

Universidad Nacional Pedro Henríquez Ureña (UNPHU)

Facultad de Ciencias y Tecnología

Escuela de Ingeniería Civil

**“Tratamiento de Aguas Residuales por medio de Sistemas de
Humedales Artificiales en el Café de Herrera”**



Trabajo de grado para optar por el título de Ingeniero Civil

Sustentado por:

Yoryi Amett Abikarram Estrella

Juan Carlos Batista Núñez

Asesor:

Ing. Sanmy Campos

Santo Domingo D.N 2016

Agradecimientos

En primer lugar agradecer a Dios, por estar siempre a mi lado, nunca desampararme y ser lo más importante en mi vida. Demostrarme su amor siempre y en cada momento, cada día , cada hora , cada minuto, cada instante; también por ayudarme a emprender este viaje y no dejarme caer, por darme las fuerzas para seguir adelante sin importar lo que pase, por darme la bendición de tener unos Padres excelentes , amorosos y profesionales. En fin, gracias por dármelo todo, porque eso es lo que Dios ha hecho. Y hoy puedo decir EBENECER, hasta Aquí Dios tú me has ayudado. Gracias Dios, te amo.

A mi Padre José Abikarram Belilla por su enorme sacrificio, amor, responsabilidad, temor a Dios, por estar siempre conmigo y apoyarme incondicionalmente en todas mis decisiones, por sufrir conmigo cuando había que sufrir , y por reír conmigo cuando había que reír, bueno a veces También por siempre ofrecerme su ayuda en todos los ámbitos de mi vida, Gracias pa.

A mi hermosa y maravillosa Madre Magalis Berenice Estrella por su amor incondicional, por todas sus atenciones, por su comprensión y humildad, eres un ángel para mí, por hacerme bonito como tú, por consentirme tanto, por soportarme, por ser su hijo favorito, por estar siempre conmigo en los momentos malos y sufrir conmigo los momentos difíciles, por compartir mi felicidad y confiar en mí ante todo, ¿cómo no amarla? Eres todo un ejemplo para mí, gracias ma.

A mis hermanos biológicos, Jamil Abikarram y Eduardo Abikarram, por disponerse a ayudarme aunque no pudieran, y ayudarme en lo que sí pudieron cuando llegó el momento, por ser buenos, bueno no tan buenos, pero sí buenos hermanos.

A mi tía hermosa Enmaculada de la Cruz por poner tanto empeño, preocupación y sobre todo amor en ayudarnos de una manera u otra en la elaboración de nuestra tesis, un apoyo increíble y una ayuda eficaz, siempre la llevaré en mi corazón.

Al Ing Miguel Frías que ha sido un ejemplo y un padre para mí, gracias por su dedicación a lo largo de mi vida en la fe, por su amor y por siempre preocuparse por mí, por ayudarnos en la revisión de nuestra tesis y estar ahí cuando lo he necesitado. Y Morayma Álvarez, su querida esposa, por sus consejos, estar siempre estar dispuesta a ayudar y ser un ejemplo en mi vida.

A mis demás ancianos y pastores por sus oraciones, su preocupación por mí, y todos sus consejos que en su momento fueron los más precisos.

A mis hermanos en la Fe les debo demasiado, con ellos he podido crecer y ver la vida de una perspectiva diferente y correcta, gracias a ustedes por todas sus oraciones para que llegara este momento y para que todo salga bien y derecho como Dios así lo quiere.

A Kerlina Esther Santos Hernández por estar conmigo desde mucho antes de empezar la universidad y por ser un soporte en mi vida, por escuchar mis problemas y diferentes situaciones, por siempre soportarme, por estar ahí en todo momento pendiente de mí, por buscarme siempre que me aleje. Te debo demasiado y no sé cómo pagártelo, por eso te doy las gracias por ser tan importante para mí.

A Carlos Salazar por sacar tiempo cuando necesitaba hablar con él, por ser mi mejor amigo y colega, por no ser de los que abandonan, sino más bien, de los que están siempre para ayudarte.

A Daniel por contribuir y ayudarnos cuando lo necesitamos, y no dudar en hacerlo con acciones.

A Alfredo Pardo, Jesett Ferrari, Pedro y David por contribuir con su amistad y ayuda, y por ser personas apegadas a mí, tengo mucho de que agradecerles.

A mi compañero El Boni por estar conmigo, por su espera, su dedicación, por ser un hombre de guerra que me acompañó en este periodo y poder llevar a cabo nuestro sueño, que es ser profesionales.

A nuestro asesor Ing. Sammy Campos por dedicar su tiempo en nosotros a pesar de sus ocupaciones, aclarar dudas, y suministrarnos el conocimiento necesario para poder seguir.

Finalmente dedicarle esta tesis primero a Dios, porque sin Él esto no hubiese sido posible, a todos los mencionados anteriormente, y a todos los docentes de nuestra excelente universidad por su alto desempeño y preocupación por sus estudiantes.

YoryiAbikarram

Agradecimientos

En primer lugar le agradezco a Dios por siempre estar conmigo en este transcurso de mi carrera, por nunca abandonarme y darme la sabiduría para emprender este camino y la paciencia para nunca rendirme a pesar de todo lo que ha pasado.

A mi padre Juan Carlos Batista por todo lo que ha hecho para sacar a sus hijos a delante, por siempre estar ahí cuando te necesito, porque siempre haces hasta lo imposible para no decirme que no cuando necesito algo y ya que tengo tu nombre espero que estés orgulloso de tu hijo, he aprendido mucho de ti gracias por todo te quiero mucho.

A mi madre Argentina Núñez por ser una de las mejores madres que puede haber en el mundo, por todo el amor y el cariño que nos has dado a tus hijos, de ti he aprendido que hay que amar al prójimo, no te puedo expresar todo lo que siento por ti en esta hoja pero te quiero mucho (aunque pelee mucho contigo jajajaja) gracias por tus oraciones para que Dios siempre esté conmigo.

A mi hijo Dylan Rafael Batista gracias por entrar en mi vida y por hacerme el padre más feliz, tú fuiste una de mis mayores motivaciones para nunca rendirme y salir adelante y terminar mi carrera para poder estar contigo, por ti terminé esta etapa y por ti voy a seguir creciendo en mi carrera.

A Yanni Massiel Valdez gracias por darme el mejor regalo mi hijo y si no hubiera sido por ti hoy en día no estuviera aquí donde estoy terminando mi carrera de ingeniería civil, gracias por siempre creer en mí a veces hasta más que yo y por siempre estar ahí cuando te necesite a veces sin pedírtelo gracias por todo.

A mis hermanos Carlos Adonis y Sarah Yasmin por siempre estar conmigo acompañándome aunque discutíamos mucho pero eran cosas de hermanos, esto también es por ustedes.

A toda mi Familia, mis tíos y tías no los puedo mencionar a todos pero saben que siempre me dieron buenos consejos y siempre querían que terminara mi carrera. Agradecerle en especial a mi abuela Sarita Cuevas por ser una buena madre con tus hijos y una buena abuela con tus nietos.

A mi Compañero Yoryi gracias por estar acompañándome en esta etapa final, eres un buen compañero y amigo he aprendido de mucho de ti y por fin terminamos esta etapa, agracias a tus padres por abrirme la puerta de su casa a tu padre por ser el motor que nos motivaba a terminar este trabajo (oye tienen que terminar la tesis ya).

A mi asesor Ing. Sammy Campos por todo el conocimiento que compartió con nosotros y por toda la ayuda que nos dio, por siempre estar disponible.

A mis compañeros que junto conmigo pasamos esta travesía a Brayan, Manuel y Ramon (los mellos), Rainer, Alain, Susan, Darwin, Julio, José, Alan Díaz (por los difíciles proyectos que hicimos y yo era uno de los que más trabajaba), y a todos lo que me ayudaron en una u otra materia.

Y para culminar a la UNPHU por ser el lugar donde pude desarrollar mis capacidades y adquirir más conocimiento, a todos los profesores que me enseñaron a todos y cada uno de ustedes.

Juan Carlos Batista

INDICE

Glosario	12
Abreviatura y Siglas	14
Capítulo I. El problema de la investigación	16
Planteamiento del problema.	16
Preguntas de investigación	18
Justificación	18
Objetivos de la investigación	19
Ubicación	20
Antecedentes	20
Limitaciones	22
Capítulo II. Marco teórico	23
Las Aguas Residuales	23
Composición de las aguas residuales	24
Composición del agua residual y del líquido séptico	24
Microorganismos en las aguas residuales	26
Estudios de caracterización del agua residual	27
Tratamiento de las aguas residuales	27
Métodos de tratamiento de aguas residuales	28
Tipos de plantas de tratamiento de aguas residuales	28
Tratamiento de aguas residuales por humedal artificial	29
Tipos de humedales artificiales	29
Partes de un Humedal artificial de flujo sub-superficial	33
Marco contextual	37

Características del lugar _____	37
Capítulo III. Marco Metodológico _____	38
Recopilación de información existente _____	38
Observación directa e indirecta _____	38
Pruebas realizadas _____	38
Impacto Ambiental que se produciría por la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales _____	39
Evaluación de Impacto ambiental en las plantas de tratamiento de aguas residuales _____	39
Capítulo IV. Diseño del tratamiento de aguas residuales mediante sistemas de humedales artificiales _____	42
Entrada del afluente al sistema de tratamiento _____	44
Unidades que componen la planta de tratamiento de aguas residuales _____	45
Unidades de pre-tratamiento y tratamiento primario _____	46
Unidad de tratamiento secundario _____	46
Plantas acuáticas a utilizar en el diseño _____	48
Memoria de cálculo _____	50
Observaciones: _____	60
Resultados _____	61
CONCLUSION _____	64
Bibliografía _____	66
ANEXOS _____	68

Índice de tablas

Tablas

Tabla 1. Composición típica del agua residual domestica bruta	25
Tabla 2. Características típicas del líquido de las fosas sépticas.....	26
Tabla 3. Tipos y números de microorganismos típicamente presentes en las aguas residuales domestica brutas	26
Tabla 4. Valores máximos permisibles	42
Tabla 5. Composición típica del agua residual domestica bruta	43
Tabla 6. Análisis de los resultados	44
Tabla 7. Funciones de las plantas en tratamientos acuáticos.....	49
Tabla 8. Plantas acuáticas emergentes utilizadas en tratamiento de aguas residuales.....	49
Tabla 9. Normas de diseño para rejillas manuales	52
Tabla 10. Normas para el diseño de desarenador	53
Tabla 11. Rangos de caudales para Canaletas Parshall	54

Índice de figuras

Figuras

Ilustración 1. Habitantes del Café reclaman una solución de construir una planta de tratamiento y el saneamiento de una cañada.	17
Ilustración 2 Ubicación de la P.T.A.R.....	20
Ilustración 3. Humedal de Verón Altagracia Domingo maíz	21
Ilustración 4. Esquema de un humedal artificial de flujo superficial	30
Ilustración 5. Esquema de un humedal sub-superficial de flujo horizontal.....	31
Ilustración 6. Esquema de un humedal sub-superficial de flujo vertical (vista corte sección).....	33
Ilustración 7. Esquema típico de una planta emergente	35
Ilustración 8. sector del café de herrera.....	37
Ilustración 9. Flujograma de planta de tratamiento	45
Ilustración 10. Sección transversal del pre-tratamiento y tratamiento primario.....	46
Ilustración 11. Sección transversal del sistema de humedal artificial	47
Ilustración 12. Isométrico del sistema de humedal sub-superficial.....	47
Ilustración 13. Isométrica con plantas del sistema de humedal Sub-superficial	48

Índice de anexos

Anexos 1. Resultado de la muestra tomada a la cañada del Café de Herrera	68
Anexos 2. Mapa de la República Dominicana	69
Anexos 3. Fotos de la cañada del Café de Herrera.....	69
Anexos 4. Construcción de humedal sub-superficial en Domingo Maíz, Verón, la Altagracia.....	73

Glosario

Aguas Residuales: Son aquellas que proceden de la contaminación del uso industrial o doméstico. Se clasifican en dos: aguas residuales industriales, aguas residuales domésticas (Castillo, Mateo, & Mercedes, 2002).

Calidad del agua: Relación de parámetros físicos, químicos y biológicos que define la composición, grado alteración, y la utilidad del cuerpo hídrico (Normas: NA-04. Norma Ambiental sobre Control de Descargas a Aguas Superficiales, Alcantarillado Sanitario y Aguas Costeras).

Coliformes Fecales: Grupo de bacterias asociadas a la flora intestinal de los animales de sangre caliente, utilizados como indicadores para determinar la calidad bacteriológica de los efluentes de los sistemas de tratamiento de aguas residuales (Normas: NA-04. Norma Ambiental sobre Control de Descargas a Aguas Superficiales, Alcantarillado Sanitario y Aguas Costeras).

Coliformes Totales: Conjunto de todos los coliformes, comprende todos los bacilos Gram negativos, aerobios o anaerobios facultativos, no esporulados (Normas: NA-04. Norma Ambiental sobre Control de Descargas a Aguas Superficiales, Alcantarillado Sanitario y Aguas Costeras).

