

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERIA QUIMICA



**Propuesta de un Sistema de Tratamiento para las
Aguas Residuales provenientes de Lavaderos Públicos
del Municipio de Nejapa.**

PRESENTADO POR:

KARLA LISSETTE CANJURA ASTORGA
ZULEYMA JEANNETTE LEMUS

PARA OPTAR AL TITULO DE:
INGENIERA QUIMICO

CIUDAD UNIVERSITARIA, MAYO DE 2003. -

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR

RECTORA :

Dra. María Isabel Rodríguez

SECRETARIA GENERAL :

Licda. Lidia Margarita Muñoz Vela

FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA

DECANO :

Ing. Alvaro Antonio Aguilar Orantes

SECRETARIO :

Ing. Saúl Alfonso Granados

ESCUELA DE INGENIERIA QUÍMICA

DIRECTORA :

Inga. Eugenia Gamero Rodríguez

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERIA QUIMICA

Trabajo de Graduación previo a la opción al grado de:
INGENIERA QUÍMICO

Título :

**Propuesta de un Sistema de Tratamiento para las
Aguas Residuales Provenientes de Lavaderos
Públicos del Municipio de Nejapa.**

Presentado por :

Karla Lissette Canjura Astorga
Zuleyma Jeannette Lemus

Trabajo de Graduación aprobado por :

Docente director :

Inga. Eugenia Gamero Rodríguez

Docente director :

Ing. Fernando Teodoro Ramírez Zelaya

Docente director :

Ing. Juan Rodolfo Ramírez Guzmán

San Salvador, Mayo de 2003.

Trabajo de Graduación Aprobado por:

Docentes Directores :

Inga. Eugenia Gamero Rodríguez

Ing. Fernando Teodoro Ramírez Zelaya

Ing. Juan Rodolfo Ramírez Guzmán

AGRADECIMIENTOS

Expresamos nuestros sinceros agradecimientos por el apoyo incondicional brindado en el desarrollo del presente trabajo de investigación, por estar junto a nosotras colaborando incansablemente para obtener un óptimo resultado y compartir el triunfo obtenido.

GRACIAS...

Ing. Juan Rodolfo Ramírez Guzmán
Ing. Fernando Teodoro Ramírez Zelaya
Ing. Eugenia Gamero Rodríguez

Asimismo, agradecemos la colaboración espontánea y desinteresada de:

Ing. Rodrigo Alfredo Montes
Ing. Damarí Guadalupe de Montes
Arq. Doris Ivette Fernández
Lic. Rene Canjura
Departamento de Proyectos. Alcaldía de Nejapa

Y a todas aquellas personas que de una u otra forma nos apoyaron.

Karla y Zuleyma

DEDICATORIA

- A DIOS OMNIPOTENTE: Por ser el principio y el fin de mi existencia. Brindarme Protección y fortaleza y acompañarme en todo momento de mi vida.
- A MI PADRE † : Por haber sido mi amoroso y permanente guía. Ser tan Extraordinario y especial y constituir mi mayor apoyo e incentivo a pesar de tu ausencia física. Te Amo Papa. Este triunfo es tuyo.
- A MI MADRE: Por ser mi apoyo permanente a todo nivel y animarme a seguir adelante siempre. Te amo Mama. Gracias por estar conmigo y ser tan especial.
- A MI ESPOSO: Por haberme brindado siempre tu amor y apoyo incondicional. Por tu paciencia en todos estos años y por ser un padre y esposo ejemplar. Te Amo René.
- A MIS HIJOS: Karla Gabriela, Héctor Fernando y Naiara Renée por ser las lucecitas que iluminan mi vida y constituir mi mayor tesoro. Los Amo, Gracias por existir.
- A MIS ABUELOS: Héctor † y Carmen. Por formar parte tan importante de mi vida. Los quiero Mucho. Les dedico este triunfo.
- A MIS HERMANOS: Ana Beatriz y Héctor Aarón, por estar conmigo en todo momento y darme la seguridad de saber que cuento con ustedes incondicionalmente. Los amo mucho.
- A MIS TÍOS Y PRIMOS: Carlos, Alfredo, Amanda, Alma América, Sonia y Norma. Por ser parte importante y fundamental de mi vida y apoyarme siempre.
- A BLANQUI: Gracias por estar conmigo siempre.
- A MI COMPAÑERA: Zuleyma Lemus, por haber estado conmigo y compartido juntas en todo este tiempo.
- A SARA: Por ser una amiga tan extraordinaria y especial y ser apoyo incondicional en momentos difíciles de mi vida.
- A MIS AMIGOS: Por formar parte de mi vida universitaria, que hoy culmina.

Karla Lisette Canjura.

DEDICATORIA

Con gran devoción y Admiración a nuestro señor:

Dios Todo Poderoso

Con mucho cariño a mi madre:

Rosa Angélica Lemus.

A mi querido y fiel esposo:

Tcnel. Carlos Enrique Sasso Landaverry.

A mi amada hija:

Andrea Michelle Sasso Lemus.

A mi abuela:

Angélica Lemus.

A mi hermana:

Angélica Maria Lemus.

A mi tía:

Olga Esperanza Lemus.

A mi compañera:

Karla Lissette Canjura.

Y a todos mis demás familiares y amigos que incondicionalmente me ayudaron.

Zuleyma Jeannette Lemus de Sasso

INDICE

Contenidos	Pagina
Capitulo	
I	1
1.0 Generalidades del Municipio	1
1.1 Aspectos Geopolíticos del Municipio de Nejapa	1
1.2 Dinámica Sociodemográfica del Municipio de Nejapa	7
1.3 Caracterización del Sector Industrial del Municipio	10
2.0 Caracterización de los Recursos Hídricos de Nejapa	12
2.1 Características de las Aguas Superficiales en el Río San Antonio	13
2.2 Características de las aguas Subterráneas	16
2.3 Oferta y Demanda del Recurso Agua en el Municipio de Nejapa	16
2.3.1 Oferta de Recursos Hídricos en Nejapa	16
2.3.2 Demanda de Recursos Hídricos en Nejapa	19
2.4 Problemas de Contaminación en el Río San Antonio	20
3.0 Fundamentos Teóricos	21
3.1 Aspectos Físicoquímicos del Agua Residual	22
3.2 Calidad del Agua	23
3.2.1 Cambios de Calidad por Uso Domestico	24
3.2.2 Cambios de calidad por Uso Agrícola	24
3.2.3 Cambios de Calidad por Uso Industrial	25
4.0 Contaminación del Agua	25
4.1 Algunos tipos Importantes de Contaminación	26
4.1.1 Contaminación por Fosfatos	26
4.1.2 Contaminación de las Aguas por Labores Agrícolas	26
4.1.3 Contaminación Orgánica de las Aguas	26
4.2 Exámenes Físicoquímicos de Aguas Contaminadas	28
4.3 Exámenes Físicoquímicos de Aguas Naturales Tratadas	28

4.4	Análisis Fisicoquímicos	29
4.5	Análisis Bacteriológicos	29
4.5.1	Características Biológicas	29
5.0	Detergentes y Fosfatos	31
5.1	Contaminación por Detergentes y Fosfatos	35
5.2	Principales Problemas provocados por los Fosfatos	36
5.3	Aguas con Detergentes y Algas	37
5.4	Principales Problemas Provocados por los Fosfatos	37
Capítulo II		40
1.0	Trabajo de Campo en el Río San Antonio, Sector Tres Piedras	40
1.1	Muestreo	40
1.2	Aforo del Río San Antonio	46
1.2.1	Técnica de Aforo de una Corriente Natural con Molinete Hidráulico	46
1.2.2	Procedimiento de aforo	46
1.2.3	Resultados	46
1.3	Instrumento de Medición	47
2.0	Tratamiento de Aguas Residuales	51
2.1	Tipos de Tratamiento	52
2.1.1	Operaciones Físicas Unitarias	53
2.1.2	Procesos Químicos Unitarios	53
2.1.3	Procesos Biológicos Unitarios	53
2.2	Aplicación de Métodos de Tratamiento	54
2.2.1	Pretratamiento del Agua Residual	54
2.2.2	Tratamiento Primario	54
2.2.3	Tratamiento Secundario	54
2.2.4	Control y Eliminación de Nutrientes	55
2.2.5	Tratamiento Avanzado / Recuperación del Agua Residual	55
2.3	Tratamiento de Aguas Contaminadas con Detergentes	56
2.3.1	Alternativas de Tratamiento Físico del Agua Residual contaminada por Detergentes	56
		58

2.3.2	Eliminación del Fósforo por Adición Química	63
2.3.4	Eliminación de Fosfatos agregando Polímetros	70
3.0	Proyecto de Tratamiento	72
3.1	Evaluación y Determinación de los Caudales del Proyecto	73
3.2	Evaluación de la Carga Contaminante	78
3.2.1	Cargas Contaminantes	79
3.2.2	Constituyentes Contaminantes	80
3.3	Elección del Proceso de Tratamiento	83
Capítulo III		
Propuesta de Tratamiento para Aguas Grises de los Lavaderos Públicos Ubicados en el Río San Antonio del Municipio de Nejapa, Sector Tres Piedras		
		86
1.0	Antecedentes	86
1.1	Tratamiento de Aguas Grises	87
2.0	Propuestas Técnicas	89
2.1	Propuesta I	89
2.1.1	Observaciones	89
2.2	Propuesta II	90
2.3	Propuesta III	91
3.0	Componentes de los Sistemas de Tratamiento Propuestos	91
3.1	Fosa Séptica	91
3.1.1	Criterios de Diseño	91
3.1.2	Dimensionamiento	93
3.1.3	Diseño Preliminar de la Fosa Séptica	93
3.1.4	Disposición de los Lodos de la Fosa Séptica	95
3.2	Pozos Absorbentes	95
3.2.1	Criterios de Diseño	95
3.2.2	Dimensionamiento	96

3.3 Zanjas de Infiltración	97
3.3.1 Criterios de Diseño	97
3.4 Filtros de Arena	97
3.4.1 Criterios de Diseño	97
3.4.2 Dimensionamiento	98
3.4.3 Labores de Mantenimiento del Filtro	99
3.5 Sistemas Separadores de Aceites y Grasas	100
3.6 Cama de Evapotranspiración / Infiltración	101
3.7 Sistemas de Baja Carga	101
3.7.1 Criterios Técnicos para Sistemas de Baja Carga	101
4.0 Elección de Propuestas	104
5.0 Conclusiones y Recomendaciones	106
6.0 Bibliografía	110
7.0 Anexos	111

CAPITULO I

1.1. GENERALIDADES DEL MUNICIPIO

A continuación se presenta una breve reseña sobre el municipio de Nejapa, lugar en el cual se desarrollara el presente trabajo de investigación. En esta sección se incluyen aspectos importantes del municipio tales como división política, extensión territorial, hidrografía, orografía, tipo y uso del suelo, recursos naturales, sistemas de cultivo, dinámica sociodemográfica y cobertura de servicios tanto a nivel urbano como rural.

1.1.1 ASPECTOS GEOPOLÍTICOS DEL MUNICIPIO DE NEJAPA.

El municipio de Nejapa forma parte del área metropolitana de San Salvador (AMSS), es uno de los tres distritos de planificación del desarrollo físico del AMSS, que integran la zona norte del mismo y es bañado por los ríos San Antonio y el río Acelhuate.

La zona sur del territorio de Nejapa es una franja en la falda del volcán San Salvador, mientras que su zona central y norte, forman parte de las planicies de la cuenca que avanza de San Salvador hacia el encuentro del río Lempa.

La principal riqueza natural del municipio son sus mantos acuíferos, que almacenan el agua que absorben los porosos suelos del volcán. Estos constituyen la principal reserva de agua del área Metropolitana, a la que se abastece mediante 7 plantas de bombeo²⁴ bajo el control y

²⁴ Estrada, P “Disponibilidad de Recursos Hidráulicos: fuentes de Suministro de Agua potable para el AMSS”, 1993.

administración de la Administración Nacional de Acueductos y Alcantarillados (ANDA)

UBICACIÓN

El municipio de Nejapa se encuentra ubicado entre las coordenadas geográficas siguientes 13 °55'09" latitud norte (extremo septentrional), 13 °44'23" latitud norte (extremo meridional); 89 °10'47" Longitud oeste (extremo oriental) y 80 °16'50" longitud oeste (extremo occidental).

Geográficamente se extiende desde el límite del Boquerón, en el volcán de San Salvador, hasta los periplanos que caracterizan la parte media de la sub-cuenca del río Acelhuate.

EXTENSIÓN TERRITORIAL

Su extensión superficial es de 83.36 km². El área rural esta constituida por 83.06 km², incluyendo cantones y caseríos y el área urbana está conformada por 0.3 km².

LIMITES

Los limites administrativos del municipio²⁵ se definen de la manera siguiente:

1. Hacia el norte, con los municipios de Aguilares y Guazapa;
2. al oriente, con los municipios de Apopa, Mejicanos y San Salvador;
3. al sur con Nueva San Salvador,

²⁵ Compendio de Estudios "Ordenamiento Territorial en Nejapa", 2000

4. y al poniente con el municipio de Quezaltepeque. (Ver mapa de ubicación en **Anexo 1.1**)

DIVISIÓN POLÍTICA

Para su administración, el municipio se divide en 8 cantones y 43 caseríos. La ciudad de Nejapa se comunica por carretera pavimentada con las ciudades de Apopa (San Salvador) y Quezaltepeque (La Libertad). Cantones y caseríos se enlazan por caminos vecinales a la cabecera municipal.

El territorio de Nejapa puede dividirse en 4 grandes zonas:

- 1) Zona Norte, conformada por los cantones de Tutultepeque y el Bonete.
- 2) Zona Intermedia, constituida por los cantones Galera Quemada y Camotepeque.
- 3) Zona Casco Urbano, representada por Nejapa y Aldea Mercedes
- 4) Zona Sur: conformada por El Conacaste, El Salitre y San Jerónimo los Planes.

GEOLOGÍA DEL TERRENO

OROGRAFÍA²⁶

La orografía del municipio presenta como rasgos más notables los cerros Redondo o Tutultepeque, Ojo de Agua, la Tabla, Nejapa, El

²⁶ Dirección de Publicaciones “Geografía de El Salvador”, Ministerio de Cultura y Comunicaciones, 1996.

Jute, Picudo y la Loma el Cerrito. Pertenece al municipio una franja del

costado Noreste del volcán de San Salvador o Quezaltepeque.

Cerro de Nejapa

Esta situado a 2.1 km al este de la ciudad de Nejapa. Tiene una elevación de 918.78 msnm. Esta formado predominantemente por lavas basálticas y extrusivas.

Volcán de San Salvador

También es llamado Quezaltepeque, forma parte de la cadena volcánica meridional que son volcanes jóvenes bien desarrollados. El volcán posee dos cimas importantes, una es el Boquerón con una elevación de 1893.39 msnm y el picacho con 1959.97 msnm. Su estratigrafía es de lavas efusivas basálticas, piro-clásticos ácidos, así como andesitas y basaltos de la Formación San Salvador.

ROCAS

Esencialmente, los tipos de roca existentes en la zona son resultado de corrientes de

lava basáltica, andesitas y basálticas, lavas dacíticas y andesitas y materiales piro clásticos.

SUELOS

Según la cartografía de las clases de suelo en relación con su capacidad de uso, puede decirse que en el Municipio de Nejapa predominan los suelos de las clases II, III, IV, VI, VII y VIII.

En la Tabla 1.1 se muestra el área que ocupa cada clase de suelo existente en el Municipio de Nejapa y el porcentaje correspondiente.

CLIMA

El municipio de Nejapa se encuentra aproximadamente a 450 msnm. El clima de esta zona se clasifica como Sabana Tropical Caliente, con una temperatura promedio de 23.5 C y con vientos predominantes de norte a sur que son mas frecuentes en la parte norte del municipio. La precipitación anual promedio es de 1600 a 1800 cc, excepto en la parte norte del municipio, en el cantón de Tutultepeque, en donde es de 1800 a 2000 cc.

Tabla 1.1 Clases de Suelo y área de Ocupación en el Municipio de Nejapa

Clase de Suelo	Área (km ²)	Porcentaje (%)
II	12.77	15.42
III	12.30	14.85
IV	19.52	23.57
V	15.75	19.02
VI	22.47	27.13
VII	0.01	0.01

Fuente: Dirección de Publicaciones “Geografía de El Salvador”, Ministerio de Cultura y Comunicaciones, 1996.

RESERVAS NATURALES Y SISTEMAS DE CULTIVOS.²⁷

El principal uso de la tierra en el municipio de Nejapa corresponde a los cultivos de pastos (principalmente caña de azúcar) y granos básicos (68.4%) (Ver Tabla 1.2). Estas actividades se desarrollan al norte del casco urbano El resto de los cantones al sur del municipio, corresponden a tierras cultivadas con café.

²⁷ Carrillo, S “Estudio de manejo de los recursos naturales en el municipio de Nejapa”, 2001.

Solamente el 2.37% del área de la región de estudio se encuentra ocupada por bosques naturales (Tabla 1.2), los cuales se encuentran en pequeños parches del paisaje, al norte de Tutultepeque y entre los cerros Redondo, Chirrional y Picudo. El resto de la región constituye un área deforestada. Esta área es actualmente utilizada por diversos sistemas de cultivo, zonas urbanas y otras (lava, relleno sanitario, etc.).

Un área de menor tamaño a la ocupada por bosques naturales, entre los cantones de Tutultepeque y Bonete, es la única zona protegida, y otra aun menor, al este del cantón San Jerónimo los Planes, son áreas protegidas.

La mayor parte del cantón San Jerónimo los Planes corresponde al corredor biológico mesoamericano. Esta región es actualmente ocupada por tierras cultivadas con café.

CULTIVOS AGRÍCOLAS

La caña de azúcar es cultivada básicamente en Galera Quemada y Hacienda Mapilapa. Los pastos y los granos básicos son cultivados en la zona de Camotepeque, El Naranjo y La Lagartera. El cultivo del café comprende principalmente el área entre el Picacho-El Boquerón y Galera Quemada, incluyendo El Salitre, San Francisco, San Jerónimo Los Planes, San Juan Los Planes y Conacaste.

En la zona se cultivan las siguientes especies:

Maíz, Maicillo, Arroz, Caña de Azúcar, Café, Pepino, Ayote, Pipián, Frijol, Huerta.

Y especies arbóreas tales como:

Limón, Naranja, Aguacate, Mango, Marañón, Mamón Chaquiro, Eucalipto, Cedro, Madre cacao, etc.

HIDROGRAFIA

Los recursos hídricos superficiales de la zona están constituidos por la formación de la sub-cuenca del río San Antonio, con aproximadamente 45 km² de área de drenaje.

El río corre con rumbo noroeste hasta su desembocadura en el río Acelhuate, teniendo una longitud aproximada de 13.5 km También riegan el municipio los ríos Acelhuate, Tres Piedras y las quebradas Honda, los Amates, El Puerto, las Garzas y el Rosario.

Tabla 1.2 Áreas de Ocupación de los diferentes usos actuales de la tierra en el Municipio de Nejapa.

Uso de la tierra	Área (km ²)	Porcentaje
Áreas Urbanas	0.35	0.4 %
Bosques Naturales	2.37	2.7%
Lava	0.08	0.1%
Cultivos Agrícolas:	80.02	96.5%
Café	23.32	28.1%
Caña de Azúcar	17.50	21.1%
Pastos y granos básicos	39.20	47.3%

Fuente: Carrillo, Saúl "Estudio de Manejo de los Recursos Naturales del Municipio de Nejapa", Octubre de 2001.

1.1.2 DINÁMICA SOCIODEMOGRÁFICA DEL MUNICIPIO.

El municipio de Nejapa tiene una tasa de crecimiento demográfico estimada de 2.42%, presentándose como una de las mas altas del área Metropolitana de San Salvador (AMSS). Nejapa en 1999, contaba con un total de 20,791 habitantes. A 1996, el 49.1% de la población era menor de 18 años y el 45.11 % de la población

total se clasificaba dentro del rango de población económicamente activa²⁸. Para 1996, la tercera parte de la población del municipio declaró que había nacido fuera del municipio, lo que muestra los elevados índices de migración que existen hacia el municipio. La dinámica demográfica del municipio de Nejapa es bastante regular en lo que a su distribución territorial se refiere, presentando características propias de incremento en los niveles poblacionales en las cercanías del casco urbano.

El municipio de Nejapa, ha experimentado en las últimas décadas, un acelerado incremento poblacional, que conlleva problemas en los asentamientos urbanos ya que la mayoría de las viviendas no poseen servicios básicos de saneamiento ambiental y abastecimiento domiciliario de agua. Esto ha acelerado, aumentado y complicado los procesos de degradación del agua, aire y suelo.

COBERTURA DE SERVICIOS

En general, la zona del casco urbano tiene una cobertura casi total de servicios básicos; sin embargo, las zonas intermedia, norte y sur presentaban serias deficiencias de los mismos²⁹. En la actualidad la situación ha mejorado considerablemente y se estima que la cobertura de servicios de electrificación y agua potable a nivel suburbano y rural alcanzan porcentajes alrededor del 95%. Según fuentes municipales, se pretende completar la cobertura de servicios básicos requeridos por la población en el periodo 2003-2006.

Abastecimiento de Agua

De acuerdo a la Fundación Nacional para el Desarrollo (FUNDE)³⁰ “La cobertura de agua domiciliar en el municipio solo alcanza el 25.4 % de la población, mientras un 31.6% se abastece de chorros públicos y el 43% restante lo hace de pozos, ríos, tanques de captación privados e inclusive la compra”. En este último

²⁸ Plan Maestro de desarrollo Urbano del Área Metropolitana de San Salvador PLAMADUR-AMSSA, 1995.

²⁹ FUNDE. Boletín Informativo, 1996.

³⁰ Boletín de Prensa, FUNDE, 1996.

porcentaje se ubica el sector rural. Para 1999, la situación había mejorado, como se refleja en la Tabla 1.3. La red de agua potable en el radio urbano tiene su fuente primaria en dos tanques de captación de agua instalados por ANDA, situados en el río Tres Piedras y Aldea las Mercedes. Dicha red abastece únicamente al casco urbano y se vuelve insuficiente para abastecer a las zonas calificadas como suburbanas.

En la actualidad, en el área suburbana y rural existe una cobertura del 95% de dichas áreas³¹; sin embargo, en algunas zonas no se cuenta con tuberías que permitan llevar el agua hasta cada vivienda, sino que se cuenta con cantareras colectivas.

Las aguas negras municipales eran descargadas anteriormente en forma directa en el río San Antonio sin ningún tratamiento previo; sin embargo, la municipalidad ha construido recientemente una planta de tratamiento para las aguas negras, la cual inició su funcionamiento en el mes de Marzo de 2002, que dará abasto a cerca de 6,000 viviendas.

La red de alcantarillado para el drenaje de aguas lluvias se encuentra instalado en un 90% en el casco urbano, en el porcentaje restante de las vías, éstas corren a lo largo de las alcantarillas de aguas lluvias.

Tabla 1.3 Abastecimiento de agua (%) Según distribución geográfica poblacional. Municipio de Nejapa

Sistema / sector	URBANO (%)	SUBURBANO (%)	RURAL (%)
Cañería domiciliar	89.4	36.2	4.0
Cantarera	7.9	49.6	-
Manantial, Pozo Artesanal	1.6	7.9	84.6

³¹ Informe Ejecutivo, Departamento de Proyectos, Alcaldía Municipal de Nejapa, 2000-2001

Río San Antonio	-	0.8	3.2
Compra	1.1	3.9	4.8

Fuente: Estudio base sobre el manejo de la cuenca hidrográfica del Río San Antonio. FUNDE, Junio 1999.

1.1.3 CARACTERIZACIÓN DEL SECTOR INDUSTRIAL EN EL MUNICIPIO DE NEJAPA

El sector industrial en el municipio se encuentra representado principalmente por 3 industrias entre las cuales están; Embotelladora Salvadoreña (EMBOSALVA), MECAFE, etc.

1). EMBOSALVA

Esta planta esta ubicada aproximadamente a 3 km de la cabecera del municipio sobre la carretera que conduce de Nejapa a Quezaltepeque. Es una empresa dedicada a la elaboración de bebidas carbonatadas, en esta planta se realiza entre otras actividades el lavado de envases, preparación de la mezcla carbonatada, llenado de envases. Esta empresa posee requerimientos de agua aproximadamente de 1000 litros de agua por segundo.

