación por medio de cortes periódicos de la misma.
3. Reforestar los alrededores del sistema, plantando árboles a una distancia mayor de 5 metros del borde del biofiltro.

E.1.3.- Problemas de operación y sus soluciones

1. Un aumento de la relación ácidos volátiles/factor de alcalinidad por encima de 0.3 en el digester anaerobio incrementa el contenido de CO_2 , disminuye el pH y provoca la incidencia de malos olores por la presencia de H_2S . Estos son indicios de una sobrecarga orgánica o hidráulica, excesiva evacuación de lodos anaerobios o presencia de sustancias tóxicas.
- Solución: Se puede resolver este problema reduciendo la carga orgánica en la alimentación, adicionando más inóculo proveniente de otro digester anaerobio que presente un buen funcionamiento, reduciendo la evacuación de los lodos, aumentando la mezcla de las aguas y reduciendo la variación de la temperatura en la pila de hidrólisis por medio de mayor recirculación o agitación del agua y alimentando más uniformemente el digester, agregando reactivos químicos que regulen el pH, así como mejorando la eficiencia del pre tratamiento.

2. Una calidad no satisfactoria del efluente de la etapa anaerobia puede ser causado por sobrecarga hidráulica o excesiva fuerza de arrastre en el sistema (obstrucción parcial del lecho en el filtro anaerobio), insuficiente tiempo de sedimentación en la pila de efluente, poca inmersión de la pared deflectora en la pila de efluente o frecuencia de evacuación inadecuada de los lodos.
 - Solución: Reducción de la carga hidráulica para aumentar el tiempo de retención y sedimentación, cambios estructurales en el sistema de evacuación de agua del digestor y en la pila de efluente e incremento de la frecuencia de evacuación de los lodos acumulados.
3. Espuma en la superficie del agua en el efluente de la etapa anaerobia puede ser causada por deficiencias en los dispositivos de retención de natas flotantes, sobrecarga orgánica o producción excesiva de gas en el sistema.
 - Solución: Suspender por un tiempo la alimentación del digestor y posteriormente arrancar el digestor con una carga reducida.

E.1.4.- Operación y control del reactor anaeróbico

En el transcurso de la operación del reactor anaeróbico se tiene que llevar un control diario de ciertos parámetros que nos permite determinar el comportamiento de él, estos parámetros son recolectados entre un técnico de laboratorio y el operador de la planta de proceso. Entre los parámetros más importante tenemos: DQO, DBO₅, pH de alimentación y salida, factor de alcalinidad, caudal de alimentación, calidad y producción de biogás.

➔ DQO (Demanda química de oxígeno)

En este ensayo se mide la cantidad de materia orgánica en las aguas residuales, utilizando un fuerte agente químico oxidante. Un valor alto de la DQO indica entonces un agua cargada de materia orgánica contaminante que necesita ser tratado, y de

acuerdo a la disminución de la DQO disminuirá la contaminación. Las aguas residuales de baja carga se caracterizan por tener rangos entre 100-1000 mg DQO/L.

Este hecho permite medir la eficiencia de un determinado sistema de tratamiento al cuantificar el porcentaje de la DQO removido. Por lo general la DQO es mayor que la DBO, ya que es mayor el número de compuesto que pueden oxidarse por vía química que biológica.

Este análisis no es necesario realizarlo diario, basta por una vez a la semana, excepto en el periodo de arranque que se necesita tener un mayor control; es necesario realizarlo unas 2 veces a la semana.

➔ **DBO₅ (Demanda bioquímica de oxígeno)**

Esta determinación mide la cantidad de oxígeno disuelto utilizado por los microorganismos en la oxidación bioquímica de la materia orgánica en un período de 5 días a 20 °C; se utilizan para calcular la cantidad aproximada de oxígeno que se requerirá para estabilizar biológicamente la materia orgánica, así como también para dimensionar las instalaciones de tratamiento y medir el rendimiento de algunos de estos procesos. Regularmente se utiliza la DBO₅ como indicativo de la biodegradabilidad del agua residual y la relación DBO₅/DQO como una estimación del porcentaje de biodegradabilidad de la materia orgánica del agua residual. En este análisis también se realizan como los periodos del DQO, los análisis de DQO y DBO₅ se realizan en un laboratorio de aguas residuales.

➔ **Medición del pH**

Es una medida de acidez o alcalinidad de las sustancias, el pH varía de cero a catorce, una sustancia es ácida cuando su pH es menor de 7, es básica cuando es mayor de 7 y neutra cuando su valor es 7. Como ejemplo de mezclas de sustancias ácidas

tenemos el vinagre, las gaseosas, las aguas de las mieles del café, el ácido de batería, etc. Y de sustancias básicas la lechada de cal, hidróxido de sodio, alumín, leche de magnesia, etc.

El reactor debe trabajar con un pH alrededor de 7.00, (entre 6.8 y 7.4) por lo tanto cuando se observe que se está alejando de este rango es necesario de tomar algunas precauciones, se deben tomar algunas de las medidas especificadas y si el problema sigue es mejor de llamar a un experto en digestores.

▪ ***Métodos para la medición del pH***

- Por medio de un papel cinta que tiene una escala de colores para poder determinar el pH de la sustancia por comparación con la escala de colores que trae cada caja de la cinta.
- Utilizando un aparato que mide el pH del agua por medio de un electrodo de vidrio, en base de fenómenos electroquímicos, este aparato se conoce como pH-metro. En la actualidad existen pH-metro de bolsillos y son mucho más precisos y prácticos que el papel pH.

Para el control del pH del reactor es necesario contar con un pH-metro, pues este proporciona la exactitud requerida. El procedimiento para determinar el pH de una muestra es el siguiente:

1. Primero se debe calibrar (ajustar) el pH-metro con soluciones que tienen un pH conocido. La forma de calibración del pH-metro depende de su tipo y se encuentra establecida en el manual de operación del aparato.
2. Una vez calibrado, se toma la muestra de la solución a medir en un vaso de boca ancha, luego se introduce el electrodo del pH-metro en la solución y se espera que la pantalla del equipo se estabilice y se anota el número que marca la pantalla. (véase figura 1)

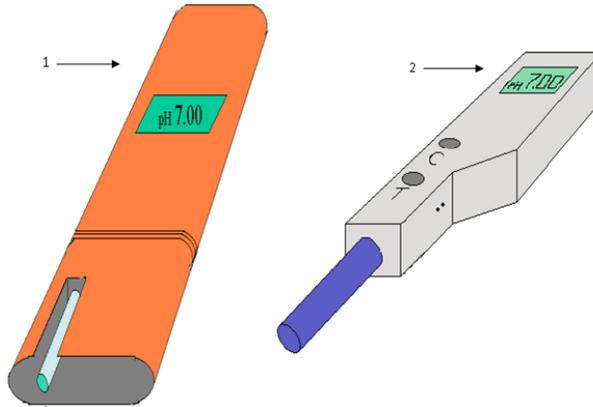


Figura 1: Esquema de diferentes pH-metros, (1) pH-metro de bolsillo, (2) pH-metro portátil.

▪ **Determinación del factor de alcalinidad**

El proceso anaeróbico da lugar a la formación de ácidos conocidos como ácidos grasos volátiles, (AGV), los cuales pueden afectar el rendimiento del reactor cuando se producen en grandes cantidades. Para el control de estos ácidos, se realiza la determinación del factor de alcalinidad, la cual puede hacerse fácilmente agregando ácido clorhídrico a la muestra, hasta un pH de 4.3.

En la práctica se ha determinado que valores por encima de 0.35 indican que el reactor presenta peligro de acidificación, por lo que se debe trabajar de forma tal que este valor esté comprendido entre 0.20 - 0.35.

- **Materiales para el factor de alcalinidad**

Para realizar este análisis se necesitan algunos materiales que son propios de un laboratorio, tales como: (véase figura 2)

- 1 Mariposa
- 1 Beaker de 300 mL
- 1 pH-metro
- 1 Probeta de 100 mL
- 1 Bureta de 50 mL
- 1 Soporte universal
- Acido clorhídrico ≈ 0.24 N (diluir 20 mL de ácido clorhídrico concentrado con 980 mL de agua destilada)

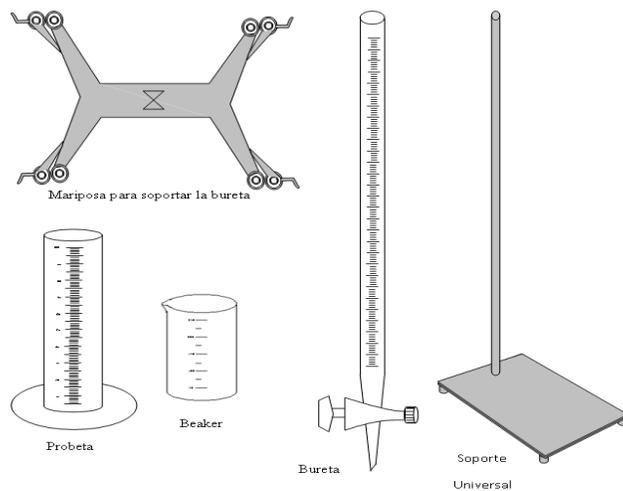


Figura 2: Esquema de diferentes instrumentos para la determinación del factor de alcalinidad.