Cuerpo Receptor: Es el ecosistema donde tienen destino final las aguas residuales ya tratadas previamente, como resultado de procesos de depuración. Pueden ser cuerpos receptores las fuentes de agua dulce superficiales, el océano, los suelos y estructuras geológicas estables (Merejo, Reyes, & Balbi, 2010).

Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO): Medida indirecta del contenido de materia orgánica biodegradable, expresada mediante la cantidad de oxígeno necesaria para oxidar biológicamente la materia organizada en una muestra de agua, a temperatura estandarizada de 20°C. Si la medición se realiza al quinto día, el valor se conoce como DBO₅ (Normas: NA-04. Norma Ambiental sobre Control de Descargas a Aguas Superficiales, Alcantarillado Sanitario y Aguas Costeras).

Demanda Química de Oxígeno (BQO): Medida indirecta del contenido de materia orgánica e inorgánica oxidable, mediante el uso de un fuerte oxidante en una muestra de agua (Normas: NA-04. Norma Ambiental sobre Control de Descargas a Aguas Superficiales, Alcantarillado Sanitario y Aguas Costeras).

Efluente: Son las aguas que fluyen fuera de una planta de tratamiento y cuya disposición final es el cuerpo receptor (Merejo, Reyes, & Balbi, 2010).

Oxígeno Disuelto (OD): Factor que indica la potencialidad de respiración de los organismos acuáticos. Su disminución (ausencia de oxígeno) promueve procesos anaerobios, anulándose la probabilidad de actividades de fauna ictícola y otros seres acuáticos. Cualquier actividad de organismos aerobios, requiere un mínimo de oxígeno en los cuerpos de agua, estableciéndose límites no inferiores a 2mg/l de oxígeno. Valores aceptables son considerados los superiores a 6 mg/l (Glosario: Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable).

La presencia de oxígeno disuelto en el agua evita la formación de olores desagradables.

Sólidos Sedimentables: Son aquellos que estando en agua laminar se van al fondo por efecto de la gravedad, tiene la particularidad de vencer la fuerza de empuje. (Castillo, Mateo, & Mercedes, 2002)

Sólidos No Sedimentables o en Suspensión: Son los sólidos que no sedimentan en el agua, negras u otros líquidos en reposo en un período de tiempo razonable (Castillo, Mateo, & Mercedes, 2002).

Sólidos Totales: Indican la cantidad de sólidos existentes en un agua, ya sea en estado coloidal, suspensión o solución. Se clasifican en: Sólidos Sedimentables y No Sedimentables (Castillo, Mateo, & Mercedes, 2002)

Abreviatura y Siglas

DBO: Demanda Bioquímica de Oxígeno

DQO: Demanda Química de Oxígeno

SST: Sólidos totales suspendidos

Hr: Hora

Lt: Litro

M: Metro

M²: Metro cuadrado

M³: Metro cúbico

Mg: Miligramo

ml: Mililitro

NMP: Número más probable

S: Segundo

P: Pies

P²: Pies cuadrado

P³: Pies cúbico

Q: Caudal

H: Profundidad del lecho

T: Temperatura

n: Porosidad de la estructura

K₂₀: Constante de temperatura para aguas residuales a 20 grado

K_t: Constante de temperatura de las aguas

d: Profundidad promedio del agua

AS: Superficie del humedal

W: Ancho del humedal

L: Largo

K_s: conductividad hidráulica de la estructura

K_{sr}: Conductividad hidráulica reducida

INTRODUCCION

En este estudio e investigación estaremos viendo el sistema de tratamiento concerniente a las aguas residuales del sector El Café de Herrera, un lugar donde los grados de pobreza y por ende de contaminación e igual el mal manejo y cuidado de estos recursos naturales, a través de una mala elaboración y falta de decisión y soluciones ha afectado de manera problemática a este Sector.

Y antes de esto ver como muchas de las plantas de tratamiento de la República Dominicana están descuidadas y fuera de uso, y las que están en funcionamiento a veces no están siendo tan eficientes como deberían ser, pues todos sabemos que si las aguas no son tratadas de manera eficiente, esto afecta de manera directa al medio ambiente.

Debido a la falta de un sistema de tratamiento es por lo cual El Café de Herrera está en tal situación, pues como en todo este tiempo las aguas no han sido tratadas esto da como resultado más contaminación afectando la salubridad de nuestros habitantes, lo que es algo que debe preocupar a todos, sabiendo que la solución es tratar estas aguas.

Obteniendo el enfoque a la problemática de la cañada del Café, se desarrolló un diseño de un sistema de tratamiento de aguas residuales, con la finalidad de tratar y disponer las aguas servidas para mejorar la calidad de vida de los moradores y concientizar a la población del uso adecuado de los recursos naturales.

Se realizaron estudios y análisis bacteriológicos y fisicoquímicos para determinar la calidad del agua de esta cañada.

Se estableció el diseño de una nueva tecnología en el país pero de un concepto antiguo y fue un sistema de humedal artificial para tratar estas aguas optando por un diseño en que todo sea obtenido de recursos naturales y biológicos para la economía y el ejemplo en entorno ambiental de la población.

Si mañana por la mañana pudieses hacer agua limpia para el mundo, habrías hecho lo mejor que puedes hacer para mejorar la salud humana y la calidad medioambiental (William C.).

Capítulo I. El problema de la investigación

Planteamiento del problema.

En la República Dominicana el 96.2% que se produce de aguas residuales son descargadas al sub suelo y al mar sin ningún tipo de tratamiento, contaminando el agua y el ambiente. Esto es un problema que no podemos dejar pasar ya que de seguir haciéndolo así sería una bomba de tiempo para la salubridad y el bienestar de los ciudadanos (Ing.Castillo, 2014).

Al estas Aguas no ser tratadas, tienden a seguir contaminadas de sólidos suspendidos, Hongos, virus y Bacterias lo cual es un peligro para nuestro Habilidad y así mismo para cada uno de nosotros.

Según (Ing. Castillo, 2014) “No se puede tomar a la ligera que de 29 plantas de tratamiento a cargo de la Corporación de Acueducto y Alcantarillado de Santo Domingo (CAASD) estén funcionando 9”.

Una de las incógnitas de la planta de tratamiento de la República dominicana es por qué dejan de funcionar, y esto puede ser por diversos problemas, tales como: Falta de mantenimiento, De capacidad de los operarios o de fondos económicos. De allí el problema de que de 29 plantas de tratamiento solo la minoría (9) están en Funcionamiento.

Por esto es necesario que se busque una manera para que las plantas de tratamiento que están activas puedan trabajar a su mayor capacidad, y Las que están fuera de funcionamiento puedan ser rehabilitadas.

Por lo cual buscar alternativas de depuración para poder solucionar el tratamiento de las aguas residuales es el soporte de toda esta problemática, Alternativas que sean lo más viables y factible posibles.

Por último pero no menos importante, presentar la esencia problemática por la que nos lleva a realizar este trabajo que se localiza en el Café de Herrera.

Ilustración 1. Habitantes del Café reclaman una solución de construir una planta de tratamiento y el saneamiento de una cañada.



Fuente:(Henríquez, 2015)

Residentes del Café de Herrera demandaron del presidente Danilo Medina la solución a varios problemas que los aquejan hace más de 10 años, durante la inauguración de un liceo en el referido sector (Henríquez, 2015).

La inauguración del liceo Carmen Luisa de los Santos en Herrera estuvo cargada de reclamos de los munícipes de Santo Domingo Oeste. Entre estos, exigieron la construcción de una planta de tratamiento de aguas residuales y el saneamiento de una cañada (Henríquez, 2015).

Preguntas de investigación

1. ¿Qué nivel de contaminación tendrá el afluente y cuál será el tipo o composición típica del agua residual?
2. ¿Qué tipos de plantas acuáticas serán de mayor factibilidad para el diseño de un humedal artificiales sub-superficial?
3. ¿El Diseño del sistema humedal Sub-superficial es funcional?
4. ¿La depuración de las aguas residuales del Café por medio de humedales artificiales, tendrá la capacidad de disminuir la carga contaminante hasta valores que cumplan con la norma de vertido de aguas residuales de la República Dominicana?

Justificación

El crecimiento de las aguas residuales y sus descargas sin tratar, han obligado a buscar, encontrar y aplicar alternativas de depuración eficiente, autónoma y económicamente que sean viables, y así poder hacer uso de ellas para disponerlas en lugares altamente necesarios.

El disponerla en lugares necesarios es parte del resultado y beneficio que se encontrara en estas aguas no tratadas además del poder reutilizarlas para estos mismos y hacer que la alternativa sea eficaz.

Entre las alternativas más idóneas se encuentran el tratamiento que emula de los fenómenos que ocurren en la naturaleza. Estos sistemas se conocen como tratamientos naturales de aguas residuales o como sistemas de infiltración de humedales.

Estos es debido a la necesidad que existe para tratar las aguas negras, tiene la ventaja de que requieren de poca o ninguna energía para funcionar u operar, proporcionan el habitat para la vida silvestre, también representan bajos costo de inversión, de operación y mantenimiento, no necesitan de personal altamente calificados para su funcionamiento, es un diseño que contribuye a nuestro medio ambiente, son estéticamente agradables a la vista.

Objetivos de la investigación

Objetivos generales

Propuesta de utilización de sistemas de humedales artificiales como alternativa para el tratamiento de agua residual.

Objetivos específicos

.

- ❖ Buscar que el Diseño cumpla con la ley de vertido de aguas residuales en la República Dominicana.
- ❖ Detallar los tipos de plantas acuáticas más eficaces que para el diseño del mismo.
- ❖ Comprobar que es conveniente utilizar un sistema de humedal artificial para el tratamiento de aguas residual.
- ❖ Identificar las características del afluente de la planta de tratamiento, para el diseño en función de la carga contaminante.

Ubicación

El diseño se realizara en el Café de Herrera Santo Domingo Oeste por la calle 8. A 42 m del nacimiento de la cañada Las coordenadas geográficas del lugar son: 18°26'00.49"N, 69°59'53.68"O. El sistema tendrá un área aproximadamente de 450.91 m2.

Ilustración 2 Ubicación de la P.T.A.R



Fuente: (Google Earth)

Antecedentes

En La República Dominicana era necesario buscar una solución para tratar las aguas negras de **Verón Altagracia Domingo maíz** y esta fue a través de la primera planta de tratamiento de agua residual mediante sistemas humedales artificiales que le ha facilitado la vida a una comunidad de 750 viviendas.

Ilustración 3. Humedal de Verón Attagracia Domingo maíz



Fuente: (ADAMES, 2014)

Verón. Unas 100 personas sembraron 1,500 plantas macrófitas para poblar el humedal que deja en funcionamiento una innovadora planta de tratamiento en la comunidad Domingo Maíz, la cual a un costo de US\$89 mil, busca reducir la contaminación del acuífero, y en una primera etapa beneficiará unas 150 familias, que representan cerca de 750 habitantes (ADAMES, 2014).

Esta planta de tratamiento es una de las obras contempladas dentro del proyecto Fuente de Vida de esta comunidad, destinado a combatir diferentes problemáticas de manejo ambiental, como son el tratamiento de las aguas residuales, el manejo de los desechos sólidos, y la construcción de un sistema de agua potable, que en el corto plazo persigue mejorar la calidad de vida de aproximadamente unas 1,500 personas que residen en el sector de Domingo Maíz (ADAMES, 2014).

Jake Kheel, director de la Fundación Ecológica Punta cana, afirma que la importancia fundamental de este proyecto radica en que en República Dominicana no hay muchos ejemplos de tratamiento de aguas residuales a nivel comunitario. “En la zona hay negocios, hoteles y empresas que tratan su agua, pero esto no se ve en las comunidades, lo cual es algo crítico, porque especialmente en el Este, todo dependemos del agua potable que emana del subsuelo” (ADAMES, 2014).

Destaca que “tanto los hoteles, la comunidad y los negocios de la zona, somos dependientes de la misma fuente de agua, y si no la cuidamos se puede contaminar esa fuente importante de agua, lo que puede afectar el turismo” (ADAMES, 2014).

“Entonces la importancia de este proyecto es simplemente tener un ejemplo a pequeña escala de lo que se puede hacer para tratar el agua a nivel comunitario, como también para demostrar que se pueden realizar proyectos en conjunto con la comunidad, tener éxito, y replicarlos en otras zonas de Verón, Punta Cana y el resto del país”, afirma (ADAMES, 2014).

Destaca que “la idea es crear soluciones de bajo costo que se puedan replicar, como este sistema, que no necesita electricidad ni bombeo, y funciona por gravedad, donde el agua fluye sola, y en el cual las plantas aportan la mayoría del tratamiento que necesita el agua, lo que la convierte en una tecnología apropiada para tratar la problemática en proporción con el nivel de desarrollo de la comunidad” (ADAMES, 2014).