2). MECAFÉ

Ubicada a 600 metros del desvío de Nejapa, carretera a Quezaltepeque. MECAFE es una empresa dedicada al beneficiado y exportación de café. En ella, se procesa el café en uva por vía húmeda hasta obtener café en oro.

3). RELLENO SANITARIO

El relleno sanitario es un proyecto del manejo de los desechos sólidos administrado por MIDES (Manejo Integral de los Desechos Sólidos), dicho proyecto está ubicado en la Cooperativa 2 de Mayo, a 27.5 km al norte de San Salvador, en el Cantón Camotepeque del Municipio de Nejapa, con un área de 69.89 hectáreas. La vía de acceso al relleno sanitario, se ubica en el kilómetro 23 de la carretera Apopa-Quezaltepeque.

El relleno sanitario fue concebido como una alternativa para el manejo integral de los residuos sólidos urbanos, los cuales en el área metropolitana de San Salvador, son aproximadamente 1500 toneladas diarias. En la propuesta inicial ³²se incluía lo siguiente:

1. Construcción de un sitio nuevo y seguro para el relleno sanitario, con una vida útil de 20 años, con el sistema de celdas aisladas con geomembranas y que incluyese control y tratamiento de lixiviados y control y recuperación pasiva del biogas.
2. El cierre ambientalmente aceptable, del sitio de Nejapa y otros botaderos.
3. Construcción de estaciones de transferencia para optimizar el esfuerzo de reciclaje.
4. Construcción de una planta de compostaje.

1.1.4 PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS NEGRAS

El proyecto se desarrolla en un terreno de cuatro manzanas de extensión superficial de donde la mitad es propiedad de la Alcaldía y la otra ha sido donada por la Cooperativa El Ángel. La Planta se ubica a quinientos metros al norte del casco urbano de Nejapa y colinda al costado poniente del

³² CINTEC, Lynmar, Soprin ADS, “Propuesta Técnica sobre el manejo de los desechos sólidos de la Región Metropolitana de San Salvador”, 1997.

Río San Antonio. El proyecto consiste en la construcción de una Planta de Tratamiento para aguas residuales con el objetivo de brindar tratamiento a las aguas negras del sector urbano del municipio, las cuales eran vertidas anteriormente al río sin tratamiento previo, lo cual originaba un alto grado de contaminación en las aguas superficiales.

1.2.0 CARACTERIZACIÓN DE LOS RECURSOS HIDRICOS DE NEJAPA

El río San Antonio nace de la confluencia de dos quebradas de nombre desconocido a 3.8 kilómetros al Sur oeste de la ciudad de Nejapa, corre con rumbo Noreste, recibiendo el aporte de las quebradas: Honda, Los Amates, Los limones y La Calera, por una longitud de 15.7 km hasta su desembocadura en el río Acelhuate

La sub-cuenca del río San Antonio (**Ver Anexo 1.2**), forma parte de la Cuenca del río Acelhuate, que a su vez, desemboca en el río más importante del país, el río Lempa. Sus vertientes consisten en las cumbres volcánicas elevadas (1500-1900 msnm), el volcán de San Salvador y la elevación El Picacho, así como el Cerro de Nejapa (800 msnm) en su parte oriental, con faldas asociadas que son compartidas con la cuenca del río Sucio y las sub-cuencas de los ríos Ángel y Tomayate.

El acuífero de Nejapa aunque presenta buenos rendimientos es muy complejo por desarrollarse, geológicamente hablando, dentro de formaciones volcánicas. El acuífero se desarrolla dentro de los materiales piro clásticos y las lavas de la Formación San Salvador.

Hidrogeológicamente podemos distinguir cuatro tipos de materiales:

1. Materiales piro clásticos no consolidados (Cenizas, piedra pómez, lapilli, etc.) de permeabilidad media.
2. Lavas escoraceas con una permeabilidad secundaria por facturación que los convierte en acuífero de alto rendimiento, con permeabilidades altas

3. Materiales piroclásticos finos consolidados (ceniza limosa) de permeabilidad baja
4. Lavas consolidadas de permeabilidad media por facturación y que constituyen un segundo nivel de interés hidrogeológico. Estas pertenecerían a la Formación Bálsamo.

En cuanto a los parámetros hidráulicos que se encuentran en este tipo de acuíferos, con una permeabilidad secundaria por facturación, suelen variar ampliamente debido a las características geológicas de los mismos. Los rangos observados van desde 540 a 2830 m² /día (inferior a 100 m² /día para los niveles de piroclastos y superiores a 1000 m² /día para las lavas)

1.2.1 CARACTERISTICAS DE LAS AGUAS SUPERFICIALES EN EL RÍO SAN ANTONIO.

El estudio “Mejoramiento y Uso Racional del Río San Antonio, Municipio de Nejapa” realizado por Esquivel³³, realizó un amplio monitoreo de la calidad de las aguas superficiales del río San Antonio, mediante el establecimiento de 5 estaciones de monitoreo, tomando muestras del río tanto en época seca como en época lluviosa. Los puntos de muestreo establecidos en dicho estudio fueron³⁴ los siguientes:

1. La Presa
2. Las Tres Piedras
3. Lotificación Macance
4. Cantón las Marías, hacienda Mapilapa
5. Quebrada los Amates, escuela Montiel, hacienda Mapilapa

En las tablas correspondientes al **ANEXO 1.3**, se muestra el resultado de los análisis fisicoquímicos y biológicos realizados en las diferentes estaciones de muestreo, para época seca y lluviosa respectivamente.

³³ Esquivel, O. “Estudio de factibilidad técnica, económica y social para el proyecto de mejoramiento y uso racional del río San Antonio”, 2000.

³⁴ Gonzáles, N “Estudio fisicoquímico y microbiológico sobre la contaminación del Río San Antonio”, 2000.

Otro estudio realizado¹¹ con este mismo fin, presenta las siguientes conclusiones:

1. Los puntos de muestreo 1 y 2 que corresponden a los nacimientos (ver Fig. 1.1) “Tres piedras” y “San Antonio” poseen características fisicoquímicas aceptables, a excepción de la presencia de grasas y aceite. Sin embargo, el agua de esta zona no se considera apta para consumo humano debido a la presencia de coliformes fecales en ella.
2. El punto correspondiente a la zona de descarga de aguas negras se considera como la principal fuente de contaminación del río. No solo por la cantidad de material que vierte al río sino también por su cercanía a los nacimientos.



Figura 1.1 Lavaderos públicos, en los Nacimientos “Tres Piedras”.

1.2.2 CARACTERÍSTICAS DE LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS.

Las aguas subterráneas ofrecen por lo general, grandes ventajas sobre las aguas de superficie pues se encuentran casi siempre aptas para ser usadas en diversidad de fines, sin necesidad de recurrir a un tratamiento complejo y caro para

habilitarlas. Según Esquivel ³⁵; los parámetros fisicoquímicos de las aguas subterráneas (ver Tabla 1.4) del acuífero de Nejapa son: Carbonatos, Bicarbonatos e Hidróxidos. No existen límites en las concentraciones recomendadas para estos iones en aguas de abastecimiento, pero sí en muchos procesos industriales.

Tabla 1.4 parámetros de las aguas subterráneas en el municipio de Nejapa

Parámetros	Valores reportados	Valores Según norma³⁶.
PH	6.1-7.45	
Temperatura	<30 °C	
Calcio	7.2 –25.6 ppm	75 ppm.
Magnesio	< 125 ppm	125 ppm
Sodio	< 50 ppm	
Potasio	< 10 ppm	
Hierro	< 0.3-1 ppm	
Manganeso	< 0.5 -1ppm	
Cloro	< 100 ppm	
Sulfatos (SO₄)⁻²	Satisfactorios	
Nitratos	Solo en un caso > 10 ppm	
Fluoruros	Pozo Jabalí > 1.4 ppm	1.4 ppm
Dureza	71 - 105 ppm	
Sólidos Disueltos	150 – 332 ppm	
Conductividad	< 260 μmohs/cm	

Fuente: Elaboración propia de acuerdo Norma³⁷.

Todos los anteriores parámetros químicos corresponden a muestras de agua de pozos perforados analizados en distintos laboratorios. En este estudio³⁸, se

³⁵ Esquivel, O. “Estudio de factibilidad técnica, económica y social para el proyecto de mejoramiento y uso racional del río San Antonio”, 2000.

³⁶ Norma Salvadoreña CONACYT, NSR 13.07.03.00, Aguas residuales descargadas a un cuerpo receptor.

³⁷ y 15 Esquivel, O. “Estudio de factibilidad técnica, económica y social para el proyecto de mejoramiento y uso racional del río San Antonio”, 2000.

³⁸ Y 15 Carrillo, S “Estudio de manejo de los recursos naturales en el municipio de Nejapa”, 2001.

concluye que las aguas subterráneas son de muy buena calidad y aptas para el consumo humano.

El único elemento que presenta concentraciones superiores al máximo permisible es el hierro de los puntos que muestrearon, la Tabla 1.4 muestra los rangos de los parámetros analizados en los diferentes puntos³⁹.

1.2.3 OFERTA Y DEMANDA DEL RECURSO AGUA EN EL MUNICIPIO DE NEJAPA

La oferta y la demanda del recurso hídrico en Nejapa, fue analizado en el estudio realizado por Esquivel⁴⁰; en el que se plantea lo siguiente:

1.2.3.1 Oferta de recursos hídricos en Nejapa⁴¹

Precipitación y Balance Hídrico

Los datos de precipitación están en la tabla 1.5. La precipitación media anual es de 1775.86 mm que equivalen a un volumen de agua caído a lo largo del año de 98.6 Mm³ sobre la cuenca del río San Antonio. Los datos de evapotranspiración real son de 1045 Mm³, que equivalen a su vez a 60.61 Mm³/año para los 58 km² de la cuenca del río San Antonio. Aplicando la ecuación de balance hídrico se tiene:

$$\text{PRECIPITACIÓN} = \text{EVAPOTRANSPIRACION} - \text{EXCEDENTES}$$

Lo que da lugar a los excedentes de 37.99 Mm³ que se reparten en una escorrentía superficial y en escorrentía subterránea.

⁴¹ y 18 Bellaubi, F. “Caracterización de los recursos hídricos del municipio de Nejapa”, 2000.

ⁱ Precipitación media anual

Tabla 1.5 Valores de precipitación por zona, en el Municipio de Nejapa.

REGIÓN	ÁREA (Km²)	PRECIPITACIÓN (mm)
Volcán San Salvador, San Jerónimo los Planes, San Juan los Planes	11.0	1900
El Salitre, Conacaste, Suchinango	22.0	1800
Galera Quemada, Camotepeque, El Bonete	25.0	1700

Fuente: Elaboración Según Esquivel⁴²

Puesto que no es posible diferenciar ambas a través del caudal circulante por el río San Antonio, ya que este proviene tanto de la escorrentía superficial como del aporte de la escorrentía subterránea (calculada a partir de los índices de infiltración).

Aportes Subterráneos a partir de la Infiltración

Al conocer los parámetros hidrogeológicos de la zona pueden calcularse el aporte subterráneo mediante la siguiente expresión:

$$Q = T * i * L$$

Donde:

Q : CAUDAL

T : TRANSMISIVIDAD.

i : GRADIENTE HIDRAULICO.

L : LONGITUD DE LA SECCIÓN.

Según datos de estudios anteriores⁴³ pueden considerarse constantes en el tiempo y se tienen los siguientes:

1) **Transmisividad:[T]** es el promedio del acuífero = 1500 m²/día

⁴² Esquivel, O. "Estudio de factibilidad técnica, económica y social para el proyecto de mejoramiento y uso racional del río San Antonio", 2000.

2) **Gradiente Hidráulico:** $[i] = 10^{-2}$

3) **Longitud:** $[L]$ de la dirección normal al movimiento del flujo subterráneo. = 2.6 km

Para ello se ha partido de los siguientes supuestos:

- 1) Se considera la transmisividad media de los pozos que se explotan, el nivel de lavas que constituyen el acuífero de mayor rendimiento
- 2) Se ha tomado una sección longitudinal perpendicular al flujo subterráneo y a su vez a dos límites impermeables constituidos por los materiales que forman el cerro de Nejapa. La sección, transcurre aproximadamente de la Hacienda Mapilapa al Cantón Galera Quemada. Ver Tabla 1.6.

Tabla 1.6 Aportes Subterráneos a partir de la Infiltración⁴⁴.

Sección	T promedio	I	L (km)	Caudal $10^3(\text{m}^3/\text{día})$
H. mapilapa-Cantón Galera Quemada	1500	10-2	2.6	34.5

Fuente: ANDA, Informe Especial 1972.

Esto equivale a un caudal de $0.4 \text{ m}^3/\text{s}$. Este caudal es similar al calculado por el método anterior.

Calculo de los Aportes superficiales

Puesto que los excedentes son de 33.99 Mm^3 , el aporte correspondiente a escorrentía superficial puede estimarse por:

⁴⁴ ANDA-PNUD "Evaluación de los Recursos subterráneos en la zona norte del volcán de San Salvador". Informe Especial, 1972

ESCORRENTÍA SUPERFICIAL = EXCEDENTES– ESCORRENTÍA SUBTERRÁNEA

Donde:

- 1) Excedentes = 37.99 Mm³
- 2) escorrentía Subterránea =14.4 Mm³

Si se considera la suma de aportes debidos a escorrentía superficial y escorrentía subterránea, esta debe ser igual al caudal del Río San Antonio, es decir:

$$0.45 \text{ m}^3/\text{s} + 0.74 \text{ m}^3/\text{s} = 1.19 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$\text{ESCORRENTIA SUPERFICIAL} = \underline{1.19 \text{ m}^3/\text{s}}$$

1.2.3.2 Demanda de Recursos Hídricos en Nejapa

Actualmente se explotan tanto las aguas superficiales para riego y otras actividades domesticas, como las subterráneas para consumo humano y uso industrial (Ver Tabla 1.7), siendo estas últimas las de máximo interés debido a la contaminación de las primeras y al posible potencial, para las previsiones futuras de crecimiento del municipio, las segundas.

Tabla 1.7 Demanda de Aguas subterráneas, según ANDA :

DEMANDA	POZOS ANDA (ABASTECIENDO ZONA NORTE DE S.S.)	FUENTES NEJAPA ⁴⁵	POZO EMBOSALVA	BENEFICIO MECAFE
Caudales (L/s)	245	18.62 + 16.81	24.46	31.56

⁴⁵ Abasteciendo el núcleo urbano de Nejapa y zonas rurales.

Se considera que de los 16.81 L/s correspondientes al abastecimiento de zonas rurales únicamente 10.62 L/s provienen, mediante sistema de acometidas, de la extracción de aguas subterráneas mientras que los otros se deben a abastecimiento vía cantareras o por captación de aguas lluvias.

Puesto que el caudal que ofrece el acuífero es actualmente de 450 L/s y en el presente, la demanda actual sobre las aguas subterráneas es de 330.26 L/s, el acuífero sufre la demanda requerida.

1.2.4 PROBLEMAS DE CONTAMINACIÓN EN EL RIO SAN ANTONIO.

Entre las principales fuentes contaminantes que se tienen en el río se encuentran:

1) LAS AGUAS NEGRAS MUNICIPALES.

Las cuales son tratadas en la actualidad en una planta de tratamiento del municipio de Nejapa., desde el mes de marzo del 2002.

2) DESECHOS INDUSTRIALES.

Son generados por las empresas siguientes: El Beneficio de café (MECAFE), EMBOSALVA.

3) LIXIVIADOS DE TRATAMIENTO DE RESIDUOS SÓLIDOS.

El Relleno Sanitario administrado por MIDES (Manejo Integral de los Desechos Sólidos) comprende un volumen de disposición final de aproximadamente 10,000.000 toneladas. El acondicionamiento del terreno permite enterrar 6,000, 000 toneladas de desechos por año. Este genera lixiviados, los cuales son

sometidos a tratamiento primario por medio de una laguna de decantación sin aireación, luego se conducen a una zona pantanosa artificial provista de plantas acuáticas lo que permite un mayor grado de tratamiento y finalmente son recicladas en el relleno sanitario para acelerar la biodegradación y estabilizar los desechos orgánicos. Los lixiviados en exceso, una vez tratados son vertidos a la quebrada que conecta con el Río San Antonio. A pesar de que la tecnología del nuevo relleno sanitario dista mucho del botadero de la Ciudad de Mariona, el volumen de desechos sólidos que recibe podría aumentar la contaminación de mantos acuíferos de la zona. El recurso hídrico también se ve afectado por las filtraciones de lixiviados del antiguo relleno sanitario.

4) LAS AGUAS TURBIAS Y JABONOSAS DE LOS LAVADEROS PÚBLICOS.

Estos lavaderos se encuentran ubicados en la ribera del río ver Fig. 1.2 específicamente en el sector conocido como “Tres Piedras”; y como una práctica ancestral, las personas lavan y además realizan actividades de higiene personal y recreación; descargando en el Río sustancias alcalinas como los shampoos, jabones, detergentes, lejías y otros productos químicos de limpieza; ocasionando daños al ecosistema.



Figura 1.2 Lavaderos Públicos Río San Antonio, Sector tres piedras

1.3. AGUA NATURAL

El agua es principio de vida, es un recurso renovable y cumple un ciclo natural. Sin embargo, el desarrollo de las ciudades determina un incremento acelerado de la demanda de agua. Además las actividades a nivel domestico, agrícola e industrial contaminan el agua cada vez en mayor grado. Es responsabilidad de todos racionalizarla, gestionarla y cuidarla para bien de la humanidad. Todos somos responsables de la gestión del agua ya que esta es un factor vital e imprescindible para el desarrollo equilibrado de los pueblos.

1.3.1 ASPECTOS FISICOQUÍMICOS DEL AGUA NATURAL

Debido a su formula química, podría pensarse que el agua posee propiedades similares a los compuestos formados por la familia del oxigeno cuando se combinan con el hidrogeno; pero es una sustancia que presenta grandes

anomalías, explicables en base a su estructura y a sus uniones ínter e intramolecular.

Entre las propiedades que presenta se pueden enumerar las siguientes:

- 1) Fuerte poder ionizante
- 2) Gran poder disolvente
- 3) Propiedades oxidantes
- 4) Propiedades de combinación.

Se puede considerar que las características físicas más importantes de las aguas naturales son las siguientes:

1) Temperatura:

La temperatura que pueden presentar las aguas superficiales, dependen principalmente de las condiciones climatológicas presentes en determinada región, así como también de la inclusión en éstas de desechos industriales con alto contenido calorífico.

2) Color:

Existen diferentes tonalidades de colores para las aguas naturales, debido a la presencia de sustancias provenientes de diferentes fuentes, entre éstas se encuentran: desechos industriales, desechos domésticos, remoción de sustancias contenidas en los lechos de los cuerpos de agua, etc. El color que puede presentar el agua es de dos tipos, uno aparente que es el color que presenta el agua en bruto y uno verdadero que es el que queda después de haber separado la materia en suspensión.

3) Olor y Sabor:

Estas dos características pueden ser originadas por la presencia en el agua de compuestos químicos, materia orgánica en descomposición o ciertos organismos y/o microorganismos

1.3.2 CALIDAD DEL AGUA

El concepto de la calidad del agua como dimensión importante de esta tiene un origen relativamente reciente; al estudiar la historia del desarrollo de los recursos de agua puede observarse, que inicialmente era la cantidad y disponibilidad las dimensiones más importantes y más deseadas en un cuerpo de agua, además era suficiente diferencia entre “aguas frescas” y “aguas saladas” o entre “aguas limpias” y “aguas de desecho”, sin embargo a medida que se van desarrollando e incrementando tanto el consumo como la diversidad de los usos comienza a reconocerse la calidad del agua como variable de interés.

Este último aspecto se ve incrementado por el desarrollo de las técnicas analíticas, y el interés por los problemas ecológicos⁴⁶; sin embargo el primer problema que se presenta es el de definir la “calidad del agua”, ya que aunque etimológicamente “calidad” implica cierta clase de atributo positivo o virtud, algo que en un agua para determinado uso es positivo, para otro uso puede ser perjudicial.

Así por ejemplo, un agua muy rica en nutrientes sería potencialmente perjudicial descargar en un lago, (debido al problema de eutrofización), puede ser muy útil en agricultura, y el agua destilada ser un riesgo para la biota de un medio acuático rico en sales; de este modo una vez que todas las impurezas en un agua han sido catalogadas y cuantificadas por métodos analíticos, su significado en cuanto a calidad solo puede tener una interpretación al relacionarlo a los usos a que cada agua vaya a destinarse.

⁴⁶ Romero, J “Calidad del Agua”. México, 1999

El estado en cuestión puede estar relacionado con una serie de factores entre los que podemos considerar:

- 1) Cambios de calidad por uso domestico
- 2) Cambios de calidad por uso agrícola
- 3) Cambios de calidad por uso industrial

1.3.2.1 CAMBIOS DE CALIDAD POR USO DOMESTICO

En general se usan tres términos para describir los desechos domésticos, estos son: condición, concentración y composición. La “Condición” se refiere a la edad del desecho y según este aspecto se dividen en: *Desechos domésticos frescos*, cuya concentración de oxígeno no es muy diferente de la del suministro municipal de agua en estos desechos los procesos de demanda de oxígeno no se han iniciado; *Desechos domésticos viejos*, en los cuales el oxígeno disuelto ha sido casi eliminado por degradación biológica y *Desechos sépticos*, en los que ha ocurrido la biodegradación y se ha desarrollado una población de microorganismos en proporción a los nutrientes presentes.

1.3.2.2 CAMBIOS DE CALIDAD POR USO AGRÍCOLA

Estos cambios están asociados principalmente al empleo de las aguas para irrigación (en países como los Estados Unidos); sin embargo, en nuestro país pueden ser de mayor importancia los causados por el uso de plaguicidas. Estos cambios pueden resumirse cualitativamente en la tabla 1.8.

1.3.2.3 CAMBIOS DE CALIDAD POR USO INDUSTRIAL.

Estos cambios se asemejan a los provocados por los desechos domésticos, en el hecho de aumentar los sólidos disueltos y suspendidos en los cuerpos de aguas receptoras, sin embargo la similitud desaparece al hacer consideraciones con

respecto a la composición de los desechos domésticos y los provocados por el uso industrial. Entre los constituyentes de los desechos industriales; iones metálicos (en su mayoría tóxicos), sustancias químicas diversas (Orgánicas e Inorgánicas), sustancias persistentes (principalmente orgánicas); además como, cambios resultantes del uso industrial pueden existir otros factores:

- 1) Alta temperatura
- 2) Turbidez
- 3) Acidez o alcalinidad
- 4) Color

Además, en algunos casos los desechos industriales alcanzan valores de DBO hasta de diez a cien veces mayores que los desechos domésticos.

1.4.0 CONTAMINACIÓN DEL AGUA

La utilización masiva de agua en las sociedades industrializadas es la causa directa de una amplia gama de efectos negativos que se agrupan, por lo general, bajo el concepto de contaminación de las aguas. Estos efectos se traducen en una grave alteración del equilibrio natural de los sistemas acuáticos. Si el nivel de polución no es muy elevado, y por lo tanto, el daño no es grave, se soluciona gracias a la capacidad de auto depuración de la propia naturaleza; en caso contrario, el deterioro acaba siendo acumulativo, permanente e incluso irreversible.

1.4.1 ALGUNOS TIPOS IMPORTANTES DE CONTAMINACION

4.1.1 CONTAMINACION POR FOSFATOS

En muchas aguas naturales el fosfato se presenta en huellas y a menudo en cantidades apreciables en periodos de baja actividad biológica. Las huellas de

fosfato estimulan la proliferación de las algas en embalses de agua. Las aguas que reciben aguas negras, crudas o depuradas, drenajes agrícolas y ciertos desechos industriales contienen normalmente concentraciones apreciables de fosfatos. Además de esto, con frecuencia se agregan diversas formas de fosfatos a las aguas domésticas o industriales. También se pueden combinar huellas de fosfatos con la materia orgánica, aunque tales fosfatos muy rara vez exceden de unos cuantos decimos de miligramos por litro.

