

EVALUACIÓN DEL POTENCIAL USO PARA RIEGO DEL EFLUENTE DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE GINEBRA VALLE DEL CAUCA



**UNIVERSIDAD DEL VALLE
FACULTAD DE INGENIERÍA
INSTITUTO CINARA
ESCUELA DE INGENIERÍA DE LOS RECURSOS NATURALES Y DEL
AMBIENTE
INGENIERÍA AGRÍCOLA
SANTIAGO DE CALI
2018**

**EVALUACIÓN DEL POTENCIAL USO PARA RIEGO DEL EFLUENTE DE LA
PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE GINEBRA VALLE
DEL CAUCA**

JORGE ENRIQUE TRÓCHEZ BALCAZAR

**Trabajo de grado presentado como requisito para optar por el
título de Ingeniero Agrícola**

**Directora
Inés Restrepo Tarquino
Ing. S; M.Sc; PhD.**

**UNIVERSIDAD DEL VALLE
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA DE LOS RECURSOS NATURALES Y DEL
AMBIENTE
CALI-VALLE
2018**

RESUMEN

Los actuales periodos de sequía, relacionados con el fenómeno del cambio climático han tenido efectos negativos en la agricultura del Valle del Cauca; se puede mencionar el déficit de la oferta hídrica empleada en riego de cultivos. Este proyecto de investigación estuvo orientado hacia el establecimiento de la potencialidad del uso para riego del efluente de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de Ginebra Valle (PTAR), el cual se encontro viable para reuso, gracias a diagnósticos de las calidades agronómica y microbiológica realizados al efluente tratado.

Se estudiaron calidades agronómica y microbiológica del efluente de la PTAR de Ginebra Valle. El recurso fue evaluado bajo directrices de la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO, 1985) y el diagrama de clasificación de aguas para riego del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos de América (USDA, 1954). El primer estándar define al efluente como apto para riego y el segundo lo clasifica como C1-S2; por lo cual se afirma que cumple con los estándares internacionales para riego agrícola. En cuanto a la calidad microbiológica, el contenido de huevos de helmintos del efluente cumple con estándares de la Organización Mundial de la Salud (WHO, 2006); contrario a lo anterior, el contenido de coliformes fecales supera los lineamientos de la norma en mención. Con relación a la norma nacional de reuso de ARD tratadas (Resolución 1207 de 2014 - Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible) las ARD tratadas cumplen con límites fisicoquímicos permisibles, a la vez que el contenido de Huevos de Helmintos se encuentra dentro del rango de dicha norma; en contraposición a lo anterior, el contenido de coliformes fecales excede el lineamiento propuesto por el gobierno nacional. Por lo anterior, los estándares de la Organización Mundial de la Salud, y directrices colombianas, lo clasifican como no apto para riego, por riesgos a la salud de agricultores y regadores. Las anteriores situaciones limitan el uso del efluente en riego, pero una implementación de un adecuado tratamiento de desinfección y medidas necesarias, permitirán un uso seguro del recurso.

Bajo lineamientos de FAO (1985), se encontró que el ARD tratada podría ser empleada en riego de cultivos con tolerancia a salinidad de tipo *sensible*. El contenido de nutrientes N, P y K del recurso, representa un alto potencial de fertilización en agricultura; del mismo modo podría generar problemas ocasionados por sobrefertilización.

El reuso para riego del efluente presenta beneficios de tipos económico y ambiental. Esta situación le genera un ahorro de más de \$ 17´ 300 000, anuales a ACUAVALLE S.A, por concepto de no pago de tasa retributiva; a la vez que puede representar un ahorro, de más de \$13´000 000 para Hacienda La Trinidad, por concepto de compra de fertilizantes nitrogenados. Se resalta el hecho que al utilizar el efluente de la PTAR de Ginebra en el riego de caña de azúcar se estaría evitando la descarga de alrededor de 252 kg/día de DBO₅ y 215 kg/día de SST.

Palabras claves: *Aguas Residuales, Reuso, Agricultura, calidad de agua para riego, Salinidad.*

DEDICATORIA

Este logro lo dedico a Dios, por haberme compartido el tiempo necesario para realizar este trabajo de investigación.

Con aprecio, lo dedico a mis padres, por haberme brindado sus apoyos.

A cada una de las personas que, de una u otra manera, me compartieron sus ayudas, ya que fueron muy importantes durante la realización de este trabajo académico.

Jorge Enrique Tróchez Balcazar

AGRADECIMIENTOS

A la profesora Inés Restrepo Tarquino, por sus orientaciones compartidas durante el desarrollo de esta investigación y por su apoyo brindado. Igualmente, al profesor Carlos Arturo Madera Parra, por el tiempo que dedicó a orientar este trabajo de investigación

Al profesor Andrés Fernando Echeverri Sánchez, por sus asesorías brindadas y aportes académicos, compartidos dentro de esta investigación.

Al profesor Cristian Orlando Jiménez Alfaro, y a la investigadora María Fernanda Jaramillo por haberme compartido tiempos y conocimientos académicos.

Al ingeniero Sanitario Wilmer Riascos Castañeda, por compartirme sus asesorías.

A los señores Carlos Montoya y William Hoyos de Hacienda La Trinidad – Ginebra, Valle; en especial al señor William, por sus valiosos tiempos y soportes, brindados durante el desarrollo de esta investigación académica.

A la señora María del Pilar Hurtado y a su equipo de trabajo de CIAT, por haber compartido sus servicios y habilidades en esta investigación.

A la señora Clara González y a su equipo de trabajo de la estación de investigación de Cinara en Puerto Mallarino, por haber compartido sus servicios a esta investigación.

Al señor Miller Linares de Colpozos Mexichem, por la información compartida.

Al Sistema General de Regalías-Valle del Cauca, por brindar los recursos económicos para la realización de este proyecto. De igual modo a la CVC.

A la Universidad del Valle, la escuela EIDENAR, profesores y funcionarios administrativos del programa académico de Ingeniería Agrícola y al equipo de investigación de Saneamiento Ambiental del Instituto CINARA, por haberme brindado la oportunidad de desarrollar este trabajo de investigación.

TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN	3
1. INTRODUCCIÓN	11
2. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA Y JUSTIFICACIÓN	12
3. ANTECEDENTES	14
4. MARCO CONCEPTUAL	16
4.1. CONCEPTO DE REUSO DE AGUAS RESIDUALES	16
4.2. REUSO DE AGUAS RESIDUALES EN AGRICULTURA.....	17
4.2.1. Antecedentes a nivel mundial	17
4.2.2. Uso de aguas residuales domésticas (ard) en colombia	18
4.2.3. Aspectos de riesgo.....	19
4.2.4 . Marco normativo nacional para reuso de ARD en agricultura.	19
4.3. CALIDAD DEL AGUA RESIDUAL PARA USO AGRÍCOLA.....	20
4.3.1. Calidad fisicoquímica.....	20
4.3.2. Calidad microbiológica del agua residual	23
4.4. ÍNDICE DE Langelier para calidad de agua.....	25
4.4.1. Índice de saturación	25
4.4.2. Índice de agresividad	25
4.5. TOLERANCIAS DE CULTIVOS AGRÍCOLAS A LA SALINIDAD.....	25
4.6. BENEFICIOS ECONÓMICOS DE REGAR CON AGUAS RESIDUALES	26
5. OBJETIVOS.....	28
5.1. OBJETIVO GENERAL	28
5.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	28
6. MATERIALES Y MÉTODOS	29
6.1. LOCALIZACIÓN Y DESCRIPCIÓN DE LA PTAR DE GINEBRA	29
6.2. METODOLOGÍA GENERAL DEL PROYECTO	29
6.2.1. Toma de datos	31
6.2.1.1. Muestreo de aguas residuales.....	31
6.2.1.2. Muestreo de suelos	31
6.3. PARÁMETROS EVALUADOS	32
6.3.1. Variables medidas en el agua residual.....	32
6.3.2. Variables medidas en suelos	33
6.4. TENDENCIA INCRUSTANTE O CORROSIVA DE ARD	34
6.4.1. Índice de saturación	34
6.4.2. Índice de agresividad	35
6.5. CULTIVOS ADECUADOS PARA EL RIEGO CON ARD TRATADA DE LA PTAR DE GINEBRA	35
6.6. BENEFICIOS ECONÓMICOS DE REGAR CON EFLUENTE TRATADO DE LA PTAR DE GINEBRA-VALLE	35
6.7. ANÁLISIS ESTADÍSTICO	38

7. ANALISIS DE RESULTADOS	38
7.1. CALIDAD DEL ARD TRATADA.....	38
7.1.1. Calidad agronómica	38
7.1.2. Calidad microbiológica del efluente	40
7.2. EVALUACIÓN BAJO NORMA NACIONAL DE REUSO PARA RIEGO.....	41
7.3. TENDENCIA CORROSIVA O INCRUSTANTE DE ARD TRATADA.....	43
7.3.1. Índices de saturación y agresividad	43
7.4. IDENTIFICACIÓN DE CULTIVOS ADECUADOS PARA REGAR CON EL EFLUENTE DE LA PTAR DE GINEBRA	44
7.4.1. Conductividad eléctrica de suelos	44
7.4.2. Análisis estadístico de ce de suelos y aguas	44
7.4.3. Cultivos adecuados para ser regados con ard tratada de ginebra	45
7.5. BENEFICIOS ECONÓMICOS DE REGAR CON ARD TRATADA DE LA PTAR DE GINEBRA VALLE.....	49
7.5.1. ACtores involucrados	49
7.5.2. Evaluación de beneficios en experiencia de reuso	50
7.5.2. 1. Ahorro en pago de tasa retributiva.....	50
7.5.2.2. Ahorro en el costo de tratamiento de ARD	50
7.5.2.3. Ahorro en el costo de fertilizante debido al contenido de nutrientes de las aguas residuales.	52
7.5.2.4. Costos evitados de extracción y distribución de agua dulce.....	54
7.5.2.5. Ahorro en pago de tasa por uso de agua (TUA)	56
7.5.2.6. Mayor fiabilidad por el suministro de aguas residuales	56
7.5.2.7. Beneficios Ambientales	56
7.5.3. Resumen de cuantificaciones económicas de beneficios	57
8. CONCLUSIONES.....	58
9. RECOMENDACIONES	59
10.FUTUROS TEMAS DE INVESTIGACIÓN.....	60
11. BIBLIOGRAFÍA	61
12.ANEXOS	71

LISTADO DE TABLAS

Pág.

Tabla 1. Clasificación de agua para riego (emplea RAS y CE).	21
Tabla 2. Guía para la interpretación del agua de riego.	22
Tabla 3. Concentraciones máximas de elementos trazas en aguas de riego.	22
Tabla 4. Concentraciones de organismos excretados en ARD.	24
Tabla 5. Objetivos basados en la salud para el uso de agua residual para agricultura.	24
Tabla 6. Medidas de monitoreo de verificación del tratamiento.....	25
Tabla 7. Parámetros analizados en el efluente.	32
Tabla 8. Variables analizadas en suelos.	33
Tabla 9. Beneficios identificados.	35
Tabla 10. Calidad fisicoquímica efluente PTAR Ginebra.....	38
Tabla 11. Composición microbiológica del efluente tratado.	40
Tabla 12. Composición microbiológica del efluente tratado.	41
Tabla 13. Evaluación de Norma Portuguesa para reuso de ARD tratada.	43
Tabla 14. Parámetros empleados en estimación de Índices.	43
Tabla 15. Índice de Saturación de Langelier e Índice de Agresividad.	43
Tabla 16. Conductividades eléctricas de suelos.....	44
Tabla 17. Cultivos adecuados bajo lineamientos de FAO (1985).	46
Tabla 18. Cultivos agrícolas adecuados bajo norma nacional.	48
Tabla 19. Actores involucrados.	49
Tabla 20. Estimación de tasa retributiva.	50
Tabla 21. Evaluación de norma nacional de vertimientos.	50
Tabla 22. Estimación de cantidades de N, P, K del efluente.	52
Tabla 23. Oferta de nutrientes del suelo.	52
Tabla 24. Plan de fertilización.	53
Tabla 25. Plan de fertilización. Cantidades específicas para cada área.	53
Tabla 26. Costo bombeo.	54
Tabla 27. Tasa de agua subterránea.	54
Tabla 28. Resumen de costos asociados al uso de agua.	56
Tabla 29. Estimación de descargas de PTAR Ginebra Valle.	56
Tabla 30. Resumen de estimaciones económicas de beneficios.	57

LISTADO DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Clasificación del reuso bajo el concepto de lavrador Filho (1987).	16
Figura 2. Clasificación del riesgo de sodicidad para agua de riego.....	20
Figura 3. Divisiones y valores relativos de tolerancias de cultivos agrícolas a la presencia de sales.	26
Figura 4. Vista aérea de la PTAR de Ginebra Valle.	29
Figura 5. Diagrama metodológico de la investigación desarrollada.	30
Figura 6. Esquema de terrenos de Hacienda La Trinidad.	32
Figura 7. Conductividades eléctricas de ARD tratada y suelos de Hacienda La Trinidad.	45
Figura 8. Esquema de conducción y distribución de agua para riego	55

LISTADO DE FOTOGRAFIAS

	Pág.
Fotografía 1. Fotografía 1. Puntos de muestreo de ARD tratada.	31
Fotografía 2. Componentes de equipo de bombeo.	37

LISTADO DE ANEXOS

	Pág.
ANEXO A. Informes de laboratorios.....	71
ANEXO B. Características de corrosión e índice de saturación - metodología hach®.	78
ANEXO C. Opciones para la reducción de patógenos virales, bacteriales y protozoarios.....	79
ANEXO D. Requerimientos de nutrientes n, p, k de suelos analizados.	80

LISTADO DE ABREVIATURAS Y SIMBOLOS

Abreviatura	Significado
ACUAVALLE	Sociedad de Acueductos y Alcantarillados del Valle Del Cauca.
ARD	Aguas Residuales Domésticas
CaCO ₃	Carbonato de Calcio
CE	Conductividad Eléctrica
CV	Coeficiente de Variación
CVC	Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca
DBO ₅	Demanda Bioquímica de Oxígeno
DQO	Demanda Química de Oxígeno
DESV	Desviación Estándar
Ecw	Conductividad eléctrica de agua
Ece	Conductividad eléctrica de suelo
FAO	Food and Agriculture Organization
GWP	Global Water Partnership
h	Hora
HCO ₃	Bicarbonatos
HP	Horse Power (Caballos de fuerza)
Ha	Hectárea
IDEAM	Instituto Nacional de Estudios del Medio Ambiente y Meteorológicos
ISL	Índice de Saturación de Langelier
IA	Índice de agresividad
K	Potasio
kg	Kilogramo
kW	Kilowattio
l	Litro
m.s.n.m	Metros sobre el nivel del mar
mg	Miligramo
m ³	Metro cubico
m ²	Metro cuadrado
mm	Milimetro
meq	Miliequivalente
N	Nitrógeno
NMP	Número Más Probable
P	Fósforo
PTAR	Planta de Tratamiento de Aguas Residuales
RAS	Relación de Adsorción de Sodio
s	Segundo
T	Temperatura
USDA	United State Department of Agricultural
UFC	Unidad Formadora de Colonia
WHO	World Health Organization
WWF	World Wide Foundation

1. INTRODUCCIÓN

A escala mundial, el 70% de la extracción anual de agua se emplea en agricultura, el 22% en la industria y un 8% en el consumo doméstico; de este modo el sector agrícola consume la mayor cantidad de agua (UNESCO, 2003). En épocas de sequía se presentan problemas relacionados con el recurso hídrico, como por ejemplo su escasez. Muchos países, tanto desarrollados, como en vías de desarrollo le dan una gran importancia a la búsqueda de fuentes alternativas que contribuyan a tratar de mitigar estas situaciones, sin hacerle daño al medio ambiente (UNESCO, 2003).

En las últimas décadas ha tomado gran importancia la necesidad de un manejo integral del recurso hídrico, lo cual ha traído consigo la reactivación de la posibilidad del reuso de aguas residuales en riego en Latinoamérica (Argentina, Chile, Perú, México), Europa (Alemania), África (Sudáfrica, Túnez, Sudán), Asia (Israel, Kuwait, Arabia Saudita, India, China) y Norteamérica (Parreiras 2005, citado por Echeverri, 2011), donde existen proyectos de reuso para irrigar grandes extensiones de cultivos, que según Scott *et al* (2004) ., citado por Echeverri (2011), se aproxima a 20 millones de hectáreas en 50 países (18% de área sembrada a nivel mundial). Son muchos los países, tanto industrializados como en desarrollo, que emplean aguas residuales domésticas para regar suelos agrícolas. Mundialmente se ha calculado que el 18% de las tierras de cultivos son irrigadas con aguas residuales, produciendo el 40% de todos los alimentos (Madera, 2003).

Las aguas residuales domésticas (ARD) son una importante fuente adicional para satisfacer la demanda del recurso, a causa de la disponibilidad limitada de agua potable para cubrir los requerimientos de las poblaciones, los bajos costos, los beneficios para los suelos agrícolas y la disminución del impacto sobre el ambiente. Sin embargo, el predominio del uso de aguas residuales crudas o diluidas con aguas superficiales y el bajo porcentaje de aguas residuales tratadas en Colombia generan riesgos en la salud pública, en especial cuando se utilizan para riego de cultivos para consumo directo (Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, 2011). Según Madera (2005), citado por Echeverri (2011) en Colombia solamente el 8% del ARD es tratada antes de su vertimiento en las fuentes hídricas, lo que ha generado que el uso de ARD sea de manera indirecta.

Esta investigación hace parte del proyecto “Estrategias para la recuperación y manejo integrado del recurso hídrico en las cuencas del Cauca y Dagua en el Valle del Cauca”, financiado por el Sistema General de Regalías para este departamento, que cuenta con el apoyo del grupo de investigación de Saneamiento Ambiental del Instituto CINARA y EIDENAR de la Universidad del Valle. Se puede mencionar, una positiva contribución que otorga este proyecto a la sostenibilidad del recurso agua, ya que, al emplear aguas residuales para riego en agricultura, se estará ayudando a disminuir los actuales problemas relacionados con el déficit de agua empleado para este propósito.

2. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA Y JUSTIFICACIÓN

La Tierra, con sus diversas y abundantes formas de vida, que incluyen a más de 6.000 millones de seres humanos, se enfrenta en este comienzo del siglo veintiuno con una grave crisis del agua. Todas las señales parecen indicar que la crisis se está empeorando y que continuara haciéndolo, a no ser que se emprenda una acción correctiva. Se trata de una crisis de gestión de los recursos hídricos, esencialmente causada por la utilización de métodos inadecuados (UNESCO, 2003). Resolver la crisis del agua es, sin embargo, solo uno de los diversos desafíos con los que la humanidad se enfrenta en este tercer milenio y ha de considerarse en este contexto. La crisis del agua debe situarse en una perspectiva más amplia de solución de problemas y de resolución de conflictos. (UNESCO, 2003).

A nivel mundial, se calcula que la irrigación representa cerca del 70% de la apropiación total de agua dulce para el consumo humano (FAO, 2015). En Colombia, los cauces de los afluentes y los pozos subterráneos se han convertido en las principales fuentes hídricas de abastecimiento para cultivos y poblaciones que se ubican sobre sus márgenes o en cercanías (Lasso y Perdomo 2008, citado por Lasso y Ramírez, 2011). Por otra parte, según el IDEAM (2014), la demanda del agua empleada por el sector agrícola para 2014 fue de 16.760 millones de m³, equivalentes al 46,6% del total del volumen de agua empleada en el país. De este modo, se puede definir que la agricultura se constituye en uno de los sectores que mayor demanda hídrica tiene en el país lo cual lleva a que en un mediano o largo plazo dicho sector entre en una crisis de tipo ambiental, económico y social a causa del crecimiento poblacional que genera un acceso *per cápita* de agua cada vez menor y al aumento del área cultivada (FAO, 2000; Lasso y Perdomo, 2008; Silva, 2008, Manga *et al.*, 2001; citado por Lasso y Ramírez, 2011). Se destaca que, en el año 2004, alrededor de 20 millones de hectáreas en 50 países eran regados con aguas residuales crudas o parcialmente tratadas (Scott, Faruqui y Raschid, 2004, citado por Madera *et al.*, 2014).

Con base en un estudio realizado por la WWF del año 2012, el sector agrícola del Valle del Cauca ha consumido entre 2052,5 y 4204,2 millones de m³/año de agua, con respecto a 368,3 y 812,9 millones de m³/año, como intervalo consumido por el departamento de Quindío, y del mismo modo es posible mencionar una cantidad comprendida entre 1500 y 2000 millones de m³/año, por el departamento del Tolima (WWF, 2012). De este modo se evidencia un alto consumo de agua por la agricultura del Valle del Cauca y de este modo una situación como problema.

La mayor afectación por sequías, es más marcada en los departamentos de Nariño y Cauca, debido a la presencia del enclave subxerofítico del Valle del Patía, sin embargo, en el departamento del Valle del Cauca, también se presenta una alta vulnerabilidad, aunque en menor escala, debido a las características geográficas del departamento principalmente en la región plana y montañosa (Velázquez y Marín, 2013).

El municipio de Ginebra se lo puede caracterizar como región productora de cultivos agrícolas; su área total cultivada es de 4,695 Ha, el cual corresponde a un 20% aproximado del área total del municipio, de las cuales el 63% es cultivo de caña de azúcar y el 23% café, entre otros. Para satisfacer la demanda hídrica de estos cultivos el municipio tiene asignado un caudal de 3,64 m³/s Sabaletas (Alcaldía municipal de Ginebra, 2012). Las principales fuentes de abastecimiento del municipio son los ríos Guabas y Sabaletas (Alcaldía municipal de Ginebra, 2012).

Según la OMS (2018) la escasez cada vez mayor de las aguas dulces debido al crecimiento demográfico, a la urbanización y, probablemente, a los cambios climáticos, ha dado lugar al uso creciente de aguas residuales para la agricultura, la acuicultura, la recarga de aguas subterráneas y otras áreas. En algunos casos, las aguas residuales son el único recurso hídrico de las comunidades pobres que subsisten por medio de la agricultura.

En agricultura, la calidad del agua de la irrigación se considera que tiene efectos sobre los suelos, las cosechas y el manejo del agua (Shainberg y Oster, 1978, citado por Abu Zahra *et al.*, 1998). Particularmente, el uso del agua salina puede dar lugar a la reducción del rendimiento general de la cosecha, al no permitir el libre flujo del agua hacia las raíces de la planta y, por otra parte, el agua sódica puede deteriorar las características físicas del suelo, lo cual podría promover una consecuente reducción en la producción. Por lo tanto, es evidente la necesidad de emplear métodos y/o ensayos para determinar los valores de estos parámetros, los cuales están presentes en el agua usada para la actividad de riego, con el fin de evitar problemas graves en los suelos y cultivos.

