



**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**CARRERA DE INGENIERIA CIVIL**

Proyecto de Investigación previo a la obtención del título de Ingeniero Civil

**TRABAJO DE TITULACIÓN**  
**REUTILIZACIÓN DE AGUAS RESIDUALES PROVENIENTES DE COMUNIDADES**  
**RURALES EN ACTIVIDADES AGRÍCOLAS**

**Autor (es)**

JOSÉ RICARDO HERRERA PÉREZ  
JHONATAN GABRIEL MUÑOZ CHAFLA

**Tutor**

Msc. Marcel Paredes Herrera

**Riobamba – Ecuador**

**Año 2017**

## REVISIÓN

Los miembros de tribunal de graduación del Proyecto de Investigación de título: **REUTILIZACIÓN DE AGUAS RESIDUALES PROVENIENTES DE COMUNIDADES RURALES EN ACTIVIDADES AGRÍCOLAS**, presentado por: **José Ricardo Herrera Pérez y Jhonatan Gabriel Muñoz Chafla** y dirigida por: **Msc. Marcel Paredes Herrera**.

Una vez escuchada la defensa oral y revisado el informe final del proyecto de investigación con fines de graduación, escrito en la cual se ha constatado el cumplimiento de las observaciones realizadas, remite la presente para uso y custodio en la biblioteca de la facultad de ingeniería de la UNACH.

Para constancia de lo expuesto firman:

Msc. Marcel Paredes

**Director del Proyecto**

FIRMA

Mgs. Nelson Patiño

**Miembro del Tribunal**

FIRMA

Mgs. Javier Palacios

**Miembro del Tribunal**

FIRMA

## AUTORIA DE LA INVESTIGACION

La responsabilidad del contenido de este proyecto de graduación, nos corresponde exclusivamente a: José Ricardo Herrera Pérez, Jhonatan Gabriel Muñoz Chafla y Msc. Marcel Paredes Herrera y el patrimonio intelectual de la misma a la Universidad Nacional De Chimborazo.

José Ricardo Herrera Pérez



**Autor de la Tesis**

FIRMA

Jhonatan Gabriel Muñoz Chafla



**Autor de la Tesis**

FIRMA

## **AGRADECIMIENTO**

Agradecer a mis abuelitos por su experiencia y consejos durante mi formación personal, a mis padres por su esfuerzo incansable porque me supere en la vida y alcance más logros, a mi hermano por su conocimiento y ayuda cuando lo necesitaba, a mi familia en general, a los profesores que fueron parte de mi formación académica, al Msc. Marcel Paredes por su gran aporte al desarrollo y cumplimiento de este trabajo de investigación.

Por: José Ricardo Herrera Pérez

### **AGRADECIMIENTO**

Agradezco a Dios por la gracia y misericordia derramada diariamente que me han permitido llegar hasta este punto de mi vida. A mis padres por la provisión y protección, a mi familia de sangre por todo el apoyo y a mi familia en la fe por el tiempo dedicado a mi crecimiento.

Por: Jhonatan Gabriel Muñoz Chafra

### **DEDICATORIA**

Dedico este trabajo que es resultado de mi formación universitaria, a las personas que han estado de una u otra manera conmigo este tiempo y han sido un pilar para soportar cualquier adversidad y lograr mi objetivo, lo dedico a mis abuelitos por su insaciable cariño, a mis padres porque gracias a ellos estoy donde estoy ahora y cumplo una meta más, y a mi hermano por ser un ejemplo a seguir para mí.

Por: José Ricardo Herrera Pérez

### **DEDICATORIA**

Dedico este trabajo a todas las personas que estuvieron involucradas desde un principio en todo este proceso padres, familia, amigos y también los docentes que supieron direccionar adecuadamente los conocimientos pero sobre todo, dedico al autor y consumidor de mi fe Jesucristo.

Por: Jhonatan Gabriel Muñoz Chafla

**INDICE**

Resumen.....	11
Abstract.....	12
Introducción.....	14
Objetivos.....	15
Marco Teórico.....	16
Metodología.....	17
Resultados y Discusión.....	28
Anexos.....	39

**INDICE DE GRAFICOS**

Figura 1. Diagrama de Flujo para la metodología de investigación. ....	18
Figura 2. Riesgos Naturales de la parroquia San Gerardo .....	25
Figura 3. Costos de Inversión vs. Eficiencia de Remoción DBO5 .....	30
Figura 4. Costos de Mantenimiento y Operación vs. Eficiencia de Remoción DBO5.....	30
Figura 5. Costos de Inversión vs. Eficiencia de Remoción Coliformes Fecales.. .....	31
Figura 6. Costos de Mantenimiento y Operación vs. Eficiencia de Remoción Coliformes Fecales.....	31
Figura 7. Costos de Inversión vs. Eficiencia de Remoción Sólidos en Suspensión Totales.....	32
Figura 8. Costos de Mantenimiento y Operación vs. Eficiencia de Remoción Sólidos en Suspensión Totales.....	43
Figura 9. Porcentaje de ahorro de recursos hídricos en el estudio de caso. ....	44

## INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Directrices de la OMS (1989) sobre calidad parasitológica y microbiológica de aguas residuales para uso en agricultura .....	20
Tabla 2. Calidad de Agua residual para uso agrícola según el tipo de cultivo .....	20
Tabla 3. Épocas de siembra y cosecha según el tipo de cultivo de la Parroquia San Gerardo.....	24
Tabla 4. Características Físicas, Químicas y Microbiológicas del agua residual de la Parroquia San Gerardo .....	28
Tabla 5. Costos de inversión, operación y mantenimiento de cada tecnología de tratamiento. ...	29
Tabla 6. Datos necesarios para implementación y diseño de humedal de flujo subsuperficial. ...	33
Tabla 7. Características del agua residual post-tratamiento.....	34
Tabla 8 .Valores estimados de Ct para varios niveles de inactivación de varios microorganismos en un efluente secundario (pH 7 y T 20°C).....	42
Tabla 9. Dosis típicas de cloro para un tiempo de contacto de 40 minuto.....	43

**INDICE DE ECUACIONES**

Ecuación 1. Constante de temperatura .....	39
Ecuación 2. Área requerida del humedal .....	39
Ecuación 3. Tiempo de retención hidráulica.....	39
Ecuación 4. Ancho del humedal .....	40
Ecuación 5. Largo del Humedal.....	40
Ecuación 6. Relación Volumen, tiempo y concentración de contaminante.....	42

## RESUMEN

Se considera al agua residual un recurso reutilizable en el riego agrícola de comunidades rurales, debido a que el agua es un recurso actualmente escaso los cultivos son vulnerables a las sequías, surgiendo la necesidad de buscar nuevas fuentes de abastecimiento. Buscando determinar la viabilidad del reuso del agua residual y del porcentaje de ahorro de recursos hídricos que éste representaría, se analizó las características físicas, químicas y microbiológicas del agua residual proveniente de la parroquia San Gerardo, Cantón Riobamba, Provincia de Chimborazo, Ecuador. Se presentó incumplimiento de varios parámetros establecidos por normas ambientales de reuso en riego, lo que imposibilita su reutilización sin tratamiento previo. El parámetro más crítico fue el de coliformes fecales donde se obtuvo altas concentraciones (120 000 NPM/100ml), en base a éste parámetro se seleccionó al humedal más desinfección como la tecnología de tratamiento más óptima debido a su eficiencia de remoción y su costo. Con el caudal reutilizable de 11 lt/s generados por los 264 habitantes conectados a la red de alcantarillado se regarían 8 hectáreas de terreno, y el costo aproximado de inversión es 6 864 US\$ y el costo por año de operación y mantenimiento mediante el humedal más desinfección es de 396 US\$, sin considerar la distribución del agua residual tratada. La reutilización del agua residual en actividades agrícolas es una opción viable por medio de tecnologías de tratamiento de bajo costo que aseguren la calidad de agua establecido por las legislaciones ambientales generando así una nueva alternativa de abastecimiento que las comunidades rurales podrían llegar a considerar y aplicar.

**PALABRAS CLAVE:** Agua Residual, Reutilización, riego, agrícola, tratamiento

## ABSTRACT

Wastewater is considered as a reusable resource in the agricultural irrigation of rural communities, because water is a scarce resource today, so that crops are vulnerable to droughts, arising the need to seek new sources of supply. The physical, chemical and microbiological characteristics of the residual water from San Gerardo parish in Ecuador were analyzed in order to determine the viability of the wastewater reuse and also the percentage of water resources savings that this would represent. The lab results showed that is impossible to reuse wastewater without a treatment, according to the environmental norms. The most critical parameter was fecal coliforms where high concentrations (120000 NPM / 100 ml) were obtained, and the wetland plus disinfection was selected as the most appropriate technology for the removal of this parameter and taking into account the cost. The quality of treated effluent would present better water quality characteristics than those currently received from the Chambo - Guano Irrigation System. With the reusable flow of 11 lt / s generated by the 264 inhabitants connected to the sewerage network, 8 hectares of land would be irrigated, and the approximate investment cost is US \$ 6864 and the cost per year of operation and maintenance through the wetland plus Disinfection is US \$ 396, excluding the distribution of treated wastewater. The reuse of wastewater in agricultural activities is a viable option through low-cost treatment technologies that ensure the quality of water established by environmental legislation, generating a new alternative of supply that rural communities could consider and apply.

Keywords: Wastewater, Reuse, irrigation, agricultural, treatment



Reviewed by: Yépez, Danilo

Language Center Teacher



## INTRODUCCIÓN

El problema global de la falta recurso hídrico y de contaminación compromete la seguridad alimentaria de los pueblos en especial de aquellos que son potencialmente agrícolas. Se sabe que la agricultura demanda el 70% del recurso hídrico mundial para sus necesidades de riego. La actividad industrial con 20% y las actividades domésticas con un 10 % (Shuval, 1991).

Países que tiene alto potencial en su agricultura, mayormente son países en vías de desarrollo con lo cual los problemas anteriormente mencionados los comprometen. Tanto en los países industrializados como en los países en desarrollo, esto ha ocurrido como resultado de varios factores entre los cuales se considera la creciente escasez de fuentes de aguas alternativas para el riego, despierta la preocupación de los planificadores de recursos hídricos acerca de la importancia y valor de la reutilización de aguas residuales. También el alto costo de los fertilizantes artificiales y el reconocimiento del valor de los nutrientes en las aguas residuales, lo que aumenta el rendimiento de los cultivos. El daño al suelo y los riesgos para la salud son mínimos si se toman las precauciones necesarias, con respecto a este último un informe reciente del Banco Mundial revisó varios estudios epidemiológicos disponibles sobre riego de aguas residuales y concluyó que el riego de cultivos con aguas residuales no tratadas causa exceso de infección por nematodos intestinales en los consumidores y trabajadores. Está claro que cuando se usan aguas residuales no tratadas para irrigar los cultivos, existe un alto riesgo real para la salud por los nematodos intestinales y bacterias. (OMS, 2006)

Se desconoce si las características físico químicas de las aguas residuales de un sector específico pudieran ser aptas para su reutilización para el riego de los cultivos, con esta premisa se inicia el estudio partiendo de investigaciones (Gil, H. et al, 2013) las cuales analizan un

beneficio considerable en la agricultura sobre todo en épocas de sequías. Con lo cual los investigadores ven como una necesidad el determinar, que caudal proveniente de aguas residuales se puede disponer para la reutilización en riego de cultivos y éste caudal que porcentaje de ahorro de consumo hídrico representará. Se busca a través de esta investigación fomentar el uso seguro de aguas residuales en la agricultura buscando proteger la salud de los trabajadores implicados y del público consumidor en general.