1.4.1.2 CONTAMINACIÓN DE LAS AGUAS POR LABORES AGRÍCOLAS

En la actualidad la fertilización de los suelos agrícolas pasa por el empleo masivo de compuestos nitrogenados, especialmente nitratos, que dada su elevada solubilidad

en agua, acaban por infiltrarse o percolarse en las aguas subterráneas o acuíferos. Estas grandes reservas de agua dulce dejan con el tiempo de ser potables, ya que acumulan cantidades de nitrato superiores a 45 mg/L (45 ppm), umbral de toxicidad establecido por la OMS (Organización Mundial de la Salud), o bien de Sulfatos, cuyo índice de toxicidad sitúa la OMS en una banda entre 200 y 400 mg/L.

1.4.1.3 CONTAMINACIÓN ORGÁNICA DE LAS AGUAS

La contaminación fecal u orgánica es el resultado de la eliminación de los residuos originados por los procesos metabólicos que, debido a la ausencia de depuradoras, llegan directamente a los ríos y al mar, y constituyen el caldo de cultivo ideal para las enfermedades cutáneas, las infecciones urinarias, la otitis, etc. Además las sustancias contaminantes de este tipo se incorporan, como consecuencia de su tipo de alimentación, a los moluscos de los ecosistemas costeros, tales como las almejas, los berberechos, los mejillones o las ostras.

TABLA 1.8 Sumario de efectos de efluentes de procesos agrícolas en los cuerpos de aguas receptores.

FACTOR	EFEECTO
Sales e iones	Incrementados hasta 5 veces en algunos casos
Dureza	Grandemente incrementada, efecto mas importante
Sólidos Totales disueltos	Incrementado grandemente
Temperatura	Puede incrementarse.
Turbidez	Puede incrementarse.
Color	Puede variar según el caso
Sabores y Olores	Puede existir una degradación
Bacterias	No tienen un efecto significativo comparado con el de desechos domésticos.
Herbicidas e Insecticidas	Existen problemas en aguas superficiales.
Color	Puede variar según el caso
Nutrientes	Generalmente incrementados
Nitratos	Datos conflictivos, incremento en Nitrógeno pero no se ha diferenciado entre estas fuentes y otras de origen natural.
Fósforo	Puede ser incluido por hojas de las plantas incrementando nutrientes

FUENTE: Mefcalf & Eddy, Ingeniería de Aguas Residuales. Tomo I..

Para los dos tipos de agua, combinadas, se reportan 0 ppm para el OD y 4,250-7,000 ppm para el DBO. Otra característica importante, es la acidez de esta agua para las que se reportan valores de pH de 4.6, 4.5 y 4.2-4.5. En la Tabla 1.9, pueden observarse la composición del agua de pulpa y agua de lavado para el beneficiado de café. En general se puede decir que los demás parámetros indicativos de contaminación tienen valores altos.

TABLA 1.9 Composición de la Contaminación proveniente del beneficiado de café.

Contaminantes	Agua de Pulpa	Agua de Lavado
Sólidos Totales	6,293.8 mg/L	5,917.7 mg/L
DBO	1,658.8 mg/L	1,634.9 mg/L

DQO	8,124.4	8,348.9 mg/L
Sólidos Disueltos	5,448.2 mg/L	3,970.3 mg/L
Nitrógeno Total	84.3 mg/L	94.5 mg/L
Fosfatos	21.6 mg/L	22.3 mg/L

Fuente: Datos proporcionados por el Departamento de Saneamiento Ambiental, MSPAS

1.4.2 EXÁMENES FÍSICOQUÍMICOS DE AGUAS CONTAMINADAS.

Únicamente se deben examinar muestras representativas; por la gran variedad de condiciones bajo las cuales se pueden recolectar las muestras; no es posible prescribir un método invariable.

1.4.3 EXAMEN FÍSICOQUÍMICO DE AGUAS NATURALES TRATADAS

Estas incluyen aguas superficiales, aguas freáticas, aguas blandadas, aguas de enfriamiento o circulación, aguas de proceso y aguas de alimentación de calderas.

Este procedimiento involucra tres parámetros:

- 1) Cantidad de muestra. Generalmente se usan dos litros de muestras, para ciertas determinaciones especiales se puede necesitar un volumen mayor.
- 2) Intervalo de tiempo entre la recolección y el análisis.
Se sugieren como razonables, los siguientes límites máximos para muestras determinadas de análisis fisicoquímicos:
Para agua no contaminada -----72 horas
Aguas ligeramente contaminadas ----48 horas
Aguas contaminadas -----12 horas
- 3) Muestra representativa

Los detalles de la recolección varían tanto con las condiciones locales que no se puede formular una recomendación específica que sea de aplicación universal.

1.4.4 ANÁLISIS FISICOQUÍMICOS

Según establece la norma de CONACYT⁴⁷.

1. Oxígeno Disuelto
2. Demanda Bioquímica de Oxígeno
3. Contenido de Nitrógeno
4. Relaciones DBO/N/P
5. Materia Inorgánica
6. Potencial Hidrógeno (pH)
7. Azufre
8. Compuestos de Fósforo y Otras determinaciones, Según norma Salvadoreña⁴⁸

1.4.5 ANÁLISIS BACTERIOLÓGICO

1.4.5.1 Características Biológicas

Principalmente las aguas superficiales arrastran consigo diversos microorganismos de vida libre, así como otros que son típicos del tracto intestinal de animales de sangre caliente. Su presencia es detectable por análisis bacteriológicos. Algunos microorganismos como ciertas bacterias, virus, protozoarios son patógenos (elementos o medios que producen enfermedades). Los organismos patógenos aparecen en el agua en un número bajo y en forma intermitente.

⁴⁷ y 24 Norma Salvadoreña CONACYT. “Aguas residuales descargadas a un cuerpo receptor”.

Entre los principales grupos de bacterias que cumplen algunas de estas características están los Coliformes fecales y Coliformes totales.

1) Coliformes totales

Entre los coliformes totales pueden mencionarse: *Escherichia Coli*; de origen fecal, *Citrobacter spp*; ocurren naturalmente en el suelo, agua y vegetales no contaminados, *Enterobacter spp*; *Klebsiella spp*; etc.

2) Coliformes fecales

El subgrupo de Coliformes fecales esta constituido principalmente por *E. Coli*. Su detección indica con certeza que hubo contaminación fecal proveniente de heces humanas, de animales de sangre caliente o de aguas residuales.

1.4.5.2 Procedimientos en Análisis Bacteriológico

Técnica de los Tubos Múltiples de Fermentación

El “grupo coliforme”, incluye a todos los bacilos gram negativos, no esporulados, aerobios y facultativos, capaces de fermentar la lactosa a 35°C produciendo gas dentro de las primeras 48 horas de incubación.

Prueba Presuntiva para Coliformes:

La prueba presuntiva se hace inoculando cantidades apropiadas de la muestra de agua en tubos de caldo lactosado, los que se incuban a 35°C y se observan a las 24 y 48 horas en cuanto a la presencia de gas.

La ausencia de gas a las 48 horas permite considerar el resultado como “prueba presuntiva negativa” y la presencia de gas dentro de 48 horas como “prueba presuntiva positiva”.

Prueba Confirmativa para Coliformes Totales

Para elevar el grado de confianza en la determinación del número de Coliformes, se someten los tubos obtenidos en la “prueba presuntiva” a un proceso de confirmación consistente en inocular tubos de fermentación de caldo de la prueba presuntiva, si dentro de 48 horas de incubación a 35°C se presenta cualquier cantidad de gas ello constituye una “prueba confirmativa positiva” y debe calcularse el número de Coliformes totales en tablas NMP (Número más probable)

Prueba Confirmativa para Coliformes Fecales

Esta prueba consiste en inocular tubos de fermentación de caldo EC a partir de los tubos con gas de la prueba presuntiva e incubarlos a 44.5 °C por 24 horas. Cualquier cantidad de gas constituye una prueba positiva para Coliformes fecales y debe hacerse el cálculo en tablas NMP (Número más probable). La ausencia de gas aun en presencia de crecimiento se considera como resultado negativo.

1. 5.0 DETERGENTES Y FOSFATOS.

Los jabones son sustancias que alteran la tensión superficial (disminuyen la atracción de las moléculas de agua entre sí en la superficie) de los líquidos, especialmente el agua. Este tipo de sustancias se denominan tensó activas. Los jabones se utilizan como agentes limpiadores debido a la estructura singular de estos iones orgánicos especiales.

Cuando un objeto está sucio, casi siempre se debe a la adhesión de capas de grasa o aceite que a su vez contienen polvo y partículas extrañas. Si el objeto es lavado con agua no se elimina gran parte de la suciedad, sin embargo, cuando se agrega jabón al agua, puede disolverse para dar iones carboxilato, estos iones tienen un extremo iónico que es muy soluble en agua y un extremo de la cadena

larga de hidrocarburos tiene una fuerte atracción para las moléculas de aceite y grasa, los extremos que atraen al aceite penetran en las capas de aceite y grasa y las disuelven y a su vez, los extremos iónicos se siguen disolviendo en agua, éstos tienden a hacer que se desprendan las partículas de grasa y aceite a la solución, de manera que se puedan remover. Esta clase de acción limpiadora se denomina acción detergente.

Los jabones presentan la desventaja de que si se usan en agua dura, tienden a formar sales con los cationes de los metales formando "natas" que neutralizan su acción. Una alternativa a este problema, surgió cuando se empezaron a sintetizar otros compuestos orgánicos a partir de compuestos químicos del petróleo, que tienen acción detergente por lo que se les denomina en forma genérica como detergentes.

La mayoría de los detergentes son compuestos de sodio del sulfonato de benceno sustituido, denominados sulfatos lineales de alquilos (LAS), hay otros que son los alquilbencen sulfatos de cadena ramificada (ABS) que se degradan mas lentamente que los LAS. El extremo sulfato es soluble en agua y el extremo del hidrocarburo es soluble en aceite, cumpliendo con esto las características de los jabones antes mencionadas. La ventaja de los detergentes es que no forman natas con el agua dura. Por su amplia utilidad los detergentes se usan tanto en la industria como en los hogares, sin embargo, puesto que se emplean en grandes cantidades constituyen una fuente de contaminación del agua.

En cuanto a la biodegradabilidad, tanto los detergentes como los jabones son biodegradables, pero ésta se ve limitada si estos compuestos se encuentran en exceso en un cuerpo de agua.

En el mercado se encuentran cuatro tipos de detergentes sintéticos:

- 1) detergentes aniónicos, que contienen comúnmente como grupos solubles, sulfatos y sulfonatos de sodio.

- 2) detergentes catiónicos, que son principalmente compuestos cuaternarios de amonio,
- 3) detergentes no iónicos como los productos de condensación del óxido de etileno con materiales fenólicos o ácidos grasos.
- 4) detergentes biológicos los cuales contienen enzimas para eliminar algunos tipos específicos de manchas de la ropa.

Los detergentes aniónicos y especialmente los sulfonatos, son los que se utilizan más, cuestan poco y son estables en aguas duras. Los detergentes catiónicos poseen las mejores propiedades bactericidas y bacteriostáticas, pero son bastante caros y sólo se usan en instituciones de salud para limpieza de utensilios. Los detergentes no iónicos tienen una aplicación industrial algo mayor que la doméstica. Por último los detergentes biológicos, a los cuales se les llama así cuando además de contener uno de los surfactantes (las ó abs) contienen enzimas con lo cual proporcionan mayores ventajas en el lavado de la ropa; se encuentran muy distribuidos en el mercado a precios accesibles.

Hasta 1970 un detergente típico de lavandería de gran potencia contenía 50% de Trípoli fosfato de sodio (fosfato) y sólo un 18% de las (Dickson, 1980), que como se mencionó anteriormente es el (las) el que tiene la acción detergente, desde entonces algunos fabricantes han reducido el porcentaje de fosfatos. El aditivo de fosfato (trípoli fosfato de sodio) se le conoce como formador, estos formadores tienen tres funciones básicas:

- 1) Primero, actuando como bases, hacen que el agua de lavado sea básica esto es, un pH alto necesario para la acción del detergente.

- 2) En segundo lugar, los fosfatos reaccionan con los iones del agua dura, como los iones calcio y magnesio, en tal forma que éstos no llegan a interactuar con el detergente, no limitando así su acción limpiadora.
- 3) Y en tercer lugar, ayudan a mantener las grasas y el polvo en suspensión para que se puedan eliminar durante el lavado.

El inconveniente empieza cuando ya se ha desechado el detergente fosfatado, los fosfatos son arrastrados por el drenaje y la mayoría de las plantas de tratamiento de aguas negras no están diseñadas para eliminar fosfatos y por lo tanto, éstos pasan al medio ambiente acuático a través del efluente de las aguas negras. Se calcula que alrededor del 50% de los fosfatos de las aguas negras provienen de los detergentes, el porcentaje restante se deriva de compuestos fosforosos de desechos humanos y animales y fertilizantes de fosfato. El problema de los fosfatos, es que actúa como elemento nutritivo para algas y plantas acuáticas, lo que a su vez provoca degradación de las aguas naturales.

Entre otros aditivos importantes se encuentran las enzimas, los cuales por lo general son sustancias de naturaleza proteínica, que se encargan de catalizar las reacciones en los seres vivos.

La tecnología de enzimas en los detergentes se desarrolló a partir de la década de los años 60, como una herramienta más de éstos para atacar ciertos sustratos (generalmente proteicos) específicos. Las más comunes son las llamadas proteasas, las cuales degradan restos de proteínas; y las lipasas que pueden atacar restos de sustratos lípidos que son los que comúnmente se adhieren a la ropa y a ellas se les adhieren el resto de la suciedad como polvo, restos de otros compuestos orgánicos etcétera. Los detergentes que contienen enzimas se les llaman detergentes biológicos.

1.5.1 CONTAMINACION POR DETERGENTES Y FOSFATOS.

Las actividades cotidianas de los seres humanos afectan a los ecosistemas marinos

y terrestres y a diversos eslabones de las cadenas tróficas. Cuando se utiliza un detergente común para lavar la ropa, se contribuye, aunque sea a escala modesta, a la contaminación de las aguas de los ríos, favoreciendo la eutroficación.

Esto se debe a la composición química de los detergentes, que, en su mayoría contienen polifosfatos o fosfatos, empleados para fijar los iones calcio y magnesio de las aguas duras y favorecen la propia capacidad de emulsión del detergente.

Sin embargo, los detergentes no son los únicos culpables de la eutroficación de las aguas ya que a este fenómeno contribuyen tanto las aguas residuales procedentes de los alcantarillados urbanos, que depurar, aportan a los ríos y lagos tanto las aguas fecales como los vertidos industriales (ricos en fosfatos y nitratos), como, y aun de mayor medida, la escorrentía, lavado de los suelos agrícolas abandonados con un exceso de fosfatos y nitratos, que, al no ser absorbido por las plantas, acaban contaminando tanto las aguas superficiales como las aguas subterráneas (Mantos acuíferos). La mayoría de los detergentes sintéticos son contaminantes persistentes debido a que no son descompuestos fácilmente por la acción bacteriana. A los detergentes que no son biodegradables se les llama detergentes duros y a los degradables detergentes blandos.

El uso de los compuestos tensoactivos en el agua, al ser arrojados a los lagos y ríos provocan la disminución de la solubilidad del oxígeno disuelto en el agua con lo cual se dificulta la vida acuática y además, como les quitan la grasa de las plumas a las aves acuáticas les provoca que se escape el aire aislante de entre las plumas y que se mojen, lo cual puede ocasionarles la muerte por frío o porque se ahogan, de manera semejante como les ocurre con los derrames de petróleo en el mar. Los detergentes son productos químicos sintéticos que se utilizan en grandes cantidades para la limpieza doméstica e industrial y que actúan como contaminantes

El poder contaminante de los detergentes se manifiesta en los vegetales acuáticos inhibiendo el proceso de la fotosíntesis originando la muerte de la flora y la fauna acuáticas. A los peces les produce lesiones en las branquias, dificultándoles la respiración y provocándoles la muerte.

1.5.2 DETERGENTES DE POLI FOSFATOS

Un componente de los detergentes sólidos es el meta fosfato llamado tripolifosfato de sodio, $\text{Na}_5\text{P}_3\text{O}_{10}$, que contiene al ion $(\text{O}_3\text{P}-\text{O}-\text{PO}_2-\text{O}-\text{PO}_3)^{5-}$. El ion trifosfato es de gran utilidad porque forma complejos solubles con los iones calcio, hierro, magnesio y manganeso, quitando las manchas que estos ocasionan en la ropa y ayudan a mantener en suspensión a las partículas de mugre de manera que pueden ser eliminadas fácilmente por el lavado.

A los aditivos de fosfato en los detergentes como el tripolifosfato de sodio se les llama formadores de fosfato y tienen tres funciones, primero actúan como bases haciendo que el agua del lavado sea alcalina (pH alto), lo cual es necesario para la acción detergente; segundo los fosfatos reaccionan con los iones calcio y magnesio del agua dura de manera que no actúan con el detergente y tercero ayudan a mantener las grasas y el polvo en suspensión, lo que facilita que sean eliminados.

En los detergentes líquidos se utiliza el pirofosfato de sodio ($\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7$) o de potasio porque se hidroliza en el ion fosfato (PO_4^{3-}) a menor rapidez que el tripolifosfato de sodio.

Los detergentes hechos a base de fosfatos provocan un efecto destructor en el medio ambiente porque aceleran el proceso de eutrofización o eutrofización de las aguas de lagos y ríos. Como el uso de detergentes fosfatados ha generado problemas muy graves en el agua, algunos países han prohibido el uso de detergentes de este tipo.

1.5.3 AGUAS CON DETERGENTES Y ALGAS.

Los detergentes después de ser utilizados en la limpieza doméstica e industrial son arrojados a las alcantarillas de las aguas residuales y se convierten en fuente de contaminación del agua.

Las algas son plantas acuáticas que se pueden percibir como un limo verde azul sobre la superficie de las aguas estancadas. Las algas, al igual que las demás plantas, almacenan energía mediante el proceso de fotosíntesis por lo que requieren de la luz solar para consumir el bióxido de carbono y liberar el oxígeno. Al igual que otras plantas, las algas necesitan también de otros elementos químicos nutritivos inorgánicos como potasio, fósforo, azufre y hierro.

La cantidad de algas que una cierta extensión de agua, como un lago, puede soportar depende de los elementos nutritivos inorgánicos que puede proporcionar y la acumulación de estos elementos depende de la cantidad de sales que arrastren las diferentes corrientes de agua al lago.

Las algas crecen rápidamente cuando la cantidad de elementos nutritivos es abundante y pueden llegar a cubrir la superficie del agua con gruesas capas, y a medida que algunas algas mueren se convierten en alimento de las bacterias. Como las bacterias consumen oxígeno para descomponer a las algas, provocan que la disminución de oxígeno llegue a un nivel que es incapaz de soportar otras formas de vida, que es indispensable para que no desaparezca el ecosistema. Por ejemplo, donde hay peces como la lobina y la perca que son útiles para el hombre, disminuyen o desaparecen, dejan el lugar a otras formas de vida menos útiles al hombre como el siluro, sanguijuelas y gusanos que se alimentan de basura.

1.5.4 PRINCIPALES PROBLEMAS PROVOCADOS POR LOS FOSFATOS.

Dentro de los principales problemas podemos mencionar los siguientes:

1.5.4.1 Espuma

En las plantas de tratamiento de agua provoca problemas de operación, afecta la sedimentación primaria ya que engloba partículas haciendo que la sedimentación sea más lenta, dificulta la dilución de oxígeno atmosférico en agua y recubre las superficies de trabajo con sedimentos que contienen altas concentraciones de surfactantes, grasas, proteínas y lodos.

1.5.4.2 Toxicidad en la Vida Acuática

No es posible dar un valor límite de toxicidad debido a que la sensibilidad de cada organismo varía con relación a la especie, tamaño, tipo de detergente y otros factores físicos del medioambiente.

1.5.4.3 Toxicidad en la Agricultura

Al utilizar aguas negras que contengan detergentes para irrigación, se pueden contaminar los suelos y por consiguiente, los cultivos. Así por ejemplo se ha observado que el abs inhibe en un 70% el crecimiento de las plantas como el girasol en concentración de tan sólo 10 ppm y en un 100% a 40 ppm.

1.5.4.4 Eutroficación

La palabra proviene del griego "bien alimentado"; constituye un proceso natural de envejecimiento, en el que el lago sobrealimentado acumula grandes cantidades de material vegetal en descomposición en su fondo. Esto tiende a llenar el lago y hacerlo menos profundo, más tibio y con gran acumulación de nutrientes. Las plantas se apoderan del lecho del lago conforme se va llenando y se convierte poco

a poco en un pantano para transformarse por último en un prado o un bosque. Es un proceso natural de envejecimiento de un lago que se puede desarrollar en un periodo de cientos de años. Al ingresar grandes cantidades de detergentes, de los que aproximadamente como vimos anteriormente el 50% en peso son fosfatos, los cuales son excelentes nutrientes para las plantas, y éstos sumados con los nutrientes ya existentes en un cuerpo de agua, se acelera el proceso de eutricación antes mencionado, a tan sólo cuestión de unas décadas. Si hay un excesivo crecimiento de las plantas acuáticas, éstas tienden a cubrir la superficie del cuerpo de agua, impidiendo el libre intercambio de oxígeno y bióxido de carbono; al morir estas plantas, se descomponen en el lago consumiendo el oxígeno presente en éste, al cabo de un tiempo ya no hay oxígeno disponible y la descomposición tiene que hacerse de forma anaerobia, esto es, en ausencia de oxígeno, dando por consecuencia productos secundarios como metano, amoníaco, sulfuro de hidrógeno y otros compuestos que le confieren al cuerpo de agua un olor desagradable. Otro factor que se debe tomar en cuenta, es que los peces presentes en el cuerpo de agua también necesitan oxígeno disuelto en el agua para poder respirar y si éste se consumió con la degradación de las plantas muertas, entonces también los peces morirán. Todos estos procesos implican como consecuencia una degeneración de la calidad de las condiciones, tanto del agua como de la vida animal y vegetal del cuerpo de agua.

1.5.4.5 Desperdicio de Fosfatos

Otra desventaja de usar grandes cantidades de fosfatos en los detergentes, es que el fósforo es uno de los elementos vitales necesarios para el crecimiento de cultivos alimenticios y que se utilizan profusamente en fertilizantes que contienen fósforo en forma de fosfato.

Sin embargo, las fuentes de fosfatos son limitadas y a futuro se podrían reducir al grado en que se pudiera afectar la producción de alimentos. En vista de esto, el uso de fosfatos en los detergentes, en forma desmedida, constituye un desperdicio de

uno de los recursos más importantes en la naturaleza y una fuente de contaminación importante.

1.5.4.6 Efectos de Enzimas Tenso activas

Como se mencionó anteriormente, algunos detergentes contienen enzimas, las cuales atacan sustratos orgánicos específicos. El problema se presenta al usar exceso de estos detergentes, con lo cual se desechan enzimas activas al drenaje, las cuales al llegar a los cuerpos de agua provocarán daños en los seres vivos presentes en éstos, por acción directa sobre ellos o sobre los nutrientes que componen su dieta alimenticia.

1.5.4.7 Otros Efectos.

Entre otros efectos secundarios producidos por los detergentes se tiene que éstos afectan procesos de tratamiento de las aguas residuales, por ejemplo: cambios en la demanda bioquímica de oxígeno y en los sólidos suspendidos, efectos corrosivos en algunas partes mecánicas de las plantas, interferencias en el proceso de cloración y en la determinación de oxígeno disuelto y algunos aditivos en los detergentes pueden intervenir en la formación de flóculos (agrupaciones de partículas suspendidas).

CAPITULO II

2.1.0 INVESTIGACIÓN DE CAMPO. ESTUDIOS DE CARACTERIZACIÓN DEL AGUA RESIDUAL. MUESTREO Y MEDICIÓN DE PARÁMETROS

Los estudios de caracterización del agua residual están orientados a determinar:

1. Las características físicas, químicas y biológicas del agua y las concentraciones de los constituyentes del agua residual
2. Medios óptimos para reducir las concentraciones de contaminantes

2.1.1 Muestreo

La técnica de muestreo adoptada es la que proporciona el Ministerio del Medio Ambiente para aguas residuales (Ver Anexo 2.1), tomando también en consideración, las recomendaciones proporcionadas por el encargado del laboratorio, en el cual se realizaron los análisis fisicoquímicos de las muestras de aguas residuales.