Kheel, afirma que “se siente muy agradecido de que la comunidad aceptó este proyecto y se esforzó en hacerlo realidad, al tratar de implementar este modelo piloto, como también agradece los esfuerzos de muchos socios de la fundación, como son el Club Rotario Punta Cana-Bávaro, el Cuerpo de Paz, la Universidad de Virginia Tech, Hospital International, entre otras instituciones” (ADAMES, 2014).

(Según INAPA, 2016) se está construyendo una Planta de tratamiento de tratamiento de laguna facultativa y sistemas humedales artificiales en la provincia de Monseñor Nouel.

Limitaciones

Esta tesis solo está enfocada en el diseño de humedal artificial sub-superficial.

Se asumió una DQO mayor que el de los estudios, debido a que INAPA estableció un día específico para tomar la muestra, y en la madrugada llovió en la zona del Café en gran cantidad lo que hizo que cuando se tomó la muestra en la mañana, las concentraciones del agua residual de la cañada se disminuyeran, esto debido a que el agua lluvia hizo que el agua residual se diluyera, y estos son factores que afectan de manera directa a las características típicas del agua residual.

Capítulo II. Marco teórico

A continuación se describen los tipos de aguas residuales más comunes y los métodos de tratamientos más usados hoy en día, de igual manera se detallan las plantas de tratamientos por humedales artificiales.

Las Aguas Residuales

Se les llama aguas residuales a aquellas que fueron aprovechadas o utilizadas en algún proceso de cualquier tipo, por lo tanto, se encuentran saturados por metales pesados, cloro, microorganismos, grasas y aceites, además contiene una elevada Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) y otros sólidos. Son las aguas usadas y los sólidos que por uno u otro medio se introducen en las cloacas y son transportados mediante el sistema de alcantarillado (pascual, 2013).

Las aguas residuales se dividen en tres grupos principales que son:

- Aguas residuales domésticas: las que provienen directamente de viviendas, residencias, hoteles, edificios comerciales e institucionales (pascual, 2013).
- Aguas residuales municipales: son los residuos líquidos transportados por el alcantarillado de una ciudad o población y en algunos casos tratados en una planta para aguas residuales municipal (pascual, 2013).
- Las aguas residuales industriales: son las que descargan las industrias manufactureras o de cualquier otro tipo (pascual, 2013).

Composición de las aguas residuales

La composición de aguas residuales se refiere a las cantidades de constituyentes físicos, químicos y biológicos presentes en las aguas residuales. En este apartado se presentan datos sobre diferentes contribuyentes de las aguas residuales y de los fangos de las fosas sépticas. También se incluyen comentarios acerca de la necesidad de profundizar en la caracterización de las aguas residuales y sobre la incorporación de minerales que se produce durante los diversos usos del agua (Metcalf & Eddy, 1998).

Composición del agua residual y del líquido séptico

La tabla-1 de la composición típica de aguas residual domésticas bruta presenta datos típicos de los constituyentes encontrados en el agua residual doméstica. En función de las concentraciones presentan variaciones en función de la hora del día, el día de la semana, el mes del año y otras condiciones locales por ello, los datos de la tabla pretenden solamente servir de guía y no como base de proyecto. El líquido séptico es el fango producido en los sistemas de evacuación de las aguas residuales individuales principalmente fosas sépticas y pozos negros. Las cantidades y constituyentes del fango sépticas y pozos negros. Las cantidades y constituyentes del fango séptico varían ampliamente. Las mayores variaciones se producen en comunidades que no existe un control adecuado sobre la recogida y evaluación de los residuos. En la tabla-2 se proporciona algunos datos sobre los componentes de este líquido séptico (Metcalf & Eddy, 1998).

Tabla 1. Composición típica del agua residual domestica bruta

Contaminante	Unidades	Concentración		
		Débil	Media	Fuerte
Sólidos totales (ST)	Mg/l	350	720	1200
Disuelto totales (SDT)	Mg/l	250	500	850
Fijos	Mg/l	145	300	525
Volátiles	Mg/l	105	200	325
Sólidos en suspensión (SS)	Mg/l	100	220	350
Fijos	Mg/l	20	55	75
Volátiles	Mg/l	80	165	275
Sólidos sedimentales	MI/l	5	10	20
Demanda bioquímica de Oxígeno, mg/l 5 días 20 C	Mg/l	110	220	400
Carbono orgánico total(COT)	Mg/l	80	160	290
Demanda química de oxígeno(QDO)	Mg/l	250	500	1000
Nitrógeno (total en la forma N)	Mg/l	20	40	85
Orgánico	Mg/l	8	15	35
Amoniaco libre	Mg/l	12	25	50
nitritos	Mg/l	0	0	0
nitratos	Mg/l	0	0	0
Fosforo (total en la forma P)	Mg/l	4	8	15
Orgánico	Mg/l	1	3	5
Inorgánico	Mg/l	3	5	10
Cloruros	Mg/l	30	50	100
Sulfato	Mg/l	20	30	50
Alcalinidad (como CaCO3)	Mg/l	50	100	200
Grasa	Mg/l	50	100	150
Coliformes totales	n/100 ml	10 ⁶ -10 ⁷	10 ⁷ -10 ⁸	10 ⁷ -10 ⁹
Compuesto orgáni covolátiles	Mg/l	Menor 100	100-400	Mayor 400

(Características del agua residual, Melcafl y Eddy)

Tabla 2. Características típicas del líquido de las fosas sépticas

Constituyente	Concentración, mg/l	
	Intervalo	Valor típico
Sólidos Totales (ST)	5,000-100,000	40,000
Sólidos en suspensión (SS)	4,000-100,000	15,000
Sólidos en suspensión volátiles (SSV)	1,200-100,000	7,000
DBO ₅ , 20°C	2,000-30,000	6,000
Demanda química de oxígeno	5,000-80,000	30,000
Nitrógeno Kendal total (NTK como N)	100-1,600	700
Amoniaco, NH ₃ como N	100-800	400
Fosforo total como P	50-800	250
Metales pesados	100-1,000	300

(Características del agua residual, Melcafl y Eddy)

Microorganismos en las aguas residuales

En la tabla 3 se facilitan datos acerca del tipo y número de microorganismos cuya presencia es habitual en las aguas residuales. La amplia variación en los intervalos de valores propuestos es las características de los ensayos con aguas residuales. Se estima que cerca de un 30-40 por 100 del total de los conformes son patógenos (Características del agua residual, Melcafl y Eddy).

Tabla 3. Tipos y números de microorganismos típicamente presentes en las aguas residuales domesticas brutas

Organismo	Concentración, numero/ml
Coliformes totales	10 ⁵ – 10 ⁶
Coliformes fecales	10 ⁴ – 10 ⁵
Estreptococos fecales	10 ³ – 10 ⁴
Enterococos	10 ² – 10 ³
Shigella	<i>Presentes^b</i>
Salmonella	10 ⁰ – 10 ²
Pseudomonasaeruginosa	10 ¹ – 10 ²
Clostridiumperfringens	10 ¹ – 10 ³
Mycobacterium tuberculosis	<i>Presentes^b</i>
Cistos de protozos	10 ¹ – 10 ³
Cistos de giarda	10 ⁻¹ – 10 ²
Cistos de cryptosporidium	10 ⁻¹ – 10 ¹
Huevos de helmintos	10 ⁻² – 10 ¹
Virus entericos	10 ¹ – 10 ²

(Características del agua residual, Melcafl y Eddy)

Estudios de caracterización del agua residual

Están encaminados a determinar las características físicas, químicas y biológicas del agua y las concentraciones de los constituyentes del agua residual y los medios óptimos para reducir las concentraciones de contaminantes. Y en esta sesión se describen los:

- ❖ Procedimiento de muestreo del agua residual
- ❖ Los métodos de análisis de muestras
- ❖ Las expresiones utilizadas en la presentación de los resultados

Tratamiento de las aguas residuales

Existen diversos métodos de tratamiento para las aguas residuales, a continuación se describen algunas de ellas, pero antes es necesario describir los segmentos que componen a un sistema, el cual depende de la cantidad de material contaminante removido y la calidad del efluente deseado después de pasar por el sistema de tratamiento (pascual, 2013).

Tratamiento primario

Parte del sistema de tratamiento que consta en el uso principalmente de; trampas, mallas, rejillas, cribas y coladores, los cuales contemplan operaciones físicas para la eliminación de sólidos sedimentables y flotantes presentes en el agua residual mediante el desbaste, filtración, desarenado, sedimentación, mezclado, floculación y flotación (pascual, 2013).

Tratamiento secundario

Esta parte se desarrolla mediante procesos biológicos y químicos para remoción principalmente de compuestos orgánicos biodegradables y sólidos suspendidos, los cuales pueden lograrse mediante tanques anaerobios, lagunas de estabilización y humedal artificial de flujo sub-superficial (pascual, 2013).

Métodos de tratamiento de aguas residuales

Existen innumerables métodos de tratamiento para las aguas residuales, de los cuales, cada uno brinda resultados satisfactorios, pero la diferencia más marcada entre ellas es el costo de la infraestructura y la demanda de superficies o espacios para su construcción. (pascual, 2013)

En general, los procesos de tratamiento de las aguas se definen por la presencia o ausencia de oxígeno disuelto, es decir, condiciones aerobias o anaerobias, lo que lleva consigo condiciones de fotosíntesis, movilidad o estabilidad de los microorganismos, etc. (pascual, 2013)

Tipos de plantas de tratamiento de aguas residuales

En cuanto a tipos de plantas para el tratamiento de las aguas residuales, también se conocen varias tecnologías y diferentes técnicas.

- **Tratamiento preliminar:** Rejas y cribas de barra, tamices o cribas de malla fina, desmenuzadores, desarenadores, separadores de grasas y aceites.
- **Tratamiento primario:** Tanques sépticos, tanques de doble acción (Imhoff), tanques clarificadores, reactores anaerobios.
- **Tratamiento secundario:** Lodos activados, lagunas de estabilización (de oxidación), filtros percoladores, humedales artificiales, biotorres, biodiscos.
- **Tratamiento terciario:** Adsorción en carbón activado, Intercambio iónico, Osmosis inversa, Electrodialisis, Oxidación química, Proceso Sonozone

Tratamiento de aguas residuales por humedal artificial

El término de Humedales construidos es relativamente nuevo; sin embargo, el concepto es antiguo, pues se tiene conocimiento de que las antiguas culturas como son la China y la Egiptia utilizaban a los humedales naturales para la disposición de sus aguas residuales. (pascual, 2013)

Los “Humedales artificiales” o “Humedales Construidos”. Son sistemas complejos e integrados en los que tienen lugar interacciones entre el agua, plantas, animales, microorganismos, energía solar, suelo y aire; con el propósito de mejorar la calidad del agua residual y proveer un mejoramiento ambiental (pascual, 2013)

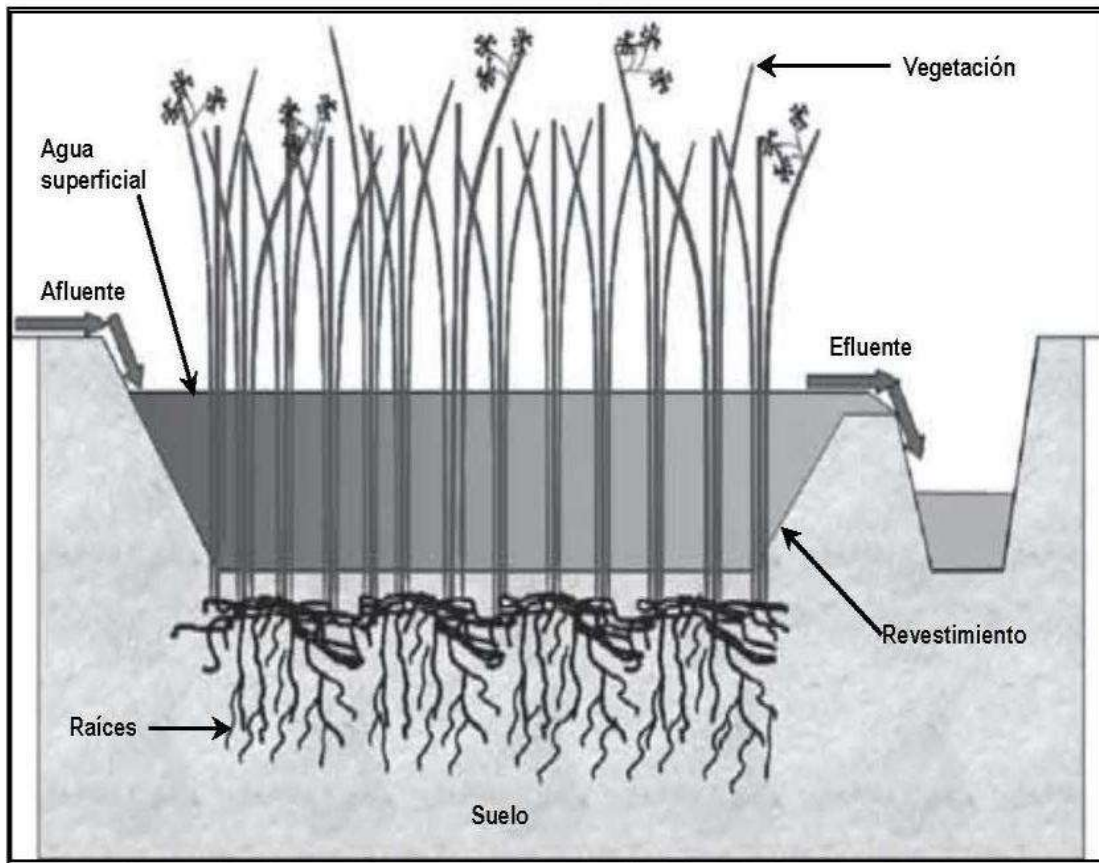
El funcionamiento de los humedales artificiales se fundamenta en tres principios básicos: La actividad bioquímica de los microorganismos, El aporte de oxígeno a través de las plantas durante el día y el apoyo físico de un lecho inerte que sirve como soporte para el enraizamiento de las plantas, además de funcionar como material filtrante (pascual, 2013).