Uno de los países potencialmente agrícolas y en vías desarrollo es el Ecuador, la Organización De Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO) en el año 2000, estimó una superficie total regable a medio y largo plazo de 1 185 000 ha, considerando esta cifra tanto al sector público como al privado. Esto representaría una alta demanda de consumo de recursos hídricos.

El factor que impulsará de mejor manera el potencial agrícola del país es la reutilización de recursos hídricos, el Ecuador según la FAO en el 2000, determina que, de los 36 190 106 m<sup>3</sup>/año de recursos hídricos renovables totales por habitante no existe cifra alguna de agua residual tratada y reutilizada, esta realidad promueve a determinar un caudal que pueda ser aprovechable para riego agrícola para así mejorar el potencial agrícola, reduciendo el consumo de recursos hídricos.

Investigaciones realizadas en diferentes países de Europa y Asia han determinado que las aguas residuales tratadas contribuyen de manera apreciable la cantidad de nutrientes que las plantas necesitan. La reutilización de las aguas residuales tratadas podría reducir hasta en un 7.8% de uso de agua de riego, todo esto en una comunidad rural. (Li, YH., et al, 2015).

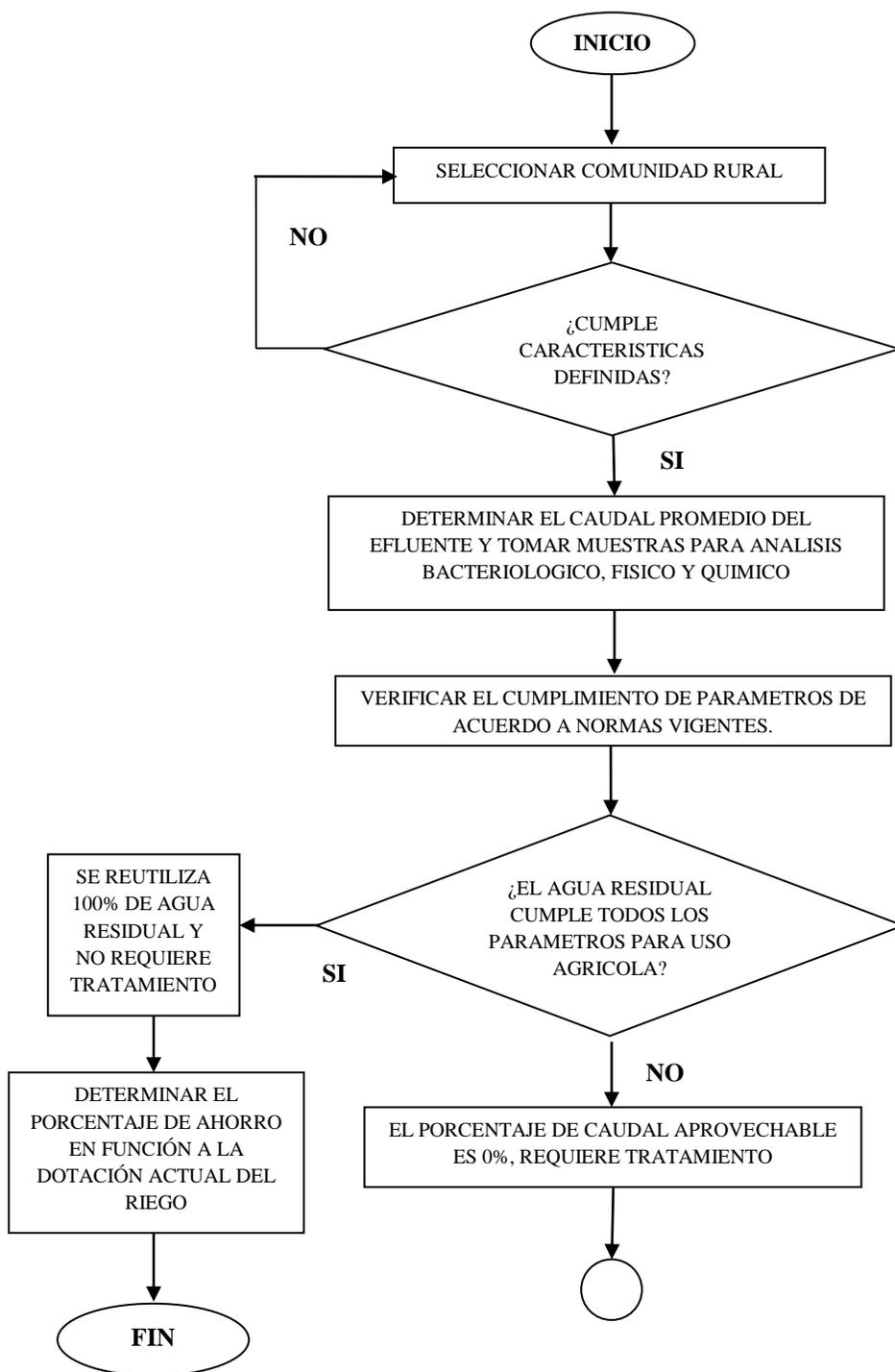
Independientemente si el sector donde se enfoca el estudio cuenta o no con un tratamiento de aguas residuales previo al vertido de las mismas a un cuerpo de agua dulce, lo que se busca por medio de esta investigación es determinar si las aguas residuales provenientes de la red de saneamiento poseen características físico-químicas aceptables para ser reutilizadas directamente en riego agrícola, y de no cumplir con estas características cómo poder determinar qué porcentaje de caudal se podrá destinar a un tratamiento para efectivamente poder utilizarlo en riego agrícola.

La investigación se hace posible debido a la existencia de normativas que regulan el uso de aguas residuales en riego agrícola basados en parámetros de calidad físico químicos, a nivel internacional se considera la Tabla 2.4 Metas de Salud para uso de aguas residuales tratadas en agricultura, de la Guía para uso seguro de agua residuales, excretas y aguas grises de la Organización Mundial de la Salud (OMS) en el 2006. A nivel nacional se considera la Tabla 4. Criterios de Calidad de aguas para uso agrícola en riego y Tabla 10. Límites de descarga a un cuerpo de agua dulce del Anexo 1 del libro VI del Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente (TULSMA).

Mediante estudios ecológicos enfocados a la calidad del suelo y sus cultivos se determinó que los metales acumulados en la superficie del suelo, son lentamente reducidos esto debido a la lixiviación, la erosión, la deflación y el mismo consumo por las plantas. (Pérez, L , 2000), es por esta razón que en la presente investigación únicamente se tomó en cuenta como prioridad analizar parámetros relacionados con la carga orgánica, debido a que en esta se encuentran la mayor cantidad de bacterias que puede afectar la salud de agricultores y consumidores.

## METODOLOGÍA

El proceso metodológico realizado en esta investigación es el siguiente:



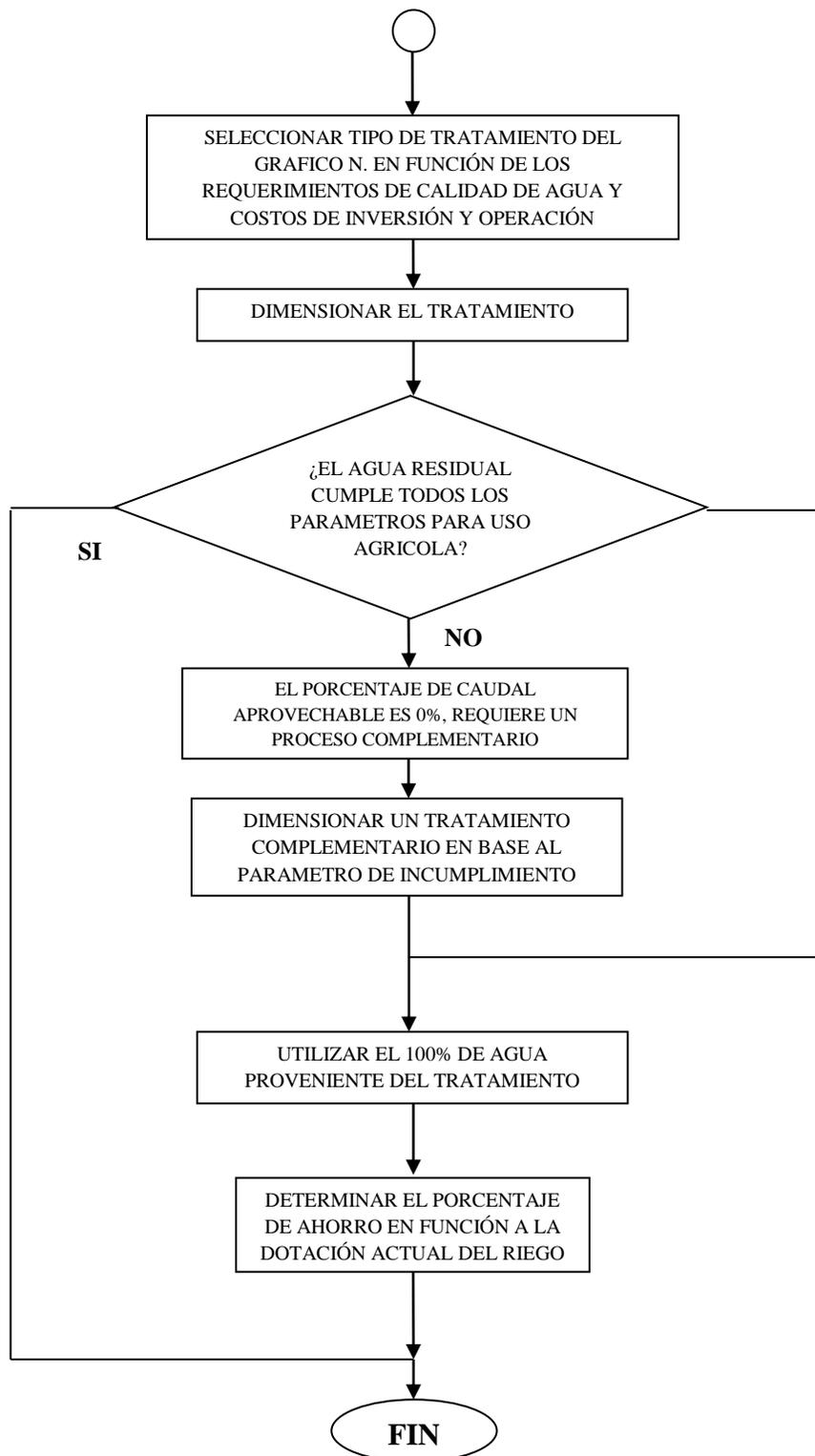


Figura 1. Diagrama de Flujo para la metodología de investigación. Fuente: Elaboración Propia.