Procedimiento:

1. Llenar la bureta de 50 mL con ácido clorhídrico 0.25 N.
2. En un beaker de 300 mL se añaden 100 mL del efluente del digestor.
3. Introducir el electrodo del pH-metro dentro del beaker que contiene la muestra, de forma que siempre esté en contacto con la muestra.
4. Empezar a agregar poco a poco el ácido clorhídrico que está en la bureta. Cuando se empieza a añadir el ácido es necesario mover suavemente el beaker de forma circular y se notará en la pantalla del pH-metro que el pH disminuye, por lo tanto hay que observar el momento en que el pH-metro marca el valor de 5.75; en ese momento se anota la cantidad de ácido que se ha agregado al beaker y se continúa añadiendo ácido hasta que el pH-metro marca el valor de 4.3.

- **Calculo del factor de alcalinidad**

$$\text{Factor de alcalinidad} = \frac{(b - a)}{b}$$

a: Volumen de ácido consumido a pH = 5.75

b: Volumen de ácido consumido a pH = 4.30

▪ **Flujo de alimentación al reactor**

La medición del flujo de alimentación se realiza en la pila de hidrólisis. Para determinar el caudal del afluente del digestor se mide la diferencia de altura del agua dentro de la pila de hidrólisis durante el periodo de alimentación, luego ese valor lo multiplicamos por el valor del área de la pila de hidrólisis. Otra forma de determinar la cantidad alimentada es teniendo un monitoreo constante en la colocación de una posición determinada la manecilla de la válvula de globo (cerrando o abriendo) que alimenta el sistema.

Con estos datos se puede sacar un promedio de cómo trabaja la bomba en determinada posición de la manecilla, esto se realiza midiendo el tiempo desde una altura inicial hasta una altura final y con la diferencia de altura del agua que se obtiene, estos se multiplican con el área de pila de hidrólisis, encontrándose el flujo alimentado al digestor.

E.1.5.- Determinación de la calidad del biogás

El biogás de buena calidad debe tener un contenido de metano mayor de 60%, ya que es el que le da el valor calorífico al biogás, por lo tanto es necesario determinar la calidad del mismo.

▪ **Materiales para el análisis de la calidad del biogás**

Para realizar este análisis se necesitan los materiales siguientes:

- Bolsas para toma de muestras de biogás
- Jeringas de 50 cc.
- Agujas de 0.8 x 120 mm
- Soporte universal
- Porta bureta
- Pera
- Bureta con escala invertida de 50 ml.
- Solución de hidróxido de sodio al 30%.
- Beaker de 400 ml. (véase figura 3)

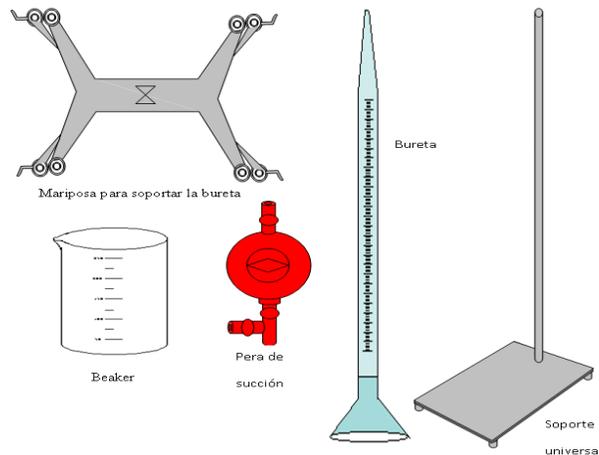


Figura 3: Esquema de diferentes instrumentos para la determinación del % de metano.

Procedimiento:

1. La toma de muestra de biogás se realiza utilizando una bolsa diseñada para toma de muestras de gases.
2. Se coloca la bureta en el soporte sujetada con el porta bureta, con la pera en el extremo superior, mientras que el extremo inferior se sumerge en una solución de NaOH al 30% contenida en un beaker de 400 ml.
3. Se llena la bureta con solución de NaOH hasta la marca inicial utilizando la pera.

4. Se extraen de la bolsa 50 ml de biogás con una jeringa y se inyectan lentamente en la bureta de 50 ml que contiene hidróxido de sodio. La aguja utilizada para inyectar el biogás en la bureta debe ser doblada convenientemente para posibilitar su introducción en la misma a través de la solución contenida en el beaker.

5. Al pasar el biogás por la solución de NaOH, el dióxido de carbono es absorbido mientras que el metano desplaza a la solución contenida dentro de la bureta. El volumen desplazado se lee en la bureta y representa el contenido de metano en la muestra.

El cálculo para el porcentaje de metano en la muestra de biogás se calcula de la siguiente manera:

$$\% \text{ metano} = \left(\frac{\text{Volumen desplazado por el metano}}{\text{Volumen inicial del hidróxido}} \right) * 100$$

A continuación se presenta la siguiente tabla donde aparecen los rangos recomendados en el proceso de eliminación de la contaminación en forma anaerobia.

Tabla: Rango de parámetros permisible

Parámetro	Valor que indica estabilidad	Valor que indica inestabilidad
pH de salida	6.8 – 7.4	> 7.6 - < 6.8
Factor de alcalinidad	0.20 – 0.35	> 0.35
% de metano	> 60	< 55

E.1.6.- Medición de caudal del sistema

La medición de caudales debe realizarse tanto para el caudal afluente como para el efluente.

▪ ***Determinación del caudal afluente al sistema***

El caudal afluente puede determinarse utilizando una regla graduada para medir la altura del agua dentro del canal (tirante); el tirante debe medirse en el centro del canal de entrada, exactamente en el punto medio entre la rejilla y la caja de desvío, porque en este lugar no se forman turbulencias que puedan afectar las mediciones. Posteriormente, se calcula el caudal por medio de la ecuación de Manning.

▪ ***Determinación del caudal efluente del sistema***

El caudal del efluente puede medirse por el método de aforo en la manguera flexible ubicada dentro de la caja de recolección, utilizando un recipiente calibrado y un cronómetro.

Procedimiento

1. Se utiliza una probeta graduada para determinar el volumen exacto del recipiente utilizado.
2. Se coloca el recipiente de forma tal que permita su introducción fácil y rápida al flujo que se desea medir.
3. Con el cronómetro en la mano, se introduce el recipiente de manera que todo el flujo a medir sea recolectado dentro del mismo, poniendo en marcha el cronómetro al momento de introducir el flujo al recipiente.
4. Se deja llenar el recipiente hasta la totalidad de su volumen, deteniendo el cronómetro cuando el agua comienza a rebosar.

5. Dividiendo el volumen del recipiente calibrado entre el tiempo de llenado, se obtienen el caudal actual de aguas residuales tratadas que salen del sistema.
6. Se repite este procedimiento al menos tres veces por cada medición reportada, para obtener un valor representativo y confiable.

E.1.7- Normas de seguridad en la planta de biogás

Debido a las características de los elementos de la planta de tratamiento es necesario tomar algunas medidas de seguridad, para evitar accidentes.

1. La planta de tratamiento es preferible que esté completamente cercada, para evitar que entren niños, personas no autorizadas ó animales, ya que pueden caer dentro de la pila de hidrólisis o de la pila de efluente.
2. El biogás es combustible, por lo tanto es estrictamente prohibido encender fuego o fumar dentro de la planta de tratamiento.
3. Si existe una fuga de biogás no se debe tratar de encontrarla con fuego, sino con agua jabonosa, en el lugar donde se encuentra la fuga al echar agua jabonosa se formará una burbuja de jabón.
4. Es necesario mantener limpia de malezas la planta de tratamiento.
5. En el área de la planta de tratamiento nunca se debe echar ningún tipo de herbicida, fungicida, bactericida, cloro o desinfectante; ya que estos inhiben a las bacterias.