Tipos de humedales artificiales

Humedal artificial de flujo superficial

Se definen como humedales artificiales de flujo libre superficial aquellos sistemas en los cuales el agua está expuesta a la atmósfera. Los humedales artificiales de flujo libre consisten normalmente de una o más cuencas o canales de poca profundidad que pueden o no tener un recubrimiento de fondo para prevenir la percolación al agua freática susceptible a contaminación y una capa sumergida de suelo para soportar las raíces de la vegetación macrófita emergente. Cada sistema tiene estructuras adecuadas de entrada y descarga para asegurar una distribución uniforme del agua residual (Espinosa, 2014).

Ilustración 4. Esquema de un humedal artificial de flujo superficial



Fuente: (Espinosa, 2014)

La vegetación en este sistema está parcialmente sumergida en el agua, cuya profundidad varía entre 0,1 a 0,45 m. La vegetación más usada para los humedales de flujo libre incluye éneas, carrizos, juncias y juncos (1), es común que sólo se seleccionen una o dos especies para la siembra (3). El agua residual normalmente se alimenta en forma continua y el tratamiento se produce durante la circulación del agua a través de los tallos y raíces de la vegetación emergente (1), en algunos casos, el agua se pierde completamente por evapotranspiración y percolación en el humedal. (Espinosa, 2014)

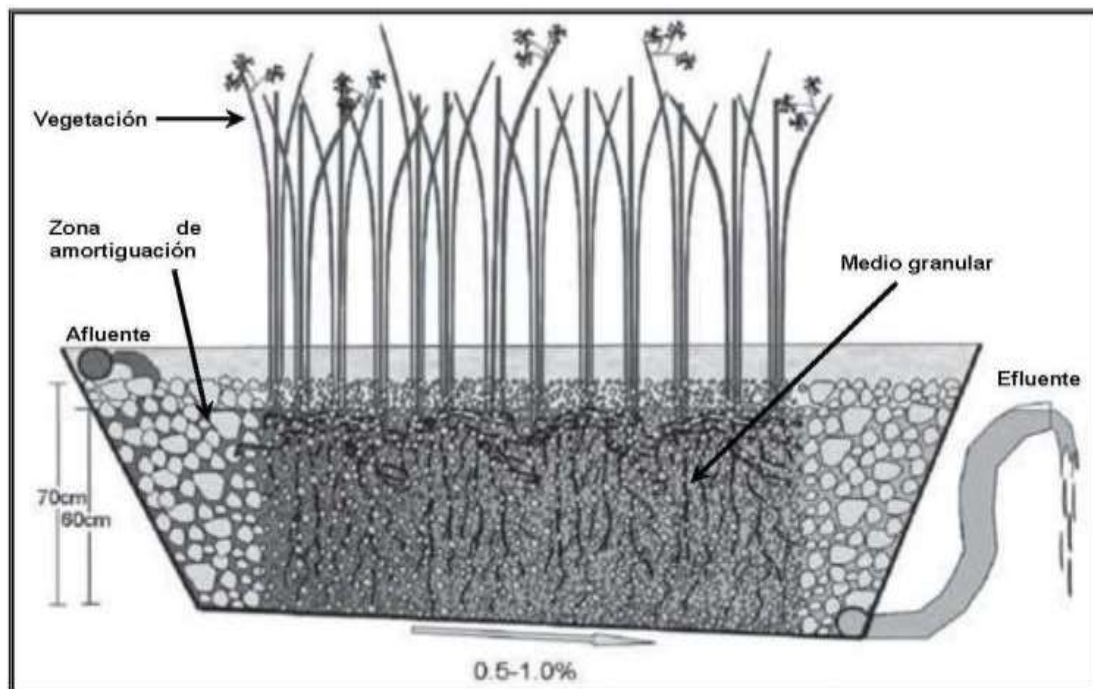
Humedales sub-superficiales de flujo horizontal

Son los sistemas más utilizados en Europa y tienen su origen en la investigación de Seidel en 1967 y Kickuth en 1977. El diseño de estos sistemas por lo general consiste en una cama, ya sea de tierra o arena y grava, plantada con macrófitas acuáticas, en la mayoría de los casos con la caña común o carrizo (*Phragmites australis*). Toda la cama es recubierta por una membrana impermeable para evitar filtraciones en el suelo (Espinosa, 2014).

El agua circula horizontalmente a través del medio granular, los rizomas y raíces de las plantas, ingresando en forma permanente. Es aplicada en la parte superior de un extremo y recogida por un tubo de drenaje en la parte opuesta inferior. El agua residual se trata a medida que fluye lateralmente a través de un medio poroso (flujo pistón). La profundidad del lecho varía entre 0,45 m a 1 m y tiene una pendiente de entre 0,5 % a 1 % (Espinosa, 2014).

El agua residual no ingresa directamente al medio granular principal, sino que existe una zona de amortiguación generalmente formada por grava de mayor tamaño (Espinosa, 2014).

Ilustración 5. Esquema de un humedal sub-superficial de flujo horizontal.



Fuente: (Espinosa, 2014)

El sistema de recogida consiste en un tubo de drenaje cribado, rodeado con grava de igual tamaño que la utilizada al inicio. El diámetro de la grava de ingreso y salida oscila entre 50 mm a 100 mm. La zona de plantación está constituida por grava fina de un solo diámetro, entre 3 mm a 32 mm. (Espinosa, 2014)

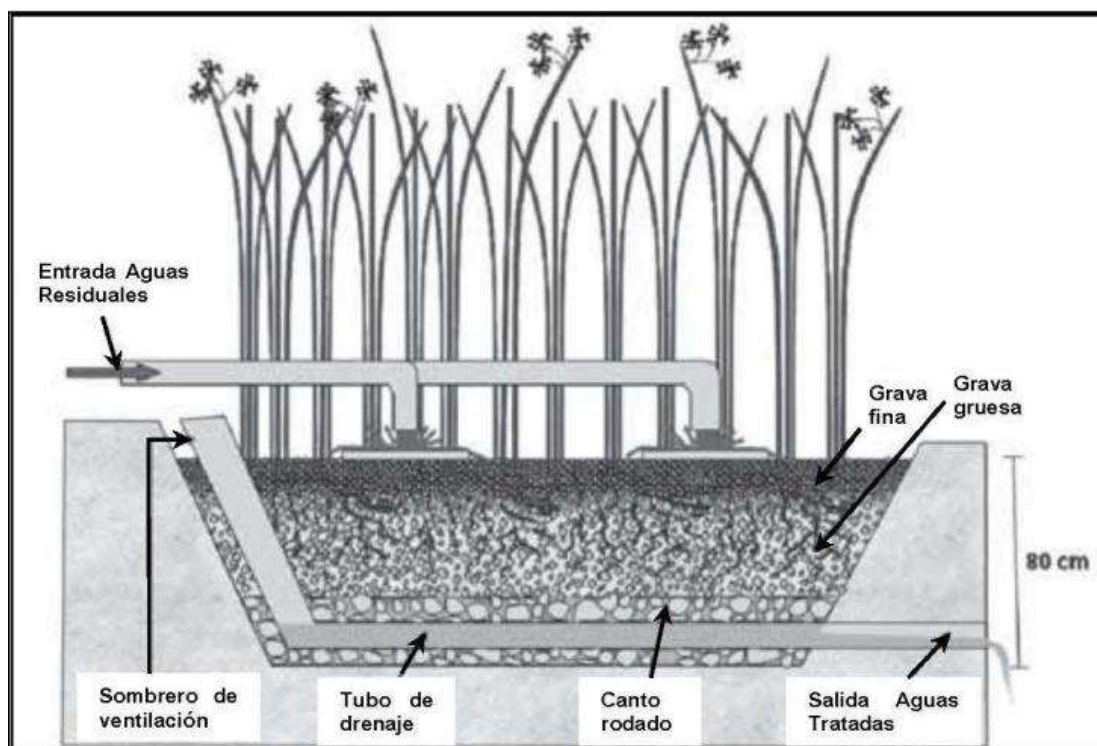
Es fundamental que el agua residual que ingresa al sistema se mantenga en un nivel inferior a la superficie (5 a 10 cm), lo cual se logra regulando el nivel del dispositivo de salida en función a este requerimiento. Usualmente operan con un máximo de 2 a 6 g DBO/m² d. Son eficientes en la remoción de DBO y SST y poco eficientes en la remoción de nutrientes. Generalmente las eficiencias logradas son de: 91 % para SST, 89 % para la DBO, 33 % para nitrógeno total y 32 % fósforo total (Espinosa, 2014).

Humedales sub-superficiales de flujo vertical

Esta tipología de humedales fue desarrollada en Europa como alternativa a los humedales horizontales para producir efluentes nitrificados. En general los sistemas verticales se combinan con horizontales para que se sucedan de forma progresiva los procesos de nitrificación y desnitrificación y se consiga así eliminar nitrógeno (Espinosa, 2014).

Los sistemas verticales con flujo sub-superficial son cargados intermitentemente. De esta forma, las condiciones de saturación con agua en la cama matriz son seguidas por períodos de insaturación, estimulando el suministro de oxígeno. Hay muchas posibilidades de variar la distribución de intervalos, la composición de la cama matriz, etcétera, y los resultados que se han obtenido son promisorios (Espinosa, 2014).

Ilustración 6. Esquema de un humedal sub-superficial de flujo vertical (vista corte sección).



Fuente: (Espinosa, 2014)

Los sistemas verticales tienen una mayor capacidad de tratamiento que los horizontales, requieren de menor superficie para tratar una determinada carga orgánica. Por otra parte, son más susceptibles a la colmatación (Espinosa, 2014).

Partes de un Humedal artificial de flujo sub-superficial

Las aguas residuales

Las aguas residuales municipales son las que provienen del sistema de abastecimiento de agua de una población. Después de haber sido modificadas por diversos usos en actividades domésticas, industriales y comunitarias, son recogidas por una red de alcantarillado que las conducirá hacia el humedal (Espinosa, 2014).

Vegetación

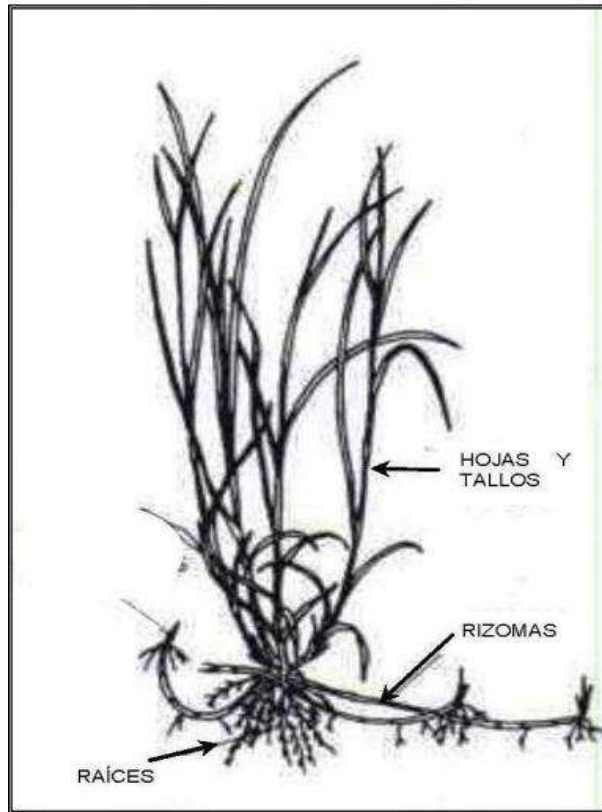
El mayor beneficio de las plantas es la transferencia de oxígeno a la zona de la raíz. Su presencia física en el sistema (tallos, raíces y rizomas) permite la penetración a la tierra o medio de apoyo y transporta el oxígeno de manera más profunda, de lo que llegaría naturalmente a través de la sola difusión. Lo más importante en los humedales artificiales es que las porciones sumergidas de las hojas y tallos muertos se degradan y se convierten en lo que hemos llamado restos de vegetación, que sirve como sustrato para el crecimiento de la película microbiana fija que es la responsable de gran parte del tratamiento que ocurre (Espinosa, 2014).