La presente investigación parte de seleccionar el estudio de caso, se tomará en cuenta que dicha investigación se enfoca en comunidades rurales cuya población varía según la consideración de cada país, normalmente varía entre 1 000 a 5 000 habitantes, con características donde se pueda potenciar las actividades agrícolas del sector. Posteriormente se determina si, luego de la utilización del agua potable, el agua residual tiene como destino la descarga a un cuerpo de agua dulce.

Se tomarán muestras y se medirá el caudal del efluente en días aleatorios y el número de muestreos dependerá de la variación del caudal y por tanto de la variación de la carga contaminante, sabiendo que ésta depende de las actividades que las comunidades realicen durante el día y que pueden variar. Con esto se garantizará que el muestreo es representativo y se obtendrá un caudal promedio del efluente. Se deben considerar normas técnicas de calidad para el muestreo, manejo y conservación de muestras de agua, hasta su análisis físico químico y bacteriológico en un laboratorio de aguas certificado.

De manera general, sin importar el tipo de cultivo, respecto al reúso de aguas residuales en riego agrícola, los requisitos mínimos para el uso seguro de éstas deberán ser los establecidos por la OMS en términos de variables microbiológicas (Tabla 1) y por la FAO los parámetros de calidad físico-química (Tabla 2).

Tabla 1

*Directrices de la OMS (1989) sobre calidad parasitológica y microbiológica de aguas residuales para uso en agricultura*

Categoría	Condiciones de reutilización	Grupo Expuesto <sup>b</sup>	Nematodos	Coliformes
			Intestinales (promedio aritmético de huevos/L) <sup>c</sup>	Fecales (promedio geométrico/100MI)
A	Irrigación de cultivos probablemente consumidos crudos. Parques deportivos, parques públicos.	Agricultores, consumidores, público.	$\leq 0.1^d$	$\leq 10^3$
B	Irrigación de cereales, cultivos industriales, forrajes, pastos y árboles <sup>e</sup> .	Agricultores pero no niños <15 y comunidades cercanas.	$\leq 1$ Riego por aspersión	$\leq 10^5$
		Agricultores pero no niños <15 y comunidades cercanas.	$\leq 1$ Riego por surco	$\leq 10^3$
		Agricultores, incluyendo niños <15, y comunidades cercanas.	$\leq 0.1$ Cualquier tipo de riego	$\leq 10^3$
C	Irrigación localizada de cultivos en la categoría B, si no están expuestos los trabajadores y el público	Ninguno	No Aplicable	No Aplicable

**Fuente:** Adaptado de Blumenthal et al., 2000

a En casos específicos, los factores locales epidemiológicos, socioculturales y ambientales deben ser tomados en cuenta, y las directrices modificadas conformemente. b Áscaris, tricuros y anquilostomas. c Durante el periodo de riego. d Una cicatriz más rigurosa (< 200 coliformes fecales por 100ml) es apropiada para céspedes públicos, tales como céspedes de hoteles con los que el público entran en contacto directo. e En el caso de árboles frutales, se debe suspender el riego dos semanas antes de la recolección de frutas y no se debe recoger el suelo. También se debe evitar el riego por aspersión, el mismo periodo aplica para la alimentación de animales con forrajes regados con aguas residuales.

Tabla 2

*Calidad de Agua residual para uso agrícola según el tipo de cultivo*

<b>Tipos de reuso agrícola</b>	<b>Calidad del agua residual</b>	<b>Opción de tratamiento</b>
<b>Reuso agrícola en cultivos que se consumen y no se procesan comercialmente</b>	pH 6.5 – 8.4	Secundario
	DBO < 10 mg.L <sup>-1</sup>	Filtración
	< 2 UNT	
	< 14 NMP coli fecal/100ml*	
	< 1 huevo/L (nematodos intestinales)	
<b>Reúso agrícola en cultivos que se consumen y se procesan comercialmente</b>	pH 6.5 – 8.4	Secundario Desinfección
	< 30 mg.L <sup>-1</sup> DBO	
	< 30 mg.L <sup>-1</sup> SS	
	< 200 NMP coli fecal/100ml	
<b>Reúso agrícola en cultivos que no se consumen</b>	pH 6.5 – 8.4	Secundario Desinfección
	< 30 mg.L <sup>-1</sup> DBO	
	< 30 mg.L <sup>-1</sup> SS	
	< 200 NMP coli fecal/100ml	

**Fuente:** FAO. 1999 modificada

DBO, Demanda Bioquímica de Oxígeno; SS, Sólidos Suspendedos; UNT, Unidades Nefelométricas de Turbidez; RAS, Relación Absorción/ Sodio; NMP, Número más Probable \* Coliformes fecales/100mL: Medida Geométrica de más de 10 muestras por mes; ninguna muestra debe ser mayor de 200/100ml

Luego de la verificación del cumplimiento de parámetros nos podemos encontrar con dos posibles escenarios.

El primero, en caso de que el agua residual analizada cumpla con todos los parámetros de riego que exigen las normas vigentes, se reutilizará el 100% de caudal de agua residual y no requerirá ningún tipo de tratamiento. Posteriormente se determinará el porcentaje de ahorro en

función a la dotación actual de riego. Tomando en cuenta que la dotación actual de agua de riego significaría el 100% y el caudal de agua reutilizada es el porcentaje que se busca determinar.

Otro posible escenario es que tan solo uno de los parámetros de calidad de agua no cumpliera, si tal fuera el caso, el porcentaje de caudal de agua residual aprovechable es 0% y requiere obligadamente un tratamiento.

Para poder determinar el tipo de tratamiento es necesario verificar las *Figuras 3-8*, el mismo que recopila información de varios investigadores que determinan un costo de inversión y operación –mantenimiento, versus la eficiencia de remoción por cada uno de los parámetros que exigen las normas. De esta manera se puede determinar el tipo de tratamiento óptimo respecto a un caso en particular, la decisión se basará primordialmente en el porcentaje de remoción deseado para cumplir con los parámetros de calidad necesarios en riego.

Con el cumplimiento de los parámetros, el caudal de agua reutilizable será el 100% con esto se determinaría el porcentaje de ahorro en función a la dotación actual de riego. Tomando en cuenta que la dotación actual de agua de riego significaría el 100% y el caudal de agua reutilizada es el porcentaje que se busca determinar. Cabe recalcar que el porcentaje de ahorro resultante no necesariamente significaría una reducción en la captación de agua de riego, sino que será una reserva de agua disponible para épocas de sequía.

### **Estudio de Caso**

El lugar de nuestra investigación se desarrolla en la Parroquia San Gerardo, Cantón Guano, Provincia de Chimborazo, la cual posee las características definidas en la metodología

de esta investigación y que la hacen apta para el estudio, la Parroquia posee una población aproximada de 2700 habitantes según la proyección poblacional del INEC en el año 2010.

El agua para consumo se la obtiene a través de vertientes y ríos los cuales distribuyen al 75% del total de familias pertenecientes a esta parroquia. La dotación se la realiza una sola vez al día desde las 5 am hasta las 9 am información proporcionada por el presidente de la Junta de Agua Potable el Sr. John Efraín Lara Sánchez. Luego de la utilización del agua potable, la parroquia posee un solo punto de descarga de las aguas residuales, el cual desemboca en el río Guano en el sector del Barrio La Unión por medio de tuberías.

En este punto de descarga se encuentra una planta de tratamiento existente por medio de humedales la cual fue diseñada para un caudal de 4,25 lts/s. Sin embargo, existió un error en el cálculo de la planta de tratamiento construida al no considerar el caudal ilícito ni un caudal de infiltración, que son dos caudales muy importantes para el caudal final, como resultado la planta recibe un caudal de 11 lts/s los cuales son arrojados directamente al río Guano sin recibir tratamiento por parte de la planta de humedales debido a que existe peligro de colapso de la misma. Ver Anexo 5.

Esto tiene consecuencias ambientales graves en el cuerpo de agua dulce al que se está vertiendo dicha agua residual cruda, estas consecuencias se verán reflejadas en los posteriores análisis de calidad de agua residual. La cobertura del sistema de alcantarillado abastece para 88 familias, es decir que tan solo el 13% de la población se encuentra conectado a la red de saneamiento.

Este sector fue de importancia para la investigación ya que es una comunidad potencialmente agrícola, el 17,7 % de la población total se dedica a actividades como agricultura, ganadería, silvicultura y pesca, este grupo se ubica tan solo detrás de la industria manufacturera.

La época de siembra se sujeta primordialmente a la presencia de lluvias y el ciclo del cultivo se desarrolla entre noviembre – julio donde se cosecha el choclo y noviembre – agosto que se cosecha la mazorca. Los frutales mora y frutilla se siembra en cualquier época del año, considerando que son cultivos de alto valor económico.

Tabla 3

*Épocas de siembra y cosecha según el tipo de cultivo de la Parroquia San Gerardo*

<b>CULTIVO</b>	<b>ÉPOCA DE SIEMBRA</b>	<b>EPOCA DE COSECHA</b>
<b>Alfalfa</b>	Todo El Año	Todo El Año
<b>Frutilla</b>	Todo El Año	Todo El Año
<b>Hortalizas</b>	Todo El Año	Todo El Año
<b>Maiz</b>	Noviembre	Mayo JULIO
<b>Mora</b>	Todo El Año	Todo El Año
<b>Papa</b>	Mayo NOVIEMBRE	Noviembre MAYO
<b>Pasto</b>	Todo El Año	Todo El Año
<b>Tomate De Árbol</b>	Todo El Año	Todo El Año

Fuente: DPACH, Noviembre 2014

La dependencia de los cultivos al agua de lluvia como fuente de crecimiento y desarrollo de los mismos, hacen a los cultivos vulnerables a las épocas de sequía por esta razón, las sequías representan un 70, 45 % de los riesgos naturales que afectan a los cultivos.