E.1.8- Actividades rutinarias de operación y mantenimiento del sistema de tratamiento

ACTIVIDADES	MATERIALES NECESARIOS	FRECUENCIA	DISPOSICION FINAL DE LOS RESIDUOS
<p>Canal de entrada</p> <p>Limpiar la rejilla y platina perforada.</p>	Rastrillo, pala y carretilla	Diario o cuando se note obstrucción de la rejilla.	Pila de secado de lodos (Material orgánico).
<p>Limpiar los sólidos acumulados en el fondo del canal.</p>	Pala y carretilla.	Dos veces al día.	Basurero municipal (Material inorgánico).
<p>Desarenador</p> <p>Limpieza</p>	Pala y carretilla.	2 veces por semana.	Pila de secado de lodos.
<p>Remoción de la nata.</p>	Pala y carretilla	Una vez o dos veces por semana.	
<p>Pila de hidrólisis</p> <p>Eliminar la nata flotante acumulada.</p>	Pazcón y carretilla.	Diario, si se nota una capa de nata.	Pila de secado de lodos.

ACTIVIDADES	MATERIALES NECESARIOS	FRECUENCIA	DISPOSICION FINAL DE LOS RESIDUOS
<p>Pila de hidrólisis</p> <p>Extraer los lodos del fondo de la pila.</p> <p>Funcionamiento y el mantenimiento de la bomba.</p>	<p>Bomba de Semisólidos</p> <p>Según manual de la bomba.</p>	<p>Cada mes.</p> <p>Según el Manual de la bomba</p>	<p>Pila de secado de lodos.</p>
<p>Criba hidrostática</p> <p>Retirar material sólido retenido.</p> <p>Limpia la malla metálica.</p>	<p>Recipiente al pie de la criba.</p> <p>Cepillo, manguera, agua y detergente.</p>	<p>Diario, las veces que sea necesario.</p> <p>Una vez al día.</p>	<p>Pila de secado de lodos.</p>
<p>Reactor anaeróbico</p> <p>Chequear la presión en el domo metálico.</p> <p>Revisar domo metálico.</p>	<p>Manómetro instalado.</p>	<p>Diario.</p> <p>Diario.</p>	

ACTIVIDADES	MATERIALES NECESARIOS	FRECUENCIA	DISPOSICION FINAL DE LOS RESIDUOS
<p>Pintar el domo metálico.</p> <p>Drenar las trampas de agua de la tubería de biogás.</p> <p>Limpiar los canales de entrada y salida al digestor.</p> <p>Controlar el nivel del agua dentro del sello de agua.</p> <p>Chequear el nivel de lodos de la primera</p>	<p>Pintura anticorrosiva, brocha, lija, equipo para ventilación</p> <p>Válvula instalada.</p> <p>Pala y carretilla, agua</p> <p>Tubos para ajustar al nivel deseado</p> <p>Válvulas de toma de muestras, recipiente</p> <p>Bomba de semisólidos con manguera, tubos de retrolavado</p>	<p>Cada año (mínimo).</p> <p>Cada 15 días.</p> <p>Diario.</p> <p>Una vez al mes.</p> <p>Una vez al año o cuando se note un nivel alto de lodo en la primera celda.</p>	<p>Pila de secados de lodos</p>

ACTIVIDADES	MATERIALES NECESARIOS	FRECUENCIA	DISPOSICION FINAL DE LOS RESIDUOS
<p>Filtro Descendente</p> <p>Realizar retrolavado.</p> <p>Control del espejo de agua, por debajo del lecho filtrante</p> <p>En caso de flujo superficial de AR en la entrada al filtro, se recomienda remover el primer metro del material del lecho filtrante (después del material grueso) en todo el ancho de cada unidad del filtro, y sustituir con material nuevo de igual característica.</p>	<p>Palas y carretillas.</p> <p>Manguera flexible de la caja de salida.</p>	<p>Cada seis meses.</p> <p>Cada seis meses</p> <p>Anualmente</p>	<p>Depósito de basura.</p>

ACTIVIDADES	MATERIALES NECESARIOS	FRECUENCIA	DISPOSICION FINAL DE LOS RESIDUOS
<p>En caso que se note un flujo superficial de AR en la entrada al Biofiltro, se recomienda remover el primer metro del material del lecho filtrante (después del material grueso) en todo el ancho de cada unidad del Biofiltro, o simplemente cambiar el lecho filtrante en los puntos donde se hagan encharcamientos sustituyéndose con material nuevo de las mismas características.</p> <p>Control del espejo de agua, el cual siempre debe estar por debajo del lecho filtrante.</p>	<p>Palas y carretillas.</p> <p>Manguera flexible de la caja de salida.</p>	<p>Anualmente.</p> <p>Diario</p>	<p>Depósito de basura.</p>

ACTIVIDADES	MATERIALES NECESARIOS	FRECUENCIA	DISPOSICION FINAL DE LOS RESIDUOS
<p>Pila de secado de lodos</p> <p>Sacar el lodo estabilizado de la pila de secado.</p> <p>Mejorar la condición de los lodos, si se generan malos olores.</p>	<p>Pala y carretilla</p> <p>Pala y cal</p>	<p>Cada 4 meses</p> <p>Diario</p>	<p>Incorporarlos al terreno o a la producción de humus.</p>

Para cumplir todas las actividades mencionadas, se necesitarán como mínimo 2 personas que se encarguen de la operación y el mantenimiento del sistema de tratamiento propuesto, para garantizar un buen funcionamiento y vida útil en sus diferentes etapas.

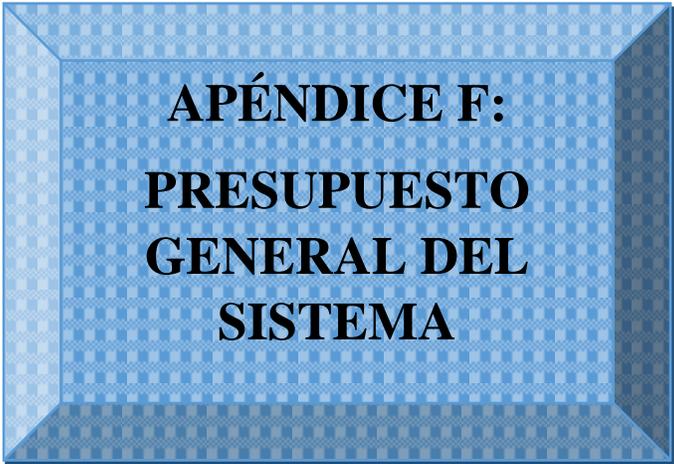
E.1.9- Parámetros a analizar para el control del sistema de tratamiento

PARAMETRO	PUNTO DE MUESTREO	MATERIALES	FRECUENCIA	ADVERTENCIAS
Caudal	Canal de entrada, manguera en la caja de recolección.	Regla graduada, recipiente calibrado y cronómetro.	Diario, cada dos horas.	
pH	Entrada y salida del digestor.	pH-metro, soluciones de calibración.	Diario, dos veces al día, si lo mide un operador encargado del sistema en la empresa; o cada 3 meses si la empresa paga a un laboratorio certificado para garantizar el buen funcionamiento del sistema de tratamiento, este se hará mediante un muestreo compuesto.	Los valores de pH deben estar entre 6.8 y 7.6

PARAMETRO	PUNTO DE MUESTREO	MATERIALES	FRECUENCIA	ADVERTENCIAS
DQO	Entrada y salida del digestor y caja de recolección.	El análisis debe ser realizado en un laboratorio certificado.	En la caja de recolección cada 3 meses, mediante un muestreo compuesto. En el digestor al menos una vez o cada quince días, mediante un muestreo puntual.	Los valores de DQO en el efluente del sistema deben ser menores que los máximos permisibles en el decreto 33-95 de MARENA. En el digestor, la reducción de DQO debe ser mayor que el 55%.
% de metano en el biogás	Válvula para la toma de muestra en la tubería del gas.	Beaker, bureta, pera, porta bureta, soporte, agujas, jeringa, bolsas, NaOH.	Una vez al mes.	El porcentaje de metano debe ser mayor que 55%
Sólidos volátiles	Entrada y salida del digestor.	El análisis debe ser realizado en un laboratorio certificado.	Una vez al mes, mediante un muestreo puntual.	
Factor de alcalinidad	Salida del digestor.	Probeta, bureta, soporte, porta bureta, beaker, pH-metro, HCl.	Dos veces por semana.	Los valores obtenidos deben estar entre 0.2 y 0.4

PARAMETRO	PUNTO DE MUESTREO	MATERIALES	FRECUENCIA	ADVERTENCIAS
SST, SS, DBO, grasas y aceites	Canal de entrada y caja de recolección.	Los análisis deben ser realizados en un laboratorio certificado.	Cada 3 meses, mediante un muestreo compuesto.	Los valores deben ser menores que los establecidos en el Arto. 29 del decreto 33-95 de MARENA

Nota: T: Sólidos suspendidos totales; SS: Sólidos sedimentables; DBO: Demanda bioquímica de oxígeno; DQO: Demanda química de oxígeno.