Para realizar los análisis fisicoquímicos y microbiológicos de las muestras provenientes de los lavaderos públicos ubicados en el río San Antonio del municipio de Nejapa, el laboratorio seleccionado fue Especialidades Industriales S.A, ESPINSA; dicho laboratorio cuenta con acreditación por el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, CONACYT., que se fundamenta en el cumplimiento de la Normativa Internacional NSR EN 45001, lo que permite cumplir con el Reglamento especial de aguas residuales y garantizar la confiabilidad de los resultados entregados a la municipalidad.

La toma de muestra en el río se realizó en dos épocas, la primera toma de muestra fue hecha a principio de época lluviosa; esta muestra fue tomada el día miércoles 10 de julio del 2002. La toma de muestra se hizo por duplicado tomando como primer punto de muestreo uno de los nacimientos de agua (del sector conocido como las tres piedras) y se le realizaron los análisis correspondientes según la norma del diario oficial (Ver anexo 2.1). Los resultados de los análisis fisicoquímicos y bacteriológicos realizados se presentan en la Tabla 2.1.

El mismo procedimiento se utilizó para la toma de muestra al final de la época lluviosa, en esta ocasión se tomó la muestra directamente del río a 50 metros del lugar donde se encuentran ubicados los lavaderos (En el Anexo 2.2 pueden observarse las técnicas apropiadas para realizar el muestreo en un río). Los resultados de los análisis del agua residual se muestran en la Tabla 2.2.

Tabla 2.1 Resultados del análisis Nacimientos Río San Antonio

PARÁMETROS	NACIMIENTOS LAS TRES PIEDRAS, RÍO SAN ANTONIO, NEJAPA, SALIDA DEL NACIMIENTO.	EXPRESADO COMO	INCERTEZA
PH	7.25		
Temperatura	29.5		
Sólidos Totales, mg/L	ND*	ppm	0
Sol. Suspendidos totales mh/L	ND*	ppm	0
DQO mg/L	ND*	ppm O2	0
DBO mg/L	ND*	ppm O2	0
Aceites y Grasas	ND*	ppm	0
Detergentes, SAAM	0.025	ppm LAS	0
Coliformes totales NMP/100 mL	240		
Coliformes fecales NMP/100 mL	11		

Fuente: LABORATORIO ESPINSA

Además de los análisis realizados en el laboratorio de ESPINSA, se monitoreó el Río San Antonio en tres puntos diferentes dos de los cuales son nacimientos de agua y el otro se ubicó 25 m. aguas debajo de los lavaderos públicos, donde el caudal del río ya se encuentra contaminado por con las aguas jabonosas. Los

* No detectable = ND

parámetros fisicoquímicos se midieron con el equipo proporcionado por la Escuela de Química de la Facultad de Ciencias Naturales y Matemáticas.

Tabla 2.2 Resultados del análisis de muestra Agua Residual, tomada Río San Antonio.

PARÁMETROS	RÍO SAN ANTONIO	EXPRESADO COMO	INCERTEZA
PH	7.25		
Temperatura	29.5		
Sólidos Totales, mg/L	214	ppm	-2.8
Sol. Suspendidos totales mh/L	8.5	ppm	-0.7
DQO mg/L	6.7	ppm O2	0
DBO mg/L	4.8	ppm O2	0
Aceites y Grasas	2.3	ppm	-0.4
Detergentes, SAAM	0.6	ppm LAS	-0.01
Coliformes totales NMP ^{**} /100 mL	mayor de 16x10 exp 5		
Coliformes fecales NMP/100 mL	16x10exp 5		
Fosfato mg/L			

Fuente: Análisis por laboratorio ESPINSA, Muestras tomadas por Karla Canjura y Zuleyma Lemus. En el río San Antonio 50 metros aguas abajo del sector tres piedra en el municipio de Nejapa. Fecha de toma de muestra 08 de agosto de 2002

Entre los parámetros medidos por el equipo y que son de interés para el estudio en cuestión se encuentran: la demanda bioquímica de Oxígeno, el pH, la temperatura, los sólidos totales disueltos y la turbidez.

Punto de Muestreo 1

Se realizó la medición de los parámetros antes indicados en uno de los nacimientos del sector tres piedras. En este punto el agua es cristalina (Ver Fig. 2.1), aunque en el lugar pueden observarse múltiples raíces de un árbol contenido en una especie de pileta.

Punto de Muestreo 2

** Numero más probable

El punto de muestreo 2 consiste en una forma de pileta (nacimiento de agua) donde el agua es mucho más cristalina que el punto anterior, en este lugar puede observarse como brota el agua, lo que muestra lo superficial del acuífero de Nejapa (Ver Fig.2.2)



Fig. 2.1 Punto de muestreo 1, Sector Tres Piedras, Río San Antonio

Punto de Muestreo 3

El punto de muestreo 3, se ubicó aproximadamente 25 metros después de la zona donde se ubican los lavaderos. En este lugar ya puede observarse como el río cambia su aspecto debido al aporte de las aguas jabonosas de los lavaderos públicos. En la Tabla 2.3 se presentan los parámetros medidos en los diferentes puntos de muestreo en el Sector Tres Piedras del río San Antonio. Ver Fig. 2.3

Tabla 2.3. Parámetros Fisicoquímicos medidos por Ecopack.

Punto de Muestreo	pH	T (°C)	DBO	Potencial Redox	STD	Turbidez
1	6.49	24.45	3.53 mg/L	226	0.142 mg/L	Fuera de rango
2	6.4	24.85	3.66-3.7 mg/L	247	0.162 mg/L	0
3	6.56	24.69	4.61-4.7 mg/L	242	0.147 mg/L	Fuera de rango



Fig. 2.2 Punto de muestreo 2



Fig. 2.3 Punto de Muestreo 3. Sector tres piedras.

De la fase de muestreo, los resultados obtenidos de los análisis de dichas muestras y el análisis de los datos del instrumento de medición, depende en definitiva la base del proyecto de las instalaciones de tratamiento a seleccionar.

2.1.2 AFORO DEL RÍO SAN ANTONIO SECTOR TRES PIEDRAS.

El molinete hidráulico es el aparato mas comúnmente empleado para determinar el caudal de una corriente natural. Un aforo implica descomponer la sección transversal del río en tramos o franjas verticales (Ver guía de laboratorio en anexo 2.3), las cuales, mientras más próximas dan resultados más exactos. Estos son normales a la corriente y rectilíneos: sin turbulencia o zonas de mínimo remanso, donde las velocidades no sean demasiado bajas. El promedio de las velocidades medias en dos verticales consecutivas multiplicada por el área limitada por ellas da el caudal en ese tramo. Sumando los caudales parciales se obtiene el caudal total. Se utiliza para facilidad, una hoja adecuada en el registro de datos y secuencia del cálculo (Ver anexo 2.4)

Con el objetivo de conocer el caudal del río San Antonio, se realizó el aforo del río utilizando el mini molinete hidráulico. Este se llevo a cabo al final de la época seca.

2.1.2.2 PROCEDIMIENTO DE AFORO

El aforo del Río San Antonio se ha efectuado haciendo uso el método De Acevedo el cual consiste en; “la proporcionalidad que se verifica entre la velocidad de rotación del aparato y la velocidad de la corriente”. Con el Molinete Hidráulico A.OTT. KEMPTEN. TIPO C2 “10.150” Y TIPO C31 “10001”, con contador y demás accesorios. Como se observa en la Fig. 2.4.

2.1.2.3 RECOPIACIÓN DE DATOS

Los datos obtenidos como resultado del aforo del río San Antonio se muestran en la Tabla 2.4, en esta se presentan las mediciones efectuadas, para luego proceder al cálculo del caudal del río.



Figura 2. 4 Aforo del Río Antonio

El detalle del procedimiento realizado para el cálculo del caudal se presenta en el anexo 2.4. El caudal resulta de $0.14 \text{ m}^3/\text{s}$.

2.1.3 INSTRUMENTO DE MEDICIÓN

Para evaluar factores importantes en el desarrollo del proyecto de reubicación de los lavaderos públicos del municipio se requiere conocer las características fundamentales de las actividades que se desarrollan en el río San Antonio, Sector tres piedras, la cantidad de usuarios, la magnitud de contaminantes que se vierten al río, el tipo de detergentes, lejías, jabones usados, la disponibilidad de efectuar labores de lavado de ropa e higiene personal en un nuevo sitio, etc.

Es en ese sentido, que se elaboro un instrumento de medición consistente en una encuesta (el formato de la misma, se muestra en el Anexo 2.5). De esa forma, se procedió encuestar a los usuarios de los lavaderos públicos del río San Antonio por un periodo de una semana en la época seca y una semana en la época lluviosa.

Entre los factores mas importantes estimados por el instrumento se tienen el tipo de productos que contaminan el río mediante su uso, las cantidades de jabones, detergentes, lejías, etc. que se vierten al río; el numero de usuarios del río, el numero de personas que integran el grupo familiar de cada usuario de los lavaderos públicos (esto para conocer, de alguna forma, las cantidades de agua que se consumen para lavar una u otra cantidad de ropa).

Tabla 2.4 Mediciones efectuadas en el río San Antonio para calculo de Caudal

No de mediciones	Distancia al punto final (m)	Intervalo entre verticales	Profundidad (cm.)	Profundidad de observación (cm.)	No de rev./ t	Tiempo (seg.)
1	0	0	0	0	0	0
2	0.5	1	9	5.4	73	60
					72	60
3	1	1	11.5	6.9	69	60
					68	60
4	1.5	1	14.5	8.7	120	60
					121	60
5	2	1	14	8.4	105	60
					103	60
6	2.5	1	11	6.6	93	60
					96	60
7	3	1	10.5	6.3	75	60
					79	60
8	3.5	1	12	7.2	69	60
					65	60
9	3.8	1	0	0	0	0

Fuente Elaboración grupo de investigación.

En la grafica 2. 1, se muestra el porcentaje de uso de cada producto entre jabón de baño y de lavar, shampoo, detergentes y lejías, los cuales se vierten al río mediante las actividades de lavado de ropa y limpieza personal. Entre los productos mas utilizados se encuentran el jabón de lavar ropa, los detergentes y la lejía, etc. Se puede afirmar que la actividad de lavado de ropa es contaminante en mayor parte el agua del río San Antonio, precisamente en el lugar de los nacimientos de agua; sin embargo, practicas de aseo personal y productos utilizados para las mismas también

contribuyen a contaminar el río ya que se utilizan cantidades considerables de jabón de baño, shampoo y acondicionador de cabello.

Otro de los aspectos importantes que fue posible estimar con la encuesta, es la frecuencia de lavado de cada usuaria en los lavaderos del sector tres piedras del río San Antonio. Con este dato y las cantidades de producto que se utilizan es posible evaluar la carga contaminante que se vierte a las aguas del río San Antonio. (Ver Anexo 2.6).

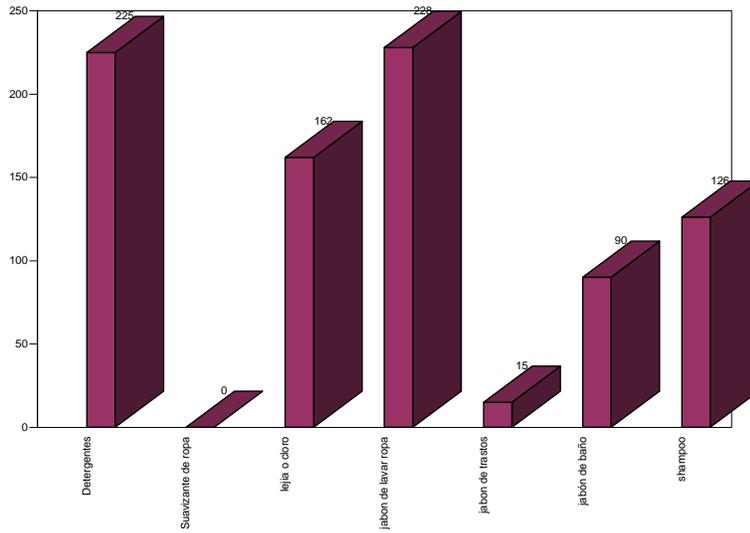
En los gráficos 2.2 y 2.3 se presentan los niveles de afluencia a los lavaderos públicos tanto para efectuar el lavado de ropa como otras actividades de higiene personal, según los usuarios encuestados.

Para la Municipalidad, uno de los aspectos prioritarios a medir para implementar el proceso de reubicación de los lavaderos públicos, es la opinión de aceptación o rechazo de la población con respecto al proyecto.

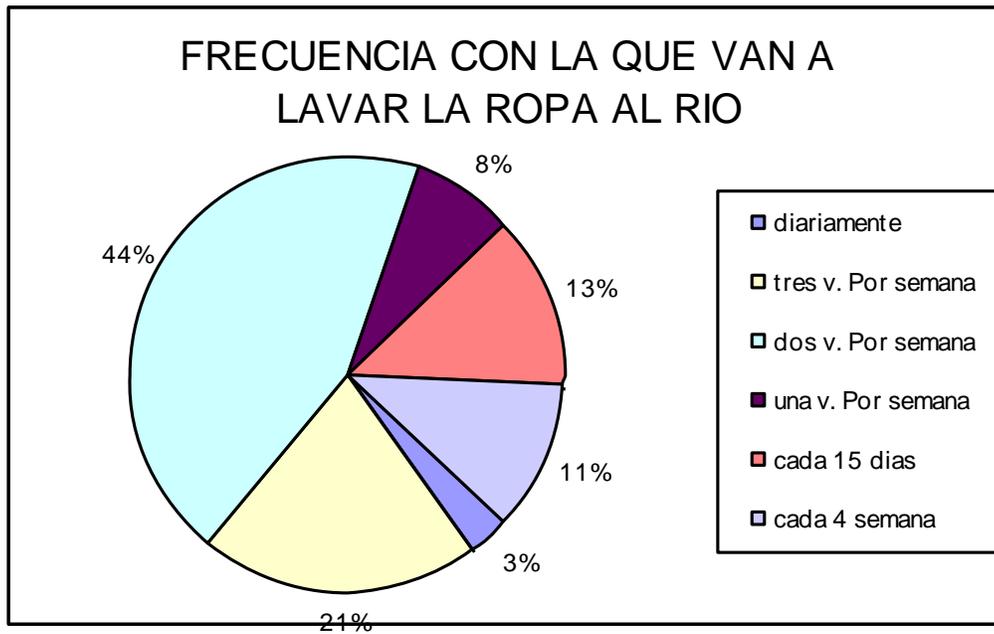
Esto es importante ya que puede permitir conocer la disposición o renuencia de los usuarios de los lavaderos del río de realizar sus prácticas de lavado de ropa y actividades de higiene personal en el nuevo sitio destinado para los lavaderos públicos.

En el gráfico 2.4, puede observarse la opinión y la disponibilidad de los usuarios de los lavaderos, con respecto a utilizar un nuevo sitio cercano al río en el que puedan realizarse las actividades domésticas y de higiene personal y que preste las condiciones sanitarias adecuadas para el buen desarrollo de las mismas. El porcentaje de aceptación coincide en ambos casos (como puede observarse en los gráficos); sin embargo, la opinión generalizada de las usuarias es que estarían dispuestas a acudir al sitio de reubicación de los lavaderos si estuviese exento de pago.

PRODUCTOS PARA EL LAVADO DE ROPA, LIMPIEZA PERZONAL EN EL RIO



Grafica 2.1 Productos utilizados para el lavado de ropa e Higiene personal



Grafica 2.2 Frecuencia con la que acuden los usuarios a lavar ropa en el río



Grafica 2.3 Afluencia de usuarios a los lavaderos públicos para actividades de higiene personal, en el Río San Antonio.

Las razones por las que las personas encuestadas difiere del número de usuarios/día en el río son:

1. En muchas oportunidades, personas que permanecían en el río en el proceso de observación para determinar la afluencia de usuarios al río, ya habían sido encuestadas con anterioridad.
2. Los niños, dado que solo se bañan en el río, no fueron tomados en cuenta para realizar la encuesta.

2.2.0 TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

Los métodos de tratamiento de las aguas residuales empezaron a desarrollarse ante la necesidad de velar por la salud pública y evitar las condiciones adversas provocadas por la descarga del agua residual al medio ambiente. En general, se trata de plantearse el reto de eliminar de las aguas residuales el riesgo potencial para la salud y centrarse en la mejora y conservación de la calidad del agua natural

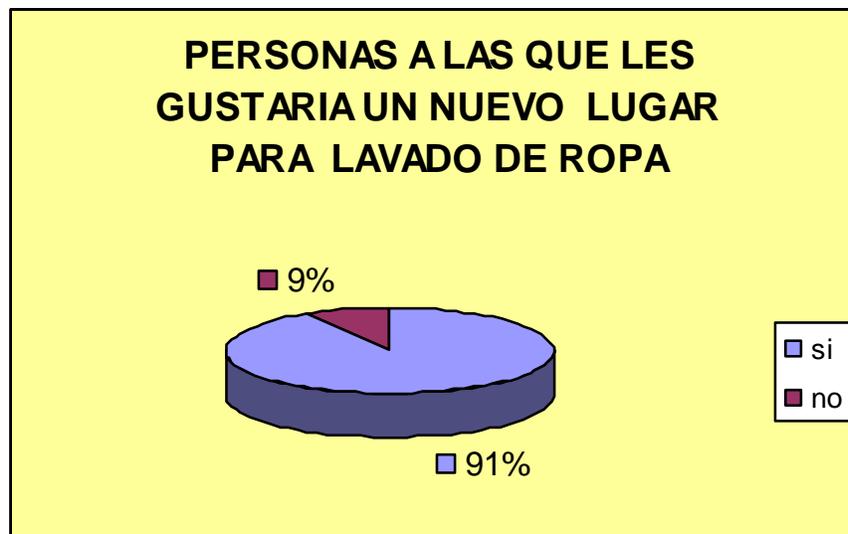
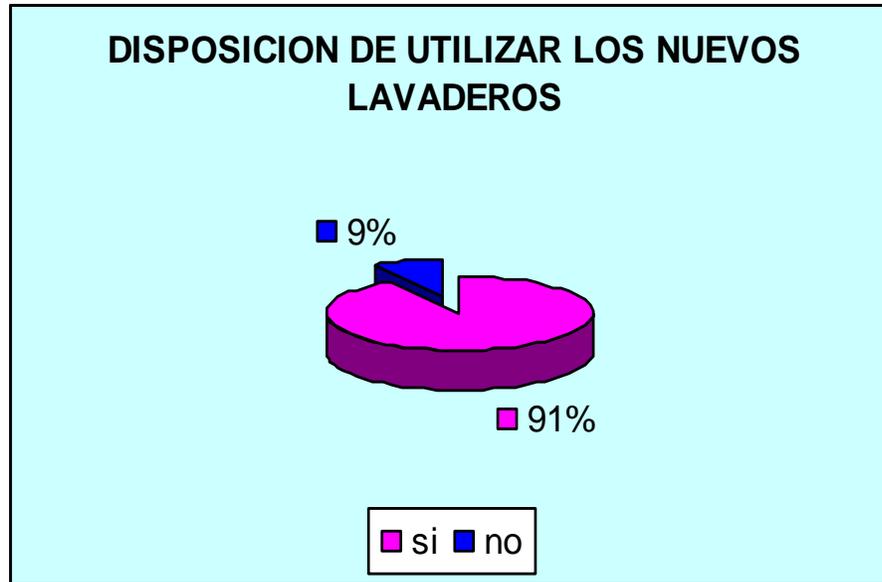


Grafico 2.4 (a) y (b) Disponibilidad y opinión de los Usuarios referente a la reubicación de los lavaderos.

2.2.1 TIPOS DE TRATAMIENTO

Una vez establecidos los objetivos de tratamiento para un proyecto específico y revisadas las normativas a las que debe ajustarse, el tipo de tratamiento necesario

puede determinarse comparando las características del agua residual cruda con las exigencias del efluente correspondiente. Luego debe procederse al desarrollo y evaluación de las diferentes alternativas de evacuación o reutilización aplicables para luego determinar la combinación óptima. Los contaminantes presentes en el agua residual pueden eliminarse con procesos químicos, físicos o biológicos. Los métodos individuales suelen clasificarse en operaciones físicas unitarias, procesos químicos unitarios y procesos biológicos unitarios.

2.2.1.1 Operaciones Físicas Unitarias

Los métodos de tratamiento en los que predomina la acción de fuerzas físicas se conocen como operaciones físicas unitarias, fueron las primeras en ser aplicadas al tratamiento de aguas residuales. El desbaste, mezclado, floculación, sedimentación, flotación, transferencia de gases y filtración son operaciones unitarias típicas.

2.2.1.2 Procesos Químicos Unitarios

Los métodos de tratamiento en los cuales la eliminación o conversión de los contaminantes se consigue con la adición de productos químicos o debido al desarrollo de ciertas reacciones químicas, se conocen como procesos químicos unitarios.

Fenómenos como la precipitación, absorción y la desinfección son procesos de aplicación comunes en el tratamiento de aguas residuales. En la precipitación química, el tratamiento se lleva a cabo produciendo un precipitado que se recoge por sedimentación.

2.2.1.3 Procesos Biológicos Unitarios

Cuando en un proceso de tratamiento, la eliminación de los contaminantes se lleva a cabo gracias a la actividad biológica, este se conoce como procesos biológicos

Unitarios. La principal aplicación de los procesos biológicos es la eliminación de las; sustancias orgánicas biodegradables presentes en el agua residual tanto en forma coloidal como en disolución.

2.2.2 APLICACIÓN DE MÉTODOS DE TRATAMIENTO

2.2.2.1 Pretratamiento del agua residual

Se define como el proceso de eliminación de los constituyentes de las aguas residuales cuya presencia pueda provocar problemas de mantenimiento y funcionamiento de los diferentes procesos, operaciones y sistemas auxiliares. Como pretratamiento se emplea el desbaste y dilaceración para la eliminación de sólidos gruesos y trapos, la flotación para la eliminación de grasas y aceites y el desarenado para la eliminación de la materia en suspensión gruesa que pueda causar obstrucciones en los equipos y un desgaste excesivo en los mismos.

2.2.2.2 Tratamiento Primario

En el tratamiento primario se elimina una fracción de los sólidos en suspensión y de la materia orgánica del agua residual. Esta eliminación usualmente se lleva a cabo mediante operaciones físicas tales como el tamizado y la sedimentación. El efluente del tratamiento primario suele contener una cantidad considerable de materia orgánica y una DBO alta. A futuro, las plantas de tratamiento que solo incluyan tratamiento primario serán obsoletas.

2.2.2.3 Tratamiento secundario

El objetivo principal del tratamiento secundario es la eliminación de los sólidos en suspensión y de los compuestos orgánicos biodegradables. El tratamiento secundario convencional se define como la combinación de diferentes procesos normalmente empleados para la eliminación de estos constituyentes, e incluye el

tratamiento biológico con fangos activados, reactores de lechos fijo, los sistemas de lagunaje y la sedimentación.

2.2.2.4 Control y Eliminación de Nutrientes

La eliminación y control de los nutrientes presentes en el agua residual es importante por razones diversas. Normalmente es necesario debido a:

1. Vertido de cuerpos de agua receptores confinados en los que se pueda crear o acelerar los procesos de eutrofización.
2. Vertidos a cursos de agua en los que la nitrificación pueda limitar los recursos de oxígeno o en los que pueda proliferar el arraigamiento de plantas acuáticas.
3. Recarga de aguas subterráneas que puedan usarse para el abastecimiento público de agua.

Los principales nutrientes contenidos en las aguas residuales son el nitrógeno y el fósforo y su eliminación puede llevarse a cabo por procesos químicos, biológicos o una combinación de ambos.

2.2.2.5 Tratamiento Avanzado/ Recuperación del Agua Residual

Según Metcalf & Eddy²⁶ define como tratamiento avanzado el nivel de tratamiento necesario, mas allá del tratamiento secundario convencional, para la eliminación de constituyentes de las aguas residuales que merecen especial atención, como los nutrientes, los compuestos tóxicos y los excesos de materia orgánica o de sólidos en suspensión. Además de los procesos de eliminación de nutrientes, otros procesos u operaciones unitarias habitualmente empleadas en los tratamientos avanzados son

²⁶ Metcalf & Eddy. "Ingeniería de Aguas Residuales". México, D.F., 1996.

la coagulación química, floculación y sedimentación seguida de filtración y carbón activado.

En términos de calidad del efluente, algunos procesos de tratamiento natural (tratamiento en el terreno) pueden resultar equivalentes al tratamiento avanzado de las aguas residuales.