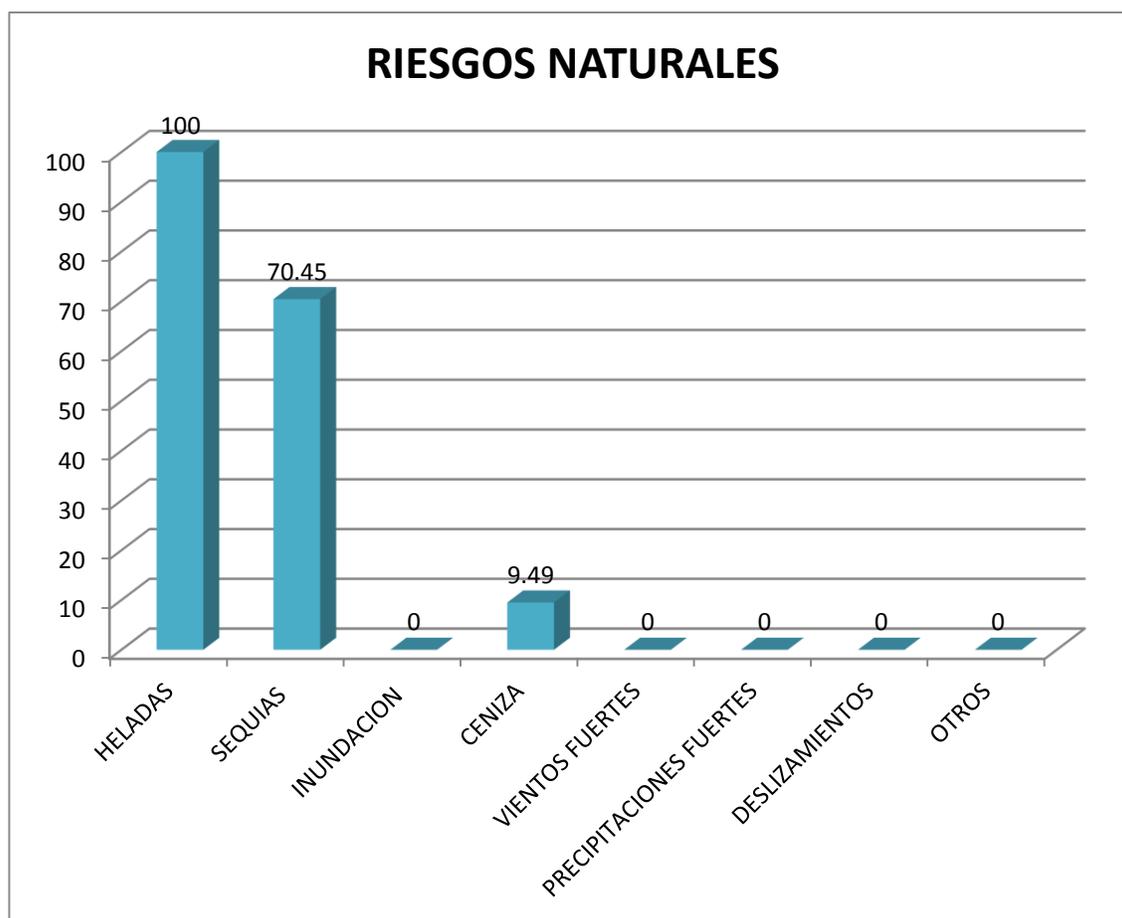


Figura 2. Riesgos Naturales de la parroquia San Gerardo. Fuente: DPACH, Noviembre 2014

De acuerdo a la metodología de investigación planteada se procedió al muestreo del agua residual en el punto de descarga. Para lo cual se realizó un único muestreo debido a que la dotación de agua potable es constante y limitada a 4 horas todos los días, con lo cual no existirá variación significativa en la carga contaminante en los distintos días incluyendo fines de semana, ni tampoco en el caudal promedio de agua residual. Ver Anexo 6 y Anexo 7.

El análisis se lo realizó en el laboratorio de aguas CESTTA de la ciudad de Riobamba, el cual es el único laboratorio certificado localmente y que por lo tanto determinó valores

confiables en los análisis, posterior a ello se procedió a verificar el cumplimiento de cada uno de los parámetros de calidad de agua para uso en riego. Los parámetros analizados en esta investigación fueron: pH, Coliformes Fecales (NMP/100ml), Huevos de parásito (Ausencia/Presencia) y los demás parámetros se obtuvieron de investigaciones realizadas el año 2015 sobre calidad de agua residual en la Parroquia de San Gerardo. (Callay, 2015)

Determinando así que los parámetros: Solidos Suspendidos Totales, DBO5 y Coliformes Fecales no cumplen con los límites permisibles para su reutilización pero, existe mayor concentración para este último parámetro obteniendo un resultado de 120000 NMP/100 ml de coliformes fecales, es decir sobrepasa en un 120% al límite permisible para uso en riego.

Debido a la calidad del agua residual existente es imposible reutilizarlo en riego por lo tanto el caudal aprovechable resulta en un 0% y se requiere un tratamiento para que esta agua pueda ser destinada en actividad agrícolas.

Cabe recalcar que el agua que se está vertiendo actualmente al Rio Guano no cumple ni siquiera con los límites permisibles de descarga a un cuerpo de agua dulce establecidos en la tabla N°10 del Anexo N°1 de la TULSMA, lo cual produce un grave problema de contaminación.

A partir de las *Figuras 5 y 6* se determinó que la mejor opción para nuestro caso de estudio es un tratamiento mediante procesos biológicos y físicos por medio de un humedal de flujo subsuperficial mas desinfección aprovechando la especie predominante de totora (*Typha latifolia*) existente en el sector debido al bajo costo de inversión, operación y mantenimiento para este tipo de tratamiento. El mismo fue seleccionado en función al parámetro más crítico, en

nuestro caso los Coliformes Fecales, el tratamiento por medio de humedales más desinfección puede obtener un efluente con concentraciones promedio de 100 NMP/100ml de coliformes fecales.

Después de haber propuesto un tratamiento óptimo para estas condiciones de estudio se realiza un dimensionamiento utilizando las fórmulas propuestas para el cálculo de humedales (Lara, 1999).

Con las dimensiones de la planta de tratamiento propuesta se obtendría una depuración del agua residual, cumpliendo así con los parámetros de calidad de agua para uso en riego, esto implica que se podrá reutilizar el caudal en un 100%. El riego se distribuye mediante 35 válvulas, cada una cuenta con un caudal de 15 lt/s, el mismo que tiene la cobertura entre 10 a 12 hectáreas de terrenos productivos.

El caudal reutilizable de 11 lt/s representaría un 2,29 % respecto a la dotación total de riego (480 lt/s) que recibe la Parroquia de San Gerardo, de esta manera se podría cubrir entre 8 a 9 hectáreas de terrenos productivos.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El análisis de laboratorio muestra el incumplimiento de 3 de los 5 parámetros requeridos (Tabla 3), con lo cual en base a la metodología propuesta nos encontramos en el escenario en el que el porcentaje de caudal aprovechable es 0%, por lo que se hace estrictamente necesario un tratamiento para que el agua cumpla con los parámetros de calidad y pueda ser reutilizada en un 100% en riego agrícola.

Tabla 4

*Características Físicas, Químicas y Microbiológicas del agua residual de la Parroquia San Gerardo.*

PARÁMETROS	MÉTODO/NORMA	UNIDAD	RESULTADO	VALOR LÍMITE PERMISIBLE	FUENTE
<b>Potencial Hidrogeno (pH)</b>	PEE-CESTTA/05 Standar Metod No. 4500/H+ B	Unidades de pH	7.49	6-9	Lab. CESTTA
<b>Coliformes Fecales</b>	PEE-CESTTA/230 Standar Metod No. 9221E/9221C	NMP/100 mL	120000	<1000	Lab. CESTTA
<b>Huevos de Parásito</b>	OBERVACIÓN MICROSCÓPICA	-	AUSENCIA	AUSENCIA	Lab. CESTTA
<b>Sólidos Suspendidos Totales</b>	APHA/AWWA/Standar Metod No. 2540-C	mg/L	130	< 30	Callay, 2015
<b>DBO<sub>5</sub></b>	APHA/AWWA/Standar Metod No. 5210-B	mg/L	176	< 30	Callay, 2015

Fuente: Elaboración Propia

Como se había mencionado en la metodología se debe tener como prioridad el porcentaje de remoción sobre los costos. Para nuestro caso de estudio analizamos la Figura N°5 y 6, esto se debe a que en el resultado del laboratorio nos muestra que éste es el parámetro de mayor incumplimiento con valores críticos.

Tabla 5

*Costos de inversión, operación y mantenimiento de cada tecnología de tratamiento.*

Tecnología de Tratamiento	Referencia	Capacidad total de reducción de DBO (%)	Capacidad de reducción de Coliformes (%)	Capacidad de reducción de SST (%)	Costo de inversión	Costo operación y mantenimiento (O±M)
					US\$ / Habitante	US\$ / Habitante
<b>Tanque Séptico Primaria Avanzado (TPA)</b>	Batalha, 1989	40-62	<60	50-70	12-20	0.5-1
<b>Humedal Construido + desinfección</b>	Torres et al., 2005	46-70	80-90	73-84	15-25	3-6
<b>USAB</b>	Gómez, 2008 y V. Sperling & Chernicharo, 2006	80-90	90-99	87-93	20-32	1-1.7
<b>USAB - Lodo Activado convencional</b>	Torres, 2000	60-70	60-90	60-80	12-20	1-1.5
	Van Haandel y Lettinga, 1994	85-95	70-95	85-95	30-45	2.50-5

Fuente: Elaboración Propia

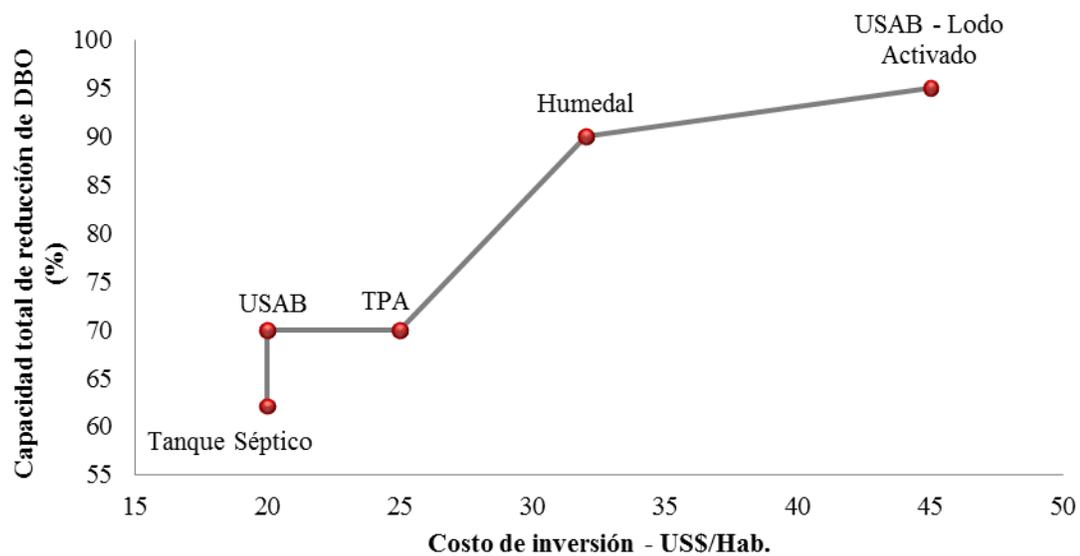


Figura 3. Costos de Inversión vs. Eficiencia de Remoción DBO5. Fuente: Elaboración Propia