El presente estudio se justifica desde diferentes dimensiones. En primer lugar, porque busca proteger un recurso natural renovable y limitado. En segundo lugar, porque propone una fuente alternativa de recurso hídrico, el cual, pueda ser empleado en riego de cultivos agrícolas de la zona de estudio. Por último, el proyecto se justifica, porque está en armonía con las Resoluciones 1207 de 2014 y 0631 de 2015, expedidas por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible; la primera norma dicta disposiciones para el reuso de aguas residuales, y la siguiente caracteriza actividades de vertimientos puntuales a cuerpos de agua. Las directrices ya mencionadas responsabilizan a instituciones estatales, organizaciones comunitarias y a ciudadanos en general, a proteger la diversidad e integridad del ambiente. En adición a lo ya descrito, se encuentra la Política Nacional para la Gestión Integral del Recurso Hídrico (GIRH) del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible del año 2010. La norma considera al agua como bien de uso público (su conservación es responsabilidad de todos) y que al emplearla debe aplicarse un ahorro y uso eficiente (el agua dulce se la considera un recurso escaso y su uso debe ser racional).

3. ANTECEDENTES

El uso en agricultura de agua regenerada es una opción que se está estudiando y adoptando cada vez más en regiones con escasez de agua, poblaciones urbanas crecientes y con una mayor demanda de agua de riego. Esto se debe al crecimiento implacable de la demanda de agua frente a unos recursos hídricos estáticos o en disminución y a las periódicas sequías debidas a factores climáticos. Además de estas presiones se estima que un calentamiento global de 2°C, como consecuencia del cambio climático, podría llevar a una situación en la que de uno a dos mil millones de personas no cuenten con agua suficiente para satisfacer sus necesidades de consumo, higiene y alimentarias (FAO, 2013).

En la ciudad de Valparaíso se realizó un proyecto denominado “Diagnostico del potencial de reuso de aguas residuales tratadas para la ciudad de Valparaíso”, el cual estableció como objetivo fomentar el aprovechamiento de aguas residuales actualmente no utilizadas en esta región, mediante el desarrollo de un modelo de reúso y distribución de aguas que maximice la disponibilidad del recurso para impulsar el desarrollo económico regional. Este proyecto evaluó las diferentes alternativas de reutilización de aguas residuales tratadas, entre las cuales se pueden mencionar reuso para el sector industrial, reuso para agricultura, en recarga de acuíferos o en subsistemas urbanos (FCH, 2016).

Jaramillo (2014) realizó un estudio que consistió en determinar el “Potencial de reúso de agua residual doméstica como estrategia para el control de la contaminación por agua residual en el valle geográfico del río Cauca”. Se hizo una estructuración de tres etapas para la identificación de ese potencial, las cuales correspondieron a la documentación de experiencias de reúso agrícola en la región, la aplicación de la evaluación socioeconómica como herramienta para caracterizar el potencial de reúso agrícola bajo el concepto de la sostenibilidad y en último lugar, la formulación de una propuesta en el marco de la gestión integrada del agua residual doméstica.

En Ibagué se evaluó la viabilidad de una propuesta para el uso productivo de las aguas residuales. Los cultivos dentro del plan agrícola de reuso fueron: arroz, sorgo, pastos, soya, y algodón. La tecnología de tratamiento de aguas residuales seleccionada fue lagunas facultativas con tratamiento preliminar y primario. El total de aguas residuales para tratar fue de 1.438,66 l/s. Los principales impactos negativos serían los riesgos para la salud, por el uso indirecto e inseguro de aguas residuales diluidas (Cepis, 2003, citado por Madera *et al.*, 2008).

Madera (2003) comparó la calidad microbiológica de tres efluentes provenientes de la estación de transferencia de investigación de Ginebra - Valle del Cauca. Los tres efluentes evaluados en el estudio fueron: i) UASB + laguna facultativa ii) UASB + laguna duckweed y iii) laguna de estabilización. Los resultados mostraron que no hay diferencias significativas en la calidad microbiológica en los efluentes para todas las tecnologías. Por medio del análisis microbiológico realizado determinó que, en términos de huevos de helmintos, el afluente es clasificado para riego restringido y

no restringido y en términos de coliformes fecales puede ser usado solamente para uso restringido según la WHO (1989). De acuerdo con la FAO (1985), es clasificado como de restricción ligera a moderada con base de la calidad del RAS (Relación Adsorción Sodio). De acuerdo con el USDA (1954), el agua puede clasificarse en el grupo A indicando baja alcalinidad y bajo riesgo de salinidad y puede ser usada en irrigación de toda clase de cultivos. El contenido de nutrientes N y P es más alto que los requerimientos de la caña y puede causar problemas de toxicidad.

Madera *et al.*, (2014) realizaron un estudio titulado: “Reutilización de aguas residuales tratadas en la agricultura: una oportunidad para el sector cañero”. Evaluaron la potencialidad del reúso del efluente de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de Cañaveralejo, PTAR-C (Cali, Colombia) para el riego de caña de azúcar. Se emplearon dos calidades de efluente tratado bajo las modalidades de tratamiento primario convencional (TPC) y avanzado (TPA) y agua de pozo como control. Los autores resaltaron que al utilizar el efluente de la PTAR-C en el riego de caña de azúcar se estaría evitando la descarga de alrededor de 43 toneladas de DBO₅, 21 toneladas de SST y 9 toneladas de por día al río Cauca, lo que se reflejaría en una disminución de la contaminación de este cuerpo hídrico receptor y adicionalmente, se disminuiría la presión sobre los recursos hídricos empleados para el riego de este cultivo.

Valencia (1998) citado por Puerta (2008) estudió las posibilidades y limitaciones de reutilizar en riego de cultivos en el Valle del Cauca - Colombia, los efluentes de las lagunas facultativas que tratan aguas residuales de origen doméstico. Utilizó el rábano (*Raphanus sativus*) y la lechuga (*Lactuca sativa*) como cultivos indicadores encontrando que los rendimientos en la producción son mejores regando con el efluente de una laguna facultativa que cuando se aplica el agua comúnmente utilizada en la región.

En Atenas se realizó un estudio titulado “la reutilización de aguas residuales para cultivos fibrosos como estrategia para mitigar la desertificación” (Barbosa *et al.*, 2014), para ello realizaron una revisión de informes nacionales de producción de cultivos de fibra (fibras procedentes de semillas de plantas, tales como fibra de coco, algodón y miraguano, entre otras) bajo riego con aguas residuales, con el propósito de identificar perspectivas y limitaciones. Al finalizar el estudio, los investigadores concluyeron que el establecimiento de plantas de fibra en tierras degradadas, combinados con riego con aguas residuales, representa una oportunidad para producir biomasa sostenible en regiones con escasez de agua, lo cual ayuda a proteger los recursos de agua dulce, a mejorar las propiedades del suelo y al desarrollo rural. Por otro lado, se tiene que, como parte de una estrategia de gestión integrada para revertir la desertificación, los cultivos de fibras pueden mejorar la calidad del suelo y de las aguas residuales, producción de biomasa de alta calidad para usos industriales, garantizar la diversidad biológica y del paisaje y asegurar indirectamente la seguridad alimentaria y agua.

4. MARCO CONCEPTUAL

4.1. CONCEPTO DE REUSO DE AGUAS RESIDUALES

Las aguas residuales (AR) son aquellas que han sido usadas en la actividad doméstica o industrial (Jaramillo, 2005). En un sentido más estricto, se conocen como aguas negras a las provenientes del uso sanitario y que transportan excretas. Las provenientes de otros usos domésticos como el lavamanos, ducha, lavado de platos y cocción de alimentos se conocen como aguas grises (Jaramillo, 2005).

Para Lavrador Filho (1987), citado por Jaramillo (2014) el reuso de agua residual es el aprovechamiento del agua previamente utilizada, una o más veces en alguna actividad para suplir las necesidades de otros usos. La **Figura 1** muestra un esquema del reuso bajo el concepto de Lavrador Filho (1987).



Figura 1. Clasificación del reuso bajo el concepto de Lavrador Filho (1987).

Fuente: RALCEA (2013) adaptado de Lavrador Filho (1987).

- Reuso indirecto no planeado (1): Ocurre cuando el agua es utilizada y es descargada en forma diluida en los cuerpos de agua receptores y posteriormente es utilizada de manera no intencional
- Reuso indirecto planeado (2): Ocurre cuando los efluentes tratados son descargados de manera planeada a los cuerpos receptores para ser utilizados de forma intencional y controlada en algún uso beneficioso
- Reuso directo planeado (3): Ocurre cuando los efluentes tratados son empleados directamente en alguna aplicación de reuso local

Las prácticas del reuso de las aguas residuales varían entre países, como las aplicaciones de los objetivos y las opciones tecnológicas que son diferentes

significativamente dependiendo de las circunstancias socioeconómicas, la estructura industrial, el clima, la cultura, la preferencia religiosa, así como el estado de preparación de las políticas (Chizuru *et al.*, 2006 citado por García y Tascon, 2007).

En el ámbito local (Colombia), el reúso se define de manera oficial como “el aprovechamiento de aguas residuales tratadas en actividad diferente a la que las originó” (Ministerio del Medio Ambiente, 2001, citado por Echeverri, 2011).

4.2. REUSO DE AGUAS RESIDUALES EN AGRICULTURA

4.2.1. Antecedentes a nivel mundial

El reúso de aguas residuales en agricultura se remonta a la antigua Atenas. En Alemania se encontró evidencia (año 1559) de un sistema de riego con aguas residuales que estuvo en funcionamiento alrededor de 300 años. Pero es a partir de la segunda mitad del siglo XIX cuando se presenta el mayor crecimiento de esta práctica en países como Australia, Francia, Alemania, Inglaterra, India, Polonia, EE.UU. y México. Lo anterior tuvo su origen en la contaminación ambiental causada por las aguas residuales provenientes de usos domésticos. La alternativa principal fue dirigir estas aguas a zonas rurales (Parreiras 2005, citado por Echeverri, 2011).

En el siglo 20, se presentó una reducción del uso de aguas residuales en la agricultura, por el temor de los riesgos asociados con la salud pública y por la aparición de tecnologías de tratamiento de aguas residuales (Parreiras 2005, citado por Echeverri, 2011). Mundialmente, se ha calculado que el 18% de las tierras de cultivos son irrigadas con aguas residuales, produciendo el 40% de todos los alimentos (Madera, 2003).

La utilización de aguas residuales, está en proceso de expansión en América del Sur, resulta beneficioso desde el punto de vista técnico y económico. Las ventajas económicas radican principalmente en el aprovechamiento de los nutrientes de esta agua, los cuales reemplazan los fertilizantes artificiales. También, la reutilización de aguas residuales, reduce la contaminación por aporte de cargas orgánicas, en recursos hídricos receptores (GWP, 2000).

Foster *et al.*, (2002) evaluaron la potencialidad de emplear aguas residuales urbanas en recarga de acuíferos y para riego agrícola. Realizaron una evaluación y análisis de riesgos y beneficios directos de efluentes descargados aguas abajo de centros urbanos. Establecieron potenciales beneficios tanto del reúso de aguas residuales para recarga inducida de acuíferos, como también para riego.

Han existido experiencias en reutilización de aguas residuales tratadas, por ejemplo en el Perú (complejo bioecológico de San Juan de Miraflores; Sistemas de La Molina y Las Pampas de San Bartolo, en las cercanías de Lima, con fines de acuicultura y riego agrícola), en Argentina (Campo Espejo, Palmira, Rivadavia y San Martín en la Provincia de Mendoza para riego agrícola de 15.000 ha; Comodoro Rivadavia y

Puerto Madryn en la Provincia del Chubut para riego forestal) y en Bolivia (en el área de Cochabamba) (GWP, 2000, citado por Puerta, 2008).

En América del Sur, el uso de aguas residuales se ha orientado principalmente a la agricultura, estimándose que actualmente existen en la región cerca de 500.000 Ha regadas con esta agua (Bartone 1990, citado por Moscoso y Flórez 1991 y Puerta, 2008).

En Israel, es una prioridad nacional el reúso de las aguas residuales en la agricultura debido a la escasez severa del recurso, la contaminación de los recursos hídricos y a los altos niveles de consumo de agua (Lasso y Ramírez, 2011).

Dos Santos *et al.*, (2015) evaluaron cincuenta y seis tecnologías de tratamientos de aguas residuales de bajos costos, con el objeto de establecer el reuso de sus aguas residuales para acuicultura y agricultura.

4.2.2. Uso de aguas residuales domésticas (ARD) en Colombia

Según el inventario regional de la situación de las aguas residuales domésticas en América Latina, Colombia reporta la mayor superficie total irrigada con aguas residuales: 1.230.192 Hectáreas, de las cuales 327.513 (27%) son regadas con aguas residuales tratadas y 902.679 (73%) con aguas sin tratar, la mayor parte diluidas en aguas superficiales (Moscoso y Egochega, 2004, citado por García y Tascon 2007).

En Colombia se utilizan aguas residuales crudas o parcialmente tratadas de origen doméstico, pecuario (cría de vacunos y cerdos, especialmente) e inclusive industrial y agroindustrial para el riego de cultivos (Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, 2011). Como otro ejemplo, se tiene que, en la Sabana de Bogotá, en el distrito de riego y drenaje de la Ramada, se riegan 3.500 ha de cultivos de hortalizas, flores y pastos con un caudal de 1,5 m³ de agua bombeada del río Bogotá, que pasan a través de humedales naturales como forma de tratamiento (Gradex, 1996, citado por Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, 2011).

De igual manera, se han realizado los siguientes estudios:

Echeverri (2011) evaluó el reuso para riego del efluente de la PTAR-C, en un cultivo de caña de azúcar, variedad CC 8592. Los resultados indican que el efluente cumple con las normas de calidad de agua desde el punto de vista de calidad agronómica, propuestos por la FAO (1985) y USDA (1954), calificándose de este modo sin riesgo de salinidad y cierto riesgo de sodicidad de suelos. El contenido de nitratos y nitritos del efluente sobrepasa los lineamientos de FAO (1985) y representa un riesgo potencial de contaminación de aguas subterráneas, especialmente en suelos de texturas livianas y con métodos de riego poco eficientes como es el caso del riego por gravedad (surcos).

Lasso y Ramírez (2011) realizaron un estudio titulado: “Perspectivas generales del efecto del reúso de aguas residuales para riego en cultivos para la producción de biocombustibles en Colombia”. Sustentan que es posible usar normas internacionales de la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO) y la Organización Mundial de la Salud (OMS), para el riego de caña de azúcar y palma de aceite.

4.2.3. Aspectos de riesgo asociados al uso de ARD tratadas.

Echeverri (2011) realizó una clasificación de los riesgos asociados al uso de agua residual en irrigación, bajo las siguientes categorías:

Patógenos: los riesgos asociados a patógenos están representados principalmente por la presencia de bacterias, virus, protozoos y helmintos en los efluentes usados para riego (FAO, 1997, Strauss, 1998, Salgot *et al.*, 2006 y Campos, 2008, citado por Echeverri, 2011).

Degradación de suelos: se relacionan con la disminución de la productividad de los suelos agrícolas y la contaminación de los mismos, debida a la composición del agua de riego.

Contaminación de aguas subterráneas: considera el potencial de contaminación de las aguas residuales usadas en riego sobre los acuíferos. El grado de contaminación dependerá de la composición de las aguas residuales aportantes en la recarga (FAO, 1992, citado por Echeverri, 2011).

Según la FAO (1985) los principales riesgos asociados a la calidad del agua en la agricultura son: Salinidad, Sodicidad, Toxicidad y problemas varios causados por exceso de algunos iones.

La OMS (2006) en sus guías, plantea que el uso de ARD tratadas puede generar riesgos a la salud pública, por tanto, propone una serie de lineamientos, los cuales, al aplicarlos, ayudarían a salvaguardar la salud humana al momento de manipular efluentes tratados.

4.2.4 . Marco normativo nacional para reúso de ARD en agricultura.

En Colombia, la Política Nacional para la Gestión Integral del Recurso Hídrico, expedida en el año 2010, establece como estrategia el cuidado del agua como bien común; en ese sentido la Gestión Integral del Recurso Hídrico el reúso de agua residual aparece como una estrategia para el ahorro y uso eficiente del recurso hídrico. Colombia cuenta con la resolución 1207 de 2014, la cual fue expedida por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. La norma considera que el uso eficiente del agua es fundamental para la conservación del recurso hídrico y define el reúso de agua residual como una solución ambientalmente amigable. Bajo la norma, un efluente puede ser empleado en riego de cultivos, siempre que cumpla los límites permisibles. Entre los cultivos reportados por las directrices, se

encuentran: cultivos de pastos y forrajes para consumo animal, no alimenticios para humanos o animales, cultivos de fibras celulósicas y derivados, entre otros.

Gonzales (2001), citado por García y Tascon (2007) reporta que, en cuanto al contexto nacional, otra ventaja de la práctica del reúso es que disminuye o elimina el pago por concepto de tasa retributiva establecida en la normatividad ambiental vigente.

Lasso y Ramírez (2011) mencionaron que Colombia, desde un punto de vista normativo, brinda oportunidades para el reúso directo y planeado de ARD tratadas en la irrigación de caña de azúcar y palma de aceite; siempre y cuando se cumpla con los parámetros microbiológicos y fisicoquímicos establecidos.

4.3. CALIDAD DEL AGUA RESIDUAL PARA USO AGRÍCOLA

4.3.1. Calidad fisicoquímica

El manual N° 60 del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA, 1954, citado por Puerta, 2008) presenta una clasificación de aguas de riego (**Figura 2**).

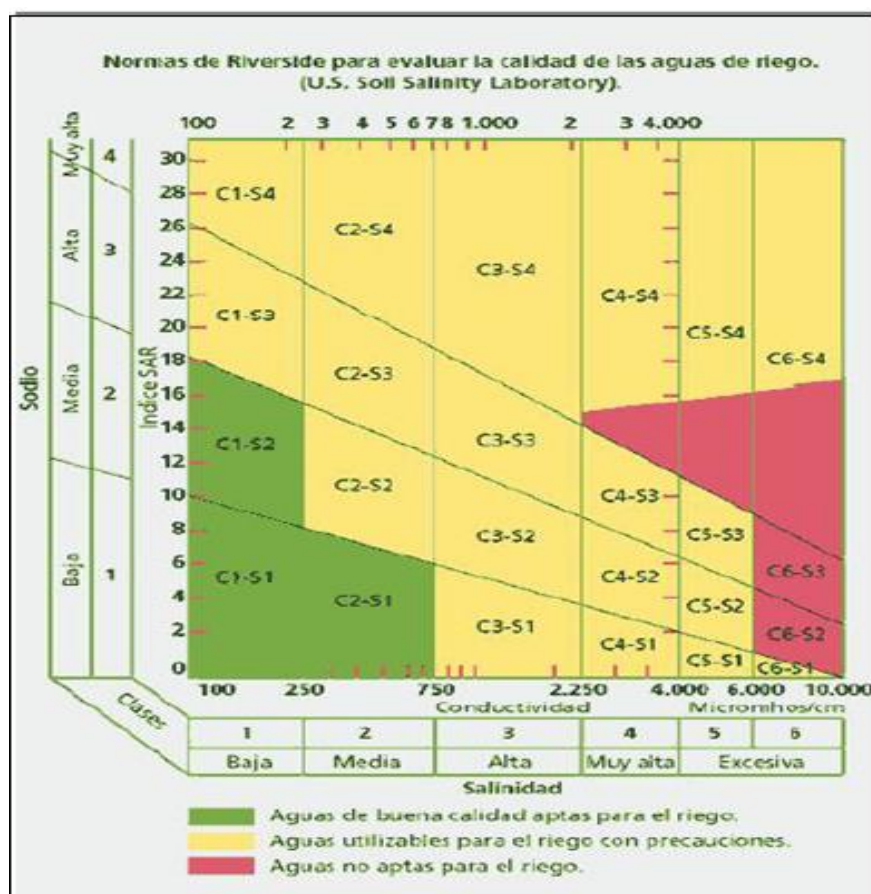


Figura 2. Clasificación del riesgo de sodicidad para agua de riego.

Fuente: USDA (1954), citado por Puerta (2008).

La anterior clasificación, divide a las aguas en seis clases con respecto a su conductividad eléctrica. Así mismo, las aguas se dividen en cuatro tipos, según la relación de absorción de sodio (Romero, 2002, citado por Puerta, 2008). La **Tabla 1** muestra una interpretación de cada clasificación de agua para riego de acuerdo a los valores de Relación Adsorción de Sodio RAS y Conductividad Eléctrica CE (**Figura 2**).

Tabla 1. Clasificación de agua para riego (emplea RAS y CE).

Tipos	Calidad y normas de uso
C ₁	Agua de baja salinidad, apta para el riego en todos los casos. Pueden existir problemas sólo en suelos de muy baja permeabilidad.
C ₂	Agua de salinidad media, apta para el riego. En ciertos casos puede ser necesario emplear volúmenes de agua en exceso y utilizar cultivos tolerantes a la salinidad.
C ₃	Agua de salinidad alta que puede utilizarse para el riego de suelos con buen drenaje, empleando volúmenes de agua en exceso para lavar el suelo y utilizando cultivos muy tolerantes a la salinidad.
C ₄	Agua de salinidad muy alta que en muchos casos no es apta para el riego. Sólo debe usarse en suelos muy permeables y con buen drenaje, empleando volúmenes en exceso para lavar las sales del suelo y utilizando cultivos muy tolerantes a la salinidad.
C ₅	Agua de salinidad excesiva, que sólo debe emplearse en casos muy contados, extremando todas las precauciones apuntadas anteriormente.
C ₆	Agua de salinidad excesiva, no aconsejable para riego.
S ₁	Agua con bajo contenido en sodio, apta para el riego en la mayoría de los casos. Sin embargo, pueden presentarse problemas con cultivos muy sensibles al sodio.
S ₂	Agua con contenido medio en sodio, y por lo tanto, con cierto peligro de acumulación de sodio en el suelo, especialmente en suelos de textura fina (arcillosos y franco-arcillosos) y de baja permeabilidad. Deben vigilarse las condiciones físicas del suelo y especialmente el nivel de sodio cambiante del suelo, corrigiendo en caso necesario
S ₃	Agua con alto contenido en sodio y gran peligro de acumulación de sodio en el suelo. Son aconsejables aportaciones de materia orgánica y empleo de yeso para corregir el posible exceso de sodio en el suelo. También se requiere un buen drenaje y el empleo de volúmenes copiosos de riego.
S ₄	Agua con contenido muy alto de sodio. No es aconsejable para el riego en general, excepto en caso de baja salinidad y tomando todas las precauciones apuntadas.

Fuente: USDA (1954), citado por García y Tascon (2007)

Toxicidad de iones específicos

Los problemas de toxicidad ocurren, si ciertos componentes (iones) en el suelo o en el agua, son tomados por la planta y al acumularse en concentraciones suficientemente altas pueden causar daños, en la morfología de la planta, crecimiento desigual del cultivo, reducción en su rendimiento y en el peor de los casos produce su muerte.

La FAO (1985) citado por García y Tascon, 2007, publico unas guías (**Tabla 2**), en las cuales se ha clasificado las aguas de riego con base al grado de restricción de uso. Empleo como criterios de calidad: la salinidad (CE), la sodicidad (Combinación de RAS y CE), la toxicidad iónica específica.