Las plantas emergentes que frecuentemente se encuentran en la mayoría de los humedales para aguas residuales son las espadañas, carrizos, juncos y juncos de laguna. Los juncos de laguna y las espadañas o una combinación de estas dos especies, son las dominantes en la mayoría de los humedales artificiales en los Estados Unidos. También existen algunos sistemas con carrizos, siendo esta especie la dominante en los humedales artificiales europeos (Espinosa, 2014).

ToTora (Typha)

La Espadaña es una planta robusta, capaz de crecer bajo diversas condiciones medio ambientales, de fácil propagación, por lo que representa una planta ideal para un humedal artificial. También es capaz de producir una biomasa anual grande y tiene un potencial pequeño de remoción de nitrógeno y fósforo. Los rizomas de Espadaña plantados a intervalos de aproximadamente 0,6 m pueden producir una cubierta densa en menos de un año. Tiene una relativamente baja penetración en grava aproximada a los 0,3 m, por lo que no es recomendable para sistemas de flujo sub-superficial (Espinosa, 2014).

Ilustración 7. Esquema típico de una planta emergente



Fuente: (Espinosa, 2014)

Juncos (Scirpus)

Son de la familia de las ciperáceas y crecen en grupos, generalmente en aguas interiores y costeras, pantanos salobres y humedales. Los juncos son capaces de crecer bien en agua desde 5 cm a 3 cm de profundidad. Las temperaturas deseables son entre 16 a 27° C. Se encuentran juncos creciendo en un pH de 4 a 9, donde la mayoría de las especies tienen un crecimiento moderado y pueden lograr un buen cubrimiento en alrededor de un año con separaciones cercanas a 0,3 m. Penetra en grava aproximadamente 0,6 m por lo que son muy usadas en humedales de flujo sub-superficial, existiendo en la actualidad muchas variedades de Scirpus (Espinosa, 2014).

Carrizos (Phragmites)

Son plantas de crecimiento anual, con rizomas extensos, logrando un buen recubrimiento en un año, con separación de 0,6 m. En Europa se han usado carrizos y han sido las plantas acuáticas emergentes más extensas. Los sistemas que utilizan carrizos pueden ser más eficientes en la transferencia de oxígeno porque penetran verticalmente y a mayor profundidad que las espadañas, pero menos que los juncos en aproximadamente 0,4 m. Son muy usados para humedales artificiales debido a la ventaja de tener un bajo valor alimenticio y por tanto, no se ven atacadas por animales como sucede con otros tipos de plantas (Espinosa, 2014).

Microorganismos

Los microorganismos se encargan de realizar el tratamiento biológico. En la zona superior del humedal, donde predomina el oxígeno liberado por las raíces de las plantas y el oxígeno proveniente de la atmósfera, se desarrollan colonias de microorganismos aerobios. En el resto del lecho granular predominarán los microorganismos anaerobios. Los principales procesos que llevan a cabo los microorganismos son la degradación de la materia orgánica, la eliminación de nutrientes, elementos traza y la desinfección (Espinosa, 2014).

Los principales microorganismos presentes en la biopelícula de los humedales son: bacterias, levaduras, hongos y protozoarios. La biomasa microbiana consume gran parte del carbono y muchos nutrientes (Espinosa, 2014).

Sustrato (medio granular).

En los humedales el sustrato está formado por el suelo: arena, grava, roca, sedimentos y restos de vegetación que se acumulan en el humedal debido al crecimiento biológico. La principal característica del medio es que debe tener la permeabilidad suficiente para permitir el paso del agua a través de él. Esto obliga a utilizar suelos de tipo granular, principalmente grava seleccionada con un diámetro de 5 mm aproximadamente y con pocos (Espinosa, 2014).

Revestimiento.

El requisito de revestimientos en los humedales artificiales depende de los requerimientos reglamentarios y de cada lugar de las características de la superficie y el subsuelo. En general, si los suelos son porosos (por ejemplo, arena), bien drenados, y contienen pequeñas cantidades de margas, arcillas y limos, el revestimiento es probable que sea un requisito para los humedales construidos (Espinosa, 2014).

Marco contextual

Características del lugar

El sector del café posee alrededor de 2000 viviendas, la ONE nos facilitó información sobre el café en la cual dice que el café está dividido en sub-barrios y de estos sub barrios escogimos la mitad de estos (Gutierrez, 2016).

El área de estudio posee actualmente 1000 viviendas, con un promedio de (6) habitantes por vivienda, obteniendo una población de 6000 habitantes que serán beneficiados por este sistema. El proyecto tendrá un periodo de diseño de aproximadamente 20 años, y al final de su vida útil éste deberá tratar las aguas residuales provenientes de una población total de 8242 habitantes.

Ilustración 8. Sector del café de herrera



Fuente: (Google Earth)

Capítulo III. Marco Metodológico

Recopilación de información existente

Para la recopilación de datos se hizo uso de libros, revistas, la Internet, entrevistas, entidades públicas y privadas, en particular la Instituto Nacional De Aguas Potables Y Alcantarillados (INAPA)

Observación directa e indirecta

Este consiste en visitar la comunidad auxiliándonos de algunas herramientas como son: sistema de posicionamiento global (GPS), fotografía aérea, cámara fotográfica, etc.

Pruebas realizadas

Análisis Físicoquímico y Bacteriológico para determinar la calidad del agua de la zona objeto de estudio.

Se tomaron muestras de agua. Esta muestra fue tomada en recipientes especiales otorgados por INAPA. La muestra fue tomada temprano. Se mantuvieron a una baja temperatura para contener la mayor contaminación de la muestra.

Impacto Ambiental que se produciría por la Planta de Tratamiento de Aguas

Residuales

- ❖ Mejoramiento de calidad del aire por tratamiento de las aguas servidas, debido a la disminución en forma significativa, de olores existentes en la zona, produciendo un aumento del bienestar de las personas.
- ❖ Mejoramiento de la calidad bacteriológica del agua.
- ❖ Mejoramiento de la salud en la calle 8 del sector de herrera.
- ❖ Recuperación de la fauna.
- ❖ Recuperación de la flora.
- ❖ Recuperación de hábitats.
- ❖ Pérdida sobre la diversidad de la fauna.
- ❖ Pérdida sobre la diversidad de la flora.

Evaluación de Impacto ambiental en las plantas de tratamiento de aguas residuales

Se conoce como evaluación de impacto ambiental como el instrumento de política y gestión ambiental formado por el conjunto de procedimientos, estudios, y sistemas técnicos que permitan estimar los efectos que la ejecución de una determinada obra, actividad o proyecto puedan causar sobre el medio ambiente (Ley General de Medio Ambiente y Recursos Naturales No.64-00, 2000).

La Ley 64-00 del año 2000 del Ministerios de Medio Ambiente y Recursos Naturales establece en su artículo 38, capítulo IV:

Con la finalidad de prevenir, controlar, y mitigar los posibles impactos sobre el medio ambiente y recursos naturales ocasionados por obras, proyectos y actividades, se establece el proceso de Evaluación Ambiental con los siguientes instrumentos (Ley General de Medio Ambiente y Recursos Naturales No.64-00, 2000):

1. Declaración de Impacto Ambiental (DIA)
2. Evaluación Ambiental Estratégica
3. Estudio de Impacto Ambiental
4. Informe Ambiental
5. Licencia Ambiental
6. Permiso Ambiental
7. Auditorías Ambientales
8. Consulta Pública

Declaración de Impacto Ambiental (DIA): es un proceso que analiza una propuesta de acción desde el punto de vista de su efecto sobre el medio ambiente y los recursos naturales, y consiste en la enunciación del efecto sustancial, positivo o negativo de dicha acción propuesta sobre uno o varios elementos (Ley General de Medio Ambiente y Recursos Naturales No.64-00, 2000).

Evaluación Ambiental Estratégica: es un instrumento de evaluación ambiental de las políticas públicas, actividades y proyectos sectoriales para garantizar la incorporación de la variable ambiental en los distintos sectores de la administración pública (Ley General de Medio Ambiente y Recursos Naturales No.64-00, 2000).

Estudio de Impacto Ambiental: es un conjunto de actividades técnicas y científicas destinadas a la identificación, predicción y control de los impactos ambientales de un proyecto y sus alternativas, presentando en forma de informe técnico y realizado según los criterios establecidos por las normas vigentes (Ley General de Medio Ambiente y Recursos Naturales No.64-00, 2000).

Licencia Ambiental: documento en el cual se hace constar que se ha entregado el estudio de impacto ambiental correspondiente y que la actividad, obra o proyecto se puede llevar a cabo, bajo el condicionamiento de aplicar el programa de adecuación y manejo ambiental indicado en el mismo (Ley General de Medio Ambiente y Recursos Naturales No.64-00, 2000).

Permiso Ambiental: documento otorgado por la autoridad competente a solicitud de la parte interesada, en el cual certifica que, la actividad se puede ejecutar bajo el condicionamiento de

cumplir las medidas indicadas (Ley General de Medio Ambiente y Recursos Naturales No.64-00, 2000).

Auditorías Ambientales: evaluación sistemática, documentada, periódica y objetiva que se realiza para determinar si el sistema de gestión y el comportamiento ambiental satisfacen las disposiciones previamente establecidas, si el sistema se ha implantado de forma efectiva y si es adecuado para alcanzar la política y objetivos ambientales (Ley General de Medio Ambiente y Recursos Naturales No.64-00, 2000).

Capítulo IV. Diseño del tratamiento de aguas residuales mediante sistemas de humedales artificiales

Tabla 4. Valores de descarga permisibles

Población Hab.Equiv	VALORES MAXIMOS PERMISIBLES								
	-	Mg/L							NMP/10 0ml
	pH	DBO ₅	DQO	SS	N-NH ₄	N-(NH ₄ +NO ₃)	P-PO ₄	CL.res	C.T
<5,000	6-8.5	50	160	50	-	-	-	0.05	1000
5,001-10,000	6-8.5	45	150	45	-	-	-	0.05	1000
10,001-100,000	6-8.5	35	130	40	10	18	3	0.05	1000
>100,001	6-8.5	35	130	35	10	18	2	0.05	1000

Nota: La producción de DBO₅ de un habitante equivalente es aproximadamente 60g/hab/d

Demanda biológica de oxígeno DBO₅

Demanda química de oxígeno DQO

Sólidos suspendidos (SS)

Nitrógeno del amonio (N-NH₄)

Nitrogeno amonio y nitratos N-NH₄+NO₃

Fósforo de ortofosfatos (P-PO₄)

Cloro residual (Cl₂. Res) libre

Coliformes totales (C.T)

(Normas: NA-04. Norma Ambiental sobre Control de Descargas a Aguas Superficiales, Alcantarillado Sanitario y Aguas Costeras)

Composición típica o tipo de agua residual

Siempre ha sido importante analizar el tipo de agua y sus concentraciones y para saber esto es necesario hacer una comparación entre los parámetros establecidos por Melcafl y Eddy y los estudios de la muestra (Metcalf & Eddy, 1998).

Tabla 5. Composición típica del agua residual domestica bruta

Contaminante	Unidades	Concentración		
		Débil	Media	Fuerte
Sólidos totales (ST)	Mg/l	350	720	1200
Disuelto totales (SDT)	Mg/l	250	500	850
Fijos	Mg/l	145	300	525
Volátiles	Mg/l	105	200	325
Sólidos en suspensión (SS)	Mg/l	100	220	350
Fijos	Mg/l	20	55	75
Volátiles	Mg/l	80	165	275
Sólidos sedimentales	MI/l	5	10	20
Demanda bioquímica de Oxígeno, mg/l 5 días 20 C	Mg/l	110	220	400
Carbono orgánico total(COT)	Mg/l	80	160	290
Demanda química de oxígeno(QDO)	Mg/l	250	500	1000
Nitrógeno (total en la forma N)	Mg/l	20	40	85
Orgánico	Mg/l	8	15	35
Amoniaco libre	Mg/l	12	25	50
nitritos	Mg/l	0	0	0
nitratos	Mg/l	0	0	0
Fosforo (total en la forma P)	Mg/l	4	8	15
Orgánico	Mg/l	1	3	5
Inorgánico	Mg/l	3	5	10
Cloruros	Mg/l	30	50	100
Sulfato	Mg/l	20	30	50
Alcalinidad (como CaCO3)	Mg/l	50	100	200
Grasa	Mg/l	50	100	150
Coliformes totales	n/100 ml	10 ⁶ -10 ⁷	10 ⁷ -10 ⁸	10 ⁷ -10 ⁹
Compuesto orgánico volátiles	Mg/l	Menor 100	100-400	Mayor 400

(Características del agua residual, Melcafl y Eddy)

Tabla 6. Análisis de los resultados obtenidos según analítica realizada por el Lab. De calidad de agua del INAPA

ANALISIS	RESULTADO	UNIDAD
pH	7.24	
Conductividad	976.0	$\mu s/cm$
Temperatura	25.0	$^{\circ}C$
DQO	35.0	Mg/l
Coliformes totales	7.9×10^6	NMP/100mm
Coliformes fecales	7.9×10^6	NMP/100mm
E. coli (Mug)	4.9×10^6	NMP/100mm
Sólidos totales	635	Mg/l
Sólidos sedimentales	0.0	Mg/l
Sólidos suspendidos totales	17.0	Mg/l
Nitratos ($NO_3 - N$)	4.4	Mg/l
Nitritos ($NO_2 - N$)	0.64	Mg/l
Amonio ($NH_3 - N$)	0.87	Mg/l

Comparando los valores de las concentraciones físicos, químicos y biológicos podemos confirmar que los resultados del estudio dan una concentración de agua residual de tipo **débil**.