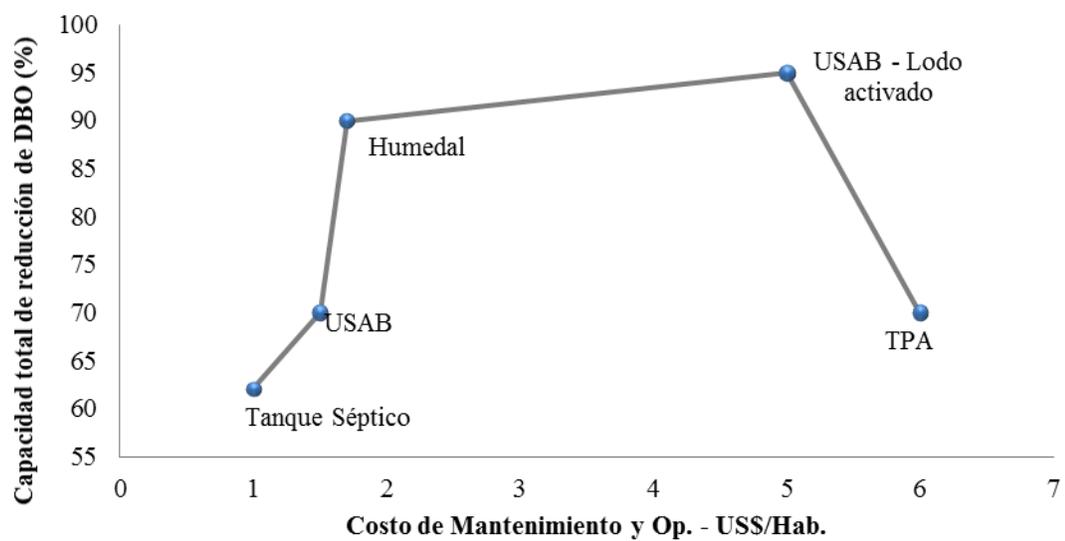


Figura 4. Costos de Mantenimiento y Operación vs. Eficiencia de Remoción DBO5. Fuente: Elaboración Propia.

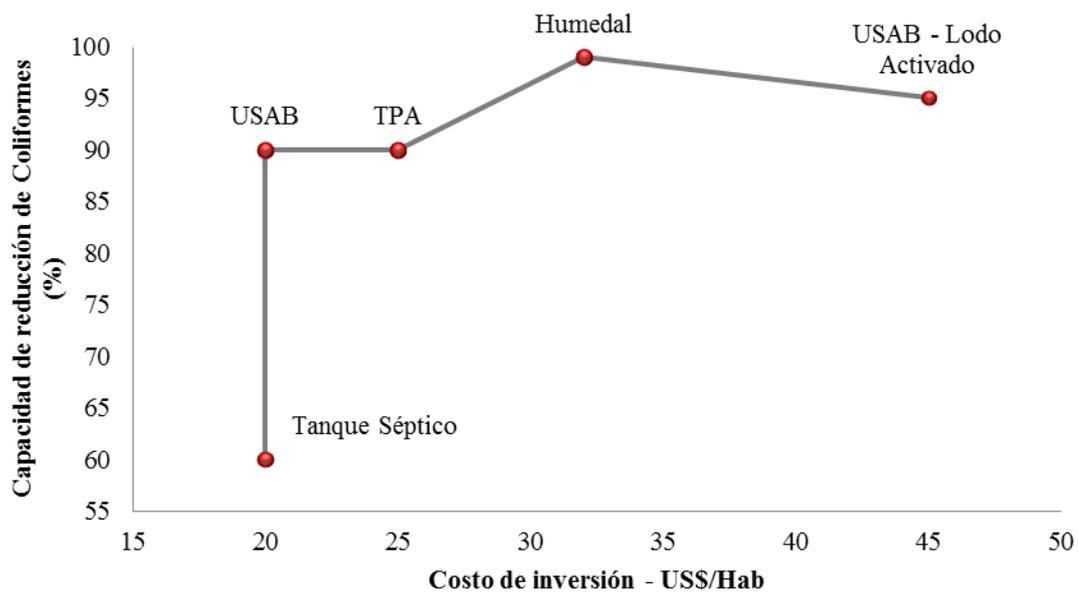


Figura 5. Costos de Inversión vs. Eficiencia de Remoción Coliformes Fecales. Fuente: Elaboración Propia.

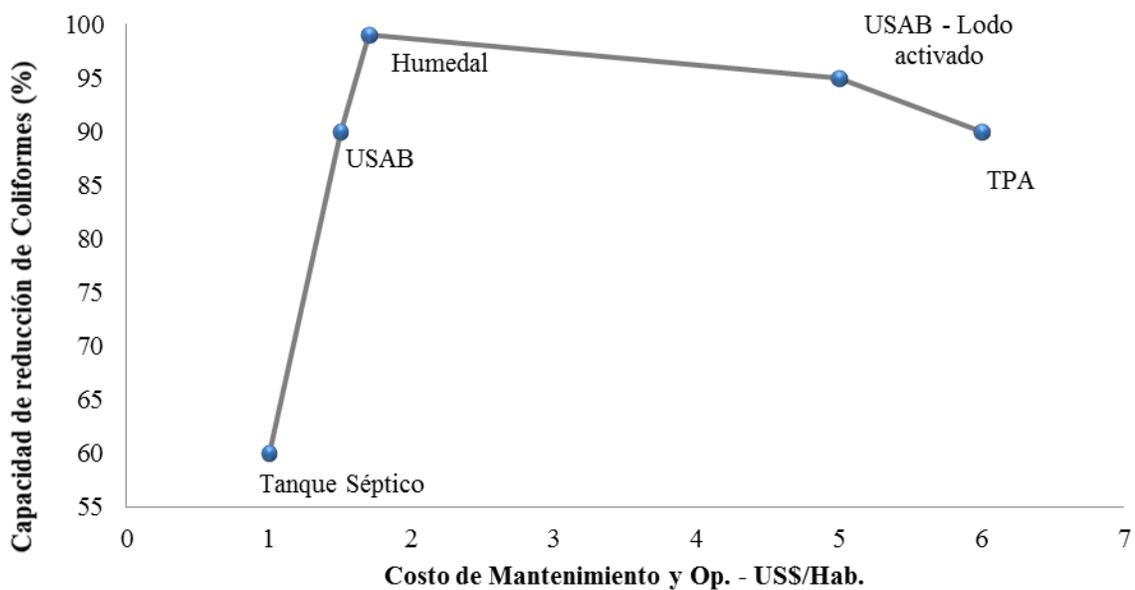


Figura 6. Costos de Mantenimiento y Operación vs. Eficiencia de Remoción Coliformes Fecales. Fuente: Elaboración Propia.

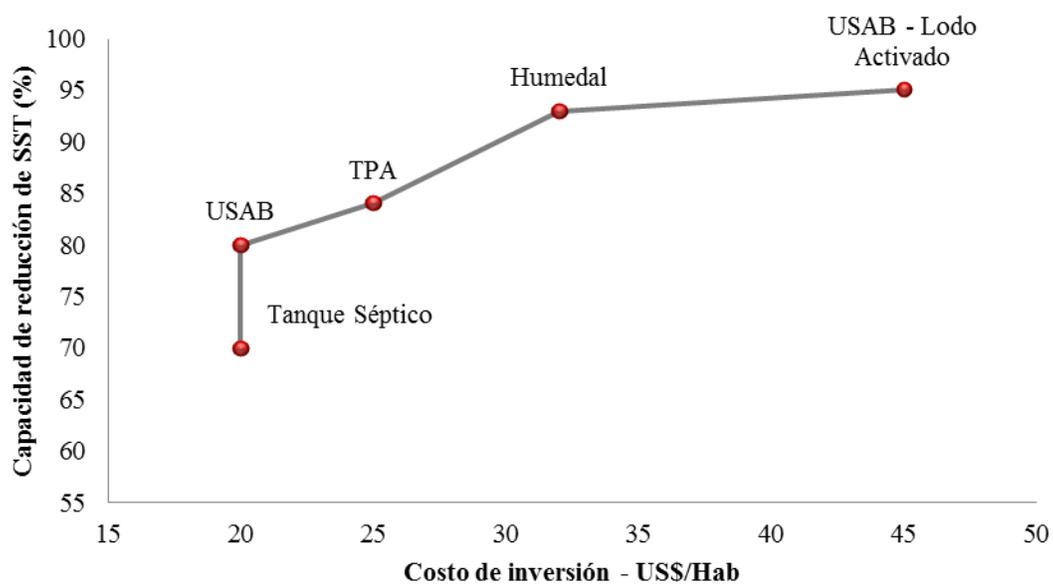


Figura 7. Costos de Inversión vs. Eficiencia de Remoción Sólidos en Suspensión Totales. Fuente: Elaboración Propia.

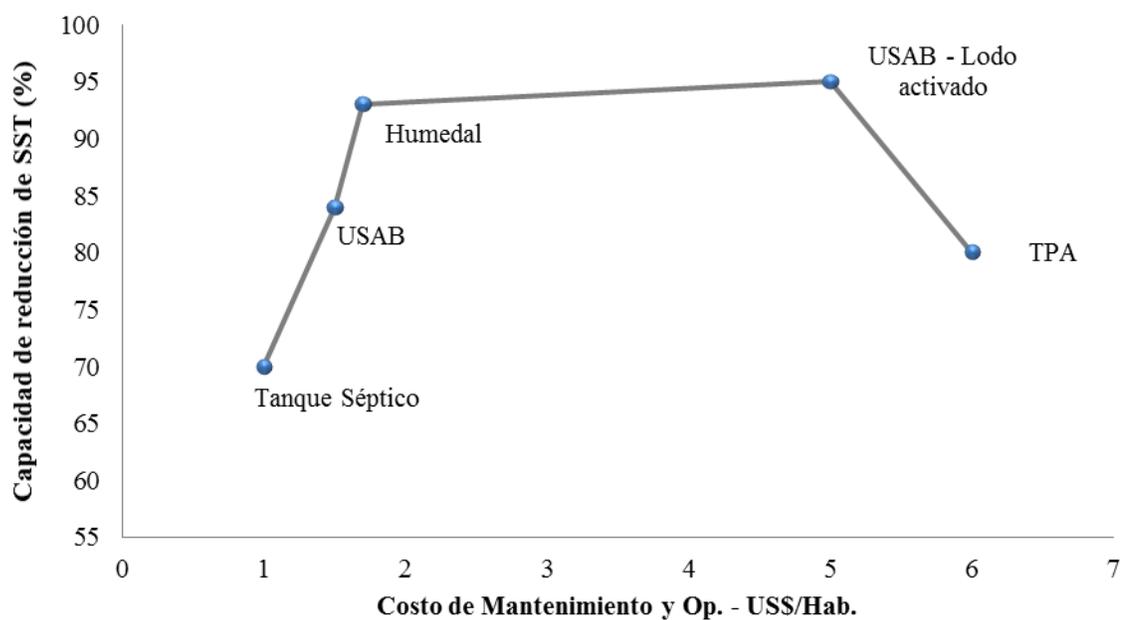


Figura 8. Costos de Mantenimiento y Operación vs. Eficiencia de Remoción Sólidos en Suspensión Totales. Fuente: Elaboración Propia.