En la **Tabla 3** (Metcalf y Eddy 1995, citado por Puerta 2008) se puede observar la inclusión de elementos tóxicos, bajo el grado de restricción de uso. Del mismo modo, muestran otros problemas relacionados con el N y el HCO_3^- .

Tabla 2. Guía para la interpretación del agua de riego.

Problema potencial	Unidades	Grado de restricción de uso		
		Ninguna	Ligera o moderada	Severo
Salinidad ¹ (afecta disponibilidad de agua para el cultivo)				
Conductividad eléctrica	dS/m	< 0.7	0.7 – 3.0	> 3.0
STD o SST	mg/l	< 450	450 - 2000	> 2000
Infiltración ² (reduce infiltración; evaluar usando a la vez EC y Relación Adsorción de Sodio RAS)				
RAS = $0-3$ y $EC_w =$		> 0.7	0.7 – 0.2	< 0.2
3-6		> 1.2	1.2 – 0.3	< 0.3
6-12		> 1.9	1.9 – 0.5	< 0.5
12-20		> 2.9	2.9 – 1.3	< 1.3
20-40		> 5.0	5.0 – 2.9	< 2.9
Toxicidad de iones específicos (afecta cultivos sensibles)				
Sodio (Na) ³				
Riego por superficie	RAS	< 3	3 - 9	>9
Riego por aspersión	me/l	< 3	> 3	---
Cloro (Cl) ³				
Riego por superficie	me/l	< 4	4-10	>10
Riego por aspersión	me/l	< 3	>3	---
Boro (B) ⁴	mg/l	< 0.7	0.7-3.0	>3.0
Elementos traza			Ver Tabla 3	
Varios (afecta cultivos sensibles)				
Nitrógeno ($\text{NO}_3 - \text{N}$) ⁵	mg/l	< 5	5-30	> 30
Bicarbonato (HCO_3)				
(aspersión foliar únicamente)	me/l	< 1.5	1.5-8.5	>8.5
pH			Rango normal 6.5 – 8.4	

¹ EC_w significado de conductividad eléctrica, como una medida de la salinidad del agua, reportada en deciSiemens por metro a 25° C (dS/m). STD total de sólidos disueltos, reportado en mg/l. 1dS/m= 640 mg/l.

² RAS relación de adsorción de sodio. Determinado como RAS. La tasa de infiltración aumenta cuando aumenta la salinidad del agua aumenta.

³ Para la irrigación de superficie, la mayoría de cultivos de árboles y plantas boscosas son sensibles al sodio y al cloruro, usar los valores indicados. La mayoría de los cultivos anuales no son sensibles, usar la tabla de tolerancia a la salinidad en la FAO 1985.

⁴ Hay una tabla específica de tolerancia al boro. FAO 1985.

⁵ $\text{NO}_3 - \text{N}$ representa nitrógeno de nitrato, reportado en términos de nitrógeno elemental ($\text{NH}_4 - \text{N}$ y orgánico - N deben ser incluido cuando el agua residual está siendo evaluada).

FUENTE: FAO (1985), citado por García y Tascon (2007)

Tabla 3. Concentraciones máximas de elementos trazas en aguas de riego.

Elemento	Concentración máxima recomendada* (mg/l)
Al (Aluminio)	5.0
As (Arsénico)	0.10
Be (Berilio)	0.10
Cd (Cadmio)	0.01
Co (Cobalto)	0.05
Cr (Cromo)	0.10

Cu (Cobre)	0.20
F (Fluoruro)	1.0
Fe (Hierro)	5.0
Li (Litio)	2.5
Mn (Manganeso)	0.20
Mo (Molibdeno)	0.01
Ni (Níquel)	0.20
Pb (Plomo)	5.0
Se (Selenio)	0.02
V (Vanadio)	0.10
Zn (Zinc)	2.0

*La concentración se ha obtenido partiendo de un caudal de aplicación adecuado a las buenas prácticas en la agricultura (1200mm/año).

FUENTE: Adaptado de Metcalf y Eddy (1995), citado por Puerta (2008).

El níquel y zinc tienen efectos adversos visibles en plantas en concentraciones más bajas que los niveles perjudiciales para los animales y seres humanos. (EPA, 2004, citado por García y Tascon, 2007).

Bicarbonatos. Aguas con más de 2.5 meq/l de carbonato de sodio residual no son buenas para riego. Aguas que contienen de 1.25 a 2.5 meq/l son dudosas y las que contienen menos de 1.25 meq/l son buenas con toda seguridad. Sin embargo, estas conclusiones están basadas en datos muy limitados y tienen carácter tentativo únicamente (Romero, 2002, citado por Puerta, 2008).

En el caso de cultivos sensibles, la toxicidad de iones específicos resulta difícil de corregir sin introducir cambios en el cultivo o en el agua de suministro, los elementos se pueden acumular en plantas y terreno, lo cual puede provocar problemas de fitotoxicidad en las plantas y en salud de humanos y animales (Metcalf y Eddy, 1995).

En definitiva, los índices comúnmente utilizados para evaluar la calidad del agua son la concentración total de sales disueltas o CE y el tipo de sales disueltas, pues ambos afectan directa o indirectamente al rendimiento de los cultivos (Cánovas y Cerdá, 1995, citado por Jiménez y Lamo, 1998, Puerta, 2008).

4.3.2. Calidad microbiológica del agua residual

Los riesgos sanitarios guardan relación directa con el grado de contacto personal con el agua, así como la calidad del agua y la fiabilidad del tratamiento (Sandoval 2005, citado por Puerta, 2008). La **Tabla 4** muestra la concentración típica de microorganismos excretados en el agua residual.

Tabla 4. Concentraciones de organismos excretados en ARD.

Patógenos		Concentración (por litro)
Bacterias	Coliformes fecales	$10^8 - 10^{10}$
	Salmonella spp.	$1-10^5$
	Shigella spp.	$10-10^4$
Helmintos	Ascaris lumbricoides	$1-10^3$
	Trichuris trichiura	$1-10^2$
Protozoarios	Cryptosporidium parvum	$1-10^4$
	Entamoeba histolytica	$1-10^2$
Virus	Virus entéricos	$10^5 - 10^6$
	Rotavirus	$10^2 - 10^5$

Fuente: WHO (2006), citado por García y Tascon (2007).

En el año 2006, la Organización Mundial de la Salud (OMS) dio a conocer sus nuevas guías para reuso de agua residual en agricultura. Ellas describen requisitos mínimos razonables, en la realización de buenas prácticas, para así proteger la salud de las personas que usan agua residual. (García y Tascon, 2007). La **Tabla 5** muestra objetivos basados en la salud para la agricultura. La (**Tabla 6**) muestra medidas de monitoreo de verificación del tratamiento para infecciones virales y bacterianas con base a indicadores microbiológicos (E. coli o coliformes fecales).

Tabla 5. Objetivos basados en la salud para el uso de agua residual para agricultura.

Escenario de exposición	Objetivos de salud (AVAD por persona por año)	Reducción log de patógenos necesitado	Numero de huevos de helmintos por litro
Irrigación sin restricciones	$\leq 10^{-6}$ ^a		
Lechuga		6	$\leq 1^{b,c}$
Cebolla		7	$\leq 1^{b,e}$
Irrigación restringida	$\leq 10^{-6}$ ^a		
Altamente mecanizada		3	$\leq 1^{b,e}$
Labor intensiva		4	$\leq 1^{b,e}$
Irrigación localizada (goteo)	$\leq 10^{-6}$ ^a		
Cultivos altos en crecimiento		2	No hay recomendación ^{d,e}
Cultivos bajos en crecimiento		4	$\leq 1^{c,d}$

^a reducción de rotavirus. Objetivos de salud que pueden ser logrados, para riego no restringido y localizado, por una reducción de 6 - 7 unidades Log (obtenida por una combinación del tratamiento de agua residual y otras medidas de protección de salud, incluyendo una reducción de patógenos aproximadamente de 3-4 unidades Log como resultado de la tasa de mortandad natural de patógenos en condiciones debajo del campo y remoción de patógenos provenientes cultivos regados por el lavado normal domestico y enjuagado, ver sección 4.2.1 para mas detalles); para la irrigación restringida, es conseguido una reducción de patógenos de 2-3 unidades Log. (Parte 4.2.2).

^b Cuando los niños menor de 15 son expuestos, las medidas de protección de salud adicionales deben ser usada (por ejemplo. Tratamiento para ≤ 0.1 huevo por litro, equipos de protección como guantes o zapatos / botas o la quimioterapia; ver secciones 4.2.1 y 4.2.2 para detalles).

^c Una media aritmética debe ser determinada durante toda la temporada de irrigación. El valor de la media ≤ 1 de huevos por litro debe ser obtenido por lo menos el 90 % de las muestras para tener en cuenta un valor alto ocasional de muestra (por ejemplo con > 10 huevo por litro). Con algunos procesos de tratamiento de agua residual (por ejemplo. Lagunas de estabilización de desperdicios), el tiempo de retención hidráulica puede ser usado como un sustituto con el que se garantiza el acatamiento de ≤ 1 huevo por litro, como se explica en la parte 5.6.1 y caja 5.2.

^d ver sección 4.2.3 (riego localizado)

^e ningún cultivo es recogido del suelo

Fuente: WHO: 2006.

Fuente: WHO (2006), citado por García y Tascon (2007).

Tabla 6. Medidas de monitoreo de verificación del tratamiento.

Tipo de riego	Opción figura	Reducción requerida de patógenos por tratamiento (unidades log)	Nivel de verificación de monitoreo (E. Coli por 100 ml)	Notas
Sin restricción:	A	4	$\leq 10^3$	Cultivos de raíces
	B	3	$\leq 10^4$	Cultivos de hojas
	C	2	$\leq 10^5$	Riego por goteo de cultivos de alto crecimiento
	D	4	$\leq 10^3$	Riego por goteo de cultivos de bajo crecimiento
	E	6 o 7	$\leq 10^1$ o $\leq 10^0$	El Nivel de verificación depende de los requerimientos de las agencias reguladoras locales
Restringido	F	4	$\leq 10^4$	Agricultura de trabajo intensivo (protector de adultos y niños menores de 15)
	G	3	$\leq 10^5$	Agricultura altamente mecanizada
	H	0.5	$\leq 10^5$	Remoción de patógenos en un tanque séptico

Fuente: WHO (2006) citado por García y Tascon (2007).

El ANEXO C muestra indicadores medidos en el efluente, con el fin de garantizar una remoción determinada de patógenos (opciones A – H).

4.4. ÍNDICE DE Langelier para calidad de agua

4.4.1. Índice de saturación

Para (Boluda, 2014) el estudio de la predicción de la agresividad de un agua ha sido siempre una preocupación para los técnicos. El carácter corrosivo o incrustante de un agua se determina mediante el Índice de Saturación de Langelier (ISL).

Hach® (s.f) define el Índice de Langelier como una medida de la capacidad que posee una solución con agua para disolver depósitos de carbonato de calcio; se utiliza a menudo como indicador de corrosividad del agua.

4.4.2. Índice de agresividad

El índice de agresividad, mide la tendencia de corrosión de un elemento metálico al ponerse en contacto con una muestra de agua (Hach, s.f).

4.5. TOLERANCIAS DE CULTIVOS AGRÍCOLAS A LA SALINIDAD

La FAO (1985) investigó la calidad del agua y potenciales afectaciones de cultivos agrícolas por salinidad. Lo anterior, le permitió a la organización, proponer un listado de cultivos, como adecuados a diferentes calidades de agua. La **Figura 3** muestra un esquema de valores relativos de tolerancias.

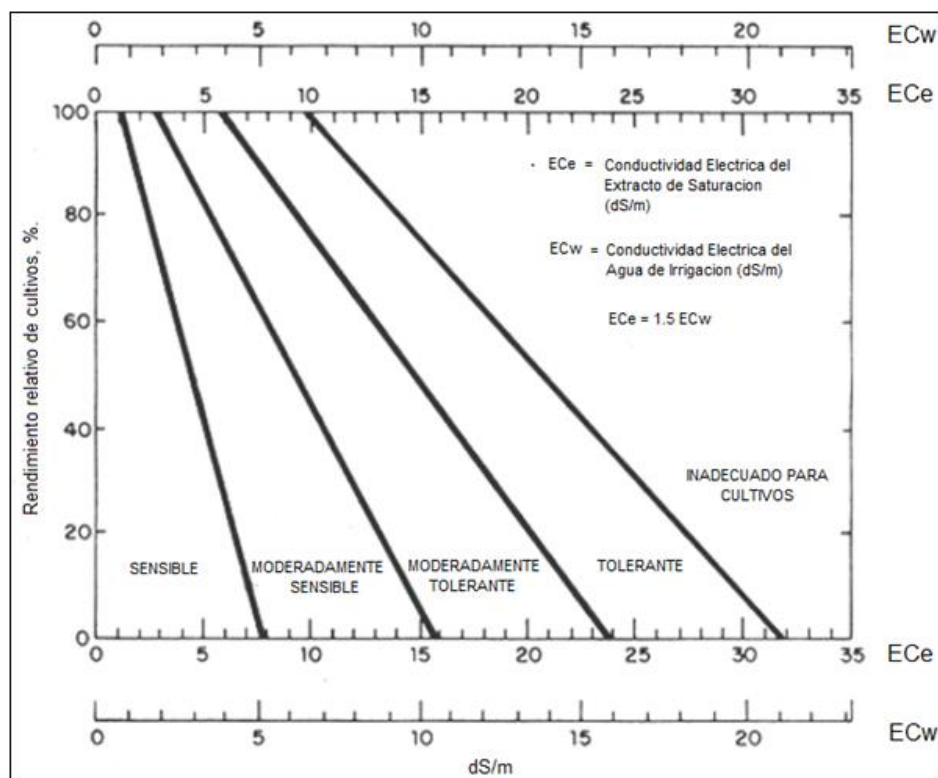


Figura 3. Divisiones y valores relativos de tolerancias de cultivos agrícolas a la presencia de sales.

Fuente: FAO (1985).

La FAO (1985) evaluó el rendimiento de cultivos agrícolas bajo la presencia de sales en aguas de irrigación y en el suelo. Lo anterior le permitió clasificar cultivos agrícolas, de acuerdo a tolerancias a la salinidad. De acuerdo a lo anterior, en agricultura, es útil tener conocimiento de tolerancias de cultivos agrícolas a la presencia de sales; su aplicabilidad posee mayor importancia en zonas con suelos, donde la acumulación de salinidad no puede ser controlada.

4.6. BENEFICIOS ECONÓMICOS DE REGAR CON AGUAS RESIDUALES

La FAO (2013) afirma que el uso de aguas residuales en agricultura tiene asociados beneficios, de los cuales se pueden nombrar los siguientes:

- **Costos evitados de extracción, transmisión, tratamiento y distribución de agua dulce.**

Incluyen los costos en los que incurrirían, por un lado las autoridades públicas responsables del suministro de agua a los regantes, o por otro, los agricultores que extraen sus propios suministros. Con el reuso de ARD los agricultores podrían evitar un costo asociado con la extracción de aguas subterráneas; costos involucrados por

emplear agua de una fuente hídrica; también podrían extraer a profundidades menores, cuando el agua es utilizada en recarga de acuíferos.

- **Ahorro en el costo del fertilizante debido al contenido de nutrientes de las aguas residuales.**

La materia orgánica, nitrógeno y fósforo presente en las aguas residuales han demostrado tener efectos positivos sobre la productividad de los cultivos y ahorra en costos de fertilizantes artificiales. Este ahorro se da si no se eliminan los nutrientes del efluente, sino que se dejan para fertilizar los cultivos. Sin embargo, no siempre todos los nutrientes presentes en las aguas regeneradas pueden ser utilizados por el cultivo, resultando en un exceso de nutrientes que puede causar contaminación. Además, pueden existir efectos colaterales indeseados relacionados con la salinidad del suelo o la acumulación de metales pesados, lo cual debe registrarse en el lado de los costos.

Otros beneficios que se pueden mencionar según los beneficios, son los siguientes FAO (2013):

- ***Servicios municipales***

Cuando existe un intercambio de derechos de agua de los agricultores por agua regenerada existe un impacto positivo en las ciudades por el costo que se evita al no incurrir en soluciones más costosas, posiblemente ahorros en el tratamiento de aguas residuales (dependiendo de las reglamentaciones ambientales locales), y las ventas adicionales de agua para uso urbano. Las empresas de servicios básicos también pueden evitar cargos de contaminación por el efluente proveniente de sus plantas de tratamiento de aguas residuales.

- **Mayor fiabilidad en el suministro de las aguas residuales**

En comparación con otras fuentes. Aunque esto no siempre puede garantizarse, un déficit en el suministro de agua a la ciudad en caso de sequía reducirá el volumen de aguas residuales disponible. Bajo estas circunstancias, el uso de aguas residuales evita pérdidas causadas por una reducción del rendimiento de las cosechas, cuando hay restricciones de agua para riego.

- ***Beneficios ambientales***

Se generan por una menor extracción de ríos o acuíferos, y por una menor contaminación de las aguas causada por los vertidos de aguas residuales (en muchos países, las aguas residuales sin tratar o parcialmente tratadas son la principal causa de contaminación de las aguas).

5. OBJETIVOS.

5.1. OBJETIVO GENERAL

Evaluar la potencialidad del reuso para riego de las aguas residuales domésticas tratadas de la Planta de Tratamiento de Ginebra-Valle del Cauca en áreas cercanas a la PTAR.

5.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Evaluar las calidades agronómica y microbiológica del efluente de la PTAR de Ginebra- Valle, bajo las normas nacionales e internacionales para su uso en riego.
- Identificar cultivos adecuados para regar con el efluente de la planta de tratamiento de aguas residuales de la cabecera urbana del municipio de Ginebra.
- Identificar los beneficios económicos del uso de agua residual tratada de la PTAR de Ginebra-Valle en riego.

6. MATERIALES Y MÉTODOS

6.1. LOCALIZACIÓN Y DESCRIPCIÓN DE LA PTAR DE GINEBRA

El proyecto se llevó a cabo en las instalaciones de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de Ginebra, Valle del Cauca. Se encuentra localizada a las afueras de este municipio. El sistema de tratamiento de aguas residuales posee un área de 3 hectáreas. Su ubicación, tiene las siguientes coordenadas geográficas: Latitud: 3°42'41.32"N, Longitud: 76°16'17.07"O. La **Figura 4.** muestra una vista aérea de la PTAR de Ginebra.



Figura 4. Vista aérea de la PTAR de Ginebra Valle.

FUENTE: Google Maps (2017)

La planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR) de Ginebra, actualmente trata un caudal promedio de 27,2 l/s. Opera bajo modalidad de tratamiento biológico. El tratamiento de ARD se realiza mediante lagunas de estabilización; estas realizan procesos naturales de estabilización y oxidación de materia orgánica, como presente en el efluente. Presta servicio a 11,500 habitantes, pertenecientes al municipio de Ginebra y veredas Villa Vanegas y La Floresta.

6.2. METODOLOGÍA GENERAL DEL PROYECTO

Para cumplir con los objetivos planteados en este proyecto de investigación, se midieron parámetros fisicoquímicos y microbiológicos al ARD tratada de la PTAR de Ginebra, Valle. El potencial de reuso para riego fue estudiado a partir de la viabilidad de emplear el recurso hídrico en agricultura, para ello, fueron analizadas características agronómicas y microbiológicas del recurso, las cuales posteriormente fueron correlacionadas con marcos normativos, tanto nacionales como internacionales. El caudal de la PTAR fue estimado a partir de registros históricos de ACUAVALLE S.A (2016) y reporte de CVC (2016), debido a que en campo no fue posible realizar una medición de este parámetro. También, se realizó

un muestreo de suelos, el cual permitió estudiar Conductividades eléctricas y contenido de elementos N, P y K, en cada una de las muestras obtenidas.

Diseño experimental

El diseño propuesto para llevar a cabo la investigación, contuvo un muestreo de aguas residuales de modo puntual. El método se caracteriza por realizar una extracción en campo de una muestra de agua, la cual sería representativa. Por otro lugar, se realizó un muestreo de suelos en Hacienda La Trinidad (áreas cercanas a la PTAR), bajo el método de muestreo por muestra compuesta. Los suelos empleados son regados con ARD tratada de la PTAR de Ginebra. El proceso consistió en tomar 10 submuestras de 1 Kg de peso por cada lote seleccionado, posteriormente las submuestras fueron mixturadas, para obtener una de 1kg de peso, la cual fue llevada a un laboratorio para ser analizada. En total, 7 muestras (como representativas) fueron llevadas a los laboratorios del Centro de Investigación de Agricultura Tropical (CIAT) para ser analizadas.

La metodología desarrollada fue estructurada con base en los tres objetivos específicos formulados (**Figura 5**).

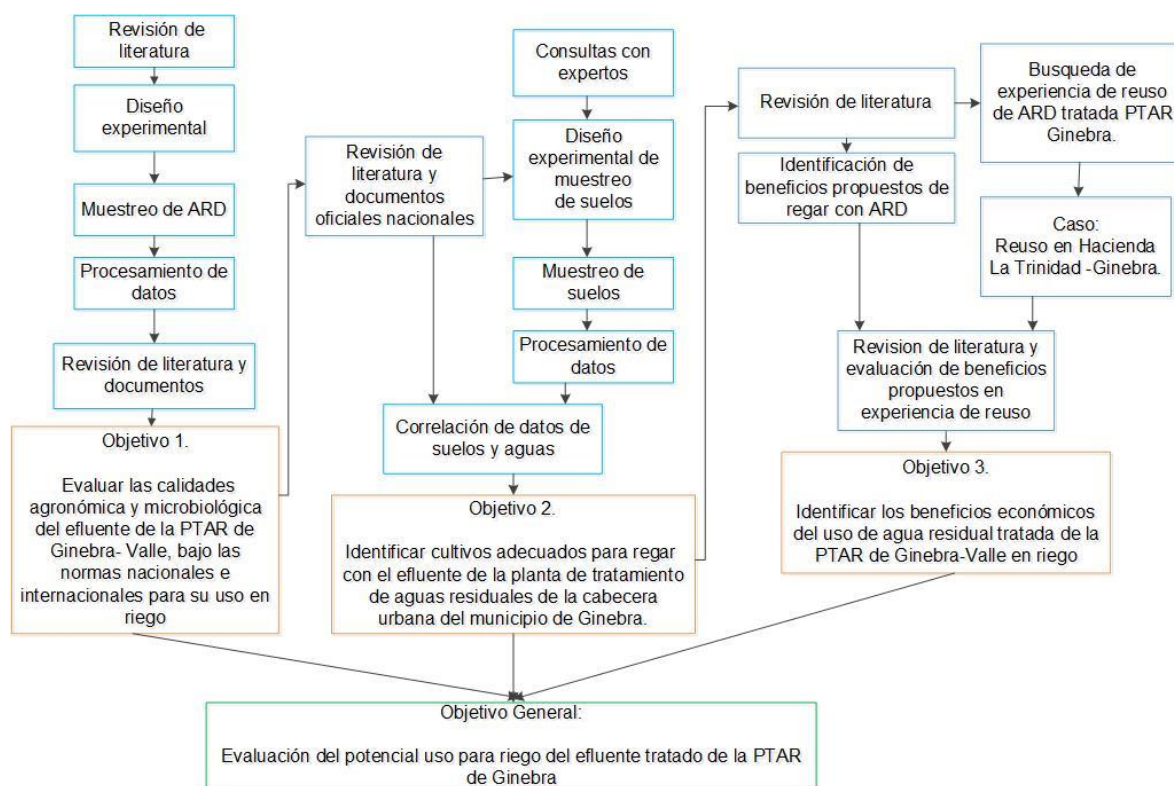


Figura 5. Diagrama metodológico de la investigación desarrollada

6.2.1. Toma de datos

6.2.1.1. Muestreo de aguas residuales

Se hicieron muestreos de modos puntuales, los días 2, 5, 10, 15 y 25 del mes de mayo de 2017. Cada muestra fue tomada en un rango horario de 8:30 a.m a 1:30 p.m. Los lugares fueron: entrada de laguna anaerobia, salida de laguna anaerobia y salida de laguna facultativa. Se tomó una muestra por punto seleccionado y día, para un total de 15 muestras. En campo fueron medidos: Conductividad eléctrica, Solidos disueltos totales y Temperatura. La **Fotografía 1.** muestra los puntos de muestreo.