**APÉNDICE F:
PRESUPUESTO
GENERAL DEL
SISTEMA**

**Presupuesto por etapas del sistema de tratamiento
Sistema de Tratamiento de Aguas Residuales**

Beneficio Húmedo del café: Finca La Esperanza
Dipilto - Nueva Segovia, Nicaragua

F.1.- PRELIMINARES

F.2.- CANAL CON REJILLA Y DESARENADOR

ITEN	DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	C. UNITARIO US \$	C.TOTAL US \$	TOTALES US \$	OBSERVACIONES
I	Preliminares						
1.1	Limpieza inicial	m ²	158	\$ 1.00	\$ 157.87		
1.2	COSTO DE LA ACTIVIDAD					\$ 157.87	

ITEN	DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	C. UNITARIO US \$	C.TOTAL US \$	TOTALES US \$	OBSERVACIONES
II	Canal con rejilla y desarenador						
2.1	Mampostería-piedra cantera	m ²	5.76	\$ 30.00	\$ 172.80		Se incluye mortero (pegamento)
2.2	Concreto de 3000 Psi	m ³	0.50	\$ 110.00	\$ 55.00		
2.3	Hierro corrugado N°3	qq	0.5	\$ 35.00	\$ 17.50		
2.4	Hierro liso N°2	qq	0.4	\$ 30.00	\$ 12.00		
2.5	Alambre de amarre N° 16	lbs	2.5	\$ 1.70	\$ 4.25		
2.6	Repello y fino	m ³	0.25	\$ 26.00	\$ 6.50		
2.7	Formaletas (1" * 12" * 5vrs)	unidad	2	\$ 12.00	\$ 24.00		
2.8	Cuarterón (2" * 2" *5vrs)	unidad	2	\$ 12.00	\$ 24.00		
2.9	Rejilla con platina perforada	unidad	2	\$ 41.00	\$ 82.00		
2.10	Tubo de PVC de 4" SDR 41	tubo	3	\$ 1.50	\$ 4.50		
2.11	Mano de obra				\$ 250.00		
2.12	Costo de la actividad					\$ 652.55	

Presupuesto por etapas del sistema de tratamiento
Sistema de Tratamiento de Aguas Residuales

Beneficio Húmedo del café: Finca La Esperanza
 Dipilto – Nueva Segovia, Nicaragua

F.3.- PILA DE HIDROLISIS

ITEN	DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	C. UNITARIO US \$	C.TOTAL US \$	TOTALES US \$	OBSERVACIONES
III	Pila de Hidrólisis						
3.1	Mampostería-piedra cantera	m ²	33.0	\$ 30.00	\$ 990.00		Se incluye mortero (pegamento)
3.2	Concreto de 3000 Psi	m ³	3.1	\$ 110.00	\$ 341.00		
3.3	Hierro corrugado N°3	qq	2.00	\$ 35.00	\$ 70.00		
3.4	Hierro corrugado N°4	qq	5.00	\$ 43.00	\$ 215.00		
3.5	Alambre de amarre N° 16	lbs	16	\$ 1.70	\$ 27.20		
3.6	Excavación estructural	m ³	21.50	\$ 7.50	\$ 161.25		
3.7	Relleno y Compactación (con Material Selecto)	m ³	4.25	\$ 7.00	\$ 29.75		
3.8	Repello y fino	m ³	0.75	\$ 30.00	\$ 22.50		
3.9	Impermeabilizante	m ²	40.0	\$ 10.00	\$ 400.00		
3.10	Formaletas (1" * 12" * 5vrs)	unidad	6	\$ 12.00	\$ 72.00		
3.11	Cuarterón (2" * 2" *5vrs)	unidad	4	\$ 12.00	\$ 48.00		
3.12	Mano de obra				\$ 550.00		
3.13	Costo de la actividad					\$ 2,926.70	

Presupuesto por etapas del sistema de tratamiento

Sistema de Tratamiento de Aguas Residuales

Beneficio Húmedo del café: Finca La Esperanza
Dipilto - Nueva Segovia, Nicaragua

F.4.- REACTOR ANAEROBICO

ITEN	DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	C. UNITARIO US \$	C.TOTAL US \$	TOTALES US \$	OBSERVACIONES
IV	Reactor Anaeróbico						
4.1	Mampostería de piedra cantera	m ²	81.0	\$ 30.00	\$ 2,430.00		Se incluye mortero (pegamento)
4.2	Concreto de 3000 Psi	m ³	4.5	\$ 110.00	\$ 495.00		
4.3	Hierro Liso N°3	qq	12	\$ 35.00	\$ 420.00		
4.4	Hierro corrugado N°4	qq	9	\$ 43.00	\$ 387.00		
4.5	Hierro corrugado N°5	qq	6	\$ 48.00	\$ 288.00		
4.6	Alambre de amarre N° 16	lbs	65	\$ 1.70	\$ 110.50		
4.7	Lámina de acero de 1/4"	unidad	4	\$ 11.00	\$ 44.00		
4.8	Perno acero de 1/2"	unidad	20	\$ 5.00	\$ 100.00		
4.9	Excavación estructural	m ³	90.72	\$ 7.50	\$ 680.40		
4.10	Relleno y Compactación (con Material Selecto)	m ³	12.96	\$ 7.00	\$ 90.72		
4.11	Repello y fino	m ³	1.0	\$ 30.00	\$ 30.00		
4.12	Impermeabilizante	m ²	107	\$ 10.00	\$ 1,069.20		
4.13	Lecho filtrante de 2"- 4" de piedra bolón	m ³	17.74	\$ 23.00	\$ 408.02		
4.14	Caja de registro	unidad	1	\$ 70.00	\$ 70.00		
4.15	Formaletas (1" * 12" * 5vrs)	unidad	5	\$ 12.00	\$ 60.00		
4.16	Cuarterón (2" * 2" *5vrs)	unidad	3	\$ 12.00	\$ 36.00		
4.17	Tubo de PVC de 4" SDR 41	pieza	10.0	\$ 1.50	\$ 15.00		

Presupuesto por etapas del sistema de tratamiento

Sistema de Tratamiento de Aguas Residuales

Beneficio Húmedo del café: Finca La Esperanza
 Dipilto - Nueva Segovia, Nicaragua
 Continuación:

F.4.- REACTOR ANAEROBICO

ITEN	DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	C. UNITARIO US \$	C.TOTAL US \$	TOTALES US \$	OBSERVACIONES
IV	Reactor Anaeróbico						
4.18	Codo liso de PVC de 4" de 90°SDR 41	tubos	7	\$ 0.50	\$ 3.50		
4.19	Codo liso de PVC de 4" de 45°SDR 41	tubos	7	\$ 0.50	\$ 3.50		
4.20	Domo Metálico de H.N. de 1/8" de espesor, pintado con anticorrosivo y asfalto con platina de refuerzo de tubos de 3"x3/8" de espesor	pieza	1	\$ 4,000.00	\$ 4,000.00		
4.21	Tubo de polietileno de 3/4"Ø	Tubo	8	\$ 10.00	\$ 80.00		
4.22	Tubo de polietileno de 1/2"Ø	Tubo	3	\$ 8.00	\$ 24.00		
4.23	Unión de tubería de 3/4" a 1/2" polietileno	Pieza	1	\$ 8.00	\$ 8.00		
4.24	Pega para tubo de PVC	1/4gls	2	\$ 2.00	\$ 4.00		
4.25	Criba hidrostática	unidad	1	\$ 1,250.00	\$ 1,250.00		
4.26	Mano de obra				\$ 650.00		
4.27	Costo de la actividad					\$ 12,756.84	