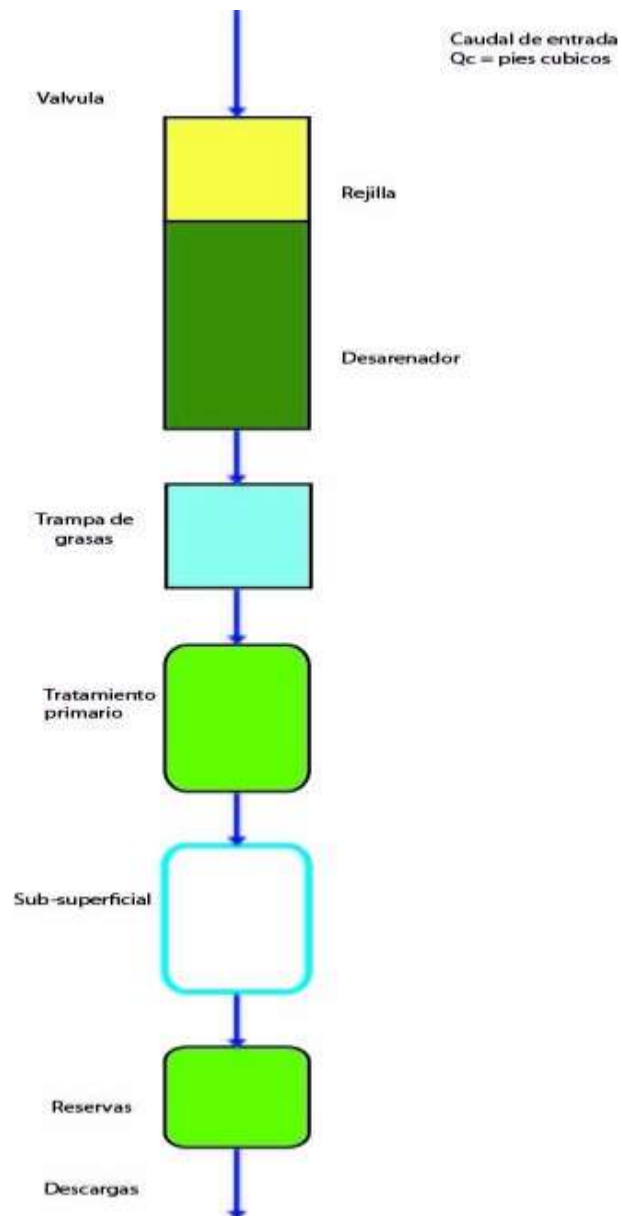
Entrada del afluente al sistema de tratamiento

La cañada será desviada de su cauce natural hacia la planta para así garantizar que el sistema siempre funcione correctamente. En caso de haber crecidas que el sistema no pueda soportar, este tendrá una compuerta la cual se abrirá para que el río retome su curso y así el sistema no sea afectado.

Unidades que componen la planta de tratamiento de aguas residuales

1. Pre- tratamiento
 2. Tratamiento primario
 3. Tratamiento secundario
- Sistema humedal artificial

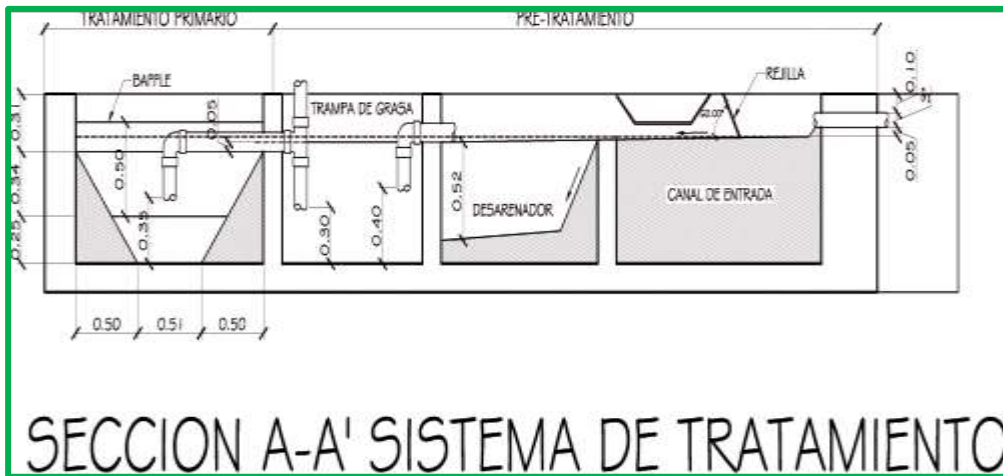
Ilustración 9. Flujograma del sistema de tratamiento



Unidades de pre-tratamiento y tratamiento primario

La estructura de pre-tratamiento estará compuesta por una rejilla, un desarenador, una trampa de grasa y luego procederá a un tratamiento primario que consistirá en un Baffle ya que estos permiten mayor eficacia en la sedimentación de sólidos.

Ilustración 10. Sección transversal del pre-tratamiento y tratamiento primario



Fuente: (Rudamán, 2012)

Unidad de tratamiento secundario

Este proceso se construirá mediante una unidad de humedales sub-superficiales se considerarán las concentraciones del afluente de la cañada así como el caudal, las características del lecho, el dimensionamiento del humedal, y sus características hidráulicas.

Nota:

- La DQO por objetivos de diseño para dimensionar el humedal y debido a la gran cantidad de lluvia que se involucró en la toma de la muestra hizo que el agua se diluyera se asumió de un 35 a 70 ml/l

- las plantas se deben mantener a una separación de 10 pul y se debe eliminar las plantas que puedan desarrollar y reducir la separación de las plantas originales.

Ilustración 11. Sección transversal del sistema de humedal artificial



Fuente: (Rudamán, 2012)

Ilustración 12. Isométrico del sistema de humedal sub-superficial



Fuente propia: (Abikarram & Batista, 2016)

Ilustración 13. Isométrica con plantas del sistema de humedal Sub-superficial



Fuente: (Rudamán, 2012)

Plantas acuáticas a utilizar en el diseño

Los sistemas de plantas acuáticas están en los estanques poco profundos como plantas acuáticas flotantes o sumergidas. Los sistemas más completamente estudiados son aquellos que usan el Jacinto de agua o lenteja de agua. Estos sistemas incluyen dos tipos basado en tipos de plantas dominantes. El primer tipo usa plantas flotantes y se distingue por la habilidad de estas plantas para derivar el dióxido carbono y las necesidades de oxígenos de la atmósfera directamente. Las plantas reciben sus nutrientes minerales desde el agua. El segundo tipo de sistema consiste en plantas sumergidas, se distingue por la habilidad de estas plantas para absorber oxígeno, dióxido de carbono, y minerales de la columna de agua. Las plantas sumergidas se inhiben fácilmente por la turbiedad alta en el agua porque sus partes fotosintéticas están debajo del agua (Gómez, 2006).

Tabla 7. Funciones de las plantas en tratamientos acuáticos

Raíces y/o tallos en la columna de agua.	<ol style="list-style-type: none"> 1. Superficies sobre la cual la bacteria crece. 2. Medio de filtración y adsorción de sólidos.
Tallos y/o hojas sobre la superficie del agua.	<ol style="list-style-type: none"> 1. Atenúan la luz del sol y Así previenen el crecimiento de algas. 2. Reducen los efectos del viento en el agua. Es decir, transferencia de gases entre la atmósfera y el agua. 3. Importante en la transferencia de gases para y desde las partes sumergidas de la planta.

(Gómez, 2006)

Las plantas acuáticas pueden ser seleccionadas de pantanos locales y trasplantadas dentro de la celda disponibles en el sistema de diseño, como la calidad del agua depende directamente del pH, las plantas a ser usadas en esta investigación se presentan en la Tabla . Estas plantas han sido usadas por otros autores para el tratamiento de aguas residuales de uso municipal, o doméstico.

Tabla 8. Plantas acuáticas emergentes utilizadas en tratamiento de aguas residuales

Nombre común	Nombre científico	Distribución	Temperatura en °C		Rango de pH efectivo
			Deseable	Germinación de la semilla	
Totora	Typha spp.	En todo el mundo.	10 - 30	12 - 24	4 - 10
Caña común	Phragmites communis		12 - 23	10 - 30	2 - 8
Junco	Juncus spp		16 - 26		5 - 7.5
Junco	Scirpus		18 - 27		4 - 9
Carrizo	Carex spp		14 - 32		5 - 7.5

(Gómez, 2006)

Memoria de cálculo

Datos:

Viviendas	1000
Cantidad de personas por viviendas	6 personas
a) Población fija	6000 habitantes
Dotación población (AP)	150lts/hab-día
b) Población flotante	1000 habitantes
Dotación población flotante (AP)	150 lts/hab-día
Tiempo de proyección (n)	20 años
Tasa de crecimiento anual (r)	1.60%
Población futura	Pinicial $(1+r)^n$
Pfut= $6000 (1+1.80\%)^{20} = 8,241\text{hab}$	
DBO afluente (Co)	45.5 mg/l
SST afluente	17 mg/l
DBO efluente (Ce)	40 mg/l
SST efluente	40 mg/l
Caudal de entrada humedal (Q)	38953.45 pie ³ /d
Temperatura del agua esperada en invierno (T)	25 °c

Utilizamos una relación que $DBO = DQO \times 0.65$ (Cisterna Osorio)

Fórmulas de caudales

- **Caudal medio diario (Aguas Residuales)**

$$Q_{med/ap} = (\text{población} \times \text{dotación} + \text{Flotantes} \times \text{dotación}) / 86400$$

$$Q_{med/AR} = Q_{med/ap} \times 80\%$$

$$Q_{med/ap} = \frac{(8242 \times 150 + 1000 \times 150)}{86400} = 16.04 \text{ lt/s}$$

$$Q_{med/AR} = 16.04 \times 0.80 = 12.83 \text{ lt/s}$$

- **Caudal máximo horario de Agua Residual**

$$Q_{max/h (AR)} = (Q_{med/d (AR)} \times K_3)$$

$$K_3 = \frac{14}{4 + \sqrt{\text{Poblacion}/1000}} + 1$$

$$K_3 = \frac{14}{4 + \sqrt{(8242 + 1000)/1000}} + 1 = 2.98$$

$$Q_{max/h (AR)} = 12.83 \times 2.98 = 38.23 \text{ l/s}$$

- **Caudal mínimo horario de Agua Residual**

$$Q_{min/h (AR)} = (Q_{med/d (AR)} \times K_4)$$

$$K_4 = 0.5$$

$$Q_{min/h (AR)} = 12.83 \times 0.5 = 6.43 \text{ l/s}$$

Diseño de rejillas manuales

Tabla 9. Normas de diseño para rejillas manuales

Parámetro	Norma Recomendada
Forma de barra	Rectangular No debe utilizar barras de refuerza
Ancho de barra	5—15 mm
Espesor de barra	25—40 mm
Espaciamiento (abertura) entre barras	25—50 mm 50 mm recomendado para que las heces humanas pasen por las barras
Inclinación con la vertical	45—60°
Plataforma de drenaje	Suficiente para el almacenamiento temporal del material retenido en condiciones sanitarias
Canaleta de desvío (By-pass)	Suficiente para desviar el caudal máximo durante una emergencia
Material de construcción de barras y plataforma de drenaje	Acero inoxidable o galvanizado; aluminio
Velocidad de aproximación	0.45 m/s
Tiempo de retención en canal de aproximación	≥ 3 s
Largo de canal de aproximación	≥ 1.35 m
Velocidad a través de las barras	≤ 0.6 m/s para caudal promedio ≤ 1 m/s para caudal máximo
Pérdida de carga máxima	0.15 m
Cantidades de material retenido	0.008—0.038 m ³ /1,000 m ³
Disposición final de residuos	Solución técnica utilizando métodos sanitarios

(Oakley & Salguero, 2011)

Asumiendo un ancho de barra $a_b = 10$ mm y un espaciamiento $e_b = 50$ mm

$$a_{canal} = \frac{Q_{max}}{0.6 P_{max}} \cdot \left[\frac{a_b + e_b}{e_b} \right]$$