Fotografía 1. Puntos de muestreos de ARD

El punto efluente de laguna facultativa (**c**), fue seleccionado como objeto de análisis para esta investigación, ya que, a partir de ese lugar el agua es reusada por un agricultor en riego.

6.2.1.2. Muestreo de suelos

Se hicieron muestreos compuestos de suelos. Normalmente se realiza a una profundidad de raíces, es decir a 30 cm de la superficie del suelo, con el propósito de analizar contenido de nutrientes y propiedades fisicoquímicas (Echeverri, comunicación personal, 2016). Los terrenos empleados pertenecen a Hacienda La Trinidad. La **Figura 6** muestra un esquema de terrenos.

El muestreo fue realizado en las suertes 2,3 y 4, las cuales conforman 7 tablon. Se emplearon muestras de los terrenos en mención, debido a que en ellos se realizan actividades de riego con el recurso tratado de la PTAR de Ginebra, también se encuentran en áreas cercanas a la PTAR. Los suelos han sido regados con el recurso, desde un tiempo en el cual fue creada la PTAR (coordenadas de ubicación: Latitud: 3°42'57,66" N, Longitud: 76°16'44,22" O). En cada punto de muestreo, fueron retirados hojarasca (profundidad: 5 cm).



Figura 6. Esquema de terrenos de Hacienda La Trinidad.
FUENTE: Adaptado de plano de Hacienda La Trinidad

6.3. PARÁMETROS EVALUADOS

6.3.1. Variables medidas en el agua residual

La **Tabla 7** muestra parámetros evaluados en ARD tratadas.

Tabla 7. Parámetros analizados en el efluente.

Parámetro	Unidad	Técnica de medición
CE	($\mu\text{S}/\text{cm}$)	Lectura directa mediante electrodos y pH-metro
N	(mg/l)	Digestión acida con ácido sulfúrico
P	(mg/l)	Digestión acida con ácido sulfúrico
K	(mg/l)	Digestión acida, Absorción Atómica

Ca	(mg/l)	Digestión acida, Absorción Atómica
Mg	(mg/l)	Digestión acida, Absorción Atómica
Na	(mg/l)	Digestión acida, Absorción Atómica
SO ₄	(mg/l)	Turbidimetria
N-NO ₃	(mg/l)	Lectura Espectrofotómetro
CO ₃	(mg/l)	Titulación Volumétrica
HCO ₃	(mg/l)	Titulación Volumétrica
Dureza	(mg/l)	Titulación Volumétrica
Alcalinidad	(mg/l)	Titulación Volumétrica
DQO	(mg/l)	Reflujo
SST	(mg/l)	C.O
Coliformes fecales	UFC/100ml	Filtración
Coliformes fecales	unidad log de	Filtración
Coliformes totales	UFC/100ml	Filtración
Coliformes totales	unidad log de	Filtración
Huevos de Helminthos	Numero de huevos	Bailenger

6.3.2. Variables medidas en suelos

La **Tabla 8** muestra parámetros evaluados en suelos.

Tabla 8. Variables analizadas en suelos.

Parámetro	Técnica de medición
pH	pH Agua 1:1
P-BrayII	Fosforo Bray II Espectrometría
MO	Materia Orgánica Walkley-Black Espectrometría
Ca	Calcio Intercambiable (Ab.At.)
Mg	Magnesio Intercambiable Ab. At.
Na	Sodio Intercambiable Ab. At.
K	Potasio Intercambiable Ab. At.
CIC	Capacidad Intercambio Catiónico (Amonio Acetato) volumétrico
Fe	Hierro Extractable Doble Acido Ab.At.
Cu	Cobre Extractable Doble Acido Ab.At.
Zn	Zinc Extractable en Doble Acido Ab.At.
Mn	Manganeso Extractable doble Acido Ab.At.
B	Boro en Agua Caliente (Espectrometría. Azometina)
S	Azufre Extractable (Fosfato Ca) Turbidimetria

Se correlacionaron las calidades agronómica y microbiológica del efluente de la PTAR de Ginebra, con los estándares de la FAO (1985), USDA (1954) y las guías de la OMS (2006) para interpretar la calidad de agua para riego. Las calidades del efluente fueron evaluadas bajo norma nacional de reuso para riego. Como un enriquecimiento de esta investigación, las calidades del efluente fueron evaluadas bajo norma portuguesa de reuso en agricultura de ARD tratada. La calidad fisicoquímica del efluente fue evaluada bajo metodología HACH®, con el propósito de investigar la tendencia corrosiva o incrustante del efluente; lo cual toma especial importancia cuando se emplea un determinado tipo de agua bajo algún sistema de riego en particular.

6.4. TENDENCIA INCRUSTANTE O CORROSIVA DE ARD

Se empleó el método 8073 de la compañía HACH®, para determinar una tendencia corrosiva o incrustante del efluente de PTAR. Contiene procedimientos para hallar el Índice de Saturación de Langelier e Índice de agresividad.

6.4.1. Índice de saturación

La siguiente ecuación fue empleada en la estimación del Índice de Saturación de Langelier (ISL):

$$ISL = pH \text{ actual} - pH \text{ Saturación}$$

Donde:

ISL: Índice de Saturación de Langelier (adimensional)

pH actual: Es el pH del agua (unidad de pH)

pH saturación: Es el valor del pH del agua, al estar saturada de carbonato de calcio (unidad de pH).

La siguiente ecuación se utilizó para el cálculo de pH de saturación:

$$PH \text{ Saturación} = A + B - C - D$$

Dónde:

A: Mide el efecto ocasionado por la temperatura (°C) en la muestra de agua.

B: Caracteriza la cantidad de Sólidos disueltos (SDT) presentes en el agua.

C: Caracteriza la dureza del agua, medida en mg/l

D: Caracteriza, la alcalinidad total, medida en mg/l

; A, B, C, D, son adimensionales y seleccionados de tablas (ver ANEXO B)

Si:

pH saturación = pH actual, el agua esta balanceada

pH saturación < pH actual = es un numero positivo, el agua tendría tendencia a formar incrustaciones (no agresiva; es decir no será corrosiva).

pH saturación > pH actual = el Índice de Langelier es un numero negativo, el agua no tendría tendencia a formar incrustaciones (agresiva; es decir será corrosiva).

6.4.2. Índice de agresividad

Se midió con la siguiente expresión:

$$IA = pH_{actual} + C + D$$

Donde:

IA: Índice de agresividad (adimensional)

C: Caracteriza la dureza del agua medida en mg/l

D: Caracteriza, la alcalinidad total medida en mg/l

; C, D, son adimensionales y seleccionados de tablas (ver ANEXO B)

6.5. CULTIVOS ADECUADOS PARA EL RIEGO CON ARD TRATADA DE LA PTAR DE GINEBRA

Con base en un listado propuesto por la FAO (1985) fueron seleccionados cultivos aptos para riego con el efluente tratado de PTAR. Dentro de esta actividad se emplearon conductividades eléctricas del ARD tratada y de suelos de Hacienda La Trinidad. También, bajo norma nacional fue posible evaluar las calidades del efluente; para este caso, se empleó la Resolución 1207 de 2014, la cual permitió proponer cultivos como adecuados al riego con el recurso. Con ayuda de un documento oficial, de la Secretaria de Agricultura y Pesca del Valle del Cauca (s.f), fueron propuestos cultivos aptos; en este proceso se tuvieron presentes los lineamientos de la norma nacional de reuso para riego. Lo anterior permitió elaborar un listado de cultivos como adecuados al riego con el efluente de la PTAR de Ginebra.

6.6. BENEFICIOS ECONÓMICOS DE REGAR CON EFLUENTE TRATADO DE LA PTAR DE GINEBRA-VALLE

La **Tabla 9** muestra beneficiarios y beneficios propuestos por la FAO (2013) en una situación de reuso para riego de un efluente tratado.

Tabla 9. Beneficios propuestos.

Beneficiario	Número de Beneficio	Beneficio
Usuario Generador de ARD	1	Ahorro en el pago de tasa retributiva.
	2	Ahorro en el costo de tratamiento de ARD.
Usuario Receptor de ARD	3	Ahorro en el costo de fertilizante debido al contenido de nutrientes de las ARD.
	4	Costos evitados de extracción, transmisión,

		tratamiento y distribución de agua dulce.
	5	Ahorro en el pago de tasa por uso de agua
Otros beneficios	6	Mayor fiabilidad por el suministro de ARD
	7	Beneficios ambientales

Se realizaron chequeos de los beneficios en mención, en la experiencia de reuso del efluente tratado de la PTAR de Ginebra. El área efectiva de riego es de 31 Ha (suertes dos, tres y cuatro, **Figura 6**).

Ahorro en el pago de tasa retributiva

En el cálculo y estimación de este beneficio se emplearon el caudal de reuso (27,2 l/s), las cargas de DBO₅ y SST del efluente, la Resolución 0631 de 2015 y la tarifa mínima nacional de Tasa Retributiva nacional al año 2017; es decir: 138,72 \$/kg de DBO y 59,32 \$/kg de SST.

Ahorro en el costo de fertilizante debido al contenido de nutrientes de las aguas residuales

Se consideró el área efectiva de riego, en la cual se emplea el efluente de la PTAR de Ginebra (31 Ha) y sus necesidades de fertilizantes. Para la estimación de este beneficio se contempló el aporte de carga nutricional que podría ofrecer el recurso, en función de sus concentraciones de nitrógeno, fósforo y potasio (N, P y K, respectivamente), representados en un volumen de agua aplicado a los cultivos de caña de azúcar (de suelos seleccionados). Las cargas de N, P y K, fueron calculadas a partir de la siguiente expresión:

$$Carga\ de\ elemento\ (kg/s) = Caudal(m^3/s) * Concentración\ (kg/m^3)$$

En la cuantificación económica de las cargas de N, P y K fueron empleados valores económicos de fertilizantes artificiales, reportados por el DANE en el año 2017.

Cada uno de los volúmenes netos de agua fue estimado a partir de la siguiente expresión:

$$Volumen\ neto\ (m^3) = Lámina\ de\ agua\ (m) * Área\ (m^2)$$

, el área corresponde a cada uno de los tabloncillos seleccionados. Este trabajo académico emplea datos de tabloncillos 2,3 y 4 (31 Ha). Los cuales ya fueron descritos con anterioridad. La lámina de agua corresponde al consumo total de agua de un cultivo de caña de azúcar. Se emplearon valores encontrados por CENICAÑA de evapotranspiración para un cultivo de caña de azúcar en el valle geográfico del Río Cauca. Lo anterior se adoptó, debido a que no fue posible encontrar información de registros históricos mensuales multianuales de evaporaciones, de una estación meteorológica cercana al desarrollo del proyecto de investigación. El valor de lámina ya mencionado, es inferior, si se lo compara con los requerimientos de agua de la

caña de azúcar en el valle geográfico del Río Cauca por ciclo de cultivo de 13 meses, los cuales oscilan entre 1000 y 1250 mm (tomado de CENICAÑA S.f). Con relación a lo anterior, el cultivo de caña puede obtener agua por acción del clima, es decir por precipitaciones; de este modo el cultivo podría satisfacer sus requerimientos hídricos (Jiménez, comunicación personal, 2017).

En los volúmenes de agua, fueron tenidas en cuenta, pérdidas del recurso hídrico; debidas al método de riego empleado. Por lo anterior, fue calculado un volumen bruto de agua. Cada uno de los volúmenes brutos de agua, fueron estimados a partir de la siguiente expresión:

$$Volumen\ bruto\ (m^3) = \frac{Volumen\ neto\ (m^3)}{Eficiencia\ de\ aplicación\ (\%)}$$

Se empleó una eficiencia de aplicación de un 40 % para el método de riego por gravedad (surcos) (Adaptado de CENICAÑA, s.f).

Costos evitados de extracción y distribución de agua dulce:

En la estimación de este beneficio se emplearon, datos del caudal reuso (27,2 l/s), la tarifa por uso de agua subterránea al año 2017, es decir: 10 \$/m³ (CVC, 2017) y datos de equipo de bombeo de Hacienda La Trinidad (coordenadas de ubicación: 3°42'57,77 " N 76 °16' 20,60"O). La **Fotografía 2** muestra el equipo de bombeo.

Fotografía 2. Componentes de equipo de bombeo.



El equipo es de marca U.S Electrical Motors, posee una bomba centrífuga con eje vertical y un motor eléctrico con potencia de 75 HP (55,95 kW). En el cálculo del costo económico por bombeo de agua, se empleó tarifa de costo de consumo eléctrico de EPSA al mes de septiembre de 2017, la cual tiene un valor: \$ 497,3 \$/kW*h.

El costo de distribución de agua, fue determinado a partir de un sistema de riego, supuesto como requerido para surtir de aguas a los tablones seleccionados.

Ahorro en pago de tasa por uso de agua (TUA)

En la estimación de este beneficio fue empleado el caudal de reuso (27,2 l/s) y la tasa por uso de agua superficial para la zona al año 2017 (\$5,60/m³), también fue empleado un pago trimestral a ASOGUABAS (Asociación de Usuarios del Río Guabas; el cobro al presente año es de \$8500 \$/litro, más un servicio de supervisión de campo de \$4000 /litro).

6.7. ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Para el análisis estadístico de los datos se empleó estadística descriptiva a las variables medidas. También se realizó un gráfico y medidas de tendencia central a las conductividades eléctricas de suelos y aguas. Finalmente se realizaron correlaciones entre las variables medidas y marcos de referencia nacionales e internacionales. Todo lo anterior se realizó mediante la ayuda de software Microsoft Excel® (versión 2016) y el software estadístico MiniTAB® (versión 17).

7. ANALISIS DE RESULTADOS

7.1. CALIDAD DEL ARD TRATADA.

7.1.1. Calidad agronómica

La **Tabla 10** muestra la composición fisicoquímica del agua tratada de PTAR Ginebra Valle.

Tabla 10. Calidad fisicoquímica efluente PTAR Ginebra.
MUESTREO

PARAMETRO	UNIDAD	1	2	3	4	5	DESV	C. V	PROMEDIO	FAO (1985)	Cumple/ No cumple norma
pH	unidad de pH	7,01	7,06	6,91	6,95	7,15	0,09	0,01	7,01	6,0 - 8,5	Si
CE	dS/m	1,11	1,28	1,28	*	1,42	0,12	0,1	1,27	0-3	Si
Calcio	meq/l	0,62	0,62	0,72	0,82	0,73	0,08	0,12	0,7034	0-20	Si
Magnesio	meq/l	0,46	0,47	0,42	0,43	0,47	0,02	0,06	0,44	0-5	Si
Sodio	meq/l	2,17	2,28	1,7	1,94	2,46	0,29	0,14	2,1	0-40	Si
Bicarbonato	meq/l	31,3	38,2	32,6	35,6	43	4,66	0,13	36,14	0-10	No
Cloruro	meq/l					--				0-30	-
Sulfato	meq/l	0,43	0,48	0,53	0,39	0,81	0,16	0,32	0,52	0-20	Si
Nitritos	mg NO2/l					-				-	-
Nitratos	mg NO3/l	0,07	0,07	0,07	0,03	0,09	0,02	0,34	0,06	0-10	Si
N Amoniacal	mg NH3/l					-				0-5	-

Fosforo Total	mg P/l	8	8,39	6,1	7,49	9,12	1,13	0,14	7,82	0-2	No
Fosfatos	mg PO4/l								-	0-2	-
Nitrógeno Total	mg N/l	12,3	38,5	15,1	39	32,3	12,87	0,47	27,44	<30	Si
Potasio Total	mg K/l	11,3	13,36	12,2	13,5	15,3	1,5	0,11	13,13	0-2	No
RAS	-	11,7	12,3	8,82	9,61	12,5	1,67	0,15	10,99	0-15	Si

* Lectura no realizada por daño en equipo de medición.

-No analizado en laboratorio

El pH se encuentra dentro del rango de referencia. La conductividad eléctrica, se encuentra por encima de 0,7 dS/m. Por tanto, presenta restricción *Ligera a Moderada* (valor a partir del cual existe riesgo de salinización del suelo). De igual modo, la RAS y CE pueden influenciar de forma *leve a moderada* en una reducción de la tasa de infiltración de suelos.

Los contenidos de Fosforo y Potasio Totales, se encuentran por encima de los estándares de referencia. Con base en lo anterior, se sustenta uno de los potenciales beneficios del reuso de este recurso hídrico en actividades de irrigación, es decir, en el aporte de nutrientes al suelo; lo cual influye en un ahorro de recursos económicos. Por lo anterior, se puede inferir que el ARD tratada es potencialmente utilizable como agua de riego. Para la EPA (2016) el exceso de nitrógeno y fósforo en el agua produce un deterioro de la calidad del agua, los alimentos y los hábitats, y reduce el oxígeno que los peces y otras especies acuáticas necesitan para vivir. Por tanto, el alto valor del elemento fosforo representa, un riesgo de enriquecimiento en aguas superficiales (Eutrofización), un aumento de producción de algas y un deterioro de los ecosistemas acuáticos.

Para la FAO (1992) la infiltración de agua residual a través de los estratos de un suelo, puede generar riesgos en calidad del agua de acuíferos, debido a la presencia de nitratos, entre otros. En este sentido se puede afirmar que el efluente tratado de la PTAR de Ginebra, presenta un bajo contenido de Nitratos respecto al estándar de la FAO (**Tabla 10**), por lo cual no existe un riesgo de alteración de calidad de aguas subterráneas.

Para Calvo (1999) cuando se aplican riegos con ARD tratada, la profundidad del suelo debe ser como mínimo de 1,5 m y lo mismo ocurre con los niveles piezométricos. De este modo se facilita el desarrollo de raíces y una renovación adecuada del líquido. Según información obtenida de la CVC del año 2017, el nivel freático promedio del municipio de Ginebra, se encuentra a 10,4 m de profundidad. A partir de lo anterior, es posible inferir que podría no existir un riesgo de contaminación de aguas subterráneas por contacto con el efluente de la PTAR de Ginebra.

De acuerdo a USDA (1954) (**Figura 2**), el efluente se clasifica como C1 – S2, significando una baja salinidad y cierto peligro de acumulación de sodio en el suelo.

El contenido de bicarbonatos es elevado con respecto al estándar de la FAO (**Tabla 10**). De acuerdo con Antos *et al.*, (1999) los bicarbonatos tienen efectos negativos sobre el rendimiento de cultivos y osmosis de plantas. De este modo en ambos casos, se alteran las funciones fisiológicas y bioquímicas de las plantas (El ANEXO A muestra análisis completos de laboratorios).

Las anteriores observaciones permiten inferir que la calidad agronómica del efluente cumple los estándares de la FAO (1985) (**Tabla 10**) para el riego de cultivos agrícolas, no obstante, se debería realizar un adecuado monitoreo de elementos químicos en el efluente; de este modo se podría evitar problemas ocasionados por una contaminación de elementos en exceso.

7.1.2. Calidad microbiológica del efluente

La **Tabla 11** muestra parámetros microbiológicos medidos en el agua residual domestica tratada del municipio de Ginebra.

Tabla 11. Composición microbiológica del efluente tratado.

muestreo	Parámetro		
	Coliformes fecales	Coliformes totales	Huevos de helmintos
	UFC/100ml	UFC/100ml	(Número de huevos)
1	2800000	7200000	0
2	1500000	5300000	0
3	2900000	3200000	0
4	13200	420000	0
5	820000	12200000	0
Desviación	1251610,342	4437958,99	0
C.V	0,77	0,78	0
Promedio	1'606 640	5'664 000	0

El contenido de huevos de helminto cumple con estándar de la Organización Mundial de la Salud (2006) (**Tabla 5**). Contrario a lo anterior, el contenido de coliformes fecales es elevado. Por tanto, se puede inferir que el tratamiento realizado al ARD tratada, no cumple con la reducción de patógenos requerida (Anexo C). De este modo, se podrian generar altos riesgos a la salud humana.

Para Batista *et al.*, (2009) la formación de depósitos gelatinosos, resultantes de la interacción entre lodo bacteriano, algas y zooplancton, han sido el factor central en el proceso de taponamiento de los goteros cuando se aplica agua residual, a través de un sistema de riego por goteo. Por lo anterior, es posible que el alto contenido de bacterias del efluente (**Tabla 11**) potencie problemas en sistemas de riego localizado y aspersión.

7.2. EVALUACIÓN BAJO NORMA NACIONAL DE REUSO PARA RIEGO

La **Tabla 12** muestra valores fisicoquímicos y microbiológicos del efluente, evaluados bajo norma nacional colombiana para reuso en agricultura.

Tabla 12. Evaluación de calidad del efluente bajo norma nacional.