Presupuesto por etapas del sistema de tratamiento

Sistema de Tratamiento de Aguas Residuales

Beneficio Húmedo del café: Finca La Esperanza
Dipilto - Nueva Segovia, Nicaragua

F.5.- FILTRO DE FLUJO DESCENDENTE

ITEN	DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	C. UNITARIO US \$	C.TOTAL US \$	TOTALES US \$	OBSERVACIONES
V	Filtro de flujo descendente						
5.1	Mampostería-piedra cantera	m ²	20.8	\$ 30.00	\$ 624.00		Se incluye mortero (pegamento)
5.2	Concreto de 3000 Psi	m ³	3.40	\$ 110.00	\$ 374.00		
5.3	Hierro corrugado N°3	qq	2.5	\$ 35.00	\$ 87.50		
5.4	Hierro liso N°2	qq	1.5	\$ 29.00	\$ 43.50		
5.5	Alambre de amarre N° 16	lbs	14	\$ 1.70	\$ 23.80		
5.6	Excavación estructural	m ²	28.8	\$ 7.50	\$ 216.00		
5.7	Relleno y Compactación (con Material Selecto)	m ³	8	\$ 7.00	\$ 56.00		
5.8	Repello y fino	m ³	0.5	\$ 30.00	\$ 15.00		
5.9	Impermeabilizante	m ²	36.8	\$ 10.00	\$ 368.00		
5.10	Piedra volcánica de 2" - 4" de diámetro	m ³	17.60	\$ 23.00	\$ 404.80		
3.11	Formaletas (1" * 12" * 5vrs)	unidad	3	\$ 12.00	\$ 36.00		
5.12	Cuarterón (2" * 2" *5vrs)	unidad	3	\$ 12.00	\$ 36.00		
5.13	Tubo de PVC de 2" SDR 41	pieza	5	\$ 1.00	\$ 5.00		
5.14	Tubo de PVC de 6" SDR 41	pieza	1	\$ 2.00	\$ 2.00		
5.15	Reductor de 2" a 4"de PVC SDR 41	pieza	2	\$ 2.50	\$ 5.00		
5.16	Tee lisa de PVC de 2" SDR 41	pieza	9	\$ 2.50	\$ 22.50		

Presupuesto por etapas del sistema de tratamiento

Sistema de Tratamiento de Aguas Residuales

Beneficio Húmedo del café: Finca La Esperanza
 Dipilto - Nueva Segovia, Nicaragua
 Continuación:

F.5.- FILTRO DE FLUJO DESCENDENTE

ITEN	DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	C. UNITARIO US \$	C.TOTAL US \$	TOTALES US \$	OBSERVACIONES
V	Filtro de flujo descendente						
5.17	Tapón liso de PVC de 2" SDR 41	pieza	2	\$ 3.30	\$ 6.60		
5.18	Codos de 4" x 90° de PVC SDR 41	pieza	3	\$ 0.50	\$ 1.50		
5.19	Tee lisa de PVC de 4" SDR 41	pieza	3	\$ 3.00	\$ 9.00		
5.20	Tapón liso de PVC de 6 SDR 41	pieza	3	\$ 4.00	\$ 12.00		
5.21	Codos de 2" x 90° de PVC SDR 41	pieza	12	\$ 0.50	\$ 6.00		
5.22	Tapón lizo de 2"	pieza	2	\$ 3.30	\$ 6.60		
5.23	Pega para tubo de PVC	1/4gls	3	\$ 2.00	\$ 6.00		
5.24	Caja de registro	unidad	1	\$ 70.00	\$ 70.00		
5.25	Mano de obra				\$ 400.00		
5.26	Costo de la actividad					\$ 2,836.80	

Presupuesto por etapas del sistema de tratamiento
Sistema de Tratamiento de Aguas Residuales

Beneficio Húmedo del café: Finca La Esperanza
 Dipilto - Nueva Segovia, Nicaragua

F.6.- BIOFILTRO DE FLUJO HORIZONTAL

ITEN	DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	C. UNITARIO US \$	C.TOTAL US \$	TOTALES US \$	OBSERVACIONES
VI	Biofiltro de flujo horizontal						
6.1	Mampostería-piedra cantera	unidad	52.2	\$ 30.00	\$ 1566.00		Se incluye mortero (pegamento)
6.2	Concreto de 3000 Psi	m ³	3.50	\$ 110.00	\$ 385.00		
6.3	Hierro corrugado N°3	qq	5	\$ 35.00	\$ 175.00		
6.4	Hierro liso N°2	qq	3	\$ 29.00	\$ 87.00		
6.5	Alambre de amarre N° 16	Lbs	26	\$ 1.70	\$ 44.20		
6.6	Excavación estructural	m ³	94.5	\$ 7.50	\$ 708.75		
6.7	Relleno y Compactación (con Material Selecto)	m ³	42	\$ 7.00	\$ 294.00		
6.8	Repello y fino	m ³	1	\$ 30.00	\$ 30.00		
6.9	Impermeabilizante	m ²	157.2	\$ 10.00	\$ 1,572.00		
6.10	Lecho filtrante de 2"- 4" de piedra bolón	m ³	84	\$ 31.00	\$ 2,604.00		
6.11	Planta Phragmites australis	m ²	105.00	\$ 9.50	\$ 997.50		
3.12	Formaletas (1" * 12" * 5vrs)	unidad	8	\$ 12.00	\$ 96.00		
5.13	Cuarterón (2" * 2" *5vrs)	unidad	8	\$ 12.00	\$ 96.00		
6.14	Caja de registro	unidad	2	\$ 70.00	\$ 140.00		
6.15	Codos de 90° de PVC de 4" SDR 41	unidad	5	\$ 0.50	\$ 2.50		

Presupuesto por etapas del sistema de tratamiento

Sistema de Tratamiento de Aguas Residuales

Beneficio Húmedo del café: Finca La Esperanza
 Dipilto - Nueva Segovia, Nicaragua
 Continuación:

F.6.- BIOFILTRO DE FLUJO HORIZONTAL

ITEN	DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	C. UNITARIO US \$	C.TOTAL US \$	TOTALES US \$	OBSERVACIONES
VI	Biofiltro de flujo horizontal						
6.16	Tubería de drenaje Ø 4" SDR 41	unidad	5	\$ 1.50	\$ 7.50		
6.17	Mano de obra				\$ 1,000.00		
6.18	Costo de la actividad					\$ 9,805.45	

Presupuesto por etapas del sistema de tratamiento
 Sistema de Tratamiento de Aguas Residuales

Beneficio Húmedo del café: Finca La Esperanza
 Dipilto - Nueva Segovia, Nicaragua

F.7.- PILA DE SECADO DE LODOS

ITEN	DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	C. UNITARIO US \$	C.TOTAL US \$	TOTALES US \$	OBSERVACIONES
VII	Pila de secado de lodos						
7.1	Mampostería-piedra cantera	unidad	4.50	\$ 30.00	\$ 135.00		Se incluye mortero (pegamento)
7.2	Concreto de 3000 Psi	m ³	1	\$ 150.00	\$ 150.00		
7.3	Hierro corrugado N°3	qq	1.2	\$ 3.80	\$ 4.56		
7.4	Hierro liso N°2	qq	0.5	\$ 3.80	\$ 1.90		
7.5	Alambre de amarre N° 16	lbs	6.5	\$ 0.60	\$ 3.90		
7.6	Excavación	m ³	2	\$ 4.00	\$ 8.00		
7.7	Repello y fino	m ³	0.30	\$ 10.15	\$ 3.05		
7.8	Impermeabilizante	m ²	7.5	\$ 10.00	\$ 75.00		
7.9	Formaletas (1" * 12" * 5vrs)	unidad	2	\$ 12.00	\$ 24.00		
7.10	Cuarterón (2" * 2" *5vrs)	unidad	2	\$ 12.00	\$ 24.00		
7.11	Mano de Obra				\$ 170.00		
7.12	Costo de la actividad					\$ 613.39	

**Presupuesto por etapas del sistema de tratamiento
 Sistema de Tratamiento de Aguas Residuales**

Beneficio Húmedo del café: Finca La Esperanza
 Dipilto - Nueva Segovia, Nicaragua

F.8.- PILA DE ALMACENAMIENTO FINAL

ITEN	DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	C. UNITARIO US \$	C.TOTAL US \$	TOTALES US \$	OBSERVACIONES
VIII	Pila de almacenamiento final						
8.1	Mampostería de piedra cantera	m2	50	\$ 30.00	\$ 1,500.00		Se incluye mortero (pegamento)
8.2	Concreto de 3000 Psi	m ³	4.50	\$ 110.00	\$ 495.00		
8.3	Hierro corrugado N°3	qq	3	\$ 3.80	\$ 11.40		
8.4	Hierro liso N°2	qq	1.5	\$ 3.80	\$ 5.70		
8.5	Alambre de amarre N° 16	lbs	16	\$ 0.60	\$ 9.60		
8.6	Excavación	m ³	22.84	\$ 4.00	\$ 91.36		
8.7	Repello y fino	m ³	0.30	\$ 10.15	\$ 3.05		
8.8	Impermeabilizante	m ²	40	\$ 10.00	\$ 400.00		
8.9	Formaletas (1" * 12" * 5vrs)	unidad	2.5	\$ 12.00	\$ 30.00		
8.10	Cuarterón (2" * 2" *5vrs)	unidad	2	\$ 12.00	\$ 24.00		
8.11	Mano de Obra				\$ 650.00		
8.12	Costo de la actividad					\$ 3,220.11	