2.2.3 TRATAMIENTO DE AGUAS CONTAMINADAS CON DETERGENTES

Los compuestos de fósforo que se encuentran en las aguas residuales son de tres tipos principalmente ortofosfatos, polifosfatos y compuestos del fósforo orgánico. Los ortofosfatos existen en varias formas diferentes, en equilibrio unas con otras, fosfato (PO_4^{-3}), fosfato monoácido (HPO_4^-), fosfato ácido (H_2PO_4^-) y ácido fosfórico no ionizado (H_3PO_4). Para niveles del pH cerca del punto de neutralidad, predominan los iones de fosfato monoácidos (HPO_4^-). Los polifosfatos se pueden considerar como polímeros de condensación del fosfato e incluyen formas tales como $\text{P}_2\text{O}_7^{-4}$, $\text{P}_3\text{O}_{10}^{-5}$ y $\text{P}_3\text{O}_9^{-3}$

En la mayoría de las aguas residuales, alrededor del 10% del fósforo corresponde a la fracción insoluble y puede eliminarse por decantación primaria. La eliminación del fósforo puede llevarse a cabo mediante métodos químicos, biológicos y físicos.

2.2.3.1 ALTERNATIVAS DE TRATAMIENTO FÍSICO DEL AGUA RESIDUAL CONTAMINADA POR DETERGENTES.

1) Tratamiento por Fosas Sépticas

La fosa séptica es un dispositivo de tratamiento de aguas residuales, destinada a recibir la contribución de uno o más domicilios y con la capacidad de dar a las aguas de desecho un grado de tratamiento compatible con su simplicidad y costo. Las fosas sépticas pueden ser construidas o prefabricadas y sirven para retener los desechos

domésticos y/o industriales por un periodo de tiempo establecido, de modo que permitan la sedimentación de los sólidos y la retención de material graso contenido en los desechos, transformándolos, bioquímicamente, en sustancias y compuestos mas simples y estables.

El funcionamiento de una fosa séptica puede ser considerado en las siguientes fases:

1) Retención

En el interior de la fosa séptica, el desecho se reparte horizontalmente y con pequeña velocidad, permaneciendo en ella cierto tiempo, conocido como tiempo de retención y que puede variar entre 12 y 24 horas dependiendo de la contribución de los afluentes.

2) Sedimentación

La pequeña velocidad de escurrimiento permite que entre el 50 y 70% de los sólidos en suspensión contenidos en las aguas residuales, se sedimenten por acción de la gravedad, formando una sustancia semi-liquida denominada lodo.

Parte de los sólidos que no se sedimentan y que están formados por sustancias menos densas tales como grasas, aceites y otros materiales mezclados con gases es retenida en la superficie del líquido, en el interior de la fosa séptica denominadas espumas.

3) Digestión

El material orgánico retenido en el fondo del tanque, al igual que el material flotante, son sometidos a una descomposición facultativa y anaerobia y es convertido en compuestos mas estables como dióxido de carbono CO_2 , metano CH_4 y ácido sulfhídrico SH_2 .

2) Tanques Imhoff

Son una especie de fosa séptica de cámaras sobrepuestas, en las que la remoción de los sólidos sedimentables y la digestión anaerobia de los mismos, es similar a la operación en las fosas sépticas. Se caracterizan por tener dos cámaras distintas, en las cuales se procesan, independientemente los fenómenos de sedimentación y digestión. Los sólidos sedimentados, pasan desde el fondo de la cámara superior (de sedimentación) a la inferior (de digestión) por un orificio abierto en el fondo de la cámara de sedimentación. Presenta la ventaja de poder tratar el desecho en menor tiempo que en la fosa séptica, así, en el tanque, para caudal máximo se emplea un tiempo de retención de 2 horas. En este menor tiempo de retención ocurre una sedimentación más rápida ya que la producción de gases que se da en la digestión no interfiere con la sedimentación de las partículas.

3) Pozos absorbentes

La disposición de los desechos líquidos en el subsuelo puede realizarse mediante los pozos absorbentes, los cuales son excavaciones realizadas en el terreno, a través de cuyas paredes y fondo se infiltra el efluente de las fosas, tienen una vida útil prolongada debido a que reciben un afluente con bajo contenido de sólidos, lo que facilita la infiltración hacia el suelo. Las formas más comunes empleadas son la cilíndrica y la prismática. Deben tener las paredes revestidas mediante mampostería de ladrillos huecos o de ladrillos enteros con juntas libres; también se pueden revestir con bloques de hormigón prefabricados y agujereados.

En el fondo se recomienda formar un lecho de piedras pequeñas, con un espesor de por lo menos 50 centímetros.

4) Zanjas de infiltración

Están formadas por zanjas en las que se colocan tuberías perforadas y a junta abierta y a una profundidad preestablecida, creando las facilidades necesarias de manera que se pueda producir la infiltración del efluente de la fosa séptica y que el mismo sea estabilizado antes de alcanzar el manto de las aguas subterráneas y las pueda contaminar.

En el fondo de las zanjas se coloca un lecho de grava, cuyo espesor es de por lo menos 10 centímetros y cubrirá totalmente a las tuberías hasta una altura de 5 centímetros. Si el tiempo de infiltración es superior a los 60 minutos, no se recomienda la construcción de las zanjas. La capacidad de un sistema de infiltración para su funcionamiento correcto a largo plazo varía con los siguientes factores: la calidad del efluente aplicado, el caudal, la cantidad de oxígeno existente en el interior de la zanja y en la interfase del terreno, la temperatura, etc.

Cuando el terreno presenta las condiciones idóneas, se construye adecuadamente y se brinda una buena operación al sistema las zanjas constituyen un método muy sencillo y eficaz. El tratamiento que se consigue en los sistemas de infiltración se produce 1) al circular el efluente a través y por encima del medio poroso dispuesto en las zanjas 2) al infiltrarse en el terreno 3) al darse la precolación en el terreno.

El tratamiento en el lecho de grava se produce por la combinación de una serie de mecanismos físicos, biológicos y químicos. Si la inundación es permanente, el medio poroso actúa como un filtro anaerobio sumergido, mientras que si la aplicación es periódica, actúa como un filtro percolador aerobio.

En las zanjas de un sistema de infiltración, las superficies de infiltración son las dos paredes laterales y el fondo de la zanja. Sin embargo, antes de que las paredes laterales sean efectivas, es necesario que el desarrollo de la biopelícula en la superficie del fondo sea el suficiente como para provocar el encharcamiento de la zanja, esto se produce, cuando el caudal aplicado es superior a la velocidad de

aceptación de la biopelícula a largo plazo. El desarrollo de la biopelícula en las paredes de la zanja es menor que en el fondo de la zanja puesto que en el, los sólidos tienden a sedimentar y a acumularse, por lo que el gradiente hidráulico en las paredes es variable. Por este motivo, se requiere considerar la superficie de absorción para cada localidad en el diseño de estos sistemas. Para ello se recomienda ensayos de precolación para determinar las dimensiones necesarias del sistema de infiltración sobre el terreno.

5). Zanjas de Filtración

Este sistema consiste en dos canalizaciones superpuestas, existiendo entre ellas una capa de arena que sirve como lecho de filtración. La tubería superior es de distribución, mientras que la interior es de recolección y conduce el agua filtrada a su disposición final, usualmente a una corriente superficial.

Este sistema es empleado en lugares en los que las características del terreno no permiten una infiltración satisfactoria. La extensión de las zanjas debe ser de 6 metros por persona como mínimo y en ningún caso debe haber menos de dos zanjas por cada fosa séptica, el distanciamiento entre zanjas debe de ser de 1 metro.

6). Filtros intermitentes de Arena

Los filtros intermitentes de arena son lechos de arena poco profundos (de 600 a 760 mm) provistos de un sistema de distribución superficial y un sistema de drenaje inferior. El efluente de la fosa séptica se aplica periódicamente sobre la superficie del lecho de arena. El líquido tratado se recoge en el sistema de drenaje inferior situado en la solera del filtro. El efluente del filtro se suele descargar a un sistema de infiltración o se desinfecta y se vierte a aguas superficiales. La mayoría de los filtros intermitentes de arena están enterrados, aunque también pueden emplearse filtros abiertos al aire libre. En un filtro intermitente de arena, el tratamiento del efluente se produce mediante transformaciones físicas, químicas y biológicas. La eliminación de

los sólidos suspendidos se lleva a cabo, por arrastre mecánico debido a choques aleatorios y por sedimentación.

7). Filtros de Medio Granular con Recirculación en Sistemas Centralizados

Un filtro de medio granular con recirculación se diferencia de los filtros intermitentes de arena básicamente por: 1) el efluente de una fosa séptica u otra unidad de tratamiento se recircula a través del filtro de medio granular 2) el tamaño efectivo del medio filtrante es mayor (arena gruesa o grava fina) y 3) la carga basada en el caudal del efluente es mayor. Estos filtros, son empleados para conseguir un mejor nivel de tratamiento.

El efluente que sale de la fosa séptica y entra en un tanque de recirculación suficientemente grande para almacenar la mitad o la totalidad del caudal medio diario, el agua residual es impulsada por una bomba ubicada en el interior del tanque de recirculación hacia el filtro de arena, el efluente se aplica sobre el filtro durante 5 minutos cada media hora, este se retorna al tanque de recirculación. El nivel de olores, caso de existir, es bajo, debido a que el efluente de la fosa séptica entra en el tanque que contiene un fluido tratado y oxigenado.

Normalmente, la concentración de oxígeno en el tanque de recirculación será superior a los 5 mg/L. Luego de que el nivel del líquido alcanza el del flotador de la válvula, el efluente del filtro se conduce a un pozo para su disposición final.

8). Filtro Lento de Arena

Estos funcionan de manera adecuada con aguas residuales de baja turbiedad, que no sobrepasen las 10 unidades de Turbides (UT) ya que mayores turbiedades pueden causar colmatación de los filtros lo cual implica mayor frecuencia en la limpieza de los mismos, lo cual conlleva a un incremento en la carga de trabajo y una disminución en la producción del agua.

Componentes del filtro:

- 1) Capa sobrenadante de agua
- 3) Lecho de arena fina
- 4) Sistema de drenaje
- 5) Estructura de entrada y salida
- 6) Dispositivos de regulación y control

9). Filtros Percoladores

Los filtros percoladores modernos consisten en lechos formados por un medio filtrante sumamente permeable que puede ser de piedras, materiales plásticos, o madera de relleno. al cual se adhieren los microorganismos y a través del cual se percola el agua residual. Los filtros percoladores de piedra suelen ser circulares y tienen un distribuidor rotatorio que dispensa el agua residual por la parte superior del filtro. Los filtros que emplean lechos de material plástico suelen tener diversas formas. Los filtros incluyen un sistema de drenaje inferior para recoger el líquido tratado y los sólidos biológicos que se hayan separado del medio.

10). Tanques de Sedimentación

Estos tanques tienen como finalidad eliminar los sólidos fácilmente sedimentables y el material flotante presente en el agua residual y por lo tanto reducir el contenido de sólidos en suspensión.

Los tanques de sedimentación sirven entre otros aspectos para la eliminación de: sólidos sedimentables capaces de formar depósitos de fango en aguas receptoras, aceite, grasas y otras materias flotantes y parte de la carga orgánica vertida en las aguas receptoras. Cuando los tanques de sedimentación se utilizan como paso previo al tratamiento biológico tienen como función reducir la carga afluente a las unidades de tratamiento.

Normalmente, el tiempo de retención de los tanques de sedimentación oscila entre 1.5 y 2.5 horas para el caudal medio del agua residual. Los efectos de la temperatura generalmente no son importantes. Estos suelen dimensionarse en función de la carga de superficie (m^3/d). El efecto de la carga superficial y del tiempo de detención sobre la eliminación de sólidos suspendidos varía ampliamente en función de la caracterización del agua residual a tratar.

11). Filtro Anaerobio

El filtro anaerobio es básicamente una columna rellena de diversos tipos de medios sólidos que se utilizan para el tratamiento de materia orgánica carbonosa contenida en el agua residual. El agua a tratar fluye en sentido ascendente, entrando en contacto con el medio sobre el que se desarrollan y fijan las bacterias anaerobias. Dado que las bacterias están adheridas al medio y no son arrastradas por el efluente, pueden obtenerse tiempos medios de retención celular del orden de cien días.

2.2.3.2 ELIMINACIÓN DEL FÓSFORO POR ADICIÓN QUÍMICA

La precipitación química con sales metálicas es una forma de eliminación del fósforo. Los principales productos químicos empleados con esta finalidad son la alumina, el aluminato de sodio, el cloruro férrico y la cal.

También se utiliza el sulfato ferroso y el cloruro ferroso. Los fosfatos son precipitados por la adición de cal o compuestos de aluminio o hierro, conocidos como coagulantes. Luego se separa el precipitado en una unidad de sedimentación.

Este proceso elimina principalmente los ortofosfatos ya que los polifosfatos son más difíciles de separar.

2.2.3.1 ADICIÓN DE SALES METÁLICAS EN INSTALACIONES DE TRATAMIENTO PRIMARIO

Al añadir sales de aluminio o de hierro al agua residual, reaccionan con el ortofosfato soluble para producir un precipitado. El fósforo orgánico y el poli fósforo se eliminan

mediante reacciones más complejas y por adsorción sobre partículas floculadas. En la decantación primaria se elimina el fósforo no soluble, así como cantidades considerables de DBO y sólidos en suspensión, en forma de fango primario.

2.2.3.2 ADICIÓN DE SALES METÁLICAS EN INSTALACIONES DE TRATAMIENTO SECUNDARIO

La eliminación del fósforo mediante la precipitación química puede lograrse agregando sales metálicas al agua residual, los principales puntos de eliminación pueden clasificarse en:

- 1) Pre-precipitación
- 2) Co-precipitación
- 3) Posprecipitación

Las sales metálicas se pueden añadir al agua residual en el tanque de aireación de fangos activados o al canal de entrada a la decantación final. En los sistemas de filtros percoladores las sales se añaden al agua residual bruta o al efluente del filtro.

También se han utilizado sistemas de adición en múltiples puntos. El fósforo se elimina de la fase líquida por combinación de los mecanismos de precipitación, absorción, intercambio y aglomeración, y se elimina el proceso con el fango primario, fango secundario o con ambos. Teóricamente, la solubilidad mínima de AlPO_4 se presenta cuando el pH es de 6.3 y la del FePO_4 ocurre al pH de 5.3; sin embargo, la aplicación práctica del proceso ha producido buenos rendimientos de eliminación de fósforo para cualquier pH situado entre 5.5 y 7.0, valores compatibles con cualquier proceso de tratamiento biológico.

2.2.3.2.1 CALCIO

El calcio se suele añadir en forma de cal Ca(OH)_2 . A partir de la ecuación se puede observar que al añadir cal al agua, reacciona con la alcalinidad natural del carbonato

para precipitar CaCO_3 . Cuando el pH del agua residual alcanza valores por encima de 10, el exceso de iones calcio reaccionara con el fosfato para precipitar hidroxilapatita ($\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2$).



Debido a que la cal reacciona con la alcalinidad del agua residual, la cantidad de cal necesaria será prácticamente independiente de la cantidad de fósforo presente en el agua, y será función, fundamentalmente, de la alcalinidad del agua. La cantidad de cal necesaria para la precipitación del fósforo en el agua residual suele ser de 1,4 a 1,5 veces la alcalinidad total expresada en CaCO_3 . La coprecipitación no es posible debido a que se requiere de valores altos de pH. Al añadir cal al agua residual cruda o al efluente de un tratamiento secundario, suele ser necesario realizar un reajuste del pH antes de proceder a la evacuación o al tratamiento posterior del agua. Para reducir el valor del pH suele recarbonatarse el agua con CO_2 .

Al añadir la cal, los iones de calcio y ortofosfato forman hidroxilapatita ($\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3(\text{OH})$), y como la cal no es una sal de calcio, el proceso no introduce solutos adicionales indeseables en las aguas residuales.

No obstante se requiere un valor alto del pH, y puede que haya que corregirlo antes del tratamiento biológico, lo cual es posible realizarlo, inyectando anhídrido carbónico que produce un precipitado de carbononato de calcio.

2.2.3.2.2 SULFATO DE ALUMINIO

La sal de aluminio utilizada para la eliminación del fósforo es el sulfato prehidratado de aluminio o $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 14\text{H}_2\text{O}$. La ecuación química de la reacción del sulfato de aluminio con el los fosfatos es la siguiente:



Los factores que realmente afectan a la cantidad de sulfato de aluminio necesario para alcanzar una determinada eliminación del fósforo, están relacionados con la alcalinidad y el pH final del efluente, constituyentes iónicos como sulfatos, fluoruros, sodio, etc., la cantidad y naturaleza de los sólidos suspendidos, contenido de microorganismos, intensidad de la agitación en el mezclado y otras condiciones físicas propias de las instalaciones de tratamiento. El pH óptimo para la adición del sulfato de aluminio se encuentra entre 5.5 a 6.5, pero los efluentes típicos poseen rangos de pH que varían entre 6.0 y 9.0. Los iones de aluminio se añaden en forma de alumbre, sulfato de aluminio hidratado, para precipitarse como fosfato de aluminio. El proceso causa un descenso del pH y la introducción en el agua de iones sulfato adicionales. El Aluminato de Sodio, NaAlO_2 , es una fuente alternativa de aluminio. Dicho aluminato precipita fosfato de aluminio, aumenta el pH e introduce iones sodio adicionales.

2.2.3.2.3 CLORURO FÉRRICO

El cloruro férrico y los sulfatos ferroso y férrico son las sales de hierro utilizadas en la precipitación del fósforo, lo que causa el descenso del pH y la introducción del anión apropiado.

La ecuación química asociada con la reacción del cloruro férrico con el fosfato es :



El cloruro férrico es más efectivo en la eliminación de los fosfatos cuando el pH del líquido se encuentra entre valores de 4.5 a 5.0, aunque los valores típicos sean de 7 a 9.

2.2.3.3 REMOCIÓN BIOLÓGICA DEL FÓSFORO

El fósforo esta presente en el agua residual en forma de ortofosfato, polifosfato y formas orgánicas del fósforo. Los dos últimos términos engloban hasta el 70% del fósforo contenido en el agua residual. Los microbios utilizan el fósforo para la síntesis

celular y en el transporte de energía. Como consecuencia de ello, entre el 10 y 30 % del fósforo presente se elimina en tratamiento biológico secundario. Para conseguir niveles de fósforo bajos en el efluente, es necesario eliminar más cantidad de la estrictamente necesaria para el mantenimiento y síntesis celular. El factor crítico en la eliminación biológica del fósforo es la exposición de los organismos a secuencias alternadas de condiciones aerobias y anaerobias.

Uno de los principales organismos responsables de la eliminación del fósforo son acinetobacter. Estos organismos liberan el fósforo almacenado como respuesta, en condiciones anaerobias, a la presencia en el agua residual de ácidos grasos volátiles (AGV). En su competencia por la supervivencia con los organismos heterótrofos, los AGV son un sustrato importante para las acinetobacter. Cuando una zona aeróbica sigue a una zona anaerobia, los organismos consumen mayores cantidades de fósforo de lo habitual. Los microorganismos no solo utilizan el fósforo para el mantenimiento y síntesis celular y transporte de energía sino que también lo almacenan para su uso posterior

Para la remoción de fosfatos se han desarrollado procesos para las aguas residuales que utilizan la capacidad de algunos microorganismos de absorber un exceso de fósforo de sus requerimientos nutricionales inmediatos y almacenarlo en la célula microbiana bajo la forma de polifosfatos. Dichos polifosfatos se eliminan luego del sistema, ya sea en la purga del fango o en el tratamiento de la línea auxiliar. La exposición a condiciones aerobias y anaerobias alternadas se puede conseguir en el proceso de tratamiento biológico principal o corriente principal, o en la línea de recirculación de fango o corriente auxiliar. Estos procesos son: (1) el proceso A/O (patentado) para la eliminación del fósforo en la línea principal y (2) el proceso PhoStrip (patentado) para la eliminación del fósforo en la línea auxiliar.

En la Tabla 2.5 se presenta una comparación general entre los procesos de eliminación biológica del fósforo.

2.2.3.3.1 Proceso A/O

El proceso A/O es un sistema de cultivo en suspensión de fango único que combina secuencialmente etapas aerobias y anaerobias (Ver Figura 2.2). Bajo condiciones anaerobias, el fósforo presente en el agua residual y en la masa celular recirculada se libera en forma de fosfatos solubles. En esta etapa, también se produce una cierta eliminación de DBO. Luego el fósforo es asimilado por la masa celular de la zona aerobia. La concentración de fósforo del efluente depende principalmente, de la relación DBO/fósforo en el agua residual a tratar. Se ha observado que cuando esta relación es superior a 10:1, se pueden alcanzar concentraciones de fósforo soluble en el efluente iguales o inferiores a 1 mg/L. En los casos en los que la relación DBO/fósforo es inferior a 10:1, para conseguir concentraciones bajas de fósforo en el efluente, se pueden añadir sales metálicas al proceso.¹⁶

2.2.3.3.2 Proceso Phostrip

En el proceso “Phostrip”, se utilizan organismos de los lodos activados como un análogo biológico del solvente en un proceso de extracción por solventes. Los organismos de los lodos absorben el fósforo mientras estén en contacto con las aguas residuales influentes en la etapa de aeración de un sistema convencional de lodos activados. Parte del retorno de lodos activados del clarificador se desvía entonces a un recipiente anóxico con un tiempo de retención que varía entre 8 y 10 horas.

Durante este periodo anóxico, se libera dentro del líquido el fósforo almacenado en los lodos y también se asientan los sólidos de los lodos. (Ver figura 2.3).

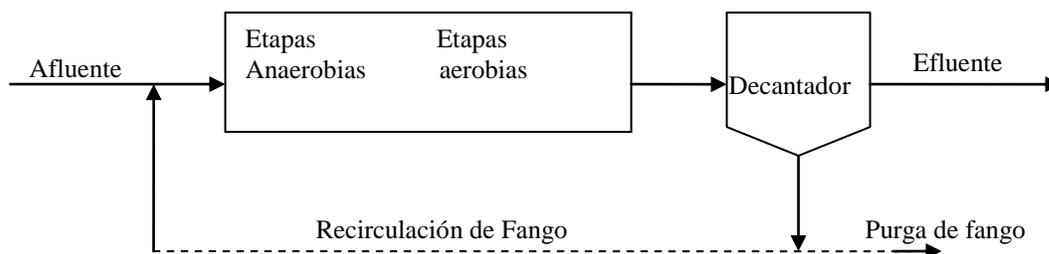


Figura 2.2 Proceso A/O

Fuente: Metcalf & Eddy "Ingeniería de Aguas Residuales 3^{ra} edición, 1996"

Los lodos separados y decantados se regresan a la etapa de aeración, donde se absorben nuevamente el fósforo de las aguas residuales influentes y se repite el proceso. El fósforo separado está contenido en el líquido sobrenadante del separador, y se elimina por un tratamiento corriente por cal. A pesar de que el proceso requiere un tratamiento de coagulación, la corriente del separador representa aproximadamente 15% del flujo total de las aguas residuales, de modo que resulta un ahorro considerable debido al volumen mucho menor del líquido tratado.

El sobrenadante del clarificador de tratamiento por cal se regresa a la parte inferior del recipiente separador para proporcionar un flujo de elutriación a contra corriente que arrastre el fósforo liberado de los lodos. El producto neto del proceso está formado por un lodo químico de hidroxapatita.

Los datos procedentes de una prueba en gran escala, reportados²⁷ por Matsch y Drnevich (1988) indican una remoción de fósforo de aproximadamente 90% de una concentración influente de fósforo que promedia 9 g/m³.

²⁷ Winkler, M "Tratamiento Biológico de Aguas Residuales" México, D.F., 1990.