Parámetro	Unidad	Efluente Valor promedio	Valor límite permisible	Cumple/no cumple norma nacional de reuso
Físico				
pH	Unidad de pH	7,016	6,0 - 9,0	Cumple
Conductividad	μS/cm	1270	1500	Cumple
Microbiológicos				
Coliformes termotolerantes	NMP/100MI	7,50*E(+6)*	1,0*E(+5)	No cumple
Enterococos fecales	NMP/100MI	---	1,0*E(+2)	-
Helminthos parásitos humanos	Huevos y larvas/L	0	1	Cumple
Protozoos Parásitos Humanos	Quistes/L	---	1	-
Salmonella	NMP/100MI	---	1	-
Químicos				
Fenoles totales	mg/l	---	1,5	-
Hidrocarburos totales	mg/l	---	1	-
Iones				
Cianuro libre	mg CN/l	---	0,2	-
Cloruros	mg CN/l	59,2**	300	Cumple
Fluoruros	mg F/l	---	1	-
Sulfatos	mg SO ₄ 2-/l	50,692	500	Cumple
Metales				
Aluminio	mg Al/l	---	5	-
Berilio	mg Be/l	---	0,1	-
Cadmio	mg Cd/l	---	0,01	-
Cinc	mg Zn/l	---	3	-
Cobalto	mg Co/l	---	0,05	-
Cobre	mg Cu/l	---	1	-
Cromo	mg Cr/l	---	0,1	-
Hierro	mg Fe/l	---	5	-

Mercurio	mg Hg/l	---	0,002	-
Litio	mg Hg/l	---	2,5	-
Manganeso	mg Mn/l	---	0,2	-
Molibdeno	mg Mo/l	---	0,07	-
Níquel	mg Ni/l	---	0,2	-
Plomo	mg Pb/l	---	5	-
Sodio	mg Na/l	48,48166	200	Cumple
Vanadio	mg V/l	---	0,1	-
Metaloides				
Arsénico	mg As/l	---	0,1	-
Boro	mg B/l	---	0,4	-
No metales				
Selenio	mg Se/L	---	0,02	-
Otros parámetros				
Cloro total residual	mg Cl ₂ /l	---	menor a 1,0	-
Nitratos (NO ₃ - N)	mg/l	0,0652	5	Cumple

---: No medido

-: No identificado

*Registro histórico CVC (2016)

**Registro histórico ACUAVALLE (2017)

El efluente cumple con límites permisibles de cloruros, sulfatos, sodio y Nitratos. En cuanto a aspectos microbiológicos, cumple con el parámetro de Helmintos parásitos humanos. Contrario a lo anterior, presenta un alto valor de coliformes fecales, por tanto, la directriz lo clasifica como no apto para riego. La **Tabla 12** deja en evidencia que la norma nacional de reuso no tiene en cuenta parámetros fisicoquímicos como DB05, DQO y SST; los cuales son muy importantes en la preservación del ambiente. Con base en lo anterior, es posible inferir que se realizaría una transferencia de contaminantes presentes en el efluente al suelo, cuando se emplee como agua de riego el recurso hídrico, por tanto, se deberá evaluar una viabilidad de aplicar un tratamiento fisicoquímico, el cual contribuya en retener partículas, las cuales podrían afectar a suelos, los cuales sean regados con el efluente.

Como un complemento de lo anterior, la **Tabla 13** muestra una evaluación del efluente bajo la norma portuguesa (NP) 4434:2005. (aplicada a la reutilización de aguas residuales urbanas en el riego de cultivos agrícolas, forestales, ornamentales, viveros, césped y otros espacios verdes). La calidad del efluente fue evaluada bajo el reglamento en mención, como un complemento en esta investigación.

Tabla 13. Evaluación de Norma Portuguesa para reuso de ARD tratada.

Parámetro	Unidad	Norma NP - 4434 -2005 Portuguesa	Efluente PTAR Ginebra (promedio)	Cumple/ No cumple norma
Coliformes Fecales	UFC/100ml	10000 - -100000	1606640	No Cumple

FUENTE: Adaptado de ISEL (2010)

El efluente no cumple la directriz propuesta por el País europeo. Lo anterior permite inferir que se deben adoptar medidas, las cuales garanticen un uso seguro en agricultura.

7.3. TENDENCIA CORROSIVA O INCRUSTANTE DEL ARD TRATADA

7.3.1. Índices de saturación y agresividad

La **Tabla 14** muestra parámetros del efluente empleados en la estimación de Índices de Saturación de Langelier e Índice de agresividad.

Tabla 14. Parámetros empleados en estimación de Índices.

Muestreo									
Parámetro	Unidad	1	2	3	4	5	Desv	CV	Promedio
HCO ₃	(mg/l)	1912	2331	1989	2169	2623	284,78	0,12	2204,8
Alcalinidad	(mg/l)	1912	2331	1989	2169	2623	274,78	0,12	2204,8
Dureza	(mg/l)	108	110	114	125	120	7,056	0,06	115,4
Temperatura	(°C)	27,9	25,3	29,1	*	28,9	1,747	0,06	27,8
SDT	(mg/l)	501	574	574	*	637	260,07	0,45	571,5

* Lectura no realizada por daño en equipo de medición.

Con ayuda de tablas de HACH® (Anexo B) de se procedió a hallar coeficientes A, B, C, y D. La **Tabla 15** muestra los parámetros calculados:

Tabla 15. Índice de Saturación de Langelier e Índice de Agresividad.

Parámetro	Unidad	Valor
Índice de saturación de Langelier	Adimensional	0,58
Índice de agresividad	Adimensional	12,42

Los valores calculados muestran que el agua tratada de PTAR, posee una tendencia a formar incrustaciones. Esta situación representa un riesgo, para métodos de riego

localizado y goteo; especialmente en elementos de bombeo. En concordancia con las guías de calidad del agua del Departamento del Agua y Silvicultura de Sudáfrica (1996), un agua corrosiva (o agresiva) puede provocar reemplazos prematuros de tuberías, zanjas y otros equipos de riego. Un agua incrustante puede provocar tasas de caudal disminuidas y el bloqueo total o parcial de goteadores y orificios de un aspersor. Lo anterior, podría generar afectaciones en sistemas de riego por aspersión o goteo, en los cuales se utilice el recurso hídrico.

7.4. IDENTIFICACIÓN DE CULTIVOS ADECUADOS PARA REGAR CON EL EFLUENTE DE LA PTAR DE GINEBRA

7.4.1. Conductividad eléctrica de suelos

En esta investigación se emplearon 7 muestras de suelos de Hacienda La Trinidad, Ginebra Valle (**Figura VI**); como muestras representativas, permitieron ser correlacionadas con un valor promedio de conductividad eléctrica del ARD tratada. De acuerdo con IGAC (2004), es posible afirmar que los suelos del municipio de Ginebra pertenecen a la unidad: *Asociación Typic Dystrudepts – Lithic Udorthents*. Lo anterior, en relación a una característica de la clasificación taxonómica de los suelos empleados. La **Tabla 16** muestra las conductividades eléctricas (CE) de suelos empleados:

Tabla 16. Conductividades eléctricas de suelos.

Parámetro	Unidad	Tablones							Desv	C.V	Promedio
		1	2	3	4	5	6	7			
C.E	(dS/m)	0,158	0,325	0,173	0,292	0,132	0,203	0,210	0,07	0,33	0,213

FUENTE: Construcción propia

Bajo estándares de interpretación de análisis de suelos de Junta Extremadura (1992), los suelos analizados tienen una muy baja conductividad eléctrica. Lo anterior, permite afirmar que en el desarrollo de cultivos agrícolas no habrá afectaciones debidas a la presencia de sales.

7.4.2. Análisis estadístico de ce de suelos y aguas

La **Figura 7** muestra un gráfico estadístico de conductividades eléctricas de ARD tratadas y suelos empleados en esta investigación.

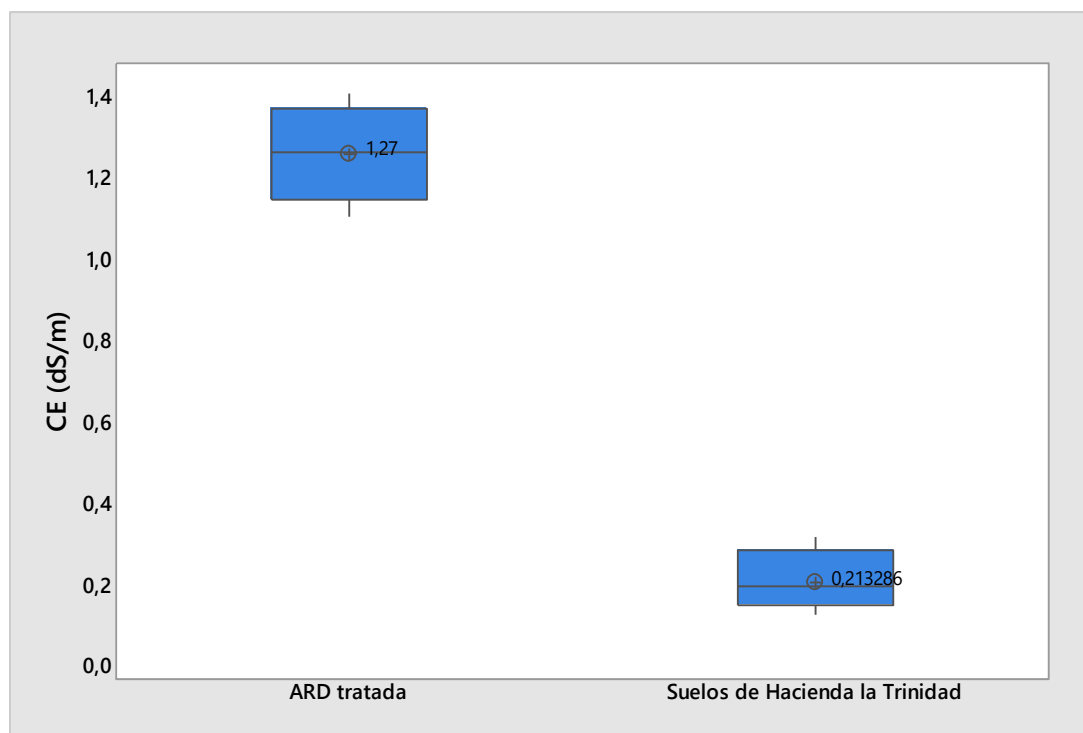


Figura 7. Conductividades eléctricas de ARD tratada y suelos de Hacienda La Trinidad.

Bajo estándares de la FAO (1985) la CE del ARD tratada posee una restricción *Ligera o moderada*. Los estándares de Junta Extremadura (1992) clasifican a los suelos, con un bajo contenido de salinidad. Bajo el marco de referencia de rendimiento relativo de cultivos agrícolas (**Figura 3**), la CE de suelos (EC_e) y CE del efluente (EC_w), permiten inferir que podría haber un rendimiento del 100% de cosechas de cultivos de cultivos agrícolas.

7.4.3. CULTIVOS ADECUADOS PARA SER REGADOS CON ARD TRATADA DE GINEBRA

Como ya fue mencionado, bajo estándares de WHO (2006) y norma nacional de reuso, el efluente es clasificado como no apto para riego, debido al contenido de coliformes fecales. De este modo se afirma, que el recurso hídrico podría ser empleado de modo seguro, siempre que le sea realizado un tratamiento. No obstante, bajo lineamientos de FAO (**Figura 3**), se afirma que las conductividades eléctricas del efluente tratado y suelos, permiten regar cultivos agrícolas de tipo *sensible* a la salinidad. La **Tabla 17** muestra cultivos adecuados para riego con el efluente tratado; fueron tomados a partir de una lista de cultivos propuestos por la FAO en el año de 1985 (para mayor información, consultar a partir de bibliografía), con base en salinidades presentes en aguas de riego y suelos. La **Tabla 17** incluye métodos de riegos, restricciones en el riego; propuestas debido a características fisicoquímicas del recurso, entre otros. Del mismo modo, la **Tabla 18** muestra cultivos clasificados bajo la norma nacional de reuso agrícola; muestra tipos de cultivos, restricciones, entre otros elementos.

Tabla 17. Cultivos adecuados para riego con el ARD tratada, bajo lineamientos de FAO (1985).

Tipo de cultivo	Nombre científico	Método de riego	Restricción de riego Efluente PTAR Ginebra
Fibras, semillas y Cultivos de azúcar			Si, altos contenidos de SST, SDT, Alcalinidad Coliformes Fecales ² >10 ³ , 10 ⁵
Frijol*	<i>Phaseolus Vulgaris</i>	Goteo (SAG Honduras, 2011), Aspersión (FAO, 2008)	
Guayule (Centro y Norte americano)	<i>Phartenium argetantum</i>	Aspersión (Cantu <i>et al.</i> , S.f)	
Ajonjolí *	<i>Sesamum indicum</i>	Aspersión y Goteo (SAGARPA, 2015)	
Cultivos vegetales			Si, altos contenidos de SST, SDT, Alcalinidad Coliformes Fecales ² >10 ³ , 10 ⁵
Frijol *	<i>Phaseolus vulgaris</i>	Goteo (SAG Honduras, 2011), Aspersión (FAO, 2008)	
Zanahoria *	<i>Daucus carota</i>	Aspersión (CCB, 2015)	
Quimbombo (Okra) *	<i>Abelmoschus esculentus</i>	Aspersión (Carrillo <i>et al.</i> , 2007)	
Cebolla de bulbo	<i>Allium cepa</i>	Goteo (INTA, 2013)	
Chirivía	<i>Pastinaca sativa</i>	Aspersión (Batlle, s.f)	
Cultivos de frutas y nueces			Si, altos contenidos de SST, SDT, Alcalinidad Coliformes Fecales ² >10 ³ , 10 ⁵ (Aplica para todos los cultivos- de Frutas y nueces)
Almendra	<i>Prunus dulcis</i>	Goteo (AZUD, s.f)	
Manzana	<i>Malus sylvestris</i>	Goteo (INTA, s.f)	
Albaricoque	<i>Prunus armeniaca</i>	Goteo (Regaber, 2017)	
Aguacate*	<i>Persea americana</i>	Riego Localizado (ICA, 2012)	
Mora	<i>Rubus sp.</i>	Riego Localizado (Pérez, 2011)	
Zarzamora	<i>Rubus ursinus</i>	Goteo (Intagri, 2017)	
Chirimoya	<i>Annona cherimola</i>	Aspersión, Goteo (ICAMEX, 2002)	
Cereza	dulce <i>Prunus avium</i>	Goteo (Ciren, s.f)	
Cereza de arena Norteamericana	arena <i>Prunus besseyi</i>	-	
Grosella	<i>Ribes sp.</i>	Goteo (INTA, 2013)	
Gooseberry - Grosella	<i>Ribes sp.</i>	Goteo (INTA, 2013)	
Toronja*	<i>Citrus paradisi</i>	Localizado (WWF, 2009)	
Limón	<i>limón</i>	Localizado (WWF, 2009)	

Lima*	<i>Citrus aurantiifolia</i>	Localizado (WWF, 2009)
Nispero	<i>Eriobotrya japonica</i>	Localizado (IVIA, s.f)
Mango	<i>Mangifera indica</i>	Goteo (Hilares y Visurraga, 2004)
Naranja	<i>Citrus sinensis</i>	Localizado (WWF, 2009)
Maracuyá*	<i>Passiflora edulis</i>	Goteo (Abadía, 2014)
Melocotón*	<i>Prunus persica</i>	Goteo (CITA, 2010)
Pera	<i>Pyrus communis</i>	Goteo (Arenas <i>et al.</i> , 2012)
Caquí de virginia	<i>Diospyros virginiana</i>	Localizado (IVIA, 2013)
Ciruela	<i>Prunus domestica</i>	Goteo (IMIDA, s.f)
Pomelo chino : limonzón	<i>Citrus maxima</i>	Localizado (Infoagro, s.f)
Frambuesa	<i>Rubus idaeus</i>	Aspersión (Martínez, 2009)
Pomarrosa	<i>rosa Syzygium jambos</i>	Goteo (ESPE, 2015) , Goteo (Torres, 2006)
Zapote blanco	<i>blanco Casimiroa edulis</i>	Goteo (CATIE, 1992)
Fresa	<i>Fragaria sp.</i>	Localizado (WWF, 2009)
Mandarina	<i>Citrus reticulata</i>	Localizado (WWF, 2009)

*Cultivos con adaptación al clima de Ginebra.

²: Estándares OMS (2006).

-:No encontrado

Tabla 18. Cultivos agrícolas adecuados bajo norma nacional.

Tipo de cultivo	Nombre científico de cultivo	Nombre común	Método de riego	Restricción efluente PTAR Ginebra
Cultivos no - alimenticios para humanos o animales	<i>Nicotiana tabacum</i>	Tabaco	Aspersión (MAPAMA, 2007)	Si, altos contenidos de SST, SDT, Alcalinidad, Coliformes fecales >100000
Cultivos de fibras - celulósicas y derivados	<i>Gossypium hirsutum</i>	Algodón	Localizado, Gravedad (Gimenez y Mosco, s.f)	Si, altos contenidos de SST, SDT, Alcalinidad, coliformes fecales >100000
	<i>Morus alba</i>	Morera	Secano (Benavidez, 1995)	Si, coliformes fecales >100000 - - - -
Cultivos para la obtención de biocombustibles	<i>Saccharum officinarum L.</i>	Caña de azúcar	Gravedad (CENICAÑA, s.f)	Si, coliformes fecales >100000
Cultivos alimenticios que no son de consumo directo para humanos o animales.	<i>Saccharum officinarum L.</i>	Caña de azúcar	Gravedad (CENICAÑA, s.f)	Si, coliformes fecales >100000
	<i>Saccharum officinarum L.</i>	Caña panelera	Gravedad (FEDEPANELA, 2009)	Si, coliformes fecales >100000
	<i>Sorghum vulgare</i>	Sorgo	Aspersión (Berenguer <i>et al.</i> , 1997)	Sí; altos contenidos de SST, SDT, Alcalinidad, Coliformes fecales >100000
	<i>Zea Mays L</i>	Maíz	Goteo (Escareño <i>et al.</i> , 2007)	Si, altos contenidos de SST, SDT, Alcalinidad, Coliformes fecales >100000
	<i>Helianthus annuus L.</i>	Girasol.	Goteo (IFAPA, 2015)	Si, altos contenidos de SST, SDT, Alcalinidad, Coliformes fecales >100000
Áreas verdes en parques y campos deportivos - , entre otras.	<i>Heliconiaceae</i>	Heliconia	Aspersión (ICA , 2012)	Si, altos contenidos de SST, SDT, Alcalinidad, Coliformes fecales >10000
	<i>Helianthus annuus L.</i>	Girasol	Goteo (IFAPA, 2015)	Si, altos contenidos de SST, SDT, Alcalinidad, Coliformes fecales >10000

-: No aplica.

Algunos cultivos expuestos, emplean métodos de riego de tipo aspersión, goteo y localizado. Lo anterior podría representar riesgos a la salud humana de regadores y agricultores, por lo cual se deberá manipular el efluente, con medidas, las cuales ayuden a preservar la salud humana. Comúnmente el cultivo de caña de azúcar, emplea el método de riego por gravedad (surcos). El riego con el efluente de la PTAR de Ginebra podría aumentar la cantidad de patógenos presentes en el suelo. Con relación a lo anterior, Madera *et al.*, (2014) evaluaron la Influencia del riego con aguas residuales domésticas tratadas sobre el contenido de patógenos en un suelo cultivado con caña de azúcar. Analizan, que el uso de ARD no restringen su uso para la siembra de caña de azúcar, ya que es un cultivo que tiene un procesamiento antes de su consumo.

Algunos cultivos, como forrajes perennes y turbas y ciertas especies arbóreas y cultivos, como el maíz, el sorgo y la cebada, requieren una elevada capacidad de asimilación de nutrientes, alto consumo de agua, elevada tolerancia a la humedad del suelo, baja sensibilidad a los constituyentes del agua residual y mínima necesidad de control. Otros cultivos, como leguminosas, la mayoría de cultivos de campo (algodón y cereales) y algunos frutales, como cítricos, manzanos y uvas, no requieren agua en exceso, favoreciendo el reuso de las aguas residuales (Valencia, 1998, citado por Madera *et al.*, 2008). Por otro lugar, bajo estándares de calidad agronómica de la FAO (**Tabla 10**) el efluente presenta altos contenidos de nutrientes N, P y K (macroelementos de mayor consumo por parte de plantas) los cuales tienen potencial de fertilización de los cultivos expuestos en la **Tabla 17** y **Tabla 18**. Del mismo modo se deberá realizar un monitoreo en el efluente de los elementos descritos con anterioridad, en aras de evitar afectaciones por una sobrefertilización en los cultivos.

7.5. BENEFICIOS ECONÓMICOS DE REGAR CON ARD TRATADA DE LA PTAR DE GINEBRA VALLE

7.5.1. Actores involucrados

La **Tabla 19** muestra actores involucrados en la experiencia de reuso del efluente.

Tabla 19. Actores involucrados

Nombre de empresa o institución	Responsabilidad
Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible	Autoridad Ambiental Nacional
Corporación Autónoma regional del Valle del Cauca	Autoridad Ambiental Departamental
ACUAVALLE S.A E.S.P	Usuario generador de ARD tratada
Hacienda La Trinidad	Usuario receptor de ARD tratada
Asociación de Usuarios de Río Guabas "ASOGUABAS"	Junta de Agua de Río Guabas de Ginebra - Valle.

A continuación, se muestra la estimación de los beneficios en la experiencia de reuso del efluente de PTAR.

7.5.2. Evaluación de beneficios en experiencia de reuso

7.5.2. 1. Ahorro en pago de tasa retributiva

La **Tabla 20** muestra una estimación de la tasa retributiva del efluente tratado.

Tabla 20. Estimación de tasa retributiva.

Parámetro	Concentración		Carga		Tasa Retributiva (\$)
	mg/l	kg/m ³	kg/día	kg/año	
DBO5*	107	0,107	251,46	91782,9	12'732123,89
SST	91,4	0,0914	214,8	78402	4'650806,64
Total				170184,9	17'382930,53

*ACUAVALLE S.A. 2017

El valor de tasa retributiva es de alrededor de \$17 383 000 pesos. Representa un ahorro económico para el usuario generador de aguas residuales domésticas, es decir, ACUAVALLE S.A, ante la autoridad ambiental departamental.

7.5.2.2. Ahorro en el costo de tratamiento de ARD

La estimación de este parámetro se realizó mediante una evaluación de la en la calidad del efluente tratado bajo la Resolución 0631 de 2015 (vertimientos puntuales a cuerpos de aguas superficiales). Lo anterior fue realizado para evaluar un cumplimiento de ley por parte de la PTAR de Ginebra. La **Tabla 21** muestra una matriz de evaluación del efluente bajo la norma ambiental de vertimientos.

Tabla 21. Evaluación de calidad fisicoquímica del efluente bajo norma nacional de vertimientos.

nacional de vertimientos				
Parámetro	Unidad	Valor efluente PTAR Ginebra	Limite permisible Res. 0631 de 2015	Cumple / No cumple norma
Generales				
pH	Un. pH	7,016	6,0 - 9,0	Cumple
DQO	mg/l o2	188*	180	No cumple
DBO5	mg/l o2	107*	90	No cumple
SST	mg/l	91,4	90	No cumple
Sólidos Sedimentables (SSED)	ml/l	0,4*	5	Cumple
Grasas y aceites	mg/l	< 5,0*	20	Cumple
Sustancias Activas				

al Azul de Metileno (SAAM)	mg/l	2,06*	Análisis y reporte	-
Hidrocarburos Totales				
Hidrocarburos Totales (HTP)	mg/l		Análisis y reporte	-
Compuestos de Fósforo				
Ortofosfatos (P, Po4)	mg/l		Análisis y reporte	-
Fósforo Total P	mg/l	7,82	Análisis y reporte	-
Compuestos de Nitrógeno				
Nitratos (N-NO3)	mg/l		Análisis y reporte	-
Nitritos (N-NO2)	mg/l		Análisis y reporte	-
Nitrógeno Amoniacal (N-NH3)	mg/l	23,2*	Análisis y reporte	-
Nitrógeno Total (N)	mg/l		Análisis y reporte	-

*: Dato de ACUAVALLE (2017)

-: No medido

El ARD tratada cumple con límites permisibles de pH, Sólidos sedimentables y grasas y aceites, propuestos por la norma nacional de vertimientos. De forma contraria, no cumple con parámetros de DBO₅ Y DQO. El anterior análisis se realiza, teniendo presente que los parámetros DBO₅ y DQO son valores registrados durante horas del día; situación la cual podría tener variaciones en horas de la noche, al versen afectados procesos físico, químico y biológico en la laguna facultativa. Lo anterior, permite afirmar que ACUAVALLE S.A tendría que incurrir en la compra e implementación de un tratamiento, el cual le permita cumplir con la norma. En este sentido, la actividad de reuso evita la compra del tratamiento en mención, de este modo beneficia a la empresa generadora de aguas residuales del municipio de Ginebra. A partir de una investigación en la empresa HIDROPURA S.A.S, el tratamiento complementario de la PTAR de Ginebra, comprendería de un equipo de filtración (reducir SST) y un ozonizador (reducir DBO₅ y DQO). El costo total de los equipos es de alrededor de \$50'500 000 (Hidro Pura S.A.S, 2017). Lo anterior permite inferir que la empresa generadora de ARD tratadas evitaría recurrir en pagos por descargas de contaminantes del recurso hídrico, no obstante, lo anterior deja en evidencia que habría una transferencia de cargas contaminantes a los suelos regados con el recurso hídrico, por tanto se debería prestar especial atención a los contenidos de DBO₅, DQO y SST del efluente, y a la vez que el agricultor que emplea el recurso, evalúe una posibilidad de aplicar un tratamiento fisicoquímico, el cual contribuya a evitar un daño ecológico en el ambiente.