**Presupuesto por etapas del sistema de tratamiento
 Sistema de Tratamiento de Aguas Residuales**

Beneficio Húmedo del café: Finca La Esperanza
 Dipilto - Nueva Segovia, Nicaragua

F.9.- TUBERIA DE CONEXIÓN EN LA PLANTA

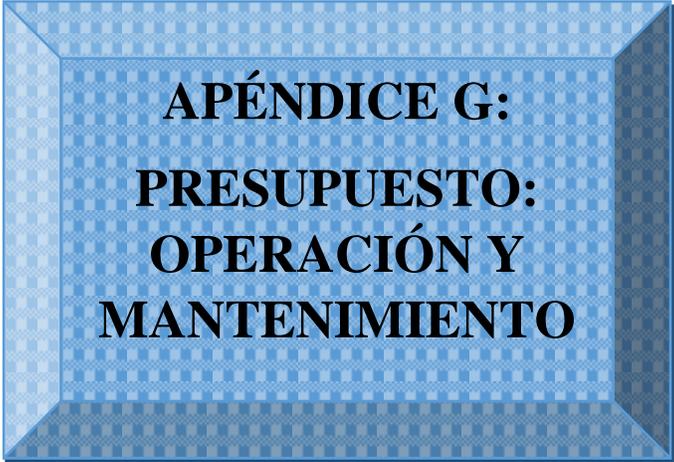
ITEN	DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	C. UNITARIO US \$	C.TOTAL US \$	TOTALES US \$	OBSERVACIONES
IX	Tuberías de conexión para unir c/u de los tratamientos en la planta						
9.1	Suministro e instalación de tubería de Ø 1 1/2" de PVC, (SDR 41). Incluye Accesorios, excavación y desalojo del material producto de la excavación. (Si es necesario).	ml	3	\$ 12.00	\$ 36.00		
9.2	Suministro e instalación de tubería de Ø 2" de PVC, (SDR 41). Incluye Accesorios, excavación y desalojo del material producto de la excavación. (Si es necesario).	ml	6	\$ 12.00	\$ 72.00		
9.3	Suministro e instalación de tubería de Ø 4" de PVC, (SDR 41). Incluye Accesorios, excavación y desalojo del material producto de la excavación. (Si es necesario).	ml	6	\$ 12.00	\$ 216.00		
9.4	Costo de la actividad					\$ 324.00	

Presupuesto Total del Sistema de Tratamiento de Aguas Residuales

Beneficio Húmedo del café: Finca La Esperanza

F.10.- Presupuesto Final del Sistema de Tratamiento de Aguas Residuales

ITEN	DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	C.TOTAL US \$
I	Preliminares	GLOBAL	1	\$ 157.87
II	Canal con rejilla y desarenador	GLOBAL	1	\$ 652.55
III	Pila de hidrólisis	GLOBAL	1	\$ 2,926.70
IV	Digestor anaeróbico	GLOBAL	1	\$ 12,756.84
V	Filtro vertical descendente	GLOBAL	1	\$ 2,836.80
VI	Biofiltro de flujo horizontal	GLOBAL	2	\$ 9,805.45
VII	Pila de secado de lodos	GLOBAL	1	\$ 613.39
VIII	Pila de almacenamiento final	GLOBAL	1	\$ 3220.11
IX	Tuberías de conexión en la Planta	GLOBAL	1	\$ 324.00
COSTO TOTAL	COSTO TOTAL DIRECTO			\$ 33,185.81
	COSTO INDIRECTO, 2%			\$ 663.72
	COSTO (ALMA), 1%			\$ 331.86
	SUB TOTAL			\$ 34,181.38
	COSTO (IVA), 15%			\$ 5,128.21
	COSTO TOTAL EN DÓLARES (US \$)			\$ 39,416.59
	COSTO TOTAL EN CORDOBAS (C\$)	Cambio (US \$)	30.00	C\$ 1,182,497.70



**APÉNDICE G:
PRESUPUESTO:
OPERACIÓN Y
MANTENIMIENTO**

Presupuesto de Operación y Mantenimiento del Sistema de Tratamiento

Beneficio Húmedo del Café: Finca La Esperanza

Dipilto - Nueva Segovia, Nicaragua

G.1.- Presupuesto de herramientas y materiales necesarios para la operación y mantenimiento del sistema de tratamiento

Nº	DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	Nº DE OPERADORES	PERÍODO DE COMPRA	FACTOR ANUAL	C. UNITARIO US \$	C. TOTAL ANUAL US \$	TOTAL US \$	OBSERVACIONES
1	Rastrillo	global	3		Anual	1	\$ 5.00	\$ 15.00		
2	Escoba	global	3		Anual	1	\$ 3.00	\$ 9.00		
3	Carretilla manual	global	2		Anual	1	\$ 25.00	\$ 50.00		
4	Pala	global	3		Anual	1	\$ 10.00	\$ 30.00		
5	Guantes de hule	pares	2	2	Cada cuatro meses	3	\$ 4.00	\$ 24.00		
6	Mascarilla plástica color blanca	global	5	2	Cada tres meses	4	\$ 1.00	\$ 20.00		
7	Machete	global	2		Anual	1	\$ 8.00	\$ 16.00		
8	Botas de hule	pares	2	2	Cada seis meses	2	\$ 8.00	\$ 32.00		
9	Capote	global	2	2	Anual	1	\$ 11.00	\$ 22.00		
10	Pintura anticorrosiva: Domo metálico	cubetas	3		Anual	1	\$ 50.00	\$ 150.00		

Presupuesto de Operación y Mantenimiento del Sistema de Tratamiento

Beneficio Humedo del Café: Finca La Esperanza

Dipilto - Nueva Segovia, Nicaragua

G.1.- Presupuesto de herramientas y materiales necesarios para la operación y mantenimiento del sistema de tratamiento (Continuación)

Nº	DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	Nº DE OPERADORES	PERÍODO DE COMPRA	FACTOR ANUAL	C. UNITARIO US \$	C. TOTAL ANUAL US \$	TOTAL US \$	OBSERVACIONES
11	Cambio de Lecho filtrante (Hormigon Rojo) en todo el ancho de cada unidad del Biofiltro	m ³	10		Anual	1	\$ 17.00	\$ 170.00		Se cambiará el lecho filtrante en los lugares de la pila donde se hagan costras o encharcamientos
COSTO TOTAL DE LA ACTIVIDAD									\$ 538.00	
* Nota: Los precios unitarios ubicados en la tabla ya incluyen I.V.A.										

G.2.- Presupuesto de Mano de Obra para la operación y mantenimiento del sistema de tratamiento

Nº	DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	Nº DE OPERADORES	PERÍODO DE COMPRA	FACTOR ANUAL	C. UNITARIO US \$	C. TOTAL ANUAL US \$	TOTAL US \$	OBSERVACIONES
1	Pago mensual de los operador	global	1	2	pago mensual	13	\$ 110.00	\$ 2,860.00		Se incluye el treceavo mes. Pagado junto con el mes de diciembre
COSTO TOTAL DE LA ACTIVIDAD									\$ 2,860.00	
* Nota: Al trabajador se le asegura alimentación, hospedaje (si es necesario). La finca asume cualquier gasto de hospital por accidente laboral.										

Presupuesto de Operación y mantenimiento del Sistema de Tratamiento

Beneficio Húmedo del Café: Finca La Esperanza
 Dipilto - Nueva Segovia, Nicaragua

G.3.- Presupuesto de Análisis de Caracterización de las aguas en laboratorio Certificado

Se tomó en consideración únicamente los parámetros que regula el MARENA obligatoriamente, mediante el Decreto 33-95 (Arto. 38). La toma de muestras se realizará al final del efluente del STAR y también en control de la eficiencia del reactor, por lo que al realizar los análisis éstos deberán estar por debajo de los límites permisibles establecidos. Para nuestro sistema éstos análisis se realizarán cada 2 meses en el tiempo de 4 meses que trabaja el beneficio húmedo del café, más 2 meses en el efluente final de la producción anual que quede en el biofiltro y producciones menores de los últimos frutos de cosecha, siendo 3 análisis al años se harán en los primeros dos análisis dos muestreo compuesto (reactor y efluente) y una muestra compuesta en el efluente en el último análisis. No se ejecutarán conforme a los períodos que se señalan en el anexo E.1.9 del apéndice E (Parámetro a analizar para el control del sistema de tratamiento), por el tiempo de uso del sistema.