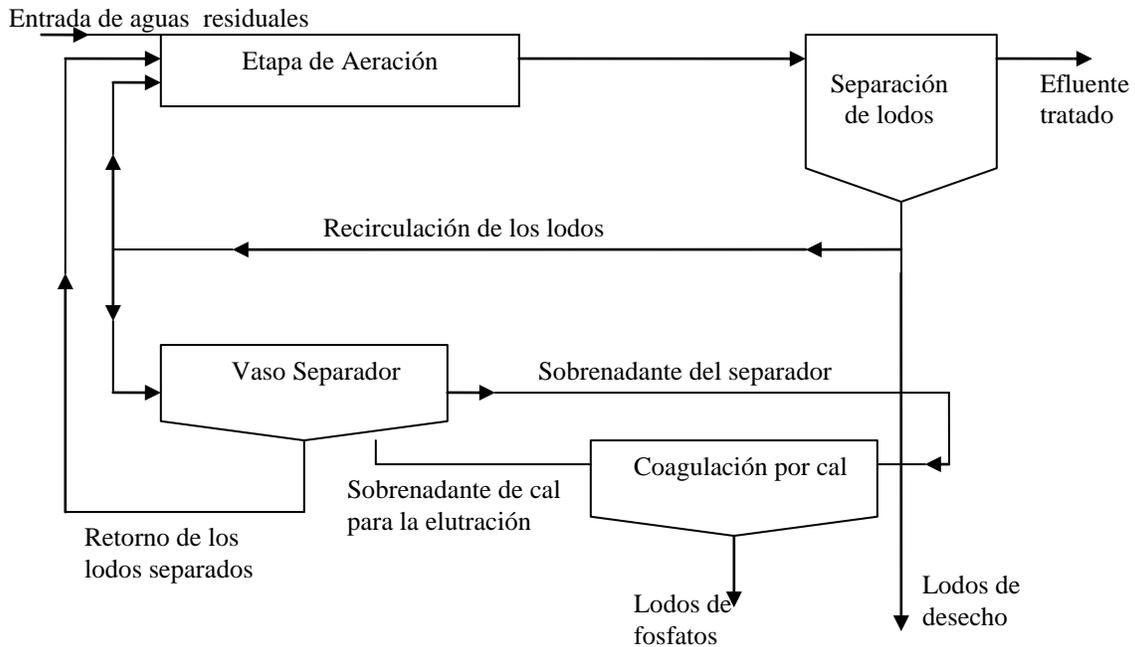


Fig. 2.3 Esquema de Proceso "Phostrip"
 Fuente: Metcalf & Eddy "Ingeniería de Aguas Residuales 3^{ra} edición, 1996"

2.2.3.4 ELIMINACIÓN DE FOSFATOS AGREGANDO POLÍMEROS

Para la eliminación de fosfatos contenidos en el agua residual es posible el empleo de polímeros combinados con sales de hierro y aluminio ha proporcionado resultados satisfactorios

En algunos casos, tales como el uso de filtros percoladores y los procesos de fangos activados de aireación prolongada, los sólidos pueden no flocular y sedimentar correctamente en los decantadores secundarios. Este problema de sedimentabilidad puede agravarse en plantas sobrecargadas. La adición de sales de aluminio o de hierro dará lugar a la precipitación de hidróxidos metálicos o fosfatos, o de ambos. Las sales de aluminio y de hierro, junto con ciertos polímeros orgánicos, también pueden emplearse para coagular partículas coloidales y para mejorar los rendimientos de eliminación de los filtros.

Los polímeros pueden añadirse en la decantación secundaria en los siguientes puntos: en la zona de mezclado de un decantador intensamente mezclado o con recirculación interna; antes de un mezclador estático o dinámico o en un canal aireado. A pesar de que con polímeros se han empleado tiempos de mezcla entre 10 y 30 segundos, es preferible emplear tiempos de mezcla mas cortos. Los polímeros no deben someterse a un mezclado insuficiente ni excesivo, pues ello reduce la eficacia del proceso, lo cual da lugar a deficientes características de sedimentación y espesamiento.

Con el objeto de provocar la agregación entre partículas, deben tomarse las precauciones necesarias para reducir la carga de superficie de las mismas o bien superar el efecto de dicha carga, la cual se desarrolla de varias maneras según la composición química del agua residual y del coloide.

La reducción de dicha carga puede conseguirse mediante los siguientes mecanismos:

- 1) Adición de moléculas orgánicas de cadena larga (polímeros).
- 2) Adición de productos químicos que formen iones metálicos hidrolizados.

Los poli-electrólitos aplicables al tratamiento de aguas residuales, pueden dividirse en naturales y sintéticos.

La acción de los polímeros puede dividirse en tres categorías generales:

- 1) Los poli-electrólitos actúan como coagulantes rebajando la carga de las partículas.
- 2) La segunda forma de acción es: la formación de puentes entre las partículas.
- 3) El tercer tipo de acción puede clasificarse como una acción de coagulación-formación de puentes.

Tabla 2.5 Ventajas y Desventajas de procesos biológicos de Eliminación del fósforo.

Proceso	Ventajas	Desventajas
A/O	Operación sencilla comparada con otros procesos. El fango purgado tiene un contenido en fósforo relativamente alto (3-5%) y tiene cierto valor como fertilizante. Tiempo de retención hidráulica relativamente corto	Proceso incapaz de conseguir simultáneamente niveles elevados de eliminación de fósforo y nitrógeno. Es necesaria una relación DBO/P elevada. No se dispone de gran flexibilidad en el control del proceso.
PhoStrip	Proceso flexible; el proceso de eliminación de fósforo no está gobernado por la relación DBO/P Consumo de reactivos muy inferior al de plantas de precipitación en la línea principal. Permite conseguir de forma consistente concentraciones de fosfato en el efluente inferiores a 1.5 mg/L.	La precipitación de fósforo implica la adición de cal. Para evitar la liberación de fósforo en el decantador final es necesario disponer de cantidades altas de OD en el líquido mezcla. La respiración anaerobia precisa tanques adicionales Pueden darse problemas de mantenimiento por incrustación.

Fuente: Metcalf & Eddy "Ingeniería de Aguas Residuales 3^{ra} edición, 1996 "

2.3.0 PROYECTO DE TRATAMIENTO.

Para el desarrollo del proyecto de tratamiento deben considerarse entre otros factores, la influencia de los caudales y las cargas contaminantes del proyecto. Es en ese sentido, que se han realizado las encuestas, como instrumento de medición para estimar estos parámetros de acuerdo a la frecuencia de lavado y la cantidad estimada de detergentes, jabones y lejías vertidas en las aguas del Río San Antonio en el sector Tres Piedras y el agua consumida para la actividad de lavado de ropa, aunque es importante hacer notar que en la actualidad, es la totalidad del caudal del río el que se contamina al realizar dicha actividad. Sin embargo, para el proyecto de reubicación de los lavaderos públicos, este factor es importante pues nos da el caudal medio del agua residual.

2.3.1 EVALUACIÓN Y DETERMINACIÓN DE LOS CAUDALES DEL PROYECTO

El proceso de evaluar y determinar los caudales del proyecto hace necesario obtener caudales medios basados en la población actual y las predicciones de población futura, contribución de aguas industriales y la influencia de la infiltración y las aportaciones incontroladas ¹⁶. Posterior a la determinación de los caudales medios, estos se multiplican por una serie de factores de punta para obtener los caudales punta del proyecto. En la Tabla 2.6, se describen los factores de carga y caudales que poseen importancia para el proyecto y las instalaciones de la planta de tratamiento.

Para la obtención de los caudales medios así como de los caudales punta es necesario tener en cuenta los siguientes factores:

- 1) Obtención y predicción futura de caudales medios diarios
- 2) Criterios empleados para la elección de los factores de punta
- 3) Aplicación de los factores de punta y de caudal mínimo
- 4) Elementos de control de los caudales punta existentes aguas arriba de la planta que puedan afectar el diseño de la misma

Los caudales mínimos son muy importantes en el dimensionamiento tanto de las estaciones de bombeo como de las plantas de tratamiento sobretodo durante los primeros años de funcionamiento.

En caso en que los caudales son muy pequeños durante la noche, puede contemplarse la posibilidad de reciclar el efluente tratado para mantener el proceso.

Tabla 2.6 Caudales y factores de carga típicos empleados para el proyecto y explotación de plantas de tratamiento de aguas residuales

Factor	Aplicación
	Basado en el caudal
Hora punta	Dimensionamiento de instalaciones de bombeo y conducciones. Dimensionamiento de operaciones físicas unitarias: desarenadores, tanques de sedimentación y filtros,
Máximo diario	Dimensionamiento del Bombeo de fangos
> que el máximo diario	Almacenamiento de arenas y residuos eliminados en el proceso de tamizado
Máximo semanal	Elaboración de registros de datos e informes
Máximo mensual	Elaboración de registros de datos e informes, dimensionamiento de los depósitos de almacenamiento
Mínimo horario	Paro de los grupos motobombas y valor inferior del intervalo de medida del caudalímetro de la planta
Mínimo diario	Dimensionamiento de los canales de interconexión, para evitar la deposición de sólidos, dimensionamiento de los sistemas de recirculación para filtros percoladores
Mínimo mensual	Elección del número mínimo necesario de unidades de proceso durante los periodos de caudales reducidos.
	Basado en la carga contaminante
Máximo diario	Dimensionamiento de unidades de tratamiento biológico
> que el máximo diario	Dimensionamiento de sistemas de espesamiento y deshidratación de fangos
Basado en el caudal	Dimensionamiento de las unidades de tratamiento de fango
Mínimo mensual	Dimensionamiento de instalaciones de almacenamiento del fango dimensionamiento de las instalaciones de compostaje. Necesidades de paro del proceso
Mínimo diario	Dimensionamiento del sistema de recirculación en filtros percoladores

Fuente: Metcalf & Eddy "Ingeniería de Aguas Residuales 3^{ra} edición, 1996

El método mas extendido para la determinación de los factores de punta se basa en los datos de caudales, los cuales si se dispone de ellos es necesario analizarlos con un periodo mínimo de 2 años, para obtener factores punta. Si los registros de caudales resultan inadecuados pueden emplearse curvas para estimar el caudal máximo horario para aguas residuales de origen domestico.

2.3.1.1 Criterios para los Factores de punta

El análisis de los datos del agua residual implica la determinación de las variaciones de los caudales y de las cargas contaminantes. El análisis puede implicar la determinación de los valores correspondientes a medias simples, integradas o proporcionalmente al caudal de las concentraciones de contaminantes específicos y de las cargas contaminantes horarias o mantenidas.

Para el caso de los lavaderos públicos del municipio de Nejapa, se hizo un esfuerzo para obtener datos sobre la afluencia de usuarios a los lavaderos del sector tres piedras y de las cantidades de detergentes, lejías, jabones, etc., que son vertidas directamente al río al realizar labores de lavado y limpieza personal.

En la Tabla 2.7, se muestran cantidades de agua requeridas para el lavado de ropa, estimadas durante un proceso de ensayo para diferentes prendas de vestir. Con los datos de la Tabla 2.7 y con la información sobre el número de integrantes del grupo familiar y la dinámica demográfica de la población de Nejapa, es posible estimar de manera aproximada, los caudales necesarios para satisfacer la demanda de los usuarios de los lavaderos públicos para el lavado de ropa.

En la grafica 2.5, se presentan el número de miembros que conforman el grupo familiar de los usuarios de los lavaderos públicos. En general, el grupo familiar de los usuarios de los lavaderos esta conformado mayoritariamente por 4 y 5 miembros. Con este dato y considerando que el usuario de los lavaderos, utiliza los mismos, 3

veces por semana en promedio, puede estimarse que el consumo medio diario de agua por usuaria de los lavaderos públicos del Río San Antonio es aproximadamente de 143 L/d.

Tabla 2.7 Requerimientos de agua para lavado de ropa

Tipo de Ropa	Agua consumida (litros/prenda)		
	Niño	Mujer	Hombre
Prenda de Vestir			
Camisa	5	-	8
Camiseta	6	-	9
Blusa	5	7	
Pantalón largo	7	8	10
Pantalón corto	4	6	6
Falda	4	5	-
Vestido	9	10	-
ropa interior	4	5	5
Toallas	10	10	10
Ropa de cama	12	12	12

Fuente: Elaboración propia, grupo de investigación.

Con los datos aproximados de consumo de agua para el lavado de la ropa y el número de miembros por familia, puede estimarse que la demanda de agua requerida semanalmente.

En la Tabla 2.8, se calcula el gasto de agua por usuario para el lavado de ropa de su grupo familiar en una semana.

Tabla 2.8 Gasto de Agua por Usuario de los Lavaderos

	Miembro 1	Miembro 2	Miembro 3	Miembro 4	L/semana
Diario(L)	23	19	16	17	525
Ropa de cama y toallas	34	34	34	34	136
Total (L/usuario)	57	53	50	51	661

Fuente: Elaboración propia, grupo de investigación.

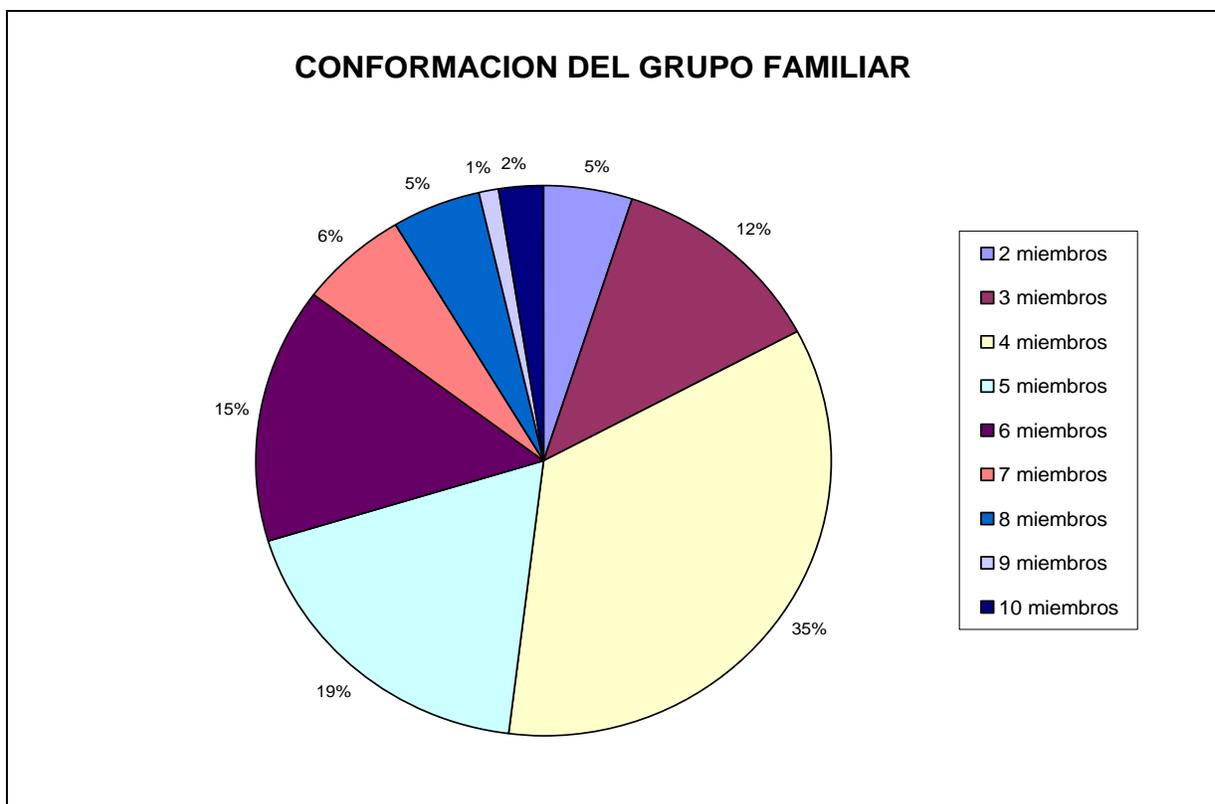


Grafico 2.5 Grupo familiar de los Usuarios de los lavaderos.

Según valores típicos de caudales para diversas actividades domesticas¹⁶ puede observarse que el valor estimado de acuerdo a los ensayos de lavado no difiere sustancialmente, como puede verse en la Tabla 2.9.

Tabla 2.9 Valores Típicos para desarrollo de actividades domesticas

Actividad	Unidad	Intervalo	Valor típico
Lavado de ropa	L/lavado	75-190	115
Baño	L/baño	75-115	90

Fuente: Metcalf & Eddy "Ingeniería de Aguas Residuales"

Con el fin de determinar en su globalidad, el agua requerida por los usuarios de los lavaderos, debe considerarse además el agua que se requiere para higiene personal.

Se estima un promedio de 5 veces por semana de uso del río para bañarse, en ese sentido puede calcularse un promedio de 450 L/habitante, semanal tomando como base el valor típico de la Tabla 2.9.

La metodología empleada para determinar la afluencia de usuarios a los lavaderos públicos consistió en la observación por periodos regulares durante los diferentes días de la semana, en general desde las 8:00 am. hasta las 5:00 pm., hora a la cual prácticamente, se encuentran muy pocos usuarios.

Estas observaciones se realizaron tanto para época seca como época lluviosa y el número de usuarios de los lavaderos públicos en época seca muestra un incremento.

Los valores que se presentan en la Tabla 2.10, son los de los usuarios que llegan al lugar en la mañana (8-12 p. m) y tarde (1-5 pm.).

2.3.2 EVALUACIÓN DE LA CARGA CONTAMINANTE

La evaluación y la determinación de las cargas contaminantes de proyecto conllevan a la determinación de variaciones en las concentraciones de los constituyentes del agua residual; el análisis de las cargas contaminantes y en algunos casos, el efecto de compuestos tóxicos y contaminantes inhibidores.

Los principales factores que influyen en las variaciones de las cargas¹⁶ son:

1. Las costumbres de los residentes de la población que producen variaciones a corto plazo (horarias, diarias y semanales)
2. Condiciones de carácter estacional (Variaciones a mayor plazo)

Tabla 2.10 Afluencia de usuarios a los lavaderos públicos.

ACTIVIDADES DE LAVADO DE ROPA E HIGIENE PERSONAL							
ÉPOCA SECA							
Afluencia a los lavaderos	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo
Mañana	36	44	32	38	40	48	34
Tarde	40	23	26	34	16	32	16
Total diario	76	67	58	72	56	80	50
ÉPOCA LLUVIOSA							
Afluencia a los lavaderos	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo
Mañana	48	56	46	42	44	56	46
Tarde	42	38	32	39	26	44	30
Total diario	90	94	78	81	70	90	86

Fuente: Elaboración propia según datos del instrumento de medición.

2.3.2.1 CARGAS CONTAMINANTES

1). Cargas Contaminantes Medias

Las cargas contaminantes de los diferentes componentes se expresan en kilogramos/día y su cálculo es posible mediante la siguiente ecuación:

$$\text{Carga contaminante, g/día} = (\text{concentración, kg/m}^3) (\text{Caudal, m}^3/\text{d}) / (10^3)(\text{g/kg.})$$

2). Cargas Contaminantes punta Mantenido

Se emplean para proyectar procesos de tratamiento que funcionen adecuadamente bajo condiciones de carga variable, para ello debe disponerse de datos sobre las puntas duraderas de las cargas contaminantes de los constituyentes cuya presencia este prevista. En los casos, en que se carezca de datos pueden emplearse curvas

típicas para DBO, SS, NKT (Nitrogeno Kjeldhal Total), Amoniaco y Fósforo. (Ver Anexo 2.7).

El procedimiento que se sigue para la obtención de estas curvas consiste en:

- 1) Determinar la carga media para el periodo de estudio
- 2) Buscar registros históricos sobre carga diaria mantenida máxima y mínima
- 3) Se dividen estos valores por la carga media y se plotean en una grafica.

Para el caso de este estudio en particular, el insumo básico fue el instrumento de medición empleado, del cual pudo estimarse mediante algunos cálculos información fundamental sobre los diferentes contaminantes vertidos al río en la zona de los lavaderos públicos. En el Anexo 2.6 se muestra información sobre las cantidades de detergentes, jabones, lejías, etc. Que se vierten al río por los usuarios de los lavaderos en unidades de g/semana y L/semana.

2.3.2.2 CONSTITUYENTES CONTAMINANTES

Entre los factores de aportación unitaria a la contaminación¹⁶ se encuentran los sólidos totales del agua residual provenientes del agua de abastecimiento y de sus usos domésticos, industriales y comerciales, así como de la infiltración de agua subterránea y fuentes no localizadas.

En la Tabla 2.11 se resumen datos sobre las cantidades diarias de sólidos secos por habitantes procedentes de diversas fuentes. Estos datos, en ausencia de vertidos industriales se consideran bastante acertados.

Los sólidos del agua residual domestica incluyen los procedentes de lavabos, retretes, baños, lavanderías, ablandadores de agua, etc. Cuando no se cuenta con

un estudio de caracterización del agua residual y no se dispone de otros datos (registros históricos, etc.), es factible estimar las cargas totales empleando factores de contaminación per -capita.

Considerando el caso particular, de los lavaderos del río San Antonio, se tienen los datos de productos mas empleados por los usuarios de los mismos, es en ese sentido que se ha elaborado una Tabla que contiene los principales ingredientes de los detergentes y jabones vertidos en el río, que son finalmente los contaminantes de las aguas superficiales del municipio (Ver Tabla 2.12)

Tabla 2.11 Estimación del contenido de sólidos totales (Disueltos y suspendidos) del agua residual

Componente	Peso seco, g/hab.día (Valor Típico)
Residuos domésticos	
Heces (sólidos 23%)	40
Residuos de Alimentos	50
Fregaderos, baños, lavadoras y otras fuentes de agua de lavado domestico	90
Inodoros (incluido papel)	20
Orina (sólidos, 3.7%)	50
Ablandadores de agua	^a
Total correspondiente al agua residual domestica excluyendo ablandadores de agua	250
Aguas Pluviales	30 ^b

Fuente: Metcalf & Eddy "Ingeniería de Aguas Residuales 3^{ra} edición, 1996".

a Variable

b Presenta variaciones estacionales

En el anexo 2.7 se observa los valores típicos de la relación entre las cargas contaminantes punta y mínima sostenidas y la carga media para:

(a) DBO

(b) Sólidos en suspensión

(c) Nitrógeno y fósforo.

Entre los componentes de los productos vertidos al río, pueden mencionarse los siguientes:

1) Agentes Tensoactivos

Los agentes tensoactivos están formados por moléculas de gran tamaño, ligeramente solubles en agua, y que son responsables de la aparición de espumas en las plantas de tratamiento y en la superficie de los cuerpos de agua receptores de los vertidos de agua residual. Tienden a concentrarse en la interfase aire-agua. Los agentes tensoactivos también reciben el nombre de sustancias activas al azul de metileno (MBAS) equivalentes a SAAM según norma Salvadoreña. Antes de 1965, los agentes tensoactivos presentes en detergentes sintéticos (ABS, sulfato de alquilbenceno), eran fuente de muchos problemas debido a su resistencia a la descomposición por medios biológicos. Luego de la entrada en vigor de legislaciones que protegen el medio ambiente, los (ABS) fueron sustituidos por sulfatos de alquilo lineales (LAS), que son sustancias biodegradables, descritas en el capítulo I.

2) Tripolifosfato Penta sódico

Uno de los compuestos del detergente es el coadyuvante, de los cuales el más empleado es el tripolifosfato penta sódico (TPP). No obstante, a pesar de sus indudables ventajas y de que, en la actualidad, la casi totalidad de los procesos de fabricación de detergentes apoyan en la utilización de este compuesto, existen una serie de problemas que dificultan o tienden a limitar su uso. Por una parte se culpa al TPP de intensificar los problemas ecológicos derivados del incremento de la eutrofización de las aguas próximas a regiones muy pobladas y de elevado nivel de vida, ya sea en aguas dulces, en aguas costeras, en bahías o en el mar abierto.

3) Grasas

Las grasas y aceites animales se hallan entre los compuestos animales de mayor estabilidad y su composición por acción bacteriana no resulta sencilla. En presencia de algunas sustancias alcalinas tales como el hidróxido de sodio se libera la glicerina dando paso a la formación de sales alcalinas y ácidos grasos. Las sales alcalinas que se producen se conocen como jabones, que se obtienen mediante la saponificación de grasas de hidróxido de sodio y que como las grasas son sustancias estables. Los jabones son solubles en agua, pero en presencia de constituyentes de dureza, las sales sódicas se transforman en sales calcicas y magnésicas de ácidos grasos.

4) Otros Contaminantes

El detalle de los compuestos contaminantes contenidos en detergentes y jabones vertidos al río San Antonio por las usuarias de los lavaderos públicos pueden observarse en el Anexo 2.8. En el se muestran los componentes de algunos detergentes existentes en el mercado local.