Los contenidos de DBO₅, SST, presentes en el efluente (**Tabla 21**), permiten inferir que no cumplen con estándares de la FAO del año de 1999; las normas presentan límites permisibles para el reuso de aguas residuales en agricultura. Los lineamientos propuestos sugieren que el contenido de DBO₅ sea menor a 30 mg/l y que el contenido de SST sea menor a 30 mg/l. Lo anterior deja en evidencia una posible contaminación de suelos, la cual podría ser generada por el riego con el efluente tratado.

7.5.2.3. Ahorro en el costo de fertilizante debido al contenido de nutrientes de las aguas residuales.

En la estimación de este beneficio se emplearon datos de evapotranspiración de 2,1 mm/día (periodo de macollamiento, 0 - 4 meses de crecimiento) y 3,1 mm/día (4 – 10 meses, periodo de rápido crecimiento, CENICAÑA, S.f). Con los valores fue calculada una lámina de agua de 810 mm. En la estimación de volúmenes brutos, se empleó una eficiencia de aplicación de 40 % (adaptado de CENICAÑA, S.f) para el método de riego empleado en caña de azúcar (riego por gravedad en surcos). En el análisis fueron tenidos en cuenta parámetros de macronutrientes; no fueron analizados los micronutrientes, debido a que el cultivo de la caña tiene un mayor consumo de elementos como Nitrogeno y Potasio. La **Tabla 22** muestra una estimación de cantidades de elementos N, P y K, los cuales serían aplicados a cada tablón a través de volúmenes de agua, durante un ciclo de cultivo de caña de azúcar (12 meses):

Tabla 22. Estimaciones de cantidades de N, P, K aplicadas con el efluente.

Tablón	Área (m2)	Volumen agua req. (m3)	Volumen bruto agua req. (m3)	Fertilizantes presentes en el ARD de PTAR (kg)		
				N	P	K
1	3800	3078	7695	208,76	7695	101,18
2	39700	32157	80392,5	2181,04	628,96	1057,16
3	40100	32481	81202,5	2203,02	635	1067,81
4	41500	33615	84037,5	2279,93	657,17	1105,09
5	48800	39528	98820	2680,93	772,77	1299,48
6	73600	59616	149040	4043,45	1165,49	1959,87
7	62100	50301	125752,5	3411,66	983,38	1653,64
Total:		250776	626940	17008,79	12537,77	8244,23

La **Tabla 23** muestra cantidades de nutrientes N, P y K disponibles en cada tablón y la **Tabla 24** muestra el plan de fertilización de los suelos analizados:

Tabla 23. Oferta de nutrientes del suelo.

Tablón	Parámetros			
	M.O (%)	N (g/kg)	P (mg/kg)	K (cmol/kg)
1	4,05	1600	39,09	0,24
2	4,01	11800	23,36	0,23
3	3,895	1800	22,84	0,2301
4	3,239	1900	29,62	0,2211
5	3,072	1400	26,69	0,2038
6	3,621	1100	30,31	0,1863

7	3,22	1500	24,66	0,2346
Desv	0,41	3883,05	5,65	0,019
CV	0,11	1,28	0,2	0,08
Prom	3,58	3014,29	28,08	0,22

Bajo estándares de Quintero (1995) (ver ANEXO D) los suelos analizados (**Tabla 23**) muestran que contenido de fósforo es elevado; por consiguiente, los suelos estudiados no requerirán una aplicación de este elemento. Esta característica fue tomada en cuenta en los cálculos de nitrógeno, fósforo y potasio, los cuales serían aplicados en cada tablón.

Tabla 24. Plan de fertilización.

Tablón	Req. cultivo (kg/Ha)			Área (Hectárea)	Cantidad a aplicar (kg)		
	N	P	K		N	P	K
1	100	0	83	0,38	38	0	31,54
2	100	0	83	3,97	397	0	329,51
3	100	0	83	4,01	401	0	332,83
4	100	0	83	4,15	415	0	344,45
5	100	0	83	4,88	488	0	405,04
6	100	0	83	7,36	736	0	610,88
7	100	0	83	6,21	621	0	515,43
Total					3096	0	2569,68

La **Tabla 25** muestra cantidades de fertilizantes para cada área efectiva. Los fertilizantes más utilizados en el medio local son, UREA (contiene un 46% de N), Cloruro de Potasio - KCl (contiene un 60% de K). Según el Departamento Nacional de Estadística (DANE, 2017), el precio de 50kg de UREA es de \$ 60567 pesos, y el de KCl es de \$56700 pesos.

Tabla 25. Plan de fertilización. Cantidades específicas para cada área.

Tablón	Área (Ha)	Úrea	Úrea	Cloruro de	Cloruro de
		(kg) 46% de N	Bultos de 50 kg	potasio (kg) 60% de K2O	potasio, Bultos de 50kg
1	0,38	82,6	1,652	52,56	1,0512
2	3,97	863,04	17,2608	549,18	10,9836
3	4,01	871,73	17,4346	554,71	11,0942
4	4,15	902,17	18,0434	574,08	11,4816
5	4,88	1060,86	21,2172	675,06	13,5012
6	7,36	1600	32	1018,13	20,3626
7	6,21	1350	27	859,05	17,181
Total		6730,4	134,608	4282,8	85,656

Total aprox.	135	86
Costo		
Total (\$)	8'176545	4'876200

*: El suelo no requiere aplicación; posee altos contenidos de este nutriente.

Según Moscoso (1991), citado por Valencia (1998) y Tascon y García (2007), no se tienen referencias de que la productividad mejore por el uso de las aguas residuales, pero sí que estas sustituyen por completo la fertilización artificial. En este sentido, la **Tabla 22** evidencia una alta potencialidad de reutilización del efluente de la PTAR de Ginebra, ya que la oferta de nutrientes del efluente, es mayor que los requerimientos nutricionales del cultivo de caña de azúcar en los suelos analizados (**Tabla 24**). Por consiguiente, el empleo de agua de PTAR en actividades de irrigación, puede representar un ahorro para el agricultor de Hacienda La Trinidad, por un valor de \$13'052 745; ya que le evitaría una compra de fertilizantes nitrogenados (**Tabla 25**).

7.5.2.4. Costos evitados de extracción y distribución de agua dulce

El caudal de reuso de 27,2 l/s (97,92 m³/hora), permite estimar un tiempo de bombeo de 6402,6 horas; tiempo en el cual será bombeado el volumen de agua requerido por todos los tableros de estudio (626 940 m³; ver **Tabla 22**). La **Tabla 26** muestra datos empleados en la estimación del costo económico de bombeo, del mismo modo, la **Tabla 27** muestra el costo económico de tasa por uso de agua subterránea.

Tabla 26. Costo bombeo

Parámetro	Unidad	Valor
Volumen a extraer	m ³	626 940
Potencia del motor	KW	55,95
Tiempo de bombeo	h	6402,6
Tarifa de consumo eléctrico	(\$ /KW*h)	497,3
Total (\$)		178' 145 526,2

Tabla 27. Tasa de agua subterránea

Parámetro	Unidad	Valor
Volumen extraído	m ³	626 940 m ³
Tasa por uso de agua	\$/m ³	10
Total (\$)		6' 269 400

El costo de la actividad de bombeo es de \$178' 145 526,2. Representa el valor económico de bombear el volumen de agua requerido por los cultivos de caña de azúcar, por ciclo de desarrollo. El costo de tasa por uso de agua subterránea

es de \$6' 269 400. Por lo anterior, el costo total de extracción de agua subterránea, sería de \$184' 414 926,2 el cual se muestra como un ahorro, ya que la actividad de reuso del efluente tratado de PTAR evita que se realicen operaciones de bombeo.

Actualmente Hacienda La Trinidad riega las suertes 2,3 y 4 bajo el método de riego por gravedad en surcos (canales abiertos en tierra); se realizó una estimación del costo recurrente, en el que incurriría el propietario Hacienda La Trinidad, al implementar un sistema de conducción de agua tecnificado, desde una fuente hídrica hasta las suertes dos, tres y cuatro. En la actividad se empleó el caudal de reuso (27,2 l/s) y el punto de captación de aguas de ASOGUABAS. La **Figura 8** muestra un esquema para el sistema mencionado con anterioridad.



Figura 8. Esquema de conducción y distribución de agua para riego
FUENTE: Adaptado de Google Earth (2017).

Con base en costos de empresa Colpozos Mexichem (2017) el valor total de un sistema de riego para las suertes dos, tres y cuatro de Hacienda La Trinidad, es de \$ 177' 623, 255 pesos (COLPOZOS – MEXICHEM, 2017). Con relación a lo anterior, la actividad de reuso bajo el método de riego por canales abiertos en tierra, permite que el agricultor de Hacienda La Trinidad evite el costo en mención.

Las anteriores estimaciones económicas definen un total de costos de distribución y extracción de agua de más de \$ 362' 038 181,2. El dato corresponde a costos, en los que incurriría el señor Carlos Montoya, como agricultor y propietario de Hacienda La Trinidad, en este sentido se afirma que en la actualidad, representa un ahorro, ya que reusa todo el efluente de PTAR.

7.5.2.5. Ahorro en pago de tasa por uso de agua (TUA)

El caudal de reuso es de 27,2 l/s (2350, 08 m³/día). El volumen captado de una fuente hídrica sería de 857 779,2 m³ al año (teniendo en cuenta 365 días al año y 24 horas del día; parámetros empleados por la CVC en estimaciones). La **Tabla 28** muestra un resumen de los costos asociados a la tasa por uso de agua, para un periodo de un año.

Tabla 28. Resumen de costos de TUA

Concepto	Valor (\$)
Cobro TUA	4' 803 563,52
Cobro ASOGuabas	1360000
Total (\$)	6' 163 563,52

El valor total es de \$ 6' 206 452,48. Representa un ahorro económico para el agricultor de Hacienda, La Trinidad, ya que el reuso para riego del efluente, evita que realice un pago por emplear agua de una fuente hídrica para fines de irrigación. Se encuentra un valor por concesión de aguas, el cual es generado por la Coporación Autonoma Regional del Valle del Cauca; el valor no pudo ser obtenido en esta investigación.

7.5.2.6. Mayor fiabilidad por el suministro de aguas residuales

En épocas de sequía, el efluente tratado de la PTAR de Ginebra Valle (27,2 l/s), puede ser empleado como fuente alterna de agua para riego, lo cual beneficia al señor Carlos Montoya de Hacienda La Trinidad, ya que puede disponer el recurso hídrico en actividades de irrigación. De este modo, puede seguir desarrollando actividades agrícolas en su predio, sin verse afectado por pérdidas económicas, generadas por una reducción en productividad y rendimiento de cultivos agrícolas. Por lo anterior, se puede inferir que la actividad de reuso permite que épocas de sequía el agricultor de Hacienda La Trinidad evite incurrir en el pago de extracción de agua de pozo; como ya fue calculado, este sería de \$184' 414 926,2.

7.5.2.7. Beneficios Ambientales

La **Tabla 29** muestra una cuantificación de contaminantes, los cuales serían vertidos por la PTAR de Ginebra Valle.

Tabla 29. Estimación de descargas de PTAR Ginebra Valle

Parámetro	Concentración		Carga		
	mg/l	kg/m ³	kg/día	kg/año	Ton/año
DQO	188	0,188	441,81	161261	161,26
DBO	107	0,107	251,46	91782,9	91,78
SST	91,4	0,0914	214,8	78402	78,4

Ntotal	27, 43	0,0274	64,39	23502,4	23,5
Ptotal	7,82	0,0078	18,33	6690,45	6,69
Total				361638	361,63

Diariamente serian vertidos alrededor de 252 kg/día de DBO₅ y 215 kg/día de SST. Alfaro (2015) estima que el sistema hídrico en Colombia, recibe cerca de 1500 toneladas de DBO₅ por día, por cuenta de las aguas servidas de las ciudades. En ese aspecto, la actividad de reuso para riego de ARD tratada de la PTAR de Ginebra, contribuye a conservar un zanjón en tierra, cercano a las suertes de estudio; el cual es empleado como cuerpo de agua receptor y sus ecosistemas acuáticos, ya que evita la descarga anual de 2350 m³/día de efluentes, a la vez que disminuye problemas de salud pública y contribuye a conservar el ambiente.

7.5.3. RESUMEN DE CUANTIFICACIONES ECONÓMICAS DE BENEFICIOS

La **Tabla 30** muestra un resumen de los beneficios identificados en la experiencia de reuso del efluente tratado de la PTAR de Ginebra. Las estimaciones están realizadas para un periodo de un año.

Tabla 30. Resumen de estimaciones económicas de beneficios

Tipo de Beneficiario	Beneficio	Beneficio	Costo evitado - Ahorro (\$ en pesos)
Usuario	1	Ahorro en el pago de tasa retributiva.	17' 382 930,53
Generador de ARD	2	Ahorro en el costo de un tratamiento de ARD.	50' 500 000
Total			67' 882 930,53
Usuario	3	Ahorro en el costo de fertilizante por ARD.	13' 052 745
Receptor	4	Costos evitados de extracción, y distribución de agua dulce.	362' 038 181,2
de ARD	5	Ahorro en pago de tasa por uso de agua	6' 163 563,52
Total			381' 254 489,7

Hacienda La Trinidad obtiene un ahorro de \$ **381'254 489,7**. La empresa de tratamiento de aguas residuales de Ginebra (ACUAVALLE S.A), obtiene un beneficio representado por \$ **67' 882 930,53**. Las estimaciones como ya realizadas en la actividad de reuso de ARD tratada del municipio de Ginebra, aporta beneficios económicos, tanto para Hacienda La Trinidad, como para ACUAVALLE S.A. Por otro lugar, también se presentan importantes beneficios en el cuidado y conservación del ambiente.

8. CONCLUSIONES

Las directrices internacionales de USDA (1954), clasifican el agua utilizada en este estudio (agua de PTAR tratada) como C1 – S2; es agua de buena calidad apta para riego. Los estándares de la FAO (1985), clasifican al efluente tratado con un bajo contenido de sales disueltas y se debe prestar especial atención a la posible generación de un problema de sodicidad, por el uso de este recurso.

Bajo directrices de FAO (1985), el efluente tratado de PTAR, puede ser empleado como agua de riego en cultivos con tolerancia relativa a salinidad de tipo *sensible*. El contenido de bicarbonatos permite inferir que el recurso tendría una restricción, *Ligero a Moderado* para riego por superficie y *Severo* en aspersión foliar de cultivos sensibles.

Bajo estándares de la WHO (2006), el tratamiento que actualmente se realiza al efluente no cumple con los estándares mínimos de uso para riego agrícola. Lo anterior se evidenció en la calidad microbiológica del agua residual doméstica.

A pesar de que no se tuvo presente el efecto noche en la laguna facultativa, el alto contenido de coliformes fecales, evaluado bajo estándares de la resolución 1207 (2014), define al efluente como no apto, con respecto al límite permisible. Contrario a lo anterior, el contenido de huevos de helmintos si cumple la norma.

El efluente tratado puede ser empleado en riego, siempre que le sea aplicado un postratamiento (desinfección y filtración de sólidos); lo anterior permitirá un uso seguro del recurso en agricultura.

El agua tratada de la PTAR de Ginebra, podría cubrir la demanda de requerimientos nutricionales de los cultivos de caña de azúcar. Por otra parte, no hay que descartar que los resultados obtenidos, pudieron estar influenciados por la lámina de agua de referencia empleada.

El reuso del efluente le genera un ahorro de más de 17' 300, 000 pesos, anuales a ACUAVALLE S.A, por concepto de no pago de tasa retributiva; a la vez que, puede representar un ahorro de más de \$13' 000 000 pesos, para Hacienda La Trinidad, por concepto de compra de fertilizantes nitrogenados.

El reuso del efluente de la PTAR de Ginebra, en riego de caña de azúcar, estaría evitando la descarga de alrededor de 252 kg/día de DBO5 y 215 kg/día de SST tratados de PTAR; además, permite ahorrar agua de una fuente hídrica del municipio de Ginebra.

La descarga del efluente tratado en suelos cultivados en caña de azúcar, permite inferir que no habrá riesgo de contaminación de aguas subterráneas; el análisis efectuado, ayuda a establecer que la altura piezométrica del acuífero es la adecuada, a la vez que el suelo realizara una depuración natural del recurso.

9. RECOMENDACIONES

Para ACUAVALLE S.A:

Se recomienda que técnicos operativos de la PTAR usen ropa gruesa, guantes largos y tapabocas, en momentos en los cuales manipulen elementos y equipos, que estén en contacto con el ARD tratada; de este modo se podría minimizar riesgos a la salud humana.

Se recomienda realizar un estudio exploratorio de fertilización de biosólidos, procedentes de la PTAR, en agricultura y jardinería.

Para Hacienda La Trinidad:

Se sugiere realizar un monitoreo del contenido de sodio, presente en el efluente tratado de PTAR; debido a que la RAS (Relación de Adsorción de Sodio) podría generar un aumento del contenido de sodio en el suelo y a la vez ocasionar daños en su estructura.

Se recomienda reducir las duraciones de los riegos con ARD en cada tablón, ya que actualmente se podría estar presentando una sobre fertilización al emplear el efluente.

Se sugiere usar los efluentes tratados bajo riego por gravedad (surcos en tierra) este método podría ayudar a remover de modo natural la alta cantidad de patógenos presentes en el recurso hídrico.

Se recomienda que regadores y agricultores empleen ropa gruesa, botas y guantes, al manipular el efluente; también realizar la cosecha de cultivos agrícolas 60 días después de haberse aplicado el último riego. Lo anterior, podría garantizar una muerte natural de patógenos presentes en el efluente y minimizar riesgos a la salud humana.

En la actualidad se sugiere no usar el efluente bajo métodos riego localizado o aspersión, ya que el Índice de Saturación de Langelier clasifica al efluente con una posible tendencia a generar incrustaciones.

Realizar un seguimiento a metales pesados en suelos de Hacienda La Trinidad y en el producto final de la actividad agrícola, es decir la caña de azúcar; dado que es posible que, en algún porcentaje, existan en el agua residual, elementos procedentes de actividades de minería realizadas en la cuenca del río Guabas.

Se recomienda realizar un postratamiento de desinfección y de remoción de sólidos en suspensión al efluente tratado. De este modo se podrá realizar un uso seguro del recurso hídrico; al minimizar riesgos a la salud humana, a la vez que disminuirá posibles afectaciones cuando se lo emplee en sistemas de riego localizado y aspersión.

10.FUTUROS TEMAS DE INVESTIGACIÓN

Evaluación de los efectos del agua residual domestica tratada de la planta de tratamiento de ginebra como fuente alterna de riego en un cultivo de caña de azúcar.

Evaluación del efecto de la calidad de tres tipos de agua (agua de pozo, agua de rio guabas, ard tratada de ptar) en un cultivo de caña de azúcar.

Reuso para riego del efluente de la ptar de ginebra valle: evaluacion del potencial impacto en las propiedades físicas del suelo y la productividad de la variedad de caña de azúcar cc85. (tesis de maestría en ingeniería sanitaria y ambiental).

Evaluación de las propiedades físicas de un suelo cultivado con caña de azúcar (*saccharum officinarum*) bajo la aplicación de biosólidos procedentes de la ptar de ginebra valle.

Estudio para la viabilidad técnica de compostaje a partir de biosólido seco proveniente de la planta de tratamiento de aguas residuales del municipio de ginebra valle del cauca.

Efecto de aplicación de biosólidos procedentes de la ptar de ginebra sobre las propiedades físicas de un suelo cultivado con ahuyama (*cucurbita maxima*).

Evaluación de los efectos de la calidad de ARD tratada de ptar en un cultivo de uva - caso: ptar ginebra valle.

Elaboración de mapas de productividad para suelos de hacienda la trinidad regados con agua residual domestica tratada de la ptar de ginebra valle.

Optimizacion de los sistemas de riego y drenaje de suelos de hacienda la trinidad regados con ard tratada de la ptar de ginebra valle.

Comparación y evaluación de tres plantas acuáticas (*lemna spp*, *eichornia crassipes*, *azolla spp*) para determinar la eficiencia de remoción de nutrientes en el tratamiento de aguas residuales domésticas – caso: ptar ginebra valle (posible tesis de maestría en ingeniería sanitaria y ambiental).

Uso de aguas residuales depuradas en sistemas de riego por goteo – caso: ptar ginebra valle (tesis doctoral)

11. BIBLIOGRAFÍA

Abu Zahra, B.M., Jaradat, A., Shalaham, A. (1997). *Wastewater Irrigation Effect on Soil. Crop and Environment: A Pilot Scale Study at Irbid, Jordan. Water, Air and Soil Pollution.* Recuperado de <http://link.springer.com/article/10.1023%2FA%3A1005046912234#page-1>

ALCALDÍA MUNICIPAL DE GINEBRA VALLE DEL CAUCA. 2012. Programa agropecuario municipal - PAM. Recuperado de <http://www.ginebra-valle.gov.co/apc-aa-files/64383939633633616239666364613165/programa-agropecuario-municipal-1.pdf> . Fecha de consulta: septiembre de 2015. 87 Págs.

Abadía, H. 2014. Guía técnica para el cultivo de Maracuyá Amarillo. Recuperado de: http://www.intep.edu.co/Es/Usuarios/Institucional/file/CIPS/2014-2/Guia_Maracuya-INTEP-2014.pdf. Fecha de consulta: agosto de 2017. 49 Págs.

ACUAVALLE S.A. 2016. Reporte de datos oficiales de PTAR Ginebra. Fecha de consulta: septiembre de 2017.

ACUAVALLE S.A. 2017. Reporte de datos oficiales de PTAR Ginebra. Fecha de consulta: septiembre de 2017.