Nº	PARÁMETROS A ANALIZAR EN LABORATORIO CERTIFICADO	PERÍODO DE ANÁLISIS	Nº DE PUNTOS DE MUESTREO	FACTOR ANUAL	C. UNITARIO US \$	C.TOTAL ANUAL US \$	TOTAL US \$	OBSERVACIONES
1	pH	Cada 2 meses	2	2.5	\$ 15.00	\$ 75.00		6 meses laborales
2	DQO	Cada 2 meses	2	2.5	\$ 25.00	\$ 125.00		6 meses laborales
3	DBO ₅	Cada 2 meses	2	2.5	\$ 25.00	\$ 125.00		6 meses laborales
4	Sólidos volátiles (SV)	Cada 2 meses	2	2.5	\$ 15.00	\$ 75.00		6 meses laborales
5	Sólidos suspendidos totales (SST)	Cada 2 meses	2	2.5	\$ 15.00	\$ 75.00		6 meses laborales
6	Sólidos sedimentables (SS)	Cada 2 meses	2	2.5	\$ 15.00	\$ 75.00		6 meses laborales
7	Grasas y aceites	Cada 2 meses	2	2.5	\$ 25.00	\$ 125.00		6 meses laborales
COSTO TOTAL DE LA ACTIVIDAD							\$ 675.00	
**Nota: Los precios unitarios ya incluyen el traslado del laboratorio al beneficio húmedo								

Presupuesto de Operación y mantenimiento del Sistema de Tratamiento

Beneficio Húmedo del Café: Finca La Esperanza

Dipilto - Nueva Segovia, Nicaragua

G.4.- Presupuesto Total para la operación y mantenimiento del Sistema de Tratamiento

Cambio Oficial: 1 Dólar US\$= C\$ 30.00

ITEN	DESCRIPCION	UNIDAD	C.TOTAL ANUAL US \$
G.1.	Presupuesto de herramientas y materiales necesarios para la operación y mantenimiento del sistema de tratamiento	GLOBAL	\$ 538.00
G.2.	Presupuesto de Mano de Obra para la operación y mantenimiento del sistema de tratamiento	GLOBAL	\$ 2,860.00
G.3.	Presupuesto de Análisis de caracterización de las aguas en laboratorio Certificado	GLOBAL	\$ 675.00
COSTO TOTAL DE LAS ACTIVIDADES (US \$)			\$ 4,073.00
COSTO TOTAL DE LAS ACTIVIDADES (C\$)			C\$ 122,190.00



**APÉNDICE H:
FOTOGRAFIAS:
FINCA Y PROCESO
DE BENEFICIADO**



Fotos H.1. Fruto de café cortados para ser procesados en el beneficio húmedo del café.



Fotos H.2. Beneficio húmedo del café.



Fotos H.3. Pulpa del café generado por el despulpador del beneficio húmedo del café.



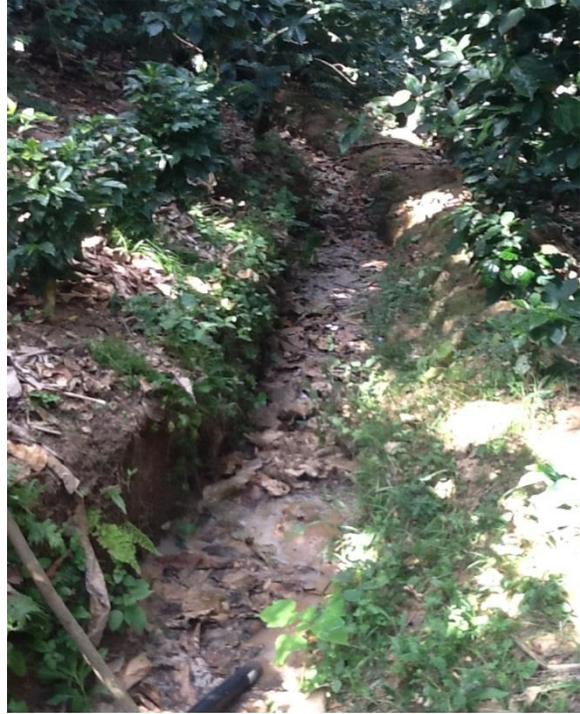
Fotos H.4. Lavado del café (Grano de café con pulpa) en canaletas



Fotos H.5. Pila séptica para almacenamiento de Aguas residuales generadas en el lavado del café.



Fotos H.6. Transporte de pulpa y colocación al sitio de secado.



Fotos H.7. Bomba para transporte de agua residual a zanja natural cuando el tanque séptico rebasa su capacidad.



Fotos H.8. Agua residual de beneficio húmedo del café en zanja natural.



**APÉNDICE I:
TABLAS PARA
DISEÑO DEL STAR**

Tabla I.1.- Valores Típicos de Coeficientes de Rugosidad

Material	Coef. de Manning (n)	Coef. Hazen-Williams (CH)	Coef. Rugosidad Absoluta (mm)
Asbesto cemento	0.011	140	0.0015
Latón	0.011	135	0.0015
Tabique	0.015	100	0.6
Fierro fundido (nuevo)	0.012	130	0.26
Concreto (cimbra metálica)	0.011	140	0.18
Concreto (cimbra madera)	0.015	120	0.6
Concreto simple	0.013	135	0.36
Cobre	0.011	135	0.0015
Acero corrugado	0.022	-	45
Acero galvanizado	0.016	120	0.15
Acero (esmaltado)	0.010	148	0.0048
Acero (nuevo, sin recubrim.)	0.011	145	0.045
Acero (remachado)	0.019	110	0.9
Plomo	0.011	135	0.0015
Plástico (PVC)	0.009	150	0.0015
Madera (duelas)	0.012	120	0.18
Vidrio (laboratorio)	0.011	140	0.0015

Fuente: Computer Applications in Hydraulic Engineering. 5th Edition, Haestad Method

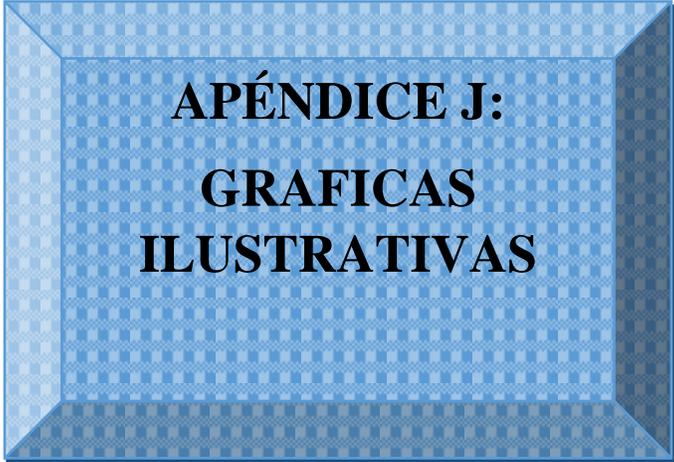
**Tabla I.2. Información para diseño de desarenador de flujo horizontal
(Guía Técnica - INAA)**

Parámetro	Valores	
	Intervalos	Típicos
Tiempo de retención, s	45-90	60
Velocidad horizontal, m/s	0.24-0.40	0.3
Velocidad de sedimentación para la eliminación de:		
Malla 65, m/min ⁽¹⁾	0.95-1.25	1.15
Malla 106, m/min ⁽¹⁾	0.60-0.90	0.75
Relación largo:ancho	2.5:1-5:1	
Relación ancho:profundidad	1:1-5:1	
Cargas superficial, m ³ /m ² .d	700-1600	
Incremento de longitud por turbulencia en la entrada y salida	2. Hm-0.5 L	