2.3.3 ELECCIÓN DEL PROCESO DE TRATAMIENTO

El análisis y elección de los procesos de tratamiento que permitan cumplir con los rendimientos de eliminación establecidos en los permisos de vertido es uno de los aspectos más importantes del proyecto de una planta de tratamiento. Los factores más importantes en la elección de los procesos de tratamientos se presentan de manera abreviada en la Tabla 2.12.

Para nuestro caso en particular, es necesario valorar aquellos aspectos de la Tabla que se adapten a la realidad del proyecto y priorizar en los factores que sean más decisivos en el tratamiento de aguas grises.

Tabla 2.12 Factores importantes en la selección y evaluación de operaciones y procesos unitarios

Factor	Comentario
Potencial de aplicación del proceso	El potencial de aplicación de un proceso se evalúa en base a la experiencia anterior ya sean datos de plantas de tipo industrial y datos obtenidos en estudio de planta piloto. Si se presentan condiciones nuevas o no usuales, los estudios de planta piloto son fundamentales
Intervalo de caudal aplicable	Debe existir correspondencia entre el proceso y el intervalo de caudales esperados.
Variación del caudal aplicable	La mayoría de las operaciones y procesos unitarios trabajan mejor a caudal constante, a pesar de tolerar algunas variaciones, si esta es demasiado grande puede ser necesaria su regulación.
Características del agua a tratar	Las características del agua a tratar afectan a los tipos de procesos utilizables ya sean químicos o biológicos y las exigencias para su adecuada explotación
Constituyentes inhibidores y no afectados	Es necesario conocer el tipo de constituyentes que son potencialmente inhibidores y que están presentes; las condiciones en las cuales se manifiestan y cuales de estos constituyentes no se ven afectados por el tratamiento a realizar.
Limitaciones Climáticas	La temperatura afecta a la velocidad de reacción en la mayoría de procesos químicos y biológicos, y también puede afectar al funcionamiento de las operaciones físicas. Las temperaturas calidas pueden acelerar la aparición de olores y limitar la dispersión en la atmósfera
Eficacia	La eficacia se suele medir en función de la calidad del efluente, que debe estar de acuerdo con las exigencias formuladas respecto al vertido de efluentes.
Residuos del tratamiento	Es necesario conocer o estimar los tipos y cantidades de residuos sólidos, líquidos y gaseosos producidos. A menudo se hacen estudios en planta piloto para la adecuada identificación de los residuos generados.
Tratamiento del fango	La elección del sistema de tratamiento de los fangos debe estar estrechamente relacionada con la elección del sistema de tratamiento de la fracción líquida.
Limitaciones ambientales	Factores ambientales tales como la presencia de vientos, direcciones preferentes del viento, o la proximidad a núcleos de población, pueden implicar restricciones sobre la aplicabilidad de determinados procesos de tratamiento especialmente en el caso de procesos que pueden generar olores. Las aguas receptoras cuentan con limitaciones específicas que pueden precisar la eliminación de constituyentes específicos como los nutrientes.
Análisis cinético en la elección del tratamiento	El tratamiento de las aguas residuales se lleva a cabo en tanques o depósitos de diferentes tipos bajo condiciones controladas. Las transformaciones químicas o biológicas tienen lugar en reactores y los productos de las reacciones suelen separarse por decantación.
Necesidades químicas	Debe tenerse claridad sobre que recursos y en que cantidades serán necesarios para el desarrollo satisfactorio de las operaciones o procesos unitarios y la influencia que tiene la adición de productos químicos en las características de los residuos del tratamiento y costes del mismo.

Sigue ...

Cont... **Tabla 2.12**

Factor	Comentario
Necesidades Energéticas	Para proyectar sistemas de tratamiento con una relación coste-efectividad satisfactoria es necesario conocer las necesidades energéticas, así como el coste futuro de la energía.
Necesidades de otros recursos	Es necesario conocer cuales son los recursos adicionales que se requieren para el desarrollo satisfactorio del sistema de tratamiento propuesto, que incluye la operación o proceso unitario en cuestión
Necesidades de personal	Cantidad de personal requerido, nivel de preparación necesario para la explotación del proyecto u operación unitaria. ¿Tiempo factible para niveles de preparación requeridos y cursos de preparación necesarios?
Necesidades de mantenimiento Y Explotación.	Cuales son las necesidades de explotación y mantenimiento que deben ser cubiertas. Repuestos necesarios. Coste y disponibilidad.
Procesos auxiliares	Requerimientos de procesos auxiliares y como afectan la calidad del efluente, especialmente cuando devienen inoperantes
Fiabilidad	¿Cuál es la fiabilidad a largo plazo de la operación o proceso unitario en cuestión? ¿Puede desestabilizarse fácilmente? ¿Puede hacer frente a cargas de choque periódicas? Si es así, ¿Cómo afectan estas circunstancias a la calidad del efluente?
Complejidad	Grado de dificultad que presenta la explotación del proceso, tanto en cuestiones rutinarias como de emergencia y que nivel de preparación de los operarios se requiere.
Compatibilidad	¿Pueden emplearse de manera satisfactoria las operaciones y procesos unitarios en conjunción con las instalaciones existentes? ¿Puede ampliarse la planta de manera sencilla?
Disponibilidad de espacio	Debe preverse si existe espacio suficiente, no solo para la implantación de las instalaciones que se están estudiando sino para ampliaciones futuras. Que superficie de terreno hay disponible para minimizar el impacto visual de la construcción de las instalaciones.

Fuente: Metcalf & Eddy "Ingeniería de Aguas Residuales 3^{ra} edición, 1996".

Deben analizarse las variables de mayor incidencia en la elección de un sistema de tratamiento adecuado tales como niveles de carga orgánica, DBO, DQO, SS que se tienen en las aguas residuales de los lavaderos públicos. Así como aspectos medioambientales y socioculturales.

CAPITULO III

PROPUESTA DE TRATAMIENTO PARA AGUAS GRISES DE LOS LAVADEROS PÚBLICOS UBICADOS EN EL SECTOR TRES PIEDRAS DEL MUNICIPIO DE NEJAPA.

3.1.0 ANTECEDENTES

El agua es sin duda alguna, escasa y al mismo tiempo, vital. Tratar las aguas jabonosas de los lavaderos públicos del municipio de Nejapa no solamente responde a criterios ecológicos, sino también legales. No se trata únicamente de ahorrar agua potable, sustituir los productos de limpieza tradicionales por detergentes biodegradables sino también de cumplir con la obligación de tratar los desechos líquidos para mejorar el medio en que vivimos.

En general, el sistema de tratamiento de las aguas grises sigue el mismo formato, con respecto a los procesos y operaciones unitarias, lo que cambia son las alternativas que cumplan con los requerimientos necesarios para el grado de tratamiento adecuado. En este sentido, los criterios técnicos y económicos determinaran en definitiva, cual propuesta de tratamiento es la mas conveniente.

Para iniciar esta parte, vale la pena hacer una recapitulación de datos de relevancia que se han obtenido del trabajo de campo realizado en otras etapas del mismo, en la tabla 3.1 se presentan parámetros medidos mediante el muestreo realizado por el Laboratorio de Aguas de Espinsa “Especialidades Industriales, S.A”, lo cual permitirá la selección de una propuesta viable así como el dimensionamiento preliminar de algunas unidades del sistema de tratamiento sugerido.

Otros Datos Importantes son:

Población promedio de usuarios de los lavaderos públicos:

75 usuarios /día

El gasto medio estimado de agua por usuario es: $1.27E^{-4} \text{ m}^3/\text{s}$

(7.67 L/min.)

De acuerdo a los datos de SS, DBO₅, DQO, Fosfatos como fósforo encontrados en las aguas residuales de los lavaderos públicos se selecciona el proceso de tratamiento de acuerdo al grado de tratamiento requerido. En este caso, es meritorio mencionar que los parámetros medidos en el muestreo realizado, se encuentran inferiores a los permitidos en la norma CONACYT (Norma Salvadoreña NSR 13.07.03:00. CONACYT) referente al aguas residuales – de origen domestico- descargadas a un cuerpo receptor (Ver Tabla 3.1). Esto no implica, que las aguas superficiales del río San Antonio no estén siendo contaminadas por los productos utilizados por los usuarios de los lavaderos al realizar sus actividades de lavado de ropa, trastos e higiene personal, ya que las muestras analizadas están diluidas pues los usuarios de los lavaderos públicos enjuagan la ropa en el río, lo que contamina el caudal en su totalidad.

Tabla 3.1 Parámetros del Agua Residual de los Lavaderos Públicos
Del Río San Antonio, Municipio de Nejapa.

Parámetros	Río San Antonio	Norma CONACYT	Expresado como
Sólidos Totales, mg/L	214		Ppm
Sol. Suspendidos totales mh/L	8.5	60	Ppm
DQO mg/L	6.7	60	ppm O ₂
DBO mg/L	4.8	30	ppm O ₂
Aceites y Grasas	2.3	20	Ppm

Fuente: “Grupo Investigador”.

3.1.1 Tratamiento de Aguas Grises

Para el tratamiento adecuado de las aguas grises de los lavaderos públicos del municipio de Nejapa, se ha considerado un sistema de tratamiento que básicamente incluya los siguientes tipos de tratamientos, esto se esquematiza en la figura 3.1.

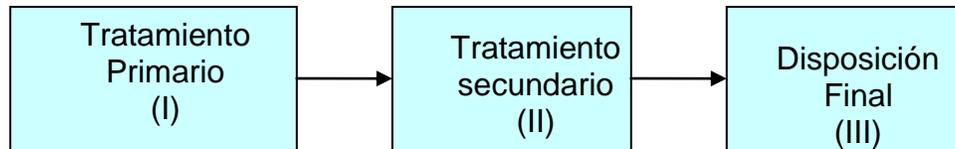


Fig. 3.1 Esquema de Tratamiento para Aguas Grises

(I) Tratamiento Primario

En el primer paso, donde se efectúa el tratamiento primario, los dispositivos que se usan, están diseñados para retirar de las aguas los sólidos orgánicos e inorgánicos sedimentables, mediante el proceso físico de sedimentación. Esto se lleva a cabo reduciendo la velocidad de flujo. Los principales dispositivos son los tanques de sedimentación entre los cuales pueden considerarse tres alternativas: Una fosa séptica de cámara única, Tanque Imhoff, el cual contiene dos cámaras y además de la función de sedimentar, sirve para la descomposición de los sólidos orgánicos sedimentados (digestión) y el Tanque de Sedimentación Simple.

(II) Tratamiento Secundario

El tratamiento secundario resulta adecuado para satisfacer los requerimientos de las aguas receptoras en cuanto a la eliminación de sólidos suspendidos y disminución de la DBO. En el tratamiento secundario, se presenta varias opciones tales como un Filtro Lento de Arena, un filtro de medio granular con recirculación o un filtro de arena intermitente

(III) Disposición Final

y finalmente para llevar a cabo la evacuación del agua residual o disposición final de la misma, se han de considerar las siguientes alternativas: para ser dispuesto en el suelo: Zanjas de infiltración, pozos de absorción y para ser dispuesto en aguas superficiales filtros de arena. Además puede emplearse un sistema de riego (para lo cual se vuelve necesario disponer de una cisterna de almacenamiento) o un lecho de evapotranspiración/ infiltración.

3.2.0 PROPUESTAS TÉCNICAS

Para tratar el agua residual proveniente de los lavaderos públicos del Río San Antonio, se han considerado las siguientes propuestas:

3.2.1 PROPUESTA I: Tratamiento con disposición final infiltración el en Terreno

Para el tratamiento considerado en esta propuesta (Ver Fig. 3.2), se sugieren los siguientes dispositivos:

1. Registro o Medidor de caudales
2. Una Fosa Séptica
3. Pozos de absorción o zanjas de infiltración

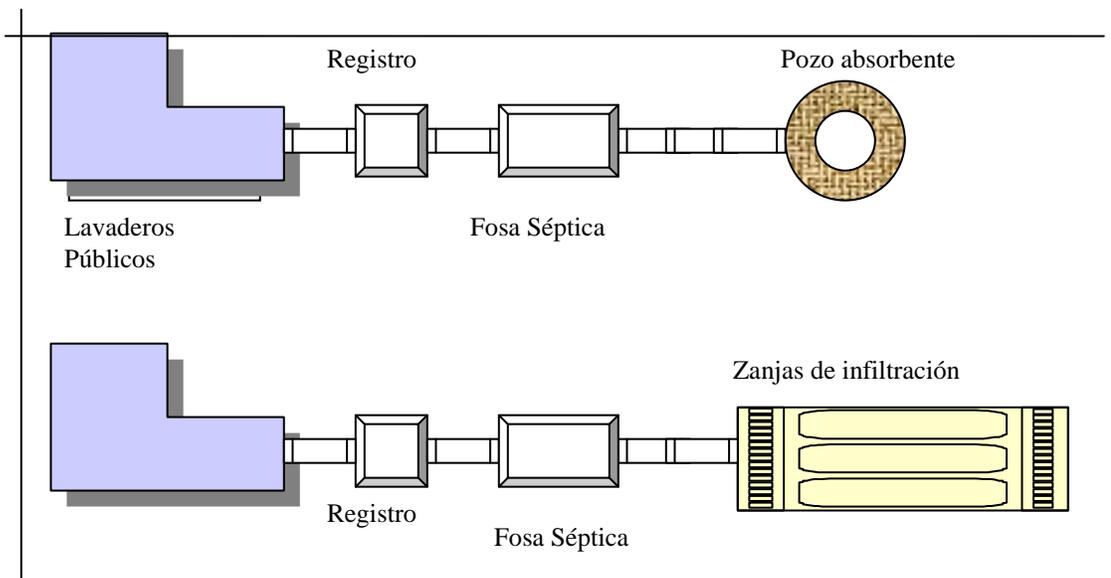


Fig. 3.2 Diagrama de Propuesta I

3.2.1.2 Observaciones

Para llevar a cabo esta propuesta, en lo referente a las zanjas de infiltración, o pozos absorbentes, deben realizarse algunos estudios adicionales al lugar de emplazamiento donde se pretende realizar la reubicación de los lavaderos e instalar

el sistema de tratamiento para las aguas grises de los mismos, los cuales no son incluidos en este trabajo.

Los estudios necesarios deben estar encaminados a la Identificación de las características del suelo del emplazamiento tales como su textura, estructura, color, localización de estratos impermeables, arcillas expansivas, etc.; ensayos de percolación y caracterización hidrogeológica, la cual debe incluir la profundidad del nivel freático, el gradiente hidráulico y la dirección del flujo subterráneo.

Sin embargo, se conocen datos generales sobre el gradiente hidráulico (0.026 – adimensional), la dirección del flujo subterráneo (Noroeste) y la estratigrafía probable definida por las columnas litológicas de pozos existentes en el área²⁸. El pozo más cercano al lugar donde se pretende reubicar los lavaderos públicos es el pozo El castaño, Nejapa #2. (Ver ANEXO 3.1)

3.2.2 PROPUESTA II: Tratamiento empleando Filtro de Arena

La propuesta 2, representada en la fig. 3.3, consiste en el tratamiento del agua residual, haciendo uso de los siguientes dispositivos:

1. Un registro que reciba las aguas de cada lavadero de las instalaciones
2. Sistema retenedor de grasas y aceites

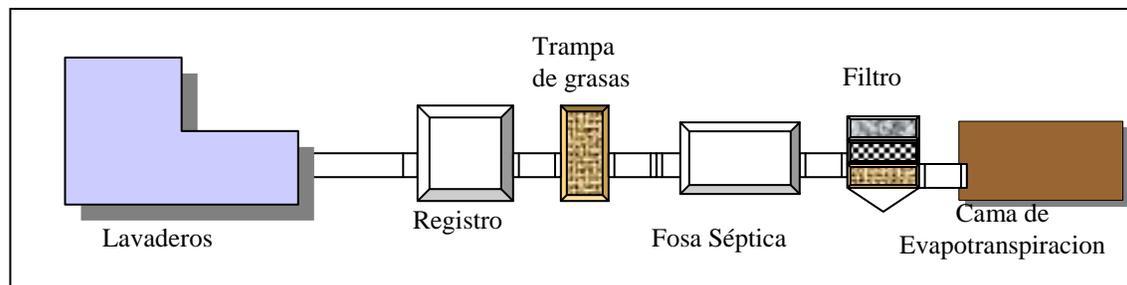


Fig. 3.3 Representación esquemática propuesta II

17 Esquivel, O. “Estudio de factibilidad técnica, económica y social para el proyecto mejoramiento y uso racional del río San Antonio”, 2000.

3. Fosa séptica
4. Filtro
5. Cama de evapotranspiración con plantas de ornato (Opcional)

3.2.3 PROPUESTA III: Tratamiento primario y sistema de Riego

La propuesta 3, considera un Sistema de Baja Carga Tipo II, el cual tiene por objetivo utilizar el agua ya tratada en riego de espacios verdes calles aledañas, este sistema incluye:

1. Tanque de sedimentación primaria
2. Cisterna de almacenamiento
3. Sistema de riego

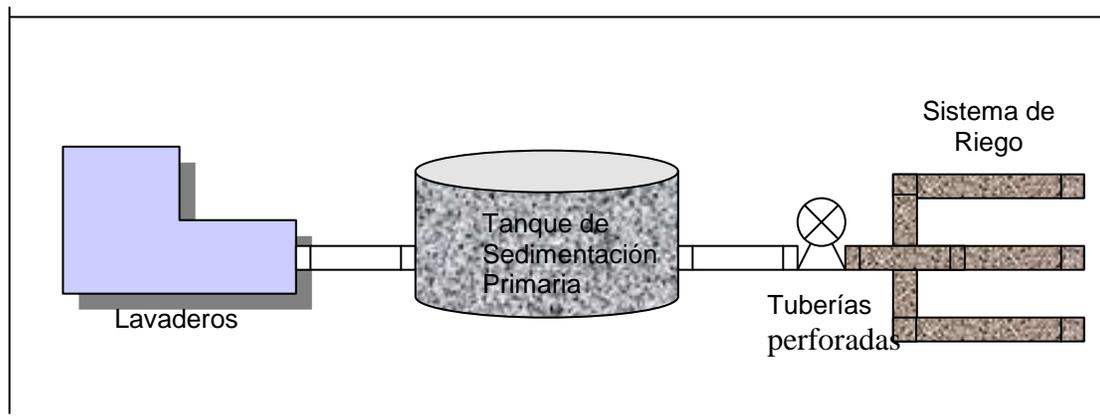


Fig. 3.4 Diagrama propuesta III

3.3.0 COMPONENTES DE DIFERENTES PROPUESTAS DE TRATAMIENTO.

3.3.1 FOSA SÉPTICA

3.3.1.1 Criterios de Diseño

Se ha tomado en cuenta la normativa brasileña y de acuerdo a la Subsecretaría

de Saneamiento Ambiental de Brasil, para sistemas de tratamiento con fosas sépticas, los parámetros de diseño a considerarse se resumen en el Anexo 3.2.

Además para la construcción de una fosa séptica, debe tomarse en cuenta lo siguiente:

1. Debe disponerse de un espacio suficiente para la acumulación de fangos, esto representa aproximadamente 2/3 del volumen total del tanque.
2. No se construirán tanques sépticos convencionales para caudales mayores de 0.66 litros/segundo.
3. Todo tanque séptico debe equiparse con estructuras de entrada, de intercomunicación entre compartimentos y de salida, tales que garantice el flujo normal y continuo a través del tanque. También debe poseer un tubo de ventilación de gases para impedir su acumulación dentro del tanque.
4. La profundidad del líquido es de 1 a 2 metros y la relación largo-ancho esta comprendida entre 2 y 4

Volumen útil del tanque:

El volumen del Tanque es factible calcularlo mediante:

$$V = V_1 + V_2 + V_3$$

Donde:

V: volumen del tanque (L)

V₁: volumen del periodo la de retención del afluente (L)

V₂: Volumen de almacenamiento de lodos (L)

V₃: Volumen correspondiente al lodo en digestión (L)

$$V_1 = N \cdot C \cdot T$$

$$V_2 = R \cdot N \cdot L_f \cdot T_a$$

$$V_3 = R \cdot N \cdot L_f \cdot T_d$$

N: numero de contribuyentes

C: contribución de aguas residuales (persona/día)

T: periodo de retención (días)

T_a: periodo de almacenamiento de lodos (días)

T_d: periodo de digestión (días)

L_f: Contribución de lodo (L/persona)

3.3.1.2 Dimensionamiento Preliminar de la Fosa Séptica

Considerando los criterios de diseño de la norma de acuerdo a la Secretaria de Saneamiento Ambiental de Brasil y los datos propios del estudio en cuestión es posible realizar un predimensionamiento de la fosa a utilizar en el proyecto.

Los datos para el diseño de la fosa séptica de los lavaderos públicos son:

Numero de personas a servir: 75 usuarios

Contribución de aguas residuales: $1.38 \text{ E}^{-5} \text{ m}^3/(\text{persona/s})$

120 L/ (persona/Día)

Contribución de lodos frescos: 1L/día

Volumen para satisfacer el periodo de retención de las aguas residuales

$$V_1 = N \cdot C \cdot T$$

$$V_1 = 75 \cdot 120 \cdot 1 = 9 \text{ (9,000 litros)}$$

Volumen para satisfacer el periodo de almacenamiento de lodos

$$V_2 = R_1 \cdot N \cdot L_f \cdot T_a$$

$$V_2 = 0.25 \cdot 75 \cdot 1 \cdot 300$$

$$V_2 = 5.625 \text{ m}^3$$

$$V_2 = 5,625 \text{ litros.}$$

Volumen correspondiente al lodo en digestión

$$V_3 = R_2 * N * L_f * T_d$$

$$V_3 = 0.5 * 75 * 1 * 50$$

$$V_3 = 1.875 \text{ m}^3$$

$$V_3 = 1,875 \text{ litros.}$$

Volumen útil de la Fosa

$$V = V_1 + V_2 + V_3$$

$$V = (9,000 + 5,625 + 1,875) \text{ litros}$$

$$V = 16,500 \text{ litros}$$

$$V = 16.5 \text{ m}^3$$

Para realizar el dimensionamiento de la fosa séptica, se asume la profundidad de la fosa de 2 metros (h)

Área de la fosa = volumen total / profundidad

$$\text{Área de la fosa} = 16.5 \text{ m}^3 / 2 \text{ m} = 8.25 \text{ m}^2$$

También, es necesario asumir el ancho, considerando el criterio de dimensionamiento del ancho de la fosa, el cual dice que no debe ser mayor que el doble de la profundidad.

Entonces, se tiene:

$$b = 1.5$$

$$L = \text{Área} / \text{Ancho}$$

$$L = 8.25 / 1.5$$

$$L = 5.5 \text{ metros}$$

Se observa, que las relaciones dimensionales de largo y ancho se cumplen:

$$2 < L / b < 4 \Rightarrow 2 < 5.5 / 1.5 < 4$$

3.3.1.3 Sistemas Retenedores de grasa

Si se permite el ingreso de grasas y aceites a la fosa séptica, es posible que sean descargados junto con el efluente del tanque a los sistemas de percolación en el terreno. Estos junto con los sólidos suspendidos tienden a acumularse en la superficie de los sistemas de percolación, disminuyendo la capacidad de infiltración de los mismos. Dependiendo de la configuración de la unidad, el uso de fosas sépticas como separadores de grasas puede hacer necesario modificar el sistema de conducciones. El mayor volumen que proporcionan las fosas sépticas resulta beneficioso, cuanto permite alcanzar el máximo nivel de separación de grasas y aceites posible.

3.3.1.4 Disposición de lodos de la fosa séptica

Los lodos acumulados en las fosas sépticas deben ser removidos periódicamente, el tiempo de limpieza depende de las condiciones locales: características de los desechos crudos, temperatura, facilidad de limpieza ya sea mecánica o manual, etc.

Cuando la limpieza se realiza manualmente, se recomiendan intervalos entre 1-3 años, dependiendo de las condiciones. La disposición debe hacerse, en un lecho de secado. Posteriormente, debe enterrarse, llevarlo al relleno sanitario o utilizarse como abono siempre y cuando se cumpla con la normativa vigente respecto a los cultivos que se desarrollan en la localidad.