Alfaro, D. 2015. Estudio del impacto ambiental generado por vertimientos provenientes de un establecimiento penitenciario de orden nacional al recurso hídrico. Recuperado de: <http://repository.unimilitar.edu.co/bitstream/10654/6463/1/articulo%20especializacion%20final.pdf>. Fecha de consulta: septiembre de 2017. 20 Págs.

Antos, R., Díaz, E., González, L., Fuchs, M. 1999. Efecto del bicarbonato de sodio sobre el crecimiento de suspensiones celulares de caña de azúcar. Recuperado de: http://www.sian.inia.gob.ve/revistas_ci/Agronomia%20Tropical/at5004/arti/fuchs_m.htm. Fecha de consulta: agosto de 2017.

Arenas, M., Vélez, J., Tamayo, J. 2012. Crecimiento del fruto del peral bajo el sistema de riego por goteo con una y dos líneas. Recuperado de: <http://www.scielo.org.co/pdf/rcch/v6n2/v6n2a03.pdf>. Fecha de consulta: agosto de 2017. 12 Págs.

AZUD. Sin fecha. Cultivo del Almendro. Recuperado de: www.azudalmendro.com. Fecha de consulta: agosto de 2017.

Barbosa, B., Costa, J., Fernando, L. y Papazoglou, E. 2014. Wastewater reuse for fiber crops cultivation as a strategy to mitigate desertification (La reutilización de aguas residuales para cultivos fibrosos como estrategia para mitigar la desertificación). Recuperado de

<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0926669014004269>. Fecha de consulta: octubre de 2016. Volume 68, Págs: 17-23.

Batista, R., de Souza, J., Leite, C., Marín, O., Moreira, D., Soares, A. 2009. Taponamiento de goteros y del filtro de discos con agua residual sanitaria de una laguna de maduración. Recuperado de: <http://www.redalyc.org/pdf/1799/179915377020.pdf>. Fecha de consulta: agosto de 2017. 11 Págs.

Boluda, N. 2014. Determinación de parámetros en aguas implicadas en procesos de desalación. Recuperado de [https://rua.ua.es/dspace/bitstream/10045/37077/1/ISL_Aguas_desaladas_LAB ORATORIO.pdf](https://rua.ua.es/dspace/bitstream/10045/37077/1/ISL_Aguas_desaladas_LAB_ORATORIO.pdf). Fecha de consulta: marzo de 2016. 23 Págs.

Batlle. Sin fecha. Chirivía. Recuperado de: <http://semillasbatlle.es/es/chirivia>. Fecha de consulta: agosto de 2017.

Benavidez. 1995. Manejo y utilización de la Morera (*Morus Alba*) como forraje. Recuperado de: <http://www.fao.org/3/a-x6306s.pdf>. Fecha de consulta: septiembre de 2017. 4 Págs.

Berenguer, J., Faci, M., Martínez, a. 1997. Variabilidad del rendimiento de sorgo y del agua aplicada en una cobertura fija de riego por aspersión. Recuperado de: http://digital.csic.es/bitstream/10261/16679/1/Martinez-CobA_InvAgr_1997.pdf. Fecha de consulta: septiembre de 2017. 21 Págs.

Calvo, S. 1999. Aguas residuales urbanas. Barcelona España: Editorial AEDOS. 368 Págs.

Cámara de Comercio de Bogotá - CCB. 2015. Manual Zanahoria. Recuperado de: <http://bibliotecadigital.ccb.org.co/bitstream/handle/11520/14309/Zanahoria.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Fecha de consulta: agosto de 2017. 50 Págs.

Cantu, D., García, R., Sánchez, J. Sin fecha. Producción de guayule: respuesta de hule y biomasa al riego. Recuperado de: http://www.uaaan.mx/DirInv/Avances_2002/Zaridas/Rguayule.pdf. Fecha de consulta: agosto de 2017. 8 Págs.

Carrillo, M., Franco, A., Gallardo, J., Robles, E., Serna, S. 2007. Producción y tecnología de la okra (*abelmoschus esculentus*) en el noroeste de Mexico. Recuperado de: http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0568-25172007000300009. Fecha de consulta: agosto de 2017. 12 Págs.

CENICAÑA. 1995. Manejo de la caña de azúcar en estado verde. Recuperado de: http://www.cenicana.org/pdf_privado/documentos_no_seridados/libro_el_cultivo_cana/libro_p365-369.pdf. Fecha de consulta: septiembre de 2017. 6 Págs.

CENICAÑA. Sin fecha. Riegos de caña de azúcar. Recuperado de: http://www.cenicana.org/pdf_privado/documentos_no_seriados/libro_el_cultivo_cana/libro_p193-210.pdf. Fecha de consulta: septiembre de 2017. 19 Págs.

Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza - CATIE. 1992. El cultivo del zapote. Recuperado de: <http://www.sidalc.net/REPDOC/A5779E/A5779E.PDF>. Fecha de consulta: agosto de 2017. 18 Págs.

Centro de Investigación y Tecnología Agroalimentaria de Aragón - CITA. 2010. Ensayo de riego deficitario controlado en melocotón de Calanda. Recuperado de: http://www.cita-aragon.es/pub/documentos/documentos_2010_11_29_Melocoton_JMFaci_310a8f63.pdf. Fecha de consulta: agosto de 2017. 29 Págs.

Ciren. Sin fecha. Antecedentes técnicos y económicos para la producción de Cerezo en la Región del Maule. Recuperado de: www.ManualCerezo-ResearchGate.com. Fecha de consulta: agosto de 2017. 46 Págs.

Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca - CVC. 1998. Guía para plantaciones forestales comerciales en el Valle del Cauca. Recuperado de: [http://www.itto.int/files/user/pdf/publications/PD39%2095/pd%2039-95-12%20rev%201%20\(F\)%20s.pdf](http://www.itto.int/files/user/pdf/publications/PD39%2095/pd%2039-95-12%20rev%201%20(F)%20s.pdf). Fecha de consulta: septiembre de 2017. 43 Págs.

Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca - CVC. 2016. Reporte de datos de PTAR Ginebra. Fecha de consulta: septiembre de 2017.

Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca– CVC. 2017. Tasas por uso de Agua Cuenca de Rio Guabas. Cali, Colombia: 2017.

DANE .2013. Encuesta nacional agropecuaria ena- 2012. Recuperado de http://www.dane.gov.co/files/investigaciones/agropecuario/enda/ena/boletin_ena_2012.pdf. Fecha de consulta: noviembre de 2016.

DANE .2017. Información Boletín mensual Componente Insumos No.53 – noviembre 2016. Recuperado de <http://www.dane.gov.co/index.php/estadisticas-por-tema/agropecuario/sistema-de-informacion-de-precios-sipsa/componente-insumos-1>. Fecha de consulta: marzo de 2017.

Departamento del Agua y Silvicultura de Sudáfrica – Pretoria. 1996. South african water quality, guidelines volume 4 - agricultural use: irrigation (calidad del agua sudafricana, directrices volumen 4 - uso agrícola: riego). Recuperado de: http://www.dwaf.gov.za/iwqs/wq_guide/Pol_saWQguideFRESH_vol4_Irrigation.pdf Fecha de consulta: septiembre de 2017. 194 Págs.

Dos Santos, André. y Alderson, M., Mota, C. 2015. Reliability analysis of low-cost, full-scale domestic wastewater treatment plants for reuse in aquaculture and agricultura (Análisis de fiabilidad de plantas domésticas de tratamiento de aguas

residuales de bajo costo a gran escala para reutilización en acuicultura y agricultura). Recuperado de <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0925857415001913>. Fecha de consulta: febrero de 2016. Volume 82. Págs: 6-14

Echeverri, F. 2011. Reuso para riego del efluente de la PTAR-C: Evaluación del potencial impacto en las propiedades físicas del suelo y la productividad de la variedad de caña de azúcar cc85-92. Tesis de maestría publicada, Universidad del Valle, Cali, Colombia. Fecha de consulta: agosto de 2015. 112 Págs.

Environmental Protection Agency - EPA. 2016. Contaminación por nutrientes. Recuperado de: <https://espanol.epa.gov/espanol/contaminacion-por-nutrientes>. Fecha de consulta: septiembre de 2017.

Empresa de Energia del Pacifico S.A. E.S.P - EPSA . 2017. Información sobre tarifas – valle del cauca, 16 septiembre de 2017. <http://www.celsia.com/Portals/0/contenidos-celsia/documentos/tarifas-epsa-septiembre-2017.pdf>. Fecha de consulta: octubre de 2017. 2 Págs.

Escareño, HI., Martínez, JD., Sosa, E., Vazquez, C .2007. Producción de maíz bajo riego por cintilla, con aplicación de estiércol bovino. Recuperado de: <http://www.scielo.org.ar/pdf/phyton/v76/v76a15.pdf>. Fecha de consulta: septiembre de 2017. Págs: 169 – 185.

ESPE - Universidad de las Fuerzas Armadas Santo Domingo. 2015. EL CULTIVO DE POMARROSA. Recuperado de: <https://es.scribd.com/document/272998701/Pomarrosa>. Fecha de consulta: agosto de 2017. 9 Págs.

FAO. 1985. Water Quality for Agriculture. Irrigation and Drainage Technical Paper No. 29. Rome, Italy. Recuperado de <http://www.fao.org/docrep/003/T0234E/T0234E00.htm>. Fecha de consulta: febrero de 2017.

FAO. 2013. Reutilización del agua en la agricultura: ¿Beneficio para todos? Recuperado de <http://www.fao.org/docrep/017/i1629s/i1629s.pdf>. Fecha de consulta: octubre de 2015. 144 Págs.

FAO. 2015. Puntos destacados del informe La agricultura en el mundo: hacia 2015/2030. Recuperado de <http://www.fao.org/spanish/newsroom/news/2002/7833-es.html>. Fecha de consulta: Julio de 2016.

Fundación Chile - FCH .2016. Potencial de reúso de aguas residuales para región de Valparaíso. Recuperado de <https://fch.cl/wp-content/uploads/2016/08/reuso12agosto.pdf>. Fecha de consulta: febrero de 2016. 100 Págs.

Foster, S., Garduño, H., Kemper, K., Nanni, M., Tuinhof, A. 2002. Recarga del Agua Subterránea con Aguas Residuales Urbanas. Recuperado de http://siteresources.worldbank.org/INTWRD/Resources/GWMATE_Spanish_BN_12.pdf. Fecha de consulta: junio de 2016. 6 Págs.

Food and Agriculture Organization - FAO. 1992. Wastewater treatment and use in agriculture - FAO irrigation and drainage paper 47. Recuperado de: <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.470.8910&rep=rep1&type=pdf>. Fecha de consulta: agosto de 2017. 169 Págs.

Food and Agriculture Organization - FAO. 1999. Wastewater treatment and use in agriculture - FAO irrigation and drainage paper 47. Recuperado de: <http://www.fao.org/docrep/T0551E/T0551E00.htm>. Fecha de consulta: agosto de 2017. 169 Págs.

Food and Agriculture Organization - FAO. 2008. Buenas prácticas agrícolas (BPA) en la producción de Frijol voluble. Recuperado de: http://www.fao.org.co/cartilla_frijol.pdf. Fecha de consulta: agosto de 2017. Pág: 123.

FEDEPANELA. 2009. Manejo agronómico de la caña panelera con énfasis en el control biológico. Recuperado de: http://www.fedepanela.org.co/publicaciones/cartillas/manejo_agronomico_de_la_cana_panelera.pdf. Fecha de consulta: agosto de 2017. 32 Págs.

GWP. 2000. Agua para el siglo XXI: De la Visión a la Acción. Recuperado <http://www.cridlac.org/digitalizacion/pdf/spa/doc14578/doc14578.htm>. Fecha de consulta: junio de 2016.

García, J., Tascon, D. 2007. Evaluación del efecto de la calidad de tres tipos de agua en un cultivo de caña de azúcar. Tesis de pregrado no publicada, Universidad del Valle, Cali, Colombia. 101 Págs.

Gimenez, I., Mosco, M. Sin fecha. Evaluación del efecto del riego suplementario y el método de irrigación sobre el rendimiento de algodón en Uruguay. Recuperado de: <http://www.cnpa.embrapa.br/produtos/algodao/publicacoes/cba3/algo030.pdf>. Fecha de consulta: septiembre de 2017. 4 Págs.

Gobernación del Valle del Cauca. Sin fecha. Guía Agronómica de cultivos representativos del Valle del Cauca. Recuperado de: www.valledelcauca.gov.co/agricultura/descargar.php?id=967. Fecha de consulta: septiembre de 2017. 55 Págs.

Google inc. 2017. Mapas de google – ubicación de la PTAR de Ginebra Valle del Cauca. 2017.

Google Earth .2017. Mapas de google – ubicación de predios de Hacienda La Trinidad, Ginebra Valle del Cauca. 2017.

Hach. Sin fecha. Langelier and Agressive Indices – Method 8073 (Indices de Langelier y agresivo – Metodo 8073). Recuperado de: [www. Langelier and Agressive Indices – Method 8073.com](http://www.LangelierandAgressiveIndices.com). Fecha de consulta: marzo de 2016. 6 Págs.

HIDROPURA S.A.S. (2017). Consulta de costo de tratamiento de agua residual – PTAR Ginebra Valle. Municipio de Cali. Cali, Colombia: 2017.

Hidro Pura. SAS. (2017). Consulta de costo de tratamiento de ARD PTAR Ginebra Valle. Municipio de Cali. Cali, Colombia: 2017.

Hilares, L., Visurraga, H. 2004. Sistema de riego tecnificado por goteo y proceso de secado para una planta agrícola exportadora de mango seco. Recuperado de: http://www.bibliotecacentral.uni.edu.pe/pdfs/I+D/2,2004/art_007.pdf. Fecha de consulta: agosto de 2017. Págs: 57 -68.

Hoyos, W. Comunicación personal. Municipio de Ginebra. Ginebra, Colombia: 2016.

Hoyos, W. Comunicación personal. Municipio de Ginebra. Ginebra, Colombia: 2017.

Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales - IDEAM. 2014. Estudio Nacional del Agua. Recuperado de http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/023080/ENA_2014.pdf. Fecha de consulta: marzo de 2016. 253 Págs.

Instituto Geográfico Agustín Codazzi - IGAC. 2004. Levantamiento de suelos y zonificación de tierras del departamento de Valle del Cauca. ed: Instituto Geográfico Agustín Codazzi. Bogotá: Colombia. 575 Pág.

Instituto Colombiano Agropecuario - ICA. 2012. El cultivo de heliconias – medidas para la temporada invernal. Recuperado de: <https://www.ica.gov.co/getattachment/34fbeecca-8f6f-4692-97ef-2ca1e8e73967/-nbs;El-cultivo-de-heliconias.aspx>. Fecha de consulta: septiembre de 2017. 36 Págs.

Instituto Colombiano Agropecuario - ICA. 2012. Manejo fitosanitario del cultivo del aguacate HASS. Recuperado de: <https://www.ica.gov.co/getattachment/4b5b9b6f-ecfc-46e1-b9ca-b35cc1cefee2/-nbs;Manejo-fitosanitario-del-cultivo-de-Aguacate.aspx>. Fecha de consulta: septiembre de 2017. 75 Págs.

Instituto de Investigación y Formación Agraria y Pesquera - IFAPA. 2015. Influencia del Riego y otros Factores en el rendimiento de un cultivo de girasol. Recuperado de: [www. Influencia del Riego y otros Factores en el rendimiento de](http://www.Influencia-del-Riego-y-otros-Factores-en-el-rendimiento-de)

un cultivo de girasol juntadeandalucia.es. Fecha de consulta: septiembre de 2017. 15 Págs.

Instituto Valenciano de Investigaciones Agrarias – IVIA. Sin fecha. Descripción de variedades del Níspero Japonés. Recuperado de: <http://www.ivia.gva.es/documents/161862582/161863558/Descripci%C3%B3n+de+variedades+de+N%C3%ADspero+japon%C3%A9s/af2145a5-5c01-4cf4-9160-88059eb3909f>. Fecha de consulta: agosto de 2017. 121 Págs.

INFOAGRO. sin fecha. El cultivo del Pomelo. Recuperado de: <http://www.infoagro.com/citricos/pomelo.htm>. Fecha de consulta: septiembre de 2017.

Instituto Murciano de Investigación y Desarrollo Agrario y Alimentario - IMIDA. Sin Fecha. Evaluación económica y eficiencia del agua de riego en frutales de regadío. Recuperado de: http://www.imida.es/documents/13436/877249/Frutales_hueso_agua.pdf/4c37374b-a165-412e-8177-dd8bd7c1ea50. Fecha de consulta: agosto de 2017. 116 Págs.

Instituto Valenciano de Investigaciones Agrarias - IVIA. 2013. Manejo del riego en cultivos frutales: Caqui, Kiwi y Granado. Recuperado de: <http://www.pedralba.es/sites/pedralba.portalesmunicipales.es/files/riegofrutales.pdf>. Fecha de consulta: agosto de 2017. 12 Págs.

Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria - INTA. 2013. Cultivo de Grosellas. Recuperado de: https://inta.gob.ar/sites/default/files/manual_grosella1.pdf. Fecha de consulta: agosto de 2017. 37 Págs.

Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria - INTA. 2013. Riego por goteo en el cultivo de Cebolla – Boletín técnico No. 7. Recuperado de: https://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-inta_h-ascasubi-riego_por_goteo_en_el_cultivo_de_cebo.pdf. Fecha de consulta: septiembre de 2017. 9 Págs.

Instituto de investigación y capacitación agropecuaria, acuícola y forestal del estado de México -icamex. 2002. GUIA TECNICA PARA LA PRODUCCION DE CHIRIMOYA. Recuperado de: <http://www.cictamex.edu.mx/pdf/Chirimoya.pdf>. Fecha de consulta: agosto de 2017. 27 Págs.

Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria - INTA. Sin fecha. Riego por goteo en frutales en producción: manzana Cripps Pink y Granny Smith. Recuperado de: https://inta.gob.ar/sites/default/files/inta_riego-por-goteo-en-frutales-en-produccion.pdf. Fecha de consulta: agosto de 2017. 6 Págs.

Intagri. 2017. Manejo y Producción Forzada del Cultivo de Zarzamora. Recuperado de: <https://www.intagri.com/articulos/frutillas/manejo-y-produccion-forzada-del-cultivo-de-zarzamora>. Fecha de consulta: agosto de 2017.

ISEL. 2010. Reutilização de Águas Residuais (Reutilización de aguas residuales). Recuperado de: http://www.pseau.org/outils/ouvrages/esrar_guia_14_reutilizacao_de_aguas_residuais.pdf. Fecha de consulta: septiembre de 2017. 317 Págs.

Jaramillo, Á. 2005. Bioingeniería de aguas residuales. Bogotá, Colombia: Publicaciones Acodal.

Jaramillo, M. 2014. Potencial de reuso de agua residual doméstica como estrategia para el control de la contaminación por agua residual en el valle geográfico del río Cauca. Tesis de pregrado publicada, Universidad del Valle, Cali, Colombia. 186 Págs.

Jimenez. C. Comunicación personal. Universidad del Valle. Cali, Colombia: 2017.

Junta de Extremadura. 1992. Interpretación de Análisis de Suelo, Foliar y Agua de Riego. Consejo de Abonado (Normas Básicas). Consejería de Agricultura y Comercio. Madrid España: Editorial Mundi Prensa. 280 Págs.

Lasso, J. y Ramírez, J. 2011. Perspectivas generales del efecto del reuso de aguas residuales para riego en cultivos para la producción de biocombustibles en Colombia. Recuperado de <http://ingenieria.uao.edu.co/hombreymaquina/revistas/36%202011-1/Articulo%208%20-%20Jose%20L.%20Ramirez.pdf>. Fecha de consulta: febrero de 2016. 11 Págs.

Madera, C. 2003. Microbiological and Agronomic Effluent Quality from Duckweed and Stabilization Ponds. Tesis de maestría no publicada, Universidad del Valle, Cali, Colombia. 87 págs.

Madera, C. 2008. Reuso de aguas residuales domésticas en agricultura. Una revisión. Recuperado de: <http://www.redalyc.org/pdf/1803/180314732020.pdf>. Fecha de consulta: Mayo de 2017. 13 págs.

Madera, C. 2014. Influencia del riego con aguas residuales domésticas tratadas sobre el contenido de patógenos en un suelo cultivado con caña de azúcar. Recuperado de <http://revistas.usc.edu.co/index.php/Ingenium/article/view/447/399#.Wde8L2jWzIU>. Fecha de consulta: mayo de 2017. 7 págs.

Madera, C. 2014. Reutilización de aguas residuales tratadas en la agricultura: una oportunidad para el sector cañero. Recuperado de: <http://revistasdigitales.uniboyaca.edu.co/index.php/reiv3/article/view/62/64>. Fecha de consulta: mayo de 2017. 16 págs.

Marín, L., Velásquez, S. (2012). <http://ridum.umanizales.edu.co:8080/jspui/bitstream/6789/936/1/Perspectiva%2>

Ode%20la%20vulnerabilidad%20al%20cambio%20clim%C3%A1tico%20en%20la%20regi%C3%B3n%20Pac%C3%ADfica.pdf. Fecha de consulta: marzo de 2017. 25 Págs.

Metcalf y Eddy Inc. 2007. Ingeniería de Aguas Residuales. México D.F, México: Ed. Mc Graw Hill.

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. 2010. Política Nacional para la Gestión Integral del Recurso Hídrico. Recuperado de <http://www.minambiente.gov.co/index.php/component/content/article/1932-politica-nacional-para-la-gestion-integral-del-recurso-hidrico>. Fecha de consulta: noviembre de 2015. 127 págs.

Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. 2011. Desarrollo de capacidades en el uso seguro de aguas residuales para agricultura. Recuperado de http://www.ais.unwater.org/ais/pluginfile.php/378/mod_page/content/127/COLOMBIA.pdf. Fecha de consulta: septiembre de 2015. 27 págs.

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. 2014. Resolución número 1207 de 2014 (julio 25) por la cual se adoptan disposiciones relacionadas con el uso de aguas residuales tratadas. Recuperado de: <http://www.andi.com.co/Ambiental/SiteAssets/Resolucion1207AguasResidualesTratadas.pdf>. Fecha de consulta: mayo de 2016. 12 págs.

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. 2015. Parámetros y valores límites máximos permisibles en los vertimientos puntuales. Recuperado de: <http://www.lasalle.edu.co/wps/wcm/connect/7bf35b9e-b9ac-45b3-a280-c7dec8b1499d/Resolucion+631-2015.pdf?MOD=AJPERES>. Fecha de consulta: mayo de 2016. 30 págs.

Ministerio de agricultura y pesca, alimentación y medio ambiente – mapama. 2007. MANUAL DE GESTIÓN DE BUENAS PRÁCTICAS AGRÍCOLAS PARA LA PRODUCCIÓN DE TABACO EN ESPAÑA. Recuperado de: http://www.mapama.gob.es/es/agricultura/publicaciones/Manual_tcm7-958.pdf. Fecha de consulta: septiembre de 2017. 38 Págs.

Martínez, E. 2009. Costos y beneficios del cultivo de frambuesa. Recuperado de: <http://www.biblioteca.org.ar/libros/210441.pdf>. Fecha de consulta: septiembre de 2017. 4 Págs.