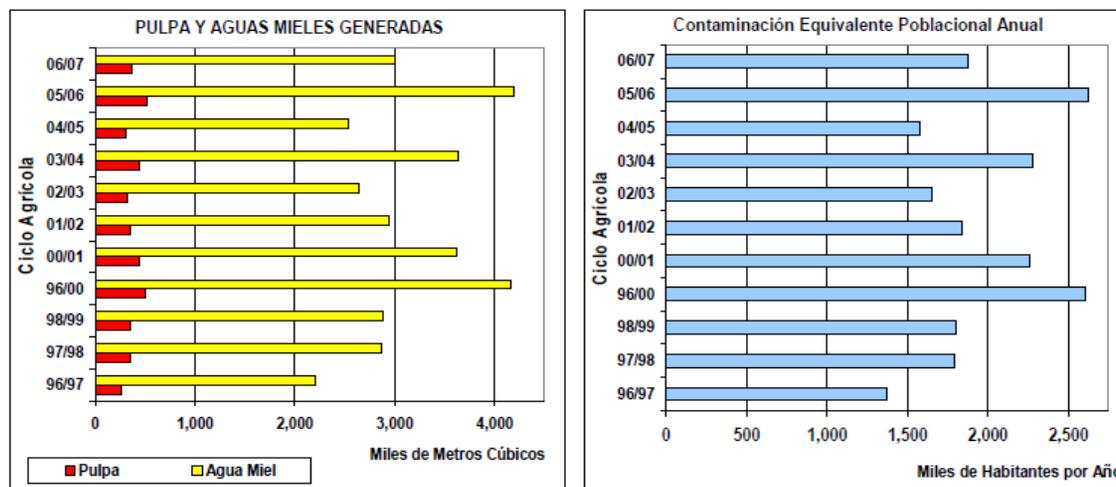
Hm= Profundidad máxima del desarenador

L= Longitud teórica del desarenador

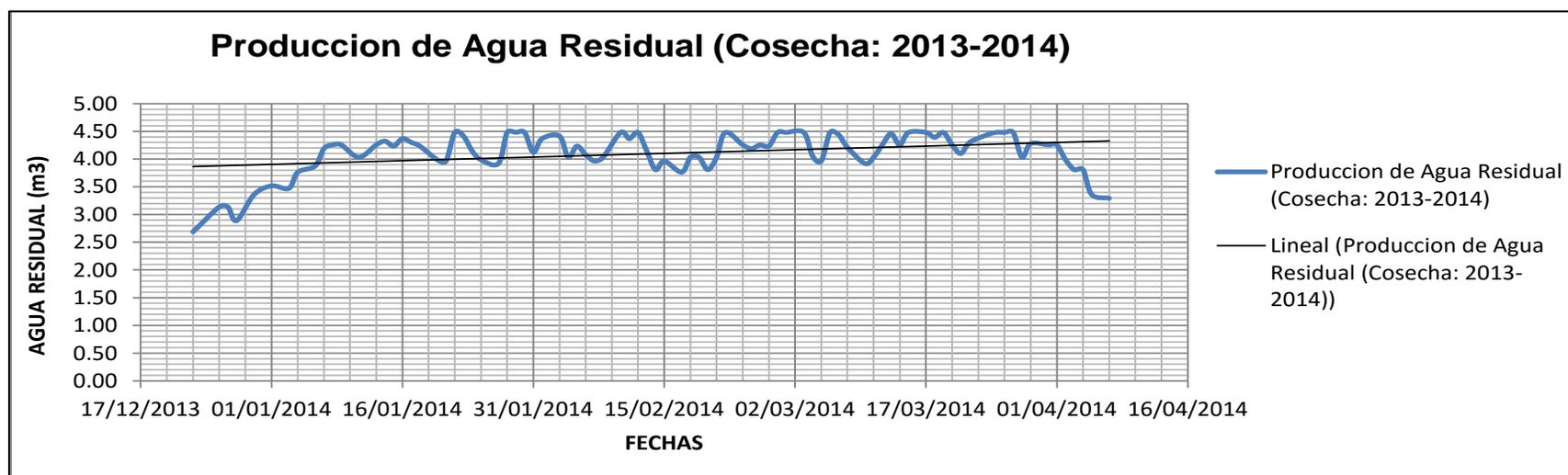
(1) = Si el peso específico de la arena es menor que 2.65, usar velocidades inferiores



APÉNDICE J:
GRAFICAS
ILUSTRATIVAS

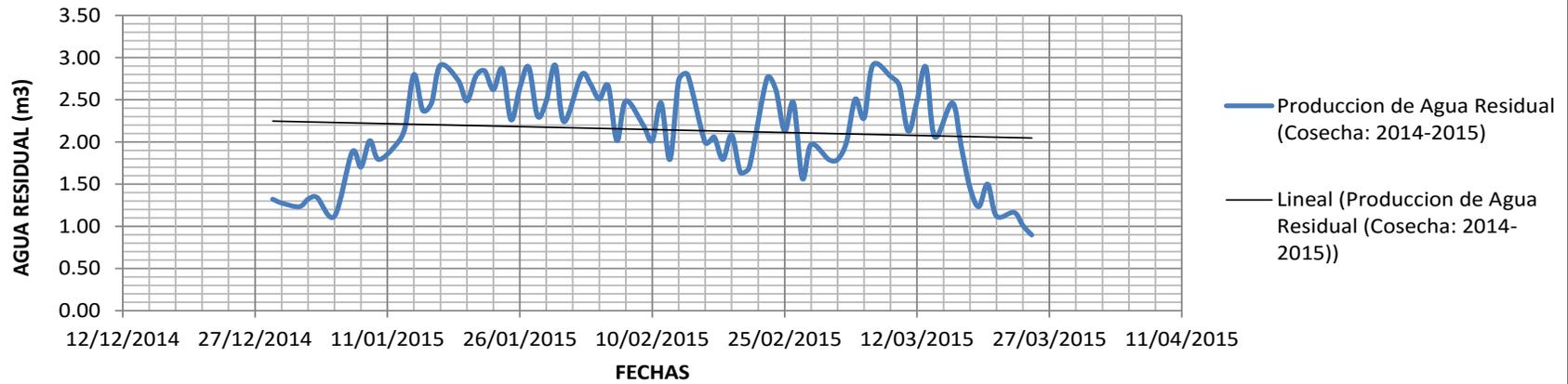


Grafica J.1.- Grafica de aguas mieles y pulpa de café según su ciclo agrícola. Fuente: Estudio de Ramas Industriales: RAMA - CAFÉ / MARENA – FPP



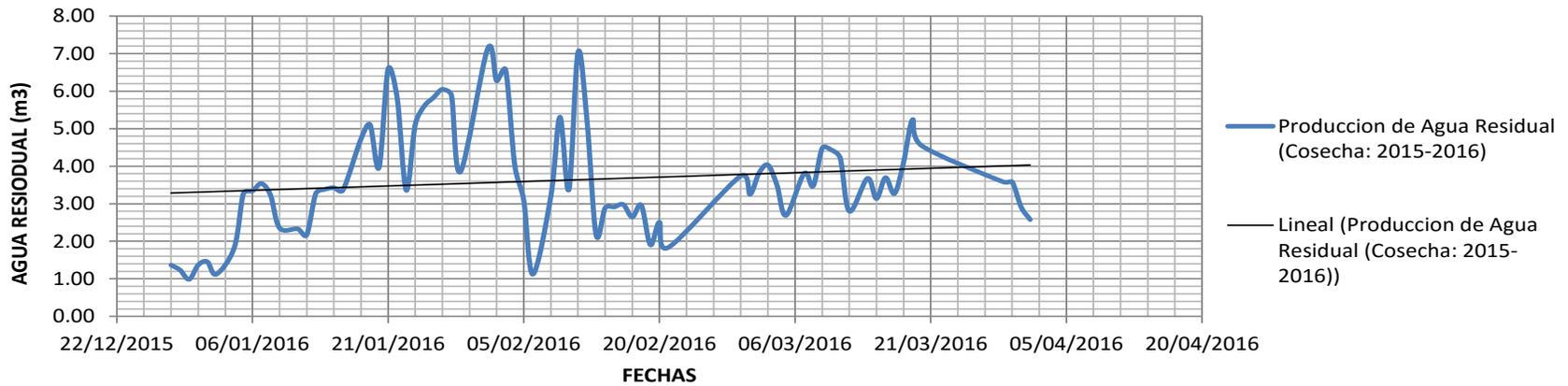
Grafica J.2.- Producción de Agua Residual (Cosecha: 2013-2014)

Produccion de Agua Residual (Cosecha: 2014-2015)



Grafica J.3.- Producción de Agua Residual (Cosecha: 2014-2015)

Produccion de Agua Residual (Cosecha: 2015-2016)



Grafica J.4.- Producción de Agua Residual (Cosecha: 2015-2016)



**APÉNDICE K:
PLANOS DE
DISEÑO DEL
SISTEMA**