En base a este criterio se considera que el tratamiento mediante humedal más desinfección es el ideal para nuestro caso ya que remueve entre 95 – 99% de coliformes fecales y su costo no es muy elevado con respecto al beneficio que esta tecnología puede proveer. Hay que considerar que el para este caso en particular el costo de inversión reduciría, ya que la Totorá es una planta predominante del sector.

Luego de escoger el tipo de tratamiento se procede a realizar su debido dimensionamiento tomando en cuenta todos los criterios necesarios de diseño hidráulico.

En el diseño hidráulico del humedal se tomó como factor limitante el parámetro de DBO5 del agua residual en la entrada a la planta de tratamiento, el mismo que tiene un valor de 176mg/L, y que deberá tener un valor de 25mg/L a la salida del humedal en base al diseño hidráulico. El caudal del efluente es de 950,4 m<sup>3</sup>/día y la temperatura promedio del agua residual es de 21,78°C (Callay, 2015), y la temperatura del aire en el lugar es de 23°C.

El diseño hidráulico consta de 3 celdas de humedales, cada una requiere el uso de grava como medio filtrante y deberá tener una profundidad de 0,6 m, largo de 77m, un ancho de 29m, en las cuales se deberá plantar *Typha latifolia* (planta propia del sector San Gerardo) como especie descontaminante, como se muestra en la Tabla 6.

Tabla 6 (1 de 2)

*Datos necesarios para implementación y diseño de humedal de flujo subsuperficial.*

<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>CANTIDAD</b>	<b>UNIDAD</b>
<b>DBO5 entrada</b>	176	mg/L
<b>DBO 5 salida</b>	25	mg/L
<b>Caudal medio</b>	950,4	m <sup>3</sup> /día

**Fuente:** Elaboración Propia

Tabla 7 (2 de 2)

*Datos necesarios para implementación y diseño de humedal de flujo subsuperficial.*

<b>Grava</b>		
<b>Diámetro efectivo</b>	32	mm
<b>Porosidad N</b>	38	%
<b>Conductividad Hidráulica</b>	25000	m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> *dí
<b>Ks</b>		a
<b>Profundidad y</b>	0,6	m
	Vegetación	Typha latifolia
	Profundidad del Humedal	0,6 m
	T° agua	21,78 °C
	T° aire	23 °C
	N° de humedales	3 UNIDAD
	Pendiente del lecho	4 %
	Largo	77 m
	Ancho	29 m
	Profundidad de excavación	1 m

**Fuente:** Elaboración Propia

Pese a la buena eficiencia de remoción de los coliformes fecales del humedal, para el caso de estudio es necesario diseñar un tanque de desinfección posterior al humedal, el cual garantizará que prácticamente no existan coliformes fecales en el agua, de esta manera se daría cumplimiento a la legislación ambiental para que esta agua pueda ser reutilizada en actividades agrícolas en un 100%.

El volumen necesario del reactor de desinfección por cloro deberá tener un volumen de 2,74 m<sup>3</sup>, sus dimensiones netas son 1,4 metros de largo, 1,4 metros de ancho y 1,4 metros de

altura. El reactor tendrá capacidad de eliminar el 99% de coliformes fecales existentes del efluente del humedal.

Finalmente el porcentaje de ahorro de agua se lo calcula en función a la dotación actual de riego.

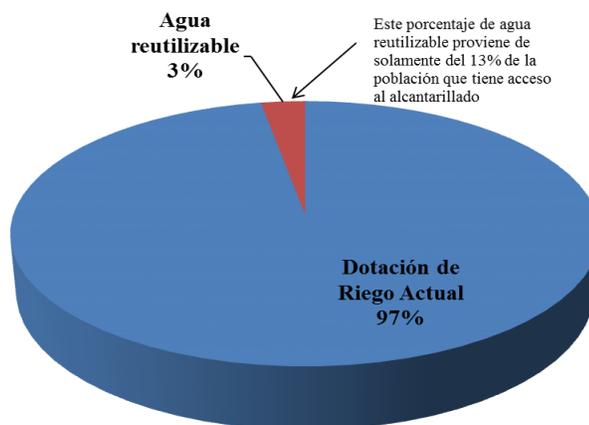


Figura 9. Porcentaje de ahorro de recursos hídricos en el estudio de caso. Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 8

*Características del agua residual post-tratamiento*

<b>PARÁMETROS</b>	<b>UNIDAD</b>	<b>RESULTADO</b>	<b>VALOR LÍMITE PERMISIBLE</b>
<b>Coliformes Fecales</b>	NMP/100 mL	12	<1000
<b>Huevos de Parásito</b>	-	AUSENCIA	AUSENCIA
<b>Sólidos Suspendidos Totales</b>	mg/L	9	< 30
<b>DBO<sub>5</sub></b>	mg/L	18	< 30

Fuente: Elaboración Propia

Partiendo de las 88 familias conectadas a la red de alcantarillado se estimó que un promedio de 264 habitantes generan un caudal de agua residual de 11 lt/s, el mismo que tendría una capacidad de cobertura de riego de 8 hectáreas de superficie. El costo por año si se quisiera regar dicha superficie con el agua residual tratada por medio del humedal más desinfección sería de 396 \$/año. Los investigadores consideran al agua residual una opción bastante prometedora ya que prácticamente no se requiere esfuerzo para generarla, es decir las personas en sus actividades diarias como cocinar, lavar su ropa, bañarse, usar los aparatos sanitarios estarían generando este caudal en contraste con lo que se realiza actualmente que se toma el agua para riego de una fuente natural como es un río o una vertiente convirtiéndose en muchos casos en una afectación al ecosistema.

Para finalizar esta investigación determinamos que el agua residual cruda no posee características que permitan reutilizarla en actividades agrícolas, obligándonos a buscar alternativas de depuración para que la propuesta de reutilización sea viable. Para ello se realizó un análisis costo – beneficio de varias tecnologías de tratamientos previamente propuestos por varios autores y basados en los parámetros de calidad de agua en riego que exigen las normas internacionales.

Investigaciones previas realizan un análisis de calidad de agua y proponen un tratamiento sin tomar en cuenta si la opción escogida es la más factible en cuanto al costo y a la depuración, es por ello que nuestra investigación propone tablas y gráficos basados en distintos casos de incumplimiento de parámetros de calidad de agua que puedan presentarse, para facilitar la selección de la mejor tecnología de tratamiento. Debido a la alta concentración de coliformes, el

tratamiento escogido no era suficiente por sí mismo para obtener la depuración deseada, por lo que fue necesario utilizar un tratamiento complementario de desinfección.

De ser el caso de que las tecnologías de tratamiento propuestas no sean suficientes para el cumplimiento de la legislación se deberán buscar tecnologías complementarias de depuración con la finalidad de dar cumplimiento a la legislación ambiental.

Uno de los limitante en este trabajo es el aspecto económico debido al costo de los análisis de calidad de agua en el laboratorio, por lo que es recomendable para futuras investigaciones realizar más ensayos para que pueda existir más confiabilidad en los resultados.

Futuros investigadores podrán complementar esta investigación realizando un estudio del almacenamiento y distribución de este caudal de agua tratada, para así confirmar la viabilidad de esta propuesta.

En comunidades rurales con características definidas en la metodología el aporte extra de este caudal residual en el riego de cultivos es representativo ya que estos cultivos se consideran vulnerables y mucho más en épocas de sequía.

Es de primordial competencia de los Gobiernos Locales la supervisión constante de la calidad de agua y el cumplimiento de normas ambientales de acuerdo al uso que se le vaya a dar a este líquido, tomando en cuenta que en la actualidad es un recurso preciado y que la escasez de fuentes naturales del mismo va en aumento.

## ANEXOS

### ANEXO 1

**Ecuaciones utilizadas para el diseño de humedal de flujo subsuperficial (Lara, 1999):**

$$kt = 1,104 * 1,106^{(T_a - 20)} \quad (1)$$

Dónde:  $T_a$  temperatura del agua residual en °C

$$As = \frac{(Q)(\ln(C_e) - \ln(C_o))}{kt * y * n} \quad (2)$$

Dónde:  $Q$  Caudal promedio del humedal en m<sup>3</sup>/día

$C_e$  concentración de DBO5 a la entrada del humedal en mg/L

$C_o$  concentración de DBO5 a la salida del humedal en mg/L

$kt$  constante dependiente de la temperatura en d-1

$y$  profundidad de agua en el humedal en m

$n$  Porosidad del humedal en términos fraccionarios

$$TRH = \frac{Area\ superficial * y * n}{Q} \quad (3)$$

Dónde: **Q** Caudal promedio del humedal en m<sup>3</sup>/día

**y** profundidad de agua en el humedal en m

**n** Porosidad del humedal en términos fraccionarios

$$W = \frac{1}{y} * \left( \frac{(Q)(As)}{(m)(Ks)} \right)^{0,5} \quad (4)$$

Dónde: **Q** Caudal promedio del humedal en m<sup>3</sup>/día

**As** área superficial /N° unidades

**m** pendiente del lecho

**Ks** conductividad hidráulica

**y** profundidad de agua en el humedal en m

$$L = \frac{\text{Area superficial}}{W} \quad (5)$$

Dónde: **W** ancho del humedal

Procedimiento de cálculo de dimensiones de humedal de flujo subsuperficial

1. Mediante la temperatura promedio del agua residual hallamos la constante de temperatura de diseño  $kt$ , usando la Ecuación 1 :

$$kt = 1,104 * 1,106^{(21,78-20)}$$

$$kt = 1,22 d^{-1}$$

2. Determinación del área superficial del humedal requerida para el humedal de flujo subsuperficial, de acuerdo a la Ecuación 2 y Ecuación 3 :

$$As = \frac{(950,4)(\ln(176) - \ln(25))}{1,22 * 0,6 * 0,38} = 6642,79 m^2$$

$$TRH = \frac{6642,79 * 0,6 * 0,38}{950,4} = 1,59 \text{ DÍAS}$$

3. Dividimos el área total en 3 celdas iguales de 2214,26 m<sup>2</sup>, ahora determinamos la relación LARGO: ANCHO, en la cual el caudal también será el 1/3 del total, el valor de m es de 0,04. Usando la Ecuación 4 y Ecuación 5 se tiene:

$$W = \frac{1}{0,6} * \left( \frac{(316,8)(2214,26)}{(0,04)(8,333)} \right)^{0,5} = 76,46 m$$

Se asume 77 metros

$$L = \frac{2214,26}{77} = 28,92m$$

*L: W = 2: 1 ok, relaciones hasta máximo 5: 1 son aceptables*

## ANEXO 2

### Cálculo del reactor de desinfección mediante cloro

Se utilizó la siguiente ecuación para el dimensionamiento:

$$\ln \frac{N}{N_0} = -kCt \quad (6)$$

Donde:

N/No depende de la cantidad de remoción de coliformes deseados al finalizar el tratamiento de desinfección, en nuestro caso se busca una remoción del 99%.