OMS. 2018. El uso de aguas residuales. Recuperado de: http://www.who.int/water_sanitation_health/wastewater/es/. Fecha de consulta: marzo de 2018. 1 Pág.

Puerta, A. 2008. Evaluación de los efectos del agua residual de la planta de tratamiento de aguas residuales de Cañaveralejo como fuente alterna de riego en el cultivo de caña de azúcar. Tesis de pregrado no publicada, Universidad del Valle, Cali, Colombia. Fecha de consulta: agosto de 2015. 100 Págs.

Pérez, V. 2011. Plan de fertirrigación en el cultivo de mora de castilla con espinas (rubus glaucus b), cantón ambato, provincia de tungurahua. Recuperado de: [www.plan de fertirrigación en el cultivo de mora de castilla con espinas \(rubus glaucus b\), cantón ambato, provincia de tungurahua vf perez sarabia - 2011](http://www.plandefertirrigacion.com/plan-de-fertirrigacion-en-el-cultivo-de-mora-de-castilla-con-espinas-rubus-glaucus-b-canton-ambato-provincia-de-tungurahua-vf-perez-sarabia-2011). Fecha de consulta: agosto de 2017.

Quintero, R. 1995. Fertilización y Nutrición de caña de azúcar. Recuperado de: https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/241259/El_cultivo_de_la_ca_a_Fertilizaci_n_y_nutrici_n.pdf. Fecha de consulta: marzo de 2017. 26 Págs.

Red Latinoamericana de Centros de Excelencia en Aguas - RALCEA. 2013. Aprovechamiento y Reúso de Aguas Residuales. Recuperado de https://aquaknow.jrc.ec.europa.eu/sites/default/files/1_aprovechamiento.pdf. Fecha de consulta: febrero de 2016. 25 Pág.

Regaber. 2017. Riego de Albaricoque. Recuperado de: <https://regaber.com/cultivos/frutales/item/albaricoque>. Fecha de consulta: agosto de 2017.

Secretaría de Agricultura y Ganadería de Honduras – SAG. 2011. El cultivo de Frijol. Recuperado de: <http://www.dicta.hn/files/Guia-cultivo-de-frijol-2011.pdf>. Fecha de consulta: agosto de 2017. 43 Págs.

Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación de México - SAGARPA. 2015. Agenda Técnica Agrícola. Recuperado de: http://extensionismo.sagarpa.gob.mx/web2/documentos/agenda_tecnica/F12_Guerrero.pdf. Fecha de consulta: agosto de 2017. 58 Págs.

Torres, A. 2006. Inventario de árboles plan de siembra, manejo y mantenimiento. Recuperado de: <https://www2.pr.gov/agencias/jca/Documents/Documentos%20Ambientales/2009/Preliminar/Proyecto%20Industrial>. Fecha de consulta: septiembre de 2017. 162 Págs.

UNESCO. 2003. Water for people, water for life. Recuperado de <http://unesdoc.unesco.org/images/0012/001295/129556s.pdf>. Fecha de consulta: marzo de 2016. 36 Págs.

WWF. 2009. Manual de buenas prácticas de riego. Recuperado de: http://awsassets.wwf.es/downloads/buenas_practicas_de_riego.pdf. Fecha de consulta: agosto de 2017. 36 Págs.

WWF. 2012. Una mirada a la agricultura de Colombia desde su Huella Hídrica. Recuperado de: <http://infoagro.net/programas/Ambiente/pages/agricultura/casos/2.pdf>. Fecha de consulta: febrero de 2016. Págs: 24 - 48.

12.ANEXOS

ANEXO A. Informes de laboratorios

Resultados de la solicitud de análisis O2017-7

CIAT 50
1967-2017

Laboratorio de servicios analíticos

INFORME DE ENSAYOS

Solicitante: UNIVERSIDAD DEL VALLE
Número serial: O2017-7
Procedencia: PTAR GINEBRA

Fecha de muestreo: 5/2/2017
Fecha recepción de muestras: 5/2/2017
Entrega de resultados: 6/23/2017

Observaciones: CEL-3154767955
Número de muestras: 3
Tipo de análisis: Otro

TABLA DE RESULTADOS

#	Descripción	pH (natf)	CE (us/cm)	N-Total (mg/L)	P (mg/L)	K (mg/L)	Ca (mg/L)	Mg (mg/L)	Na (mg/L)	SO4 (mg/L)	N-NO3 (mg/L)	CO3 (mg/L)	HCO3 (mg/L)	DUR. (mg/L)	ALC (mg/L)
1	ENTRADA LAGUNA ANAEROBIA	6.85	927	22.5	10.4	15.8	24.4	12.7	79.04	16.1	0.126	< LCM	2355	113	2355
2	SALIDA LAGUNA ANAEROBIA	6.91	685	26.3	6.32	10.5	25.6	11.07	51.8	28.2	0.103	< LCM	1899	110	1899
3	SALIDA LAGUNA FACULTATIV A	7.01	773	12.3	8.00	11.3	24.9	11.1	49.8	40.9	0.0730	< LCM	1912	108	1912

Notas:

- Los resultados presentes en este informe, se refieren únicamente a las muestras ensayadas.
- Este informe no debe ser alterado ni total ni parcialmente.
- El laboratorio de servicios analíticos, no efectúa ningún tipo de muestreo de campo ya que el usuario es quien suministra las muestras.
- Los valores iguales a cero corresponden a resultados que se encuentran por debajo de los límites de cuantificación del método.
- LCM: Límite de Cuantificación del Método.

Autoriza:



Dayron Gutierrez
Ingeniero de Alimentos / Tecnólogo Químico
E-mail: ciat.serviciosanaliticos@ciat.org
Tel. (57-2) 445 0100 Ext. 3351

Laboratorio de servicios analíticos Centro Internacional de Agricultura Tropical - CIAT © 2017. Todos los derechos reservados. Prohibida su modificación total o parcial
Tel. 445-01-00 Km. 17 recta Cali-Palmira

Resultados de la solicitud de análisis O2017-8

CIAT 50
1967-2017

Laboratorio de servicios analíticos

INFORME DE ENSAYOS

Solicitante: UNIVERSIDAD DEL VALLE
Número serial: O2017-8
Procedencia: PTAR GINEBRA VALLE DEL CAUCA

Fecha de muestreo: 5/5/2017
Fecha recepción de muestras: 5/5/2017
Entrega de resultados: 6/23/2017

Observaciones: Jorge.trochez@correounivalle.edu.co
Número de muestras: 3
Tipo de análisis: Otro

TABLA DE RESULTADOS

#	Descripción	pH (natf)	CE (us/cm)	N-Total (mg/L)	P (mg/L)	K (mg/L)	Ca (mg/L)	Mg (mg/L)	Na (mg/L)	SO4 (mg/L)	CO3 (mg/L)	HCO3 (mg/L)	DUR. (mg/L)	ALC (mg/L)	N-NO3 (mg/L)
1	ENTRADA DE LALAGUNA ANAEROBIA	7.25	1184	35.1	11.3	17.4	23.6	12.8	66.5	16.4	< LCM	2936	112	2936	0.0590
2	SALIDA DE LA LAGUNA ANAEROBIA	6.96	943	40.7	8.05	13.5	24.9	12.8	53.4	34.9	< LCM	210	115	210	0.0540
3	SALIDA DE LA LAGUNA FACULTATIV A	7.06	912	35.5	8.39	13.4	25.0	11.5	52.5	46.5	< LCM	2331	110	2331	0.0670

Notas:

- Los resultados presentes en este informe, se refieren únicamente a las muestras ensayadas.
- Este informe no debe ser alterado ni total ni parcialmente.
- El laboratorio de servicios analíticos, no efectúa ningún tipo de muestreo de campo ya que el usuario es quien suministra las muestras.
- Los valores iguales a cero corresponden a resultados que se encuentran por debajo de los límites de cuantificación del método.
- LCM: Límite de Cuantificación del Método.

Autoriza:



Dayron Gutierrez
Ingeniero de Alimentos / Tecnólogo Químico
E-mail: ciat.serviciosanaliticos@ciat.org
Tel. (57-2) 445 0100 Ext. 3351

Laboratorio de servicios analíticos Centro Internacional de Agricultura Tropical - CIAT © 2017. Todos los derechos reservados. Prohibida su modificación total o parcial
Tel. 445-01-00 Km. 17 recta Cali-Palmira

Resultados de la solicitud de análisis O2017-9



Laboratorio de servicios analíticos

INFORME DE ENSAYOS

Solicitante: UNIVERSIDAD DEL VALLE
Número serial: O2017-9
Procedencia: PTAR GINEBRA-VALLE DEL CAUCA

Fecha de muestreo: 5/10/2017
Fecha recepción de muestras: 5/10/2017
Entrega de resultados: 6/23/2017

Observaciones: CEL-3187959347
Número de muestras: 3
Tipo de análisis: Otro

TABLA DE RESULTADOS

#	Descripción	pH (null)	CE (us/cm)	N (g/L)	P (mg/L)	K (mg/L)	Ca (mg/L)	Mg (mg/L)	Na (mg/L)	SO4 (mg/L)	N-NO3 (mg/L)	CO3 (mg/L)	HCO3 (mg/L)	DUR. (mg/L)	ALC (mg/L)
1	ENTRADA DE LAGUNA ANAEROBIA	6.92	898	32.0	7.42	12.6	29.0	10.4	43.5	19.5	0.328	< LCM	2123	115	2123
2	SALIDA DE LAGUNA ANAEROBIA	6.75	852	31.6	6.40	9.95	29.03	9.84	24.3	44.9	0.0560	< LCM	1611	113	1611
3	SALIDA DE LAGUNA FACULTATIV A	6.91	806	15.06	6.10	12.2	29.0	10.1	39.01	50.5	0.0660	< LCM	1989	114	1989

Notas:

1. Los resultados presentes en este informe, se refieren únicamente a las muestras ensayadas.
2. Este informe no debe ser alterado ni total ni parcialmente.
3. El laboratorio de servicios analíticos, no efectúa ningún tipo de muestreo de campo ya que el usuario es quien suministra las muestras.
4. Los valores iguales a cero corresponden a resultados que se encuentran por debajo de los límites de cuantificación del método.
5. LCM: Límite de Cuantificación del Método.

Autoriza:

Dayron Guillerrez
Ingeniero de Alimentos / Tecnólogo Químico
E-mail: ciat.labanalitico@ciat.org
Tel. (57-2) 445 0100 Ext. 3351

Laboratorio de servicios analíticos
Tel. 445-01-00

Centro Internacional de Agricultura Tropical - CIAT © 2017. Todos los derechos reservados.
Km. 17 recta Cali-Palmira

Prohibida su modificación total o parcial

Resultados de la solicitud de análisis O2017-11



Laboratorio de servicios analíticos

INFORME DE ENSAYOS

Solicitante: UNIVERSIDAD DEL VALLE
Número serial: O2017-11
Procedencia: PTAR GINEBRA

Fecha de muestreo: 5/15/2017
Fecha recepción de muestras: 5/15/2017
Entrega de resultados: 6/23/2017

Observaciones: JORGE TROCHEZ B
Número de muestras: 3
Tipo de análisis: Otro

TABLA DE RESULTADOS

#	Descripción	pH (null)	CE (us/cm)	N-Total (mg/L)	P (mg/L)	K (mg/L)	Ca (mg/L)	Mg (mg/L)	Na (mg/L)	SO4 (mg/L)	N-NO3 (mg/L)	CO3 (mg/L)	HCO3 (mg/L)	DUR. (mg/L)	ALC (mg/L)
1	ENTRADA LAGUNA ANAEROBIA	6.39	946	30.8	7.92	13.3	23.0	9.60	72.7	117	0.0320	< LCM	1762	96.9	1762
2	SALIDA LAGUNA ANAEROBIA	6.86	1020	46.6	6.48	13.9	26.4	10.2	52.0	84.2	0.0160	< LCM	2154	113	2154
3	SALIDA LAGUNA FACULTATIV A	6.95	925	39.0	7.49	13.6	32.6	10.3	44.7	37.3	0.0300	< LCM	2169	125	2169

Notas:

1. Los resultados presentes en este informe, se refieren únicamente a las muestras ensayadas.
2. Este informe no debe ser alterado ni total ni parcialmente.
3. El laboratorio de servicios analíticos, no efectúa ningún tipo de muestreo de campo ya que el usuario es quien suministra las muestras.
4. Los valores iguales a cero corresponden a resultados que se encuentran por debajo de los límites de cuantificación del método.
5. LCM: Límite de Cuantificación del Método.

Autoriza:

Dayron Guillerrez
Ingeniero de Alimentos / Tecnólogo Químico
E-mail: ciat.labanalitico@ciat.org
Tel. (57-2) 445 0100 Ext. 3351

Laboratorio de servicios analíticos
Tel. 445-01-00

Centro Internacional de Agricultura Tropical - CIAT © 2017. Todos los derechos reservados.
Km. 17 recta Cali-Palmira

Prohibida su modificación total o parcial



Laboratorio de servicios analíticos

INFORME DE ENSAYOS

Solicitante: UNIVERSIDAD DEL VALLE/JORGE TROCHEZ

Fecha de muestreo: 5/25/2017

Observaciones: CEL3187959347

Número serial: O2017-14

Fecha recepción de muestras: 5/25/2017

Número de muestras: 3

Procedencia: PTAR- GINEBRA-VALLE

Entrega de resultados: 6/23/2017

Tipo de análisis: Otro

TABLA DE RESULTADOS

#	Descripción	pH (null)	CE (us/cm)	N-Total (mg/L)	P-Total (mg/L)	K (mg/L)	Ca (mg/L)	Mg (mg/L)	Na (mg/L)	SO4 (mg/L)	N-NO3 (mg/L)	CO3 (mg/L)	HCO3 (mg/L)	ALC (mg/L)	DUR. (mg/L)
1	ENTRADA LAGUNA ANAEROBIA	6.74	882	36.2	13.2	12.7	33.7	9.28	71.2	141	0.177	< LCM	2201	2201	122
2	SALIDA LAGUNA ANAEROBIA	6.63	995	31.2	9.45	13.8	29.9	11.0	53.8	82.2	0.0620	< LCM	2850	2850	120
3	SALIDA LAGUNA FACULTATIV A	7.15	966	32.3	9.12	15.3	29.1	11.5	56.4	78.1	0.0900	< LCM	2623	2623	120

Notas:

1. Los resultados presentes en este informe, se refieren únicamente a las muestras ensayadas.
2. Este informe no debe ser alterado ni total ni parcialmente.
3. El laboratorio de servicios analíticos, no efectúa ningún tipo de muestreo de campo ya que el usuario es quien suministra las muestras.
4. Los valores iguales a cero corresponden a resultados que se encuentran por debajo de los límites de cuantificación del método.
5. LCM: Límite de Cuantificación del Método.

Autoriza:

Dayron Gutierrez

Ingeniero de Alimentos / Tecnólogo Químico
E-mail: ciat.labanalitico@ciat.org
Tel. (57-2) 445 0100 Ext. 3351

Determinación	Método
pH (null)	pH
CE (us/cm)	Cond. Eléctrica
N-Total (g/kg)	Nitrogeno Total
P-Total (%)	Fosforo Total
K (mg/L)	Potasio
Ca (mg/L)	Calcio
Mg (mg/L)	Magnesio
Na (mg/L)	Sodio
SO4 (mg/L)	Sulfato
N-NO3 (mg/L)	Nitrato
CO3 (mg/L)	Carbonatos
HCO3 (mg/L)	Bicarbonatos
ALC (mg/L)	Alcalinidad
DUR. (mg/L)	Dureza

FIN DEL INFORME



Laboratorio de servicios analíticos

INFORME DE ENSAYOS

Solicitante: UNIVERSIDAD DEL VALLE
 Número serial: S2017-38
 Procedencia: GINEBRA

Fecha de muestreo: 3/1/2017
 Fecha recepción de muestras: 3/3/2017
 Entrega de resultados: 3/24/2017

Observaciones: CEL-3187959347
 Número de muestras: 7
 Tipo de análisis: Suelo

TABLA DE RESULTADOS

#	Descripción	pH (Un)	P-BrayII (mg/kg)	MO (g/kg)	Ca (cmol/kg)	Mg (cmol/kg)	Na (cmol/kg)	K (cmol/kg)	ClC (cmol/kg)	Fe (mg/kg)	Cu (mg/kg)	Zn (mg/kg)	Mn (mg/kg)	B (mg/kg)	S (mg/kg)
1	HACIENDA LA TRINIDAD	6.32	39.09	40.5	15.4	7.85	0.153	0.245	27.5	15.1	1.27	6.50	86.7	1.27	37.7
2	HACIENDA LA TRINIDAD	6.57	23.4	40.1	15.5	11.5	0.751	0.227	32.4	29.3	1.44	2.35	66.7	1.64	42.5
3	HACIENDA LA TRINIDAD	6.39	22.8	39.0	14.4	9.81	0.566	0.230	26.2	19.5	1.32	2.32	79.0	1.67	43.6
4	HACIENDA LA TRINIDAD	6.44	29.6	32.4	14.4	10.02	0.520	0.221	31.2	15.7	0.994	2.07	55.0	1.52	39.8
5	HACIENDA LA TRINIDAD	6.25	26.7	30.7	10.5	7.51	0.457	0.204	26.2	52.8	1.03	1.81	124	1.22	60.7
6	HACIENDA LA TRINIDAD	6.55	30.3	36.2	13.3	9.35	0.486	0.186	27.6	16.6	1.03	2.90	80.4	1.04	38.3
7	HACIENDA LA TRINIDAD	6.47	24.7	32.2	12.5	11.6	0.431	0.235	31.6	13.4	0.751	1.26	61.7	1.34	38.3

Notas:

1. Los resultados presentes en este informe, se refieren únicamente a las muestras ensayadas.
2. Este informe no debe ser alterado ni total ni parcialmente.
3. El laboratorio de servicios analíticos, no efectúa ningún tipo de muestreo de campo ya que el usuario es quien suministra las muestras.
4. Los valores iguales a cero corresponden a resultados que se encuentran por debajo de los límites de cuantificación del método.
5. LCM: Límite de Cuantificación del Método.

Autoriza:

Maria del Pilar Hurtado S

Maria del Pilar Hurtado Sánchez, Química, MSc
 Jefe del Laboratorio de Servicios Analíticos y Laboratorio
 Central de Aguas
 E-mail: m.p.hurtado@cgiar.org
 Tel. (57-3) 445 0100 Ext. 3351

Determinación	Método
pH (Un)	pH Agua 1:1
P-BrayII (mg/kg)	Fósforo Bray II Espectrometría
MO (g/kg)	Materia Orgánica Walkley-Black Espectrometría
Ca (cmol/kg)	Calcio Intercambiable (Ab. Al.)
Mg (cmol/kg)	Magnesio Intercambiable Ab. Al.
Na (cmol/kg)	Sodio Intercambiable Ab. Al.
K (cmol/kg)	Potasio Intercambiable Ab. Al.
ClC (cmol/kg)	Capacidad Int. Catiónica (Amonio Acetato) Volumal.
Fe (mg/kg)	Hierro Extract. Doble Ácido Ab. Al.
Cu (mg/kg)	Cobre Extract. Doble Ácido Ab. Al.
Zn (mg/kg)	Zinc Extract. en Doble Ácido Ab. Al.
Mn (mg/kg)	Manganeso Extract. doble Ácido Ab. Al.
B (mg/kg)	Boro en Agua Caliente (Espectrometría Azomolina)
S (mg/kg)	Azufre Extraíble (Póvilato Ca) Turbidimetría

FIN DEL INFORME



Laboratorio de servicios analíticos

INFORME DE ENSAYOS

Solicitante: FUNDACION UNIVERSIDAD DEL VALLE
 Numero serial: S2017-73
 Procedencia: GINEBRA

Fecha de muestreo: 4/24/2017
 Fecha recepción de muestras: 4/24/2017
 Entrega de resultados: 5/23/2017

Observaciones: COMPLEMENTO S-38-2017
 Numero de muestras: 7
 Tipo de análisis: Suelo

TABLA DE RESULTADOS

#	Descripción	N (%)	CE (uS/cm)
1	MUESTRA # 1	0.180	158
2	MUESTRA # 2	0.180	325
3	MUESTRA # 3	0.180	173
4	MUESTRA # 4	0.190	292
5	MUESTRA # 5	0.140	130
6	MUESTRA # 6	0.110	203
7	MUESTRA # 7	0.150	210

Notas:

- Los resultados presentes en este informe, se refieren únicamente a las muestras ensayadas.
- Este informe no debe ser alterado ni total ni parcialmente.
- En laboratorio de servicios analíticos, no efectúa ningún tipo de muestreo de campo ya que el usuario es quien suministra las muestras.
- Los valores iguales a cero corresponden a resultados que se encuentran por debajo de los límites de cuantificación del método.
- LCM: Límite de Cuantificación del Método.

Autoriza:

Maria del Pilar Hurtado S

Maria del Pilar Hurtado Sánchez, Química, MSc
 Jefe del Laboratorio de Servicios Analíticos y Laboratorio
 Central de Aguas
 E-mail: m.p.hurtado@univalle.edu.co
 Tel: (57-2) 445 9100 Ext. 3351

Determinación	Método
N (%)	Nitrogeno Total
CE (uS/cm)	Conductividad Eléctrica (Pasta Sal.)

FIN DEL INFORME

		FORMATO Versión: 1.0 Código: F-1, 3.03.01	
FACULTAD DE INGENIERIA AGUAS DEL INSTITUTO CINARA LABORATORIO DE		Página: 1 de 1	
Fecha de emisión: 09.09.2013		Título: INFORME DE RESULTADOS DE ENSAYOS	
Elaborado por: Edwin Fernando Benítez Barahona		Revisado por: Noel Muñoz Soto	
Aprobado por: Director General		N° 0382	
FECHA (dd.mm.aaaa): 13.06.2017		N° 0382	

Código interno de la muestra: MF-ADI-0382-17		Fecha de recepción: 02.05.2017
Fecha de muestreo: 02.05.2017	Hora de muestreo:	Fecha realización de ensayos: 02.05.2017
Muestreado por: Jorge Trochez	Lugar de muestreo: Ptar Ginebra	Dirección:
Empresa: Proyecto Regalías	Teléfono:	E-mail:
Servicios solicitados por: Jorge Trochez		Ciudad: Cali
Descripción de la muestra: Entrada y salida laguna anaerobia, Efluente laguna facultativa.		

RESULTADOS DE LOS ENSAYOS DE CALIDAD DE AGUA

PARÁMETRO	MÉTODO	Afluente Anaerobia	Efluente Anaerobia	Efluente Facultativa
DQO (mg/L)	Reflujo	525	147	177
Sólidos suspendidos totales (mg/L)	co	60	37	43
Coliformes Totales (UFC/100ml)	Filtración	63000000	9700000	7200000
Coliformes Totales (Unidad log de)	Filtración	7,8	6,99	6,86
Coliformes Fecales (UFC/100ml)	Filtración	26000000	6300000	2800000
Coliformes Fecales (Unidad Log de)	Filtración	7,4	6,80	6,4
Huevos de Helminths (Numero Huevos)	Belenger	7	0	0

Dgta. Andree