Donde a_{canal} = ancho de canal de aproximación, m
 Q_{max} = caudal máximo, m³/s
 0.6 = velocidad máxima a través de las barras, m/s
 P_{max} = profundidad máxima de agua en el canal cuando $Q = Q_{max}$, m
 a_b = ancho de barras, mm
 e_b = espaciamiento (abertura) entre barras, mm

(Oakley & Salguero, 2011)

Profundidad máxima con referencia a la cota del canal, no a la carga máxima

$$P_{max} = H_{max} - z$$

$$P_{max} = 0.382 - 0.06 = 0.32 \text{ m}$$

$$a_{canal} = \left(\frac{0.0382}{0.6 \cdot 0.32} \right) * \left(\frac{0.010 + 0.05}{0.05} \right) = 0.23 \text{ m}$$

$$V_a = \frac{0.6}{\frac{ab+eb}{eb}} = \frac{0.6}{\frac{0.010+0.05}{0.05}} = 0.5 \text{ m/s}$$

Pérdida de Carga

$$h_F = \left(\frac{1}{0.7}\right) * \left(\frac{V_r^2 - V_a^2}{2g}\right)$$

Dónde: V_r = Velocidad a través de la rejilla

V_a = Velocidad del canal de aproximación

$$h_F = \left(\frac{1}{0.7}\right) * \left(\frac{0.65^2 - 0.5^2}{2 * 9.81}\right) = 0.013 \text{ m}$$

Canal de Aproximación

Tiempo máximo de retención = $T_{max} = 3$ segs, Largo mínimo = 1.35m

Diseño del Desarenador de flujo libre

Tabla 10. Normas para el diseño de desarenador

Parámetro	Norma Recomendada
Velocidad horizontal	$v_{max} = 1 \text{ m/s}$ $v_{min} \geq 0.80 v_{max}$
Velocidad de sedimentación	0.02 m/s (partículas de 0.2mm)
Forma de la sección transversal	Rectangular (Con un resalto entre la cota del desarenador y la de la canaleta Parshall)
Tiempo de retención hidráulica	$\leq 60s$ para v_{min} $\geq 45s$ para v_{max} $v_{max} = 0.3 \text{ m/s}$ $v_{min} = 0.3 C_v$
Largo de canal	$45 v_{max} \leq L \leq 60 v_{min}$ $13.5 \text{ m} \leq L \leq 18 C_v$
Sección de control de velocidad	Canaleta Parshall prefabricada con flujo libre
Carga en el canal aguas abajo la canaleta Parshall para asegurar flujo libre	$\leq 60\%$ de la carga en el desarenador
Número de canales	Dos en paralelo, cada uno con drenaje (Uno en operación y otro para limpieza)

(Oakley & Salguero, 2011)

$$Q_{\max} = 0.0382 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q_{\min} = 0.00643 \text{ m}^3/\text{s}$$

Se asume la relación $Q_{\max}/Q_{\min} = Q_{\text{prom}}$; $Q_{\text{prom}} = 0.0382/0.00643 = 5.94 \text{ m}^3/\text{s}$, como la relación de caudales es mayor que 5 cumple con los parámetros normativos en factor de seguridad de épocas lluviosas por lo tanto nuestro **$Q_{\max} = 0.0382 \text{ m}^3/\text{s}$ cumple.** (Oakley & Salguero, 2011)

Tabla 11. Rangos de caudales para Canaletas Parshall

Ancho de Garganta, W m	Q_{\min}		Q_{\max}	
	m^3/s	$\text{m}^3/\text{día}$	m^3/s	$\text{m}^3/\text{día}$
0.076	0.0008	69	0.0538	4,648
0.152	0.0015	130	0.1104	9,539
0.229	0.0025	216	0.2519	21,764
0.305	0.0031	268	0.4556	39,364

(Oakley & Salguero, 2011)

$$W = 0.076 \text{ m}$$

$H_a = 0.36 \text{ m}$, este valor fue hallado mediante el despeje de H_a de la fórmula de caudal para una Canaleta Parshall $Q = 2.27 * W * H_a^{1.5}$

Dónde: W = Ancho de la Canaleta Parshall

H_a = Profundidad del agua medida desde la base de la canaleta

Carga aguas arriba de la Canaleta Parshall = H

$$H = 1.1 H_a$$

$$H = 1.1 * 0.36 = 0.40 \text{ m}$$

Carga máxima en el Canal del Desarenador

$$H_{\max} = \left(\frac{1.1 Q_{\max}}{2.27 W} \right)^{0.667} = \left(\frac{1.1 * 0.0382}{2.27 * 0.076} \right)^{0.667} = 0.38 \text{ m}$$

Desarenador Rectangular

$$Z = Cr * H_{max}$$

$$Cr = (R^{\frac{1}{3}} - 1) / (R - 1)$$

$$R = Q_{max} / Q_{min}$$

Dónde: Z= Resalto hidráulico

R= Relación entre Q_{max}/Q_{min}

$$R = 0.0382 / 0.00643 = 5.94$$

$$Cr = \frac{5.94^{\frac{1}{3}} - 1}{5.94 - 1} = 0.16$$

$$Z = 0.16 * 0.38 = 0.06 \text{ m}$$

Profundidad máxima con referencia a la cota del canal, no a la carga máxima

$$P_{max} = H_{max} - z$$

$$P_{max} = 0.382 - 0.06 = 0.32 \text{ m}$$

Ancho del canal de Desarenador

$$ad = \left(\frac{Q_{max}}{P_{max} * V_{max}} \right)$$

V_{max} = velocidad máxima a través del desarenador = 0.3m/s

$$ad = \left(\frac{0.0382}{0.32 * 0.3} \right) = 0.39 \text{ m}$$

Según (Marais& Van Haandel, 1996) La V_{min} se calcula con las siguientes relaciones:

$$V_{min} = V_{max} * C_v$$

$$C_v = 2.6 * Cr^{0.5} * (1 - Cr)$$

Dónde: V_{min} = Velocidad mínima a través del desarenador

C_v = Relación V_{max}/V_{min}

$$C_v = 2.6 * 0.16^{0.5} * (1 - 0.12) = 0.91$$

$$V_{min} = 0.3 * 0.91 = 0.27 \text{ m/s}$$

Escoger el largo del canal desarenador mediante la ecuación $13.5m > L > 18Cv$

$13.5m > L > 18*(0.79)$; $13.5 m > L > 16.38 m$

Se selecciona $L=15 m$

Volumen de solidos arenosos acumulados en el desarenador

$$V_{sa} = t_{op} * Q_{med} * C_{sa}$$

Dónde: t_{op} = Tiempo de operación, días

Q_{med} = Caudal promedio, m³/día

C_{sa} = Carga de solidos arenosos

$$V_{sa} = 15 * 0.012 * 86400 * (0.085/1000) = 1.32 m^3$$

Profundidad de Solidos arenosos

$$P_{sa} = \frac{t_{op} * Q_{med} * C_{sa}}{ad * L} = \frac{V_{sa}}{ad * L} = \frac{1.32}{0.466 * 15} = 0.18m$$

Según (Oakley & Salguero, 2011) “Se diseña la cota del canal aguas abajo de la canaleta Parshall para que la carga en el canal sea ≤ 0.60 de la carga en el desarenador (H_{max}), todas las medidas con referencia a la base de la canaleta Parshall, para asegurar flujo libre en la canaleta Parshall”.

Humedal sub-superficial

Características del lecho

Profundidad del lecho (H) = 2.5 pie

Nota: usualmente de 18 – 30 pulg para evitar condiciones anaeróbicas en fondo.

Tamaño de piedra de estructura 2-5 pulg

Porosidad de la estructura (N) = 35%

Observación:

- 35% con el uso de plantas
- 45% sin el uso de plantas

Relación largo – ancho = 2

Constante de temperatura de agua residuales a 20 °c (K20) = 1.104

Constante de temperatura de aguas residuales

$$K_t = k_{20}(\theta)^{T-20}$$

$$K_t = 1.104(1.06)^{25-20}$$

$$K_t = 1.477$$

Capacidad promedio del agua = 2 pie

(Fuente: Guía para el diseño y construcción de un humedal construido con flujos subsuperficiales, U.S.EPA-Región 6, 1993)

Dimensiones del humedal

Superficie humedal

$$A_s = \frac{Q[\ln(C_o/C_e)]}{(Kt d x n)}$$

Dónde:

- A_s = superficie del humedal
- Q = caudal de entrada
- C_o = DBO flotante
- C_e = DBO efluente
- Kt = constante de temperatura de las agua residual
- d = profundidad promedio del agua
- n = porosidad de la estructura

$$A_s = \frac{38,953.48[\ln(45.5/40)]}{(1.477 \times 1 \times 35\%)}$$

$$A_s = 4,852.62 \text{ p}^2$$

Ancho humedal

$$W = \sqrt{A_s/2}$$

$$W = \sqrt{4,852.62/2}$$

$$W = 49.26 \text{ pie}$$

Largo del humedal

$$L = w \times 2$$

$$L = 49.26 \times 2$$

$$L = 98.52 \text{ pie}$$

Característica hidráulica

Conductividad hidráulica de la estructura (K_s)

$$K_s = 328,100 p^3/p^2/dia$$

Factor de seguridad para conductividad hidráulica (F_h) = 39%

Conductividad hidráulica reducida

$$K_{rs} = K_s * F_h$$

$$K_{sr} = 127,959 p^3/p^2/dia$$

Gradiente hidráulico

$$S = H/L(0.1)$$

Dónde:

- S = Gradiente hidráulico
- H = profundidad del lecho
- L = largo

$$S = \frac{2.5}{98.52(0.1)} = 0.0025$$

Área transversal

$$A_t = W * H$$

$$A_t = 49.26 * 2.5$$

$$A_t = 123.14 pie^2$$

Flujo capaz de pasar por el humedal

$$Q = K_{rs} \times A \times S$$

Donde

- Q = flujo capaz de pasar por el humedal
- K_{rs} = conductividad hidráulica reducida
- A = área transversal del humedal
- S = gradiente hidráulico

$$Q = 127,959 \times 174.15 \times 0.0025$$

$$Q = 39,987.1875 \text{ Pie}^3/\text{d}$$

Observaciones:

El sistema diseñado no requiere operadores con altos niveles de capacitación.

El sistema diseñado es más beneficioso a nivel económico debido a que es de tipo biológico no necesita nada de energía y su construcción depende en su mayoría de recursos naturales lo que nos da más facilidad en la búsqueda de estos recursos y es un ejemplo para todos a nivel ambiental.

Resultados

Al considerar los parámetros de diseños se estableció un gradiente hidráulico de 0.18%, con una relación largo-ancho de 2, y una profundidad de lecho de 2.5 pies que es lo usual en diseño de humedales dentro de los parámetros establecidos para su mismo diseño, tenemos un caudal de entrada de 38,953.48 P³/d, además dentro de las características del lecho tenemos una porosidad de 35% por el uso de plantas, el tamaño de las piedras empleadas para el diseño están entre 2-5 pulg, y la profundidad promedio del agua es de 2 pie.

En cuanto a las dimensiones del humedal sub-superficial tenemos que la superficie es de 4852.62 pies², con un ancho de 49.26 pies y un largo de 98.52 pies, el afluente en DBO es de 45.5 mg/l y en el DQO es de 35 que paso a ser 70 mg/l para dimensionamiento del humedal, la relación DBO/DQO es mayor a 0.4 lo que nos dice que el agua residual es muy biodegradable, la capacidad de depuración expresados en porcentaje de remoción es para DBO 0.98% y para solidos suspendidos totales 2.35 %.

La separación de plantas es de 30 pulg entre los centros debido a las raíces y 10-15 pulg, alrededor en las cuales se utilizaran dos tipos de planta macrofitas en función al rango efectivo del PH una de ellas es la totora (Typha) y la Junco (scirpus). El instrumento del efluente de recolección será generalmente un tubo plástico perforado de 4 pulg que debe distribuir el flujo uniformemente a través del lecho. El lecho tendrá un forro impermeable.

En cuanto a las características hidráulicas tendremos una conductividad hidráulica de 38100 pies³/pie²/día con un factor de seguridad de 39% cuando reducimos esta conductividad al multiplicarla por su factor de seguridad es de 127,959, el área transversal del humedal es de 123.14 pies² y el caudal que saldrá del sistema es de 39,987.19 pies³/día este caudal tiene que ser superior al caudal de entrada por lo tanto cumple con los parámetros establecidos.

En el pre-tratamiento se diseñó una rejilla, la cual tendrá un espaciamiento entre barras de 50 milímetros, cada barra tendrá un ancho de 10 milímetros con una inclinación de 60 grados. Una vez el agua pase por las rejillas el flujo se dirige al desarenador, el cual está compuesto por dos cámaras, ambas con una sección de 0.18m x 15m.

Tabla 12. Comparaciones

Descripción	Estudios realizadas	Valores de descargas permisibles	Resultados esperados utilizando humedales artificiales
DBO	45.5 mg/l	40 mg/l	5 mg/l
Coliformes totales	7,900,000 NMP/100MI	1000 NMP/100MI	

Nota: se espera de un 85% - 90% de remoción (Fuente: Guía para el diseño y construcción de un humedal construido con flujos subsuperficiales, U.S.EPA-Región 6, 1993).