3.3.2 POZOS ABSORBENTES

3.3.2.1 Criterios de Diseño

Para determinar la capacidad de absorción, es necesario realizar pruebas de la capacidad de absorción del suelo, para lo cual deben realizarse excavaciones a

distinta profundidad y en el fondo de cada excavación debe abrirse un hueco de sección cuadrada 0.3 * 0.3 metros de lado y de igual profundidad, basándose en un predimensionamiento del mismo tomando como base los datos del Anexo 3.3. Con los datos el anexo 3.3 las posible variación de coeficientes de infiltración de acuerdo al material constituyente del suelo, deben ser confirmados por medio de mediciones directas. Con los tiempos de infiltración obtenidos en el trabajo de campo, se construye una curva tiempo de infiltración (min./ 1 cm. de abatimiento) vrs. Coeficiente de infiltración (L/ m². día). En el Anexo 3.3, se presentan diferentes rangos de variación de coeficiente de infiltración según la constitución del suelo.

3.3.2.2 Dimensionamiento

En teoría, es factible calcular la carga permisible del efluente mediante :

$$Q=280/(1/2 T)$$

Donde:

Q: carga permisible de efluente (L/ m² * día)

T: Tiempo de infiltración (Minutos)

El Área Útil de Absorción, se calcula considerando la siguiente expresión:

$$A = ((3.14^2 * D)/4) + 3.14*D*h$$

Donde:

D= diámetro del pozo (m)

h= altura del mismo (m)

Al asumir un valor de diámetro, es factible calcular la altura requerida del pozo de absorción. Si esta altura resultase, inconvenientemente grande, también pueden emplearse varios pozos de infiltración que evacuen la misma carga ya que de esta forma se evita la necesidad de disponer de grandes profundidades de suelo lo que puede contaminar las aguas subterráneas subyacentes.

3.3.3 ZANJAS DE INFILTRACIÓN

3.3.3.1 Criterios de Diseño

Se requiere de la construcción de 2 zanjas como mínimo.

La longitud máxima recomendada de cada zanja es de 30 metros

La separación mínima entre zanja debe ser de 1 metro

Gradiente máxima de la tubería de 0.5%

Ancho de la zanja: 45-75% Longitud

Para soluciones colectivas: 1-4 metros de zanja por usuario

Diámetro mínimo de la tubería: 0.10-0.15 m.

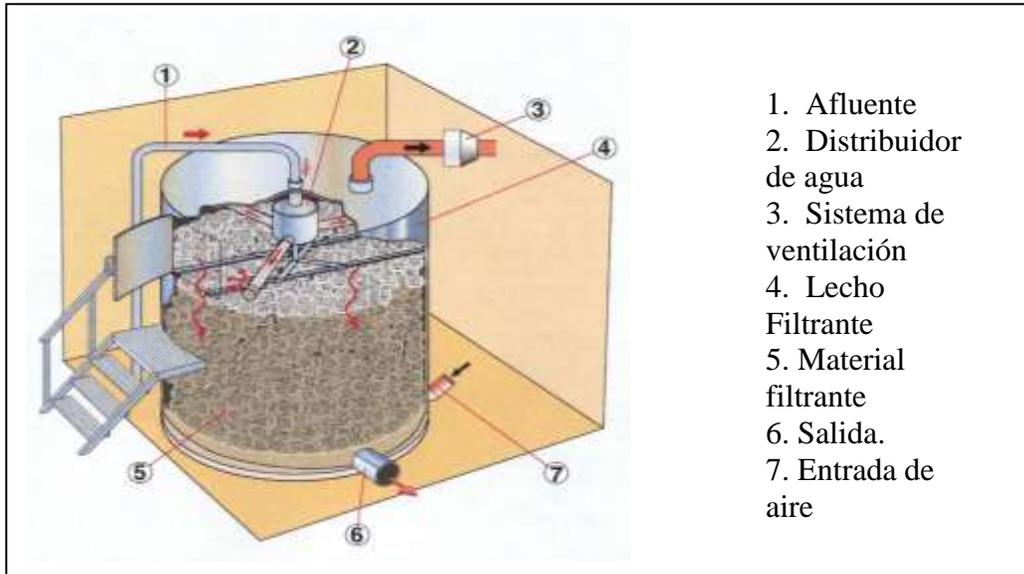
El Área de absorción se considera el producto la longitud de la zanja por el ancho de la misma. Esto depende de las características del suelo. (Ver Anexo 3.3). Si el tiempo de infiltración es superior a los 60 minutos, no es recomendable la consideración de las zanjas.

3.3.4 FILTROS DE ARENA

Este tipo de filtro funciona bien para aguas de baja turbidez, el valor de turbidez reportado por los análisis realizados es de 5 U.T. En la Figura 3.5 se muestra un filtro de arena y sus componentes principales.

3.3.4.1 Criterios de Diseño

Los diferentes parámetros de diseño para un filtro se presentan en el Anexo 3.2. Además el dispositivo de conexión entre la fosa séptica y el filtro puede ser de variadas formas, sin embargo al utilizar más de un filtro deben utilizarse cajas de distribución y la recolección del efluente del filtro se hace en un canal vertedero, cuya longitud es igual a la del filtro y su ancho de 0.1 metros y estará ubicado a 0.3 metros por encima de la parte superior del lecho.



1. Afluente
2. Distribuidor de agua
3. Sistema de ventilación
4. Lecho Filtrante
5. Material filtrante
6. Salida.
7. Entrada de aire

Fig. 3.5 Esquema de Filtro de Arena

3.3.4.2 Dimensionamiento Preliminar

De acuerdo a la norma brasileña NB-43/84 , en el caso de los filtros se tiene:

Volumen Útil V

$$V = 1.6 * N * C * T$$

V: volumen del medio filtrante

N: numero de contribuyentes

T: tiempo de retención

Sección Horizontal

$$S = V / h$$

S: área de la sección transversal en metros cuadrados

Para los requerimientos del sistema de tratamiento para los lavaderos públicos del municipio:

N=75 usuarios

$C=120$ litros/persona/día $\equiv 1.3 \text{ E}^{-6} \text{ m}^3/\text{persona.s}$

$T=.0.5$ días

Volumen Útil del medio filtrante (V)

$V=1.6*75*120*.5$

$V= 7.2 \text{ m}^3$

Sección Horizontal

$S= V / h= V/1.8$

$S= 7.2 / 1.8 = 4.0 \text{ m}^2$

Si se adopta una sección cuadrada se tiene que cada lado será:

$$\text{Lado 1} * \text{Lado 2} = 4.0 \text{ m}^2$$

Donde:

$$\text{Lado 1} = \text{Lado 2}$$

Resultando: $L1= L2=(4.0)^{1/2}=2$ metros

3.3.4.3 Mantenimiento del Filtro²⁹

Luego del periodo de operación, cuando la válvula de salida esta totalmente abierta y el caudal empieza a disminuir, debe procederse a la limpieza del filtro.

Proceso de Limpieza

Se cierra la válvula de ingreso, se espera a que el nivel de agua descienda hasta que el nivel del agua descienda a unos 2 cm sobre la capa de arena, y se cierra la válvula de salida para mantener ese nivel de agua.

Se raspa con un rastrillo toda la capa de arena

Se abre la válvula de entrada, de salida y de desagüe del filtro, para continuar con el proceso de filtrado. Debe observarse si el agua se clarifica por un periodo de 15

²⁹ Murillo, Idrovo “Diseño, mantenimiento y Evaluación de sistemas de tratamiento”, Cuenca, 1999.

minutos, sino se espera un periodo igual de tiempo. Si no se observa mejora en la calidad del agua filtrada, se procede al “descabezado del filtro”

Proceso de Descabezado

Es el retiro de una capa superficial de arena (2.5 cm de espesor), se procede a su lavado fuera del filtro y se utiliza posteriormente en la restitución del filtro.

Se cierra la válvula de entrada y se mantiene abierto el desagüe.

Luego de drenar el agua se retira material con una pala plana

Retirado el material, se mantienen cerradas tanto las válvulas de entrada como de salida y se procede al retrolenado del filtro hasta cubrir 10 cm de la capa de arena.

Se procede a abrir la válvula de entrada y de desagüe lo que da inicio al proceso de filtración.

Proceso de Rearenamiento

Después de varios años de operación (3-4) y 20-30 descabezados del filtro, el espesor del mismo se reduce a su valor mínimo permisible (0.80 m), por lo cual debe reponerse la arena hasta su nivel original. El nuevo medio filtrante se coloca debajo de una capa del antiguo medio filtrante.

3.3.5 TRAMPA DE ACEITES Y GRASAS

En general, una trampa de grasa consiste en una 1 pieza de material filtrante, que puede ser mezclilla, por ejemplo; con pared intermedia alta (de tal modo que el agua pase por debajo) y codo de salida retenedor de grasas. Se ubica en una excavación realizada sobre el mismo eje del Registro de entrada, la cual se rellena con arena fina o talpetate para colocar la Trampa de Grasas, de tal modo que la tapa de la misma quede a cierta distancia (20 cms) arriba del nivel de tierra. Esto es muy importante para evitar que se inunde con agua de lluvia (Ver Fig. 3.6). Debe conectarse con tubo (PVC) sanitario a la salida del Registro a la Trampa de grasas, sellando adecuadamente. En la parte más profunda de la Trampa, colocar tezontle

de 1" - 2" de diámetro con 10 - 15 cms de profundidad. Es factible tratar, las grasas retenidas con enzimas.

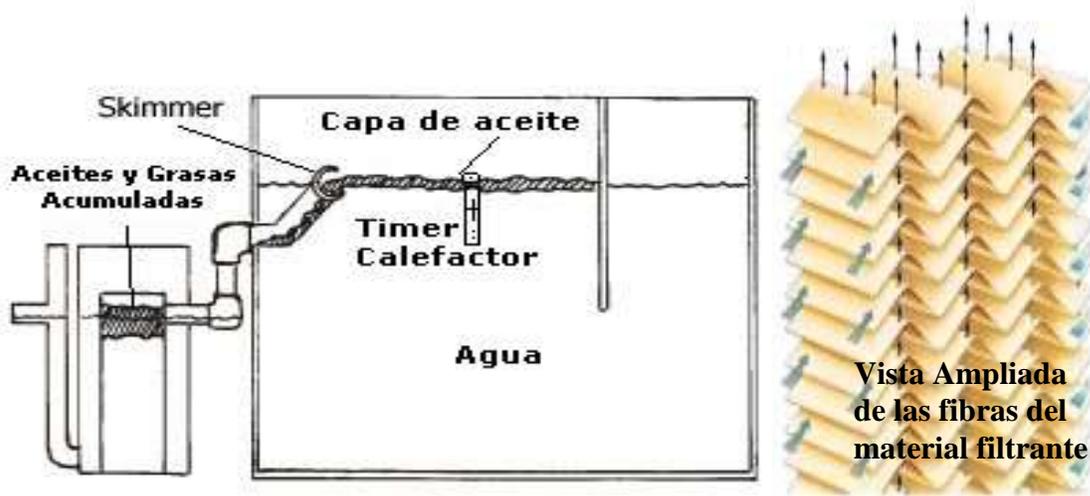


Fig. 3.6 Diagrama General de una Trampa de Grasas

3.3.6 CAMA DE EVAPOTRANSPIRACION/ INFILTRACIÓN

Consiste en la excavación una cepa de aproximadamente 10m de largo por 0.60m de ancho y 0.80m de profundidad; colocar la cama de tezontle de 0.20 m. de alto, colocar la tubería PVC hidráulico de 1" de diámetro, debidamente perforada; cubrirla con otros 0.20 m. de tierra de cultivo. Sembrar plantas de ornato a todo lo largo de la cama, las cuales serán regadas por capilaridad y continuamente, con el agua tratada.

3.3.7 SISTEMAS DE BAJA CARGA

3. 3.7.1 Criterios Técnicos para Sistemas de Baja Carga

Con respecto a la propuesta 3, se refiere a un sistema de baja carga, el cual constituye el proceso de tratamiento natural más común en la actualidad y contempla tanto el grado necesario de tratamiento del agua residual como el crecimiento de la vegetación existente. El agua aplicada puede consumirse tanto por

evapotranspiración como percolación vertical y horizontalmente en el terreno. El agua que no percola, puede ser recuperada por un sistema de drenaje

Los sistemas de baja carga se clasifican en dos tipos:

Tipo I: si el objetivo principal es el tratamiento del agua residual y la carga hidráulica no se basa en la demanda de agua de la vegetación sino en parámetros como permeabilidad del terreno o carga de constituyentes

Tipo II: Reutilización del agua residual por riego de espacios verdes y se suelen conocer como sistemas de irrigación.

Los parámetros más importantes a considerar en un sistema de baja carga, son los siguientes:

1. Condiciones Climáticas

Limitaciones para la aplicación de este sistema son la lluvia y el tiempo frío, ya que se vuelve necesario disponer de una instalación de almacenamiento del agua. Si se emplea para riego de cultivos, se tienen dichas limitaciones para cualquier sistema de riego.

2. Permeabilidad del Suelo

Los suelos con permeabilidades medias 5-50 mm/h son los más adecuados para la instalación de sistemas de baja carga ya que proporcionan el mejor equilibrio entre la retención de los constituyentes del agua residual y la facilidad de drenaje.

3. Técnicas de Aplicación

El agua residual puede aplicarse mediante el siguiente método:

1. Aspersión
2. Riego superficial.

El agua residual se distribuye en la zona superior de terrenos vegetados con pendientes cuidadosamente seleccionadas. Este sistema suele emplearse en zonas con suelos o estratos superficiales relativamente impermeables. La percolación en el terreno es una vía hidráulica menor y la mayor parte del agua aplicada se recoge en forma de escorrentía superficial. La distribución del agua residual se puede llevar a cabo mediante aspersores de alta carga, rociadores de baja presión o métodos superficiales como tuberías abiertas de orificios.

4. Nivel Freático

Debe existir una distancia entre 0.6 y 0.9 metros como mínimo

5. Pendiente

Si se trata de terrenos cultivados, se requiere de una pendiente $<15\%$ y si son terrenos no cultivados $< 40\%$.

6. Carga Hidráulica Anual

Se define como el volumen de agua aplicado por unidad de superficie de terreno en un tiempo determinado. Se recomiendan valores siguientes:

Tipo I: 1.7-6.0 m/año

Tipo II: 0.6-2.0 m/año.

7. Requerimientos de Área

Los requerimientos de espacio están dados en función del caudal aplicado y los valores para cada tipo son:

Tipo I: 6.0 – 21.4 Ha/ 1000 m³ / día

Tipo II: 18.2 – 58.8 Ha/1000 m³/día

8. Pretratamiento Mínimo

Para ambos tipos se requiere la aplicación de sedimentación primaria.

Las etapas a considerar para el diseño de este sistema de baja carga Tipo II, se muestran en el Anexo 3.4

3.4.0 SELECCIÓN DE PROPUESTAS

Se vuelve necesario que la municipalidad haga sus valoraciones de índole económica, sin embargo se recomienda la propuesta 2 , ya que no requiere de inversiones adicionales –estudios de suelo, por ejemplo- y el grado de tratamiento brindado al agua residual y el mejoramiento del paisaje que produciría sería significativo; tomando en cuenta – si decide agregarse al sistema- que la cama de evapotranspiración estaría cubierta con plantas ornamentales en toda su extensión (Aproximadamente 10 metros), las cuales sería posible extraerlas de la cama de evapotranspiración al alcanzar un tamaño adecuado y poder comercializarlas, incluso en el vivero municipal.

El sistema estaría constituido entonces, de los siguientes elementos:

- 1) REGISTRO DE ENTRADA:** Para reciclar las aguas jabonosas se conectan todas las descargas a un REGISTRO, ubicado a menos de 1 metro del área

donde se va a colocar el filtro. Dicho registro lleva una pared intermedia de tela de $\frac{1}{4}$ " para retener los sólidos grandes; no lleva arenoso pero si un retenedor de grasas.

2) FOSA SÉPTICA: Para la sedimentación necesaria de las aguas grises con las siguientes dimensiones: Área de la fosa= 8.25 m^2 , longitud= 5.5 metros, Ancho = 1.5 metros. Profundidad: 2 metros.

3) FILTRO: El efluente de la fosa séptica pasaría a un Filtro Lento de arena con un volumen de medio filtrante de 7.2 m^2 , una superficie de 4 metros cuadrados. Otras dimensiones: Altura del lecho= 1.2 m, Altura de la cámara de alimentación 1.2 metros. Altura del líquido sobre el lecho = 0.3 m, altura libre adicional = 0.2 m. Altura total = 2 metros. El agua a tratar debe acceder al filtro mediante un bastón instalado en su interior, convenientemente perforado para distribuir el afluente sobre toda la superficie filtrante. Contiene un ducto central (puede ser de PVC sanitario) especialmente trabajado para permitir un flujo descendente-ascendente; al interior del cual se ha instalado una pieza sifón la cual succiona el agua tratada que penetra al ducto central en su parte más profunda, y la conduce a la salida.

4) CAMA DE EVAPOTRANSPIRACION INFILTRACIÓN ó TUBERÍA DE DESCARGA A AGUAS SUPERFICIALES

El efluente del filtro se conduce por tubería tipo sanitario a las aguas superficiales del río san Antonio o a la cama de evapotranspiracion (según elección de la municipalidad)

Es necesario hacer notar, que si bien es cierto que nuestro grupo de trabajo sugiere la implementación de la propuesta 2, esto no significa que la propuesta 3 no sea factible llevarla a cabo. Por el contrario, ambas propuestas podrían complementarse. Sin embargo, es la municipalidad de acuerdo a sus medios y recursos disponibles, quien evaluara cual alternativa es la más conveniente para sus necesidades y disponibilidad de recursos. En el Anexo 3.5 se muestra un dibujo esquemático de ambas propuestas.

3.4.0 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CONCLUSIONES

1. La elección del sistema de tratamiento será principalmente debido a criterios económicos y de conveniencia de acuerdo a los recursos técnicos, financieros y de logística de la municipalidad. Sin embargo, cualquiera de los sistemas propuestos proporcionaría el grado de tratamiento necesario y constituiría, por ende, una medida efectiva para el control de la contaminación generada por las aguas grises de los lavaderos municipales en el río San Antonio.
2. El diseño final del sistema de tratamiento de las aguas grises requiere de un estudio mas a fondo de los diferentes parámetros que deben considerarse incluyendo un estudio de mercado y presupuesto total de la puesta en marcha del sistema de tratamiento. En este sentido debe considerarse el uso final que se le pretende brindar al agua tratada.
3. Tanto la propuesta 2 como la propuesta 3 consistente en un sistema de riego para espacios verdes y calles aledañas serian factibles e incluso podrían complementarse de acuerdo a las necesidades futuras de tratamiento dado el posible incremento en la demanda de la población del uso de los lavaderos públicos. En este sentido, podría emplearse y constituir una buena alternativa, extraer parte del efluente clarificado de la fosa séptica y realizar el riego de

calles aledañas y el resto del agua residual continuar el proceso de tratamiento y producir plantas ornamentales para su comercialización.

4. Debe considerarse que la restauración del río San Antonio debe ser un proceso integral que conlleve a la implementación de medidas tanto a nivel de tratamiento de aguas residuales vertidas en el, como obras ingenieriles de protección de su ribera y reforestación de su orografía, de forma permanente y sostenida.
5. A nivel macro, es necesario buscar diferentes opciones que permitan recuperar –en cierto grado- el río Acelhuate, ya que lamentablemente, aunque el río San Antonio se restaure –ambientalmente hablando-, sigue incorporándose un río de mejor calidad a un río sumamente contaminado como lo es el Acelhuate.

CONSIDERACIONES Y RECOMENDACIONES

CONSIDERACIONES

1. La reubicación de los lavaderos constituirá un paso mas en el camino del rescate y mejoramiento del río San Antonio ya que al trasladar los lavaderos al lugar dispuesto – final Barrio El Rosario- se disminuirá la contaminación del agua superficial, posibilitara el uso del río como un lugar para la recreación y permitirá la realización del desarrollo de obras de protección y mejoramiento del lugar.
2. Tanto la cantidad como la calidad de las aguas grises pueden controlarse a nivel casero y cualquier estrategia de manejo de estas aguas puede facilitarse con medidas de conservación de agua y poniendo atención a los

jabones, limpiadores y otros químicos utilizados . Tanto la cantidad de aguas grises como los residuos sólidos generados en las actividades de lavado e higiene personal pueden reducirse de modo importante con un cambio de comportamiento, un buen mantenimiento de tubos y llaves, y el uso de dispositivos para el ahorro de agua.

3. El proyecto de los lavaderos públicos alternativos constituirá una buena solución para la población la cual utiliza el río principalmente para el lavado de ropa.
4. Para el buen funcionamiento de los constituyentes del sistema de tratamiento propuesto deben realizarse de manera correcta y oportuna las diferentes labores de operación y mantenimiento de los mismos.
5. El filtro del sistema de tratamiento constituye un componente importante y fundamental del mismo, por ello deben considerarse los siguientes aspectos:
 - 5.1 Deben controlarse los niveles de turbiedad en el efluente del filtro.
 - 5.2 La acumulación de grasa emulsionada en el interior del lecho filtrante puede ocasionar pérdida de carga y reducir la duración del ciclo, es por ello que debe monitorearse constantemente el funcionamiento de la trampa de grasas y el sistema de lavado del filtro.
 - 5.3 Para impedir la pérdida mecánica del medio filtrante durante el proceso de lavado debe darse un adecuado emplazamiento de las canaletas para agua de lavado y de los sistemas de drenaje del fondo del filtro.

RECOMENDACIONES

1. Se vuelve necesario implementar un programa de educación ambiental que concientice a la población sobre la importancia de su colaboración con el uso de los nuevos lavaderos públicos ya que contribuirá sensiblemente al saneamiento del río.
2. Debe implementarse un plan de desarrollo de obras ingenieriles de protección de las riveras del río.
3. Al ejecutar el proyecto de reubicación de los Lavaderos Públicos y tratamiento de las aguas grises de los mismos, debe llevarse a cabo un plan de monitoreo de las aguas tratadas (Ver Anexo 3.6)
4. A pesar de que los lavaderos públicos sean reubicados. En el Sector Tres Piedras, debe mantenerse un plan permanente de limpieza del río e involucrar activamente a la población, ya que la basura que en el Sector Tres Piedras se desecha, además de provocar contaminación, deteriora el paisaje.

BIBLIOGRAFÍA

1. Alcaldía Municipal de Nejapa. "Plan de Desarrollo de Nejapa 2000- 2010"
2. Barrera, A. "Tratamiento de Aguas Residuales". Cuenca, Ecuador, 1999.
3. Bellaubi, F; Lungo, M; Salamanca, L "Compendio de Estudios. Ordenamiento Territorial de Nejapa". UCA-VITORIA GASTEIZ, 2001.
4. Coto Salamanca "Evaluación de la explotación y disponibilidad del agua subterránea y Análisis de pruebas de bombeo en el acuífero del AMSS". Tesis de Grado, Facultad de Ingeniería. UCA. El Salvador, S.S., 1994.
5. Estrada, P. "Estudio Hidrogeológico de la zona Nejapa-Mapilapa". San Salvador, 1975.
6. Falcon, C. "Manual de Tratamiento de Aguas". Editorial Limusa Wiley Mexico, D.F., 1994.
7. FUNDE. "Estudio sobre la subcuenca del río San Antonio". San Salvador, 1997
8. González, N, "Estudio sobre la Contaminación del río San Antonio mediante análisis químico y microbiológico", UES, San Salvador, 2000.
9. Metcalf & Eddy, "Ingeniería de Aguas Residuales", Tomo I y Tomo II. McGraw Hill, México, DF., 1996.
10. Murillo, Idrovo "Diseño, Construcción y Mantenimiento de Sistemas de Agua Potable", Ecuador, 1998.
11. Oakley, Stewart; "Lagunas de estabilización para tratamiento de aguas negras", Universidad de California, USA. 1998
12. Olga Esquivel, "Mejoramiento y uso racional del río San Antonio", San Salvador, El Salvador, 2000.
13. PNUD. "Plan Maestro para el desarrollo y Aprovechamiento de los recursos hídricos". Documento Básico # 12. Vol. 1. Recursos y Demandas Potenciales de la Región A. PNUD- Ministerio de Agricultura y Ganadería, 1991.
14. Romero Rojas, J "Calidad del Agua", Segunda Edición. Editorial Alfa Omega, México, DF., 1999.
15. Winkler, Michael, "Tratamiento biológico de aguas de desecho", Primera Edición, Editorial Limusa. México, D.F., 1996.