Ct es el tiempo de contacto, se determina por medio de tablas de inactivación (99% = 2Log), se escoge el valor de 40mg\*min/L

Tabla 8

*Valores estimados de Ct para varios niveles de inactivación de varios microorganismos en un efluente secundario (pH 7 y T 20°C)*

Desinfectante	Unidades	INACTIVACIÓN			
		1 Log	2 Log	3 Log	4 Log
BACTERIA					
Cloruro (libre)	mg*min/L	0,1-0,2	0,4-0,8	1,5-3	10-dic
VIRUS					
Cloruro (libre)	mg*min/L		2,5-3,5	4-5	6-7
QUISTES PROTOZOARIOS					
Cloruro (libre)	mg*min/L	20-30	<b>35-45</b>	70-80	

Fuente: Metcalf & Eddy, 2003

La dosis de cloro es también determinado mediante el uso de una tabla, como el agua a ser tratada proviene de un humedal se consideró como efluente primario y el valor tomado de cantidad de cloro fue de 10mg/L

Tabla 9

*Dosis típicas de cloro para un contacto de 40 minutos*

	Cantidad	de Dosis	de cloro	Efluente	promedio
Tipo de agua residual	coliformes al inicio	NMP/100ml			
	NMP/100ml	1000	200	23	<= 2,2
Agua residual cruda	10 <sup>7</sup> - 10 <sup>9</sup>	15-40			
Efluente primario	10 <sup>7</sup> - 10 <sup>9</sup>	<b>10-30</b>	20-40		
Efluente	10 <sup>5</sup> - 10 <sup>6</sup>	3-10	5-20	10-40	
Efluente de lodos					
activados	10 <sup>5</sup> - 10 <sup>6</sup>	2-10	5-15	10-30	
Efluente nitrificado	10 <sup>4</sup> - 10 <sup>6</sup>	4-12	6-16	8-18	8-20

FUENTE: Metcalf & Eddy, 2003

Una vez que se obtuvo los valores de Ct y C se realiza un despeje en la Ecuación 6:

$$Ct = 40mg * \frac{min}{L}$$

$$\left(10 \frac{mg}{L}\right) * t = 40mg * \frac{min}{L}$$

$$t = \frac{40 \text{ mg} * \frac{\text{min}}{\text{L}}}{10 \frac{\text{mg}}{\text{L}}}$$

$t = 4 \text{ minutos}$  ó 240 segundos

Con el valor del tiempo de retención se despeja el volumen de la formula  $t=V/Q$  , el caudal del efluente es conocido y se tiene que:

$$V = 240 \text{ s} * 11 \text{ L/s}$$

$$V = 2640 \text{ L} \text{ ó } 2,64 \text{ m}^3$$

Para el volumen calculado se determinan las dimensiones del reactor para desinfección, quedando de la siguiente manera:

Largo: 1,4 metros

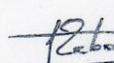
Ancho: 1,4 metros

Altura: 1,4 metros

\*Dimensiones netas

## ANEXO 3

## Solicitud de apertura para investigación en la Parroquia San Gerardo.

	<b>UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA</b> <b>DIRECCIÓN DE CARRERA DE INGENIERÍA</b> <b>CIVIL</b>	 <small>La Facultad de Ingeniería de la UNACH dispone de un Sistema de Gestión certificado de acuerdo a la norma ISO 9001 por SGS</small>
Ext. 1417		
<p>Riobamba, 18 de mayo del 2017 Oficio No. 263-DCIC-2017</p> <p>Master Martín Quisnia Paguay PRESIDENTE DE LA JUNTA PARROQUIAL DE SAN GERARDO Guano.</p> <p>De mi consideración.</p> <p>Reciba un cordial y atento saludo, de quienes conformamos la Carrera de Ingeniería Civil de la Universidad Nacional de Chimborazo.</p> <p>Por medio del presente tengo a bien solicitarle de la manera más comedida, autorice a quién corresponda, el ingreso a la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales para toma de muestras, así como también se les facilite información referente al riego y consumo de agua potable de la Parroquia San Gerardo, con la finalidad señores: HERRERA PEREZ JOSÉ RICARDO con cédula de identidad No. 0603944356 y MUÑOZ CHAFLA JHONATAN GABRIEL con C.I. 0604155820, estudiantes de la Carrera, puedan recabar la información necesaria para el Proyecto de Investigación por ellos planteado: "REUTILIZACIÓN DE AGUAS RESIDUALES PROVENIENTES DE COMUNIDADES RURALES EN ACTIVIDADES AGRÍCOLAS", previo a la obtención del Título de Ingenieros Civiles.</p> <p>Cabe indicar que la información proporcionada, será de gran utilidad para un buen trabajo de investigación.</p> <p>Seguro de contar con su aceptación, anticipo mi agradecimiento.</p> <p>Atentamente,</p> <div style="display: flex; justify-content: space-between; align-items: flex-start;"> <div style="text-align: center;">   <b>Ing. Víctor Velásquez, M.Sc.</b>  <b>DIRECTOR DE CARRERA</b>  <b>INGENIERÍA CIVIL – UNACH</b>            Elab. Gaby Guerrero         </div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; text-align: center;"> <small>A.D. PARROQUIAL RURAL SAN GERARDO</small>            FECHA: 07-06-2017            RECIBIDO: Juanos HORA: 10:28         </div> </div>		
cc. Archivo		
<b>Campus Norte "Edison Riera R"</b> Avda. Antonio José De Sucre, Hm. 1.5 Vía a Guano Teléfono: (593-3) 37 30 880 ext. 3000	<b>Campus "La Dolorosa"</b> Avda. Elay Alfaro y 10 de Agosto. Teléfono: (593-3) 37 30 910 ext. 3001	<b>Campus Centro</b> Duchoala 17-75 y Princesa Tiza Teléfono: (593-3) 37 30 880 ext. 3500
<b>Campus Guano</b> Parroquia La Matriz, Barrio San Roque vía a Asazo		
www.unach.edu.ec		

## ANEXO 4

**Información facilitada por el GAD municipal del cantón Guano, acerca de la planta de tratamiento actual y el caudal de agua residual que recibe.**



**CONSORCIO R y G**  
DISEÑO Y CONSTRUCCION  
Riobamba-Ecuador

---

Oficio N° 007-PMSG-CRG

Riobamba, 23 de junio del 2016

Ing. Rómulo Puígar.  
ADMINISTRADOR DE LA "CONSTRUCCION DEL PLAN MAESTRO DE AGUA POTABLE Y ALCANTARILLADO DE LA CABECERA PARROQUIAL DE SAN GERARDO, CANTON GUANO, PROVINCIA DE CHIMBORAZO"

Presente.-

Luego de saludarle y desearle éxito en las funciones que acertadamente desempeña, y en atención a la petición verbal realizada por moradores del sector del parque de la Parroquia San Gerardo, para que no se ejecuten los trabajos de instalación de tubería de alcantarillado PVC 200 MM, en el sector del parque, al respecto me permito informar que una vez analizado el estudio del PLAN MAESTRO DE AGUA POTABLE Y ALCANTARILLADO DE LA CABECERA PARROQUIAL DE SAN GERARDO, CANTON GUANO, PROVINCIA DE CHIMBORAZO, conjuntamente con la fiscalización se puede establecer lo siguiente:

"Este estudio contempla un alcantarillado independiente, es decir están diseñados para separar las aguas lluvias y las aguas residuales por medio de redes separadas, con este proceso se consigue que las aguas residuales vayan a la planta de tratamiento de manera exclusiva".

"Por criterio del fiscalizador Ing. Carlos Nieto no se contempla tubería de hormigón simple sino de tubería PVC para alcantarillados, y también no considera tubería de diámetro de 110mm para los ramales que tiene poco caudal en el sector alto. Este diseño contempla según la fiscalización solo tubería de PVC, y el diámetro mínimo será de 160mm".

"Por recomendación del Ing. Edgar Asqui Armas Técnico de la SENAGUA de Riobamba se procedió a realizar una inspección in situ con el Ingeniero Fiscalizador Ing. Carlos Nieto y el representante de la Consultora CIVAMBI CIA. Ltda. donde se realizó el recorrido del alcantarillado sanitario existente en los tramos R0-R20 y del barrio Central donde se enmarca lo siguiente":

- "El alcantarillado existente tiene aguas de infiltración que varían de entre 3 a 11 l/s (dato entregado por miembros de la Junta Administradora de agua potable y alcantarillado) debido a que el nivel freático de ese sector es demasiado alto este caudal se midió en la última caja de revisión antes de la descarga a río Guano".
- "La planta de tratamiento está diseñada para un caudal de 4.25 l/s quiere decir que hay un exceso de caudal máximo de 6.75 l/s (11 - 4.25 = 6.75), y esta diferencia puede hacer colapsar a la planta como ocurrió con el constructor en el año 2009".
- "El exceso de agua de infiltración de 6.75 l/s se produce debido a que el agua de infiltración y el agua ilícita entra directamente a la tubería del alcantarillado sanitario existente y esta agua hace colapsar la planta, el agua ilícita se produce

---

Dirección: Jaime Roldos Aguilera y Vicente Ramón Roca

GADM CANTÓN GUANO



## CONSORCIO R y G DISEÑO Y CONSTRUCCION

Riobamba-Ecuador

entre otras razones entre las más importantes porque: la gente hace ingresar al alcantarillado sanitario agua lluvia, por el sector fluyen canales de agua de acequias que se desbordan y el agua ingresa al sistema de alcantarillado sanitario”.

- “Los ramales de tuberías de HS D=200mm se encuentran instalados en una plataforma con exceso de agua de los humedales izquierdo y derecho esto hace que con el tiempo se vayan asentando de poco a poco y con el paso del tiempo hace que se flejen las alineaciones haciendo que las uniones de mortero de cemento se vayan desprendiendo y dejando pasar mucha agua de infiltración. Por esta razón **el nuevo sistema de alcantarillado se encuentra diseñado con tuberías de PVC que impide las aguas de infiltración haciendo más eficiente el funcionamiento de la planta**”.
- “Debido a estas consideraciones se ha optado por considerar el nuevo sistema de alcantarillado sanitario que garantice el funcionamiento de recolección y tratamiento por los próximos 20 años con un eficiente operación y mantenimiento del sistema”.

Adicionalmente se establece un error en el cálculo en la planta de tratamiento construida al no considerar el caudal ilícito ni el caudal de infiltración, que son dos caudales muy importantes para el caudal final, ya que como se estableció anteriormente el nivel freático en el sector es alto.

Con estos antecedentes consideramos que realizar el cambio de los tramos de tubería según lo establecido en los diseños es necesario ya que de no realizarlos el caudal a ser tratado se incrementaría notablemente y esto podría producir que la planta de tratamiento de aguas servidas no cumpla el objeto para el cual fue construida, e incluso produciéndose el desbordamiento de las aguas servidas.

Particular que comunico para los fines pertinentes.

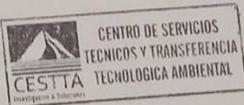
Atentamente,

Ing. Geovanny Guaman  
PROCURADOR COMUN CONSORCIO RG  
CONTRATISTA.