En cuanto a los organismos patógenos no tenemos una noción de cuanto puede eliminar el sistema de humedal artificial es necesaria la utilización de un **tratamiento terciario de desafección por cloración el cual disminuirá las cargas contaminantes de los coliformes y otros.**

La desinfección de aguas mediante el empleo de cloro, o compuestos clorados, es el método más comúnmente usado. En este tratamiento se puede emplear cloro gas, comprimido a presión, que se disuelve en agua cuando es aplicado; pero normalmente se emplea hipoclorito de sodio (lejía) por su mayor facilidad de almacenamiento y dosificación (Diez & De la macorra, 2014).

Recomendaciones

Se recomienda implementar un plan de educación para concientizar a la población acerca de la importancia y el cuidado de los recursos naturales, la contaminación de las aguas y el funcionamiento del sistema del humedal para evitar futuros problemas al sistema ocasionados por ellos.

Se recomienda que en el sistema diseñado se ejecuten estas acciones:

- ❖ Limpieza de registros, rejillas y canal de desarenación.
- ❖ Reportar imprevistos que puedan suceder en la planta a la entidad encargada de esta.
- ❖ Mantener en buenas condiciones el entorno de la planta.
- ❖ Control de la vegetación, olores insectos; cada mes cortar y retirar hojas de la vegetación que estén secas.
- ❖ Verificar a diario el ingreso de caudal sanitario al humedal.
- ❖ Retirar natas que se forman en el tanque de sedimentación.
- ❖ Verificar la densidad de la vegetación en el humedal, ya que afecta fuertemente su hidrología. Primero, porque obstruye caminos de flujo; debido a que el movimiento del agua es si no a través de la red de tallos, hojas, raíces y rizomas; y segundo, porque bloquea la exposición al viento y al sol.
- ❖ Asegurar que el flujo alcance todas las partes del humedal
- ❖ Revisar periódicamente la rejilla y limpiar la canasta construida.

CONCLUSION

En esta investigación se desarrollaron los pasos necesarios para diseñar y dimensionar un sistema de humedal artificial para el tratamiento de las aguas residuales de la cañada del sector del Café de Herrera, Santo Domingo Oeste. Con la construcción de este sistema se pretende disminuir la contaminación ambiental, las enfermedades causadas por dicha contaminación y garantizar la reutilización de esta agua ya sea para riego u otros usos, contribuyendo a mejorar la calidad de vida de los habitantes de la zona y el saneamiento de la cañada teniendo un panorama agradable a la vista.

De acuerdo a los resultados obtenidos de las pruebas realizadas a las aguas de la cañada del Café de Herrera y a las recomendaciones de INAPA, concluimos que el tipo de tratamiento que se debe aplicar a estas aguas es de tipo biológico. Se considera una tecnología viable de bajos costos, puesto que no requiere de trabajo permanente ni personal calificado para su operación y mantenimiento, el cual es mínimo.

Además de que el diseño de humedal artificial sub-superficial será capaz de reducir y remover la carga contaminante de una manera efectiva que puede llegar hasta niveles de remoción tan bajos como 5 mg/l. (Fuente: Guía para el diseño y construcción de un humedal construido con flujos subsuperficiales, U.S.EPA-Región 6, 1993).

El tipo de planta acuática que se seleccionó en base a su rango efectivo de PH. Debido a que mayor PH mejor es la calidad del agua, los tipos de macrofitas son: Totora y Juncos.

El tipo de composición típica de agua es de tipo débil, así lo establecen los parámetros de melcafl y Eddy en comparación con los estudios realizados en el laboratorio de calidad de agua de INAPA.

El sistema diseñado es el idóneo para verte el agua a su cauce natural o reutilizar en otros usos con la calidad adecuada. Mediante este proceso de saneamiento, los agentes contaminantes serán removidos de un 85%-90% (Fuente: Guía para el diseño y construcción de un humedal construido con flujos subsuperficiales, U.S.EPA-Región 6, 1993).

Este diseño se realizó con un periodo de vida útil de 20 años, los caudales fueron estimados en base a la dotación por habitantes, después de su vida útil habría que realizar una evaluación del sistema de tratamiento.

La construcción de este diseño para facilidades económicas, la mano de obra sería tomada en gran parte de la comunidad debido a que este proyecto es para la comunidad y ellos se deben sentir identificados e incluido en el mismo.

El agua residual que haya sido tratada se va a disponer para riego en zonas de área verde de este mismo sector.

Bibliografía

- Abikarram, y., & Batista, j. (2016). *fuentes propia*. El Cafe de herrea .
- ADAMES, F. (2014). *bavaro news*. Recuperado el 01 de 03 de 2016, de bavaro news: <http://www.bavaronews.com/semanal/index.php/impactos/actualidad/2194-primera-planta-de-tratamiento-de-aguas-residuales-en-domingo-maiz>
- Almonte, J., & Pinedo, A. (2015). *Fuente Propia*. Santiago de Los Caballeros.
- Castillo, D., Mateo, J., & Mercedes, L. (2002). *Diseño de Sistema de Recolección, Tratamiento y Disposición Final de las Aguas Residuales de San José de los Llanos*. Trabajo de Grado. Universidad Autónoma de Santo Domingo, Santo Domingo, República Dominicana.
- Cisterna Osorio, P. *Determinación de la relación DQO/DBO en aguas residuales de comunas con población menor a 25,000 habitantes en la VIII región* .
- Compendio de Sistemas Y Tecnologías de Saneamiento*. (s.f.). Recuperado el Agosto de 2015, de Alianza por el Agua: <http://alianzaporelagua.org/Compendio/tecnologias/t/t2.html>
- Diez, T., & De la macorra, C. (2014). UTILIZACIÓN DE MEMBRAN. *Tecnología y desarrollo* , 25.
- Características del agua residual, Melcafi y Eddy. En M. y. Eddy, *Características del agua residual* (págs. 123-127).
- Espinosa, C. E. (2014). *FACTIBILIDAD DEL DISEÑO DE UN HUMEDAL DE FLUJO SUBSUPERFICIAL PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS*.
- Fuente: Guía para el diseño y construcción de un humedal construido con flujos subsuperficiales, U.S.EPA-Región 6. (1993).*
- Glosario: Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable*. (s.f.). Obtenido de <http://www2.medioambiente.gov.ar/sian/sestero/glosario.htm>
- Gómez, W. A. (2006). Diseño de humedales artificiales para el tratamiento. *Revista del Instituto de Investigaciones FIGMMG* , 15.
- Google Earth*. (s.f.). Recuperado el 26 de Agosto de 2015
- Gutierrez, D. (2016). *comunicadorinteractivo.blogspot.com*. Recuperado el 28 de abril de 2016, de [comunicadorinteractivo.blogspot.com: http://comunicadorinteractivo.blogspot.com/2008/08/al-borde-del-derrumbe.html](http://comunicadorinteractivo.blogspot.com/2008/08/al-borde-del-derrumbe.html)
- Henriquez, R. (28 de julio de 2015). *telenoticias.com.do*. Recuperado el 17 de marzo de 2016, de [telenoticias.com.do: http://telenoticias.com.do/en-el-cafe-de-herrera-demandaron-del-presidente-danilo-medina-la-solucion-varios-problemas/](http://telenoticias.com.do/en-el-cafe-de-herrera-demandaron-del-presidente-danilo-medina-la-solucion-varios-problemas/)

Henríquez, R. (28 de julio de 2015). *telenoticias.com.do*. Recuperado el 17 de marzo de 2016, de *telenoticias.com.do*: <http://telenoticias.com.do/en-el-cafe-de-herrera-demandaron-del-presidente-danilo-medina-la-solucion-varios-problemas/>

Ing. Vasquez, A. *Aspecto generales del sistema condominal*.

Ing. Vásquez, A. *Aspecto generales del sistema condominal*.

Leon Suematsu, G. (1995). Recuperado el Agosto de 2015, de Biblioteca Virtual de Desarrollo Sostenible y Salud Ambiental:

<http://www.bvsde.paho.org/bvsair/e/repindex/rep84/vleh/fulltext/acrobat/leon3.pdf>

Ley General de Medio Ambiente y Recursos Naturales No.64-00. (18 de 08 de 2000). Santo Domingo, Republica Dominicana.

Merejo, K., Reyes, A., & Balbi, A. (2010). *Investigacion Exploratoria sobre el Funcionamiento de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales (Planta de Tratamiento de Rafey)*. Trabajo de Grado. Universidad Autonoma de Santo Domingo, Santo Domingo, Republica Dominicana.

(1998). En Metcalf, & Eddy, *Ingenieria de Aguas Residual. Tratamiento, Vertido y Reutilizacion*. McGraw-Hill.

Miranda, J. R. (2012). *Determinacion de parametros de diseño, puesta en marcha y evaluacion de la eficiencia de humedales de flujo subsuperficial en la planta piloto aurora II, para el tratamiento de aguas residuales domesticas*.

Normas: NA-04. Norma Ambiental sobre Control de Descargas a Aguas Superficiales, Alcantarillado Sanitario y Aguas Costeras. (s.f.). Recuperado el Agosto de 2015, de Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales: <http://www.ambiente.gob.do/Transparencia/Legal/Normas/NA-04.pdf>

(2011). En S. Oakley, & L. Salguero, *Tratamiento de Aguas Residuales Domesticas*.

pascual, M. a. (2013). *humedales artificiales para el tratamiento de aguas residuales*.


Rudamán, J. (2012). *Determinacion de parametros de diseño, puesta en marcha y evaluacion de la eficiencia de humedales de flujo sub-superficial en la planta piloto aurora II, para el tratameinto de aguas residuales domestica*.

(1985). Cx. En R. Saenz.

William C., C.


ANEXOS

Anexos 1. Resultado de la muestra tomada a la cañada del Café de Herrera

		INSTITUTO NACIONAL DE AGUAS POTABLES Y ALCANTARILLADOS INAPA LABORATORIO NACIONAL DE REFERENCIA CALIDAD DE AGUA ING. MARCO RODRIGUEZ AREA DE RESIDUOS LIQUIDOS		
CODIGO DE LA MUESTRA: RL-3480-04-16 PROCEDENCIA: CAÑADA EN EL CAFÉ DE HERRERA, SANTO DOMINGO OESTE FECHA Y HORA DE MUESTREO: 27/04/2016 7:31 a.m. FECHA Y HORA INICIO DE ANALISIS: 27/04/2016 10:10 a.m. RECOLECTADA POR: YORYI ABIKARRAM / JUAN CARLOS				
ANALISIS	RESULTADOS	UNIDAD	METODO DE ANALISIS	NORMA
pH	7.24		Potenciométrico	6.5 - 8.5
Conductividad	976.0	µS/cm	Método Potenciométrico	
Temperatura	25.0	°C	Medición directa	
DQO	35.0	mg/L	Método colorimétrico, reflujó cerrado	250
Coliformes Totales	7.9×10^6	NMP/100mm	Fermentación por Tubos Múltiples (NMP)	1,000
Coliformes Fecales	7.9×10^6	NMP/100mm	Fermentación por Tubos Múltiples (NMP)	400
E. Coli (Mug)	4.9×10^6	NMP/100mm	Fermentación por Tubos Múltiples (NMP)	
Sólidos Totales	635.0	mg/L	Cálculo	
Sólidos Sedimentables	0.0	ml/L	Sólidos en volumen	35
Sólidos Suspendedos Totales	17.0	mg/L	Cálculo	
Nitratos (NO ₃ -N)	4.4	mg/L	Reducción de Cadmis	
Nitritos (NO ₂ -N)	0.64	mg/L		
Amonio (NH ₄ -N)	0.87	mg/L	Método salicilato	

Leyenda:
 DQO: Demanda Química de Oxígeno

RL-3480-04-16 = Cañada


 Preparado Por


 Encargado del Laboratorio

Anexos 2. Mapa de la República Dominicana



Anexos 3. Fotos de la cañada del Café de Herrera

Cañada del Café de Herrera



Fuente propia: (Abikarram & Batista, 2016)



Fuente propia: (Abikarram & Batista, 2016)



Fuente propia: (Abikarram & Batista, 2016)



Fuente propia: (Abikarram & Batista, 2016)



Fuente propia: (Abikarram & Batista, 2016)



Fuente propia: (Abikarram & Batista, 2016)



Fuente propia: (Abikarram & Batista, 2016)

**Anexos 4. Construcción de humedal sub-superficial en Domingo Maíz, Verón, la
Altagracia**

Construcción del pozo séptico



Fuente: (Ing. Vásquez)



Fuente: (Ing. Vásquez)

Impermeabilizante de polietileno para el humedal sub-superficial.



Fuente: (Ing. Vásquez)

Humedal sub-superficial terminado.



Fuente: (Ing. Vásquez)

Construcción del humedal sub-superficial terminado



Fuente: (Ing. Vásquez)