Ing. Francisco Bravo.  
PROCURADOR COMUN DEL CONSORCIO BRAVO VELASCO.  
FISCALIZADOR

## ANEXO 5

## Ensayo de muestras de agua residual en Laboratorio CESTTA.

 <p><b>CESTTA</b> SGC</p>	<p><b>CENTRO DE SERVICIOS TÉCNICOS Y TRANSFERENCIA TECNOLÓGICA AMBIENTAL</b></p> <p>DEPARTAMENTO: SERVICIOS DE LABORATORIO</p> <p>Panamericana Sur Km. 1 1/2, ESPOCH (Facultad de Ciencias) RIOBAMBA - ECUADOR Teléfono: (03) 3013183</p>	 <p>Servicio de Acreditación Ecuatoriano</p> <p>Acreditación N° OAE LE 20 06-608 LABORATORIO DE ENSAYOS</p>			
<p>INFORME DE ENSAYO No: A-432-17 ST: 206 - 17 ANÁLISIS DE AGUAS</p>					
<p>Nombre Peticionario: Jhonatan Muñoz Atn. Jhonatan Muñoz Dirección: Veloz y Jacinto Gonzalez Riobamba - Chimborazo</p>					
<p>FECHA: 28 de Junio del 2017 NUMERO DE MUESTRAS: 1 FECHA Y HORA DE RECEPCIÓN EN LAB: 2017/06/16 - 12:00 FECHA DE MUESTREO: 2017/06/16 - 09:10 FECHA DE ANÁLISIS: 2017/06/16 - 2017/06/28</p>					
<p>TIPO DE MUESTRA: Residual CÓDIGO CESTTA: LAB-A-431-17 CÓDIGO DE LA EMPRESA: A-1 PUNTO DE MUESTREO: Entrada a la planta de tratamiento aguas residuales de la parroquia San Gerardo</p>					
<p>ANÁLISIS SOLICITADO: Físico- Químico - Microbiológico PERSONA QUE TOMA LA MUESTRA: Kleber Isa CONDICIONES AMBIENTALES DE ANÁLISIS: T max.: 25,0 °C. T min.: 15,0 °C</p>					
<p><b>RESULTADOS ANALÍTICOS:</b></p>					
PARAMETROS	MÉTODO /NORMA	UNIDAD	RESULTADO	INCERTIDUMBRE (k=2)	VALOR LÍMITE PERMISIBLE (■)
Hierro	PEE/CESTTA/35 Standard Methods No. 3500-Fe B 3030-E3111-B	mg/L	1,09	±20%	5,0
Potencial Hidrógeno	PEE/CESTTA/05 Standard Method No. 4500-H <sup>+</sup> B	Unidades de pH	7,49	±0,2	6-9
Grasas y Aceites	PEE/CESTTA/42 Standard Methods No. 5520 B	mg/L	<2	±30%	AUSENCIA
Coliformes Fecales	PEE/CESTTA/230 Standard Methods No. 9221E/9221C	NMP/100 mL	120000	±19%	1000
*Huevos de Parasitos	Observación Microscópica	-	AUSENCIA	-	AUSENCIA
*Materia Flotante	Visual	-	PRESENCIA	-	AUSENCIA
<p><b>OBSERVACIONES:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Muestra transportada en refrigeración.</li> <li>Los parámetros marcados con (*) se encuentran fuera del alcance de acreditación del SAE.</li> <li>La columna marcada con (■) corresponde a los límites máximos permitidos en la Tabla 3: Criterios de calidad de aguas para riego agrícola. TULSMA. Libro VI. Anexo I. Acuerdo 097-A. Solicitado por el cliente.</li> </ul>					
<p>RESPONSABLE DEL INFORME:</p>					
			<p><i>Dr. Mauricio Alvarez</i> RESPONSABLE TÉCNICO</p>		
<p>Este documento no puede ser reproducido ni total ni parcialmente sin la aprobación escrita del laboratorio. Los resultados arriba indicados sólo están relacionados con los objetos ensayados</p>					<p>Página 1 de 1 Edición 0</p>
<p>MC01-14</p>					

**ANEXO 6****CERTIFICACIÓN**

A petición de los interesados los Sres. José Ricardo Herrera Pérez y Jhonatan Gabriel Muñoz Chafra con número de cédula N° 0603944356 y N° 0604155820 respectivamente, para fines académicos.

Yo, Sr. **Jhon Efraín Lara Sánchez**, **OPERADOR DEL SISTEMA DE AGUA POTABLE DE LA PARROQUIA DE SAN GERARDO**.

**CERTIFICO:**

Que, en la parroquia San Gerardo, Cantón Guano, se dispone de agua potable 4 horas diarias a partir de las 5 AM hasta las 9 AM de lunes a domingo.

Se expide la presente a solicitud del interesado, para los fines que crea convenientes.

Atentamente,



**Sr. Jhon Efraín Lara Sánchez.**

060196756-5

**Guano, 16 de junio del 2017**

## ANEXO FOTOGRAFICO



Anexo 7. Planta de tratamiento de la Parroquia San Gerardo actualmente inhabilitada. Fuente: Elaboración Propia



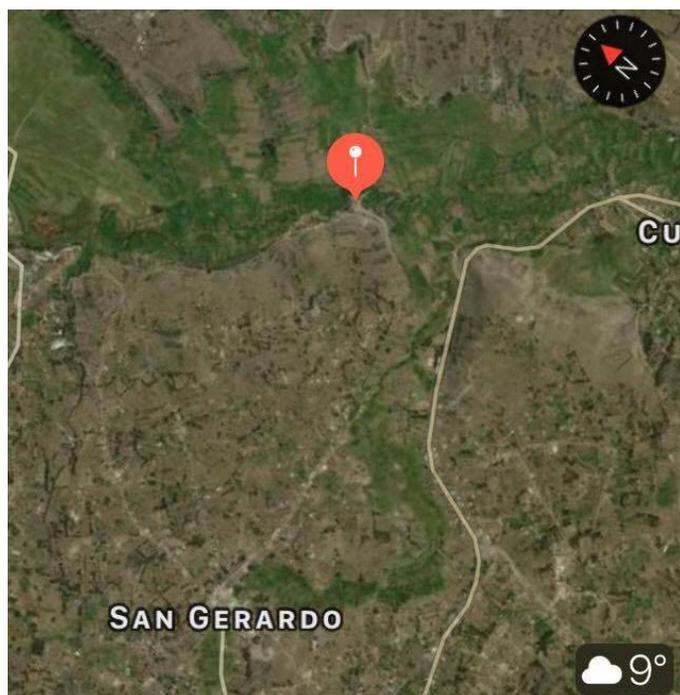
Anexo 8. Planta de tratamiento de la Parroquia San Gerardo actualmente inhabilitada. Fuente: Elaboración Propia.



Anexo 9. Muestreo de agua residual a la entrada de la planta de tratamiento. Fuente: Elaboración Propia



Anexo 10. Punto de vertido del efluente en el río Guano. Fuente: Elaboración Propia



Anexo 11. Ubicación geográfica de la zona de descarga del efluente. Fuente: Elaboración Propia



Anexo 12. Detalle de planta de tratamiento y descarga de efluente al río Guano. Fuente: Elaboración Propia



Anexo 13. Muestreo de agua en reservorio N°63 del sistema de riego Chambo-Guano. Fuente: Elaboración Propia



Anexo 14. Muestreo de agua en reservorio N°63 del sistema de riego Chambo-Guano. Fuente: Elaboración Propia

## Referencias

- Anexo, L. V. I. (n.d.). NORMA DE CALIDAD AMBIENTAL Y DE DESCARGA DE EFLUENTES : RECURSO AGUA.
- Calidad, A., Agua, D. E. L., & Manejo, M. (2013). NORMA TÉCNICA ECUATORIANA NTE INEN 2169 : 2013 Primera revisión.
- Castillo, A. (2012). Métodos Estadísticos con R y R Commander. *Cran.Cs.Wwu.Edu*, 138. Retrieved from <http://cran.cs.wwu.edu/doc/contrib/Saez-Castillo-RRCmdrv21.pdf>
- Del, E., & Diseño, G. D. E. (2010). Figura 4.1 Crecimiento poblacional histórico de la comunidad de Las Cucharas, Municipio de Ozuluama, Veracruz (Fuente: INEGI, 2009).
- Edition, F. (2013). NORMA TÉCNICA ECUATORIANA NTE INEN 2176 : 2013 Primera revisión.
- Efluentes, Y. D. E. D. D. E., & Agua, R. (n.d.). Anexo 1 del libro vi del texto unificado de legislación secundaria del ministerio del ambiente: norma de calidad ambiental y de descarga de efluentes al recurso agua, 1–37.
- Garzón Zúiga, M. A., González Zurita, J., & García Barrios, R. (2016). Evaluación de un sistema de tratamiento doméstico para reúso de agua residual. *Revista Internacional de Contaminacion Ambiental*, 32(2), 199–211. <https://doi.org/10.20937/RICA.2016.32.02.06>
- Guerra, J. D. T., & Vargas, J. S. M. (2015). Evaluación de la eficiencia en el tratamiento de aguas residuales para riego mediante Humedales Artificiales de flujo libre superficial ( FLS ) con las especies *Cyperus Papyrus* y *Phragmites Australis* , en Carapongo- Lurigancho, 41–64.
- Guevara, A. (1996). Control de calidad del agua Métodos de análisis para la evaluación de la calidad del agua.

Guidelines, T., & Bank, W. (1985). Executive Summary.

Guidelines, W. H. O., & The, F. O. R. (2006). SAFE USE OF WASTEWATER , EXCRETA AND GREYWATER, *I*.

La, R. D. E., San, P., & Del, G. (2015). ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO.

Lorenzo, E. V., Llanes Ocaña, J. G., Fernández, L. A., & Bataller Venta, M. (2009). Reúso de aguas residuales domésticas para riego agrícola. Valoración crítica. *Revista CENIC Ciencias Biológicas*, *40*(1), 35–44.

Morales, A. (2014). Las aguas residuales regeneradas como recurso para los regadíos de la demarcación hidrográfica del Segura (España). *Boletín de La Asociación ...*, (64), 151–176. Retrieved from <http://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/4653667.pdf>

Silva, J., & Torres, P. (2008). Reuso de aguas residuales domésticas en agricultura . Una revisión Domestic wastewater reuse in agriculture . A review, *26*(2), 347–359.

Guía Básica De Control De Calidad De Agua. (n.d.). Retrieved from <http://www.ongawa.org/wp-content/uploads/2015/09/Agua-CAS-revisar2.pdf>

Reutilización de las aguas residuales. (n.d.). Retrieved from [http://www.igme.es/actividadesigme/lineas/HidroyCA/publica/libro33/pdf/lib33/cap\\_2\\_a.pdf](http://www.igme.es/actividadesigme/lineas/HidroyCA/publica/libro33/pdf/lib33/cap_2_a.pdf)

Biological Wastewater Treatment in Warm Climate Regions. (n.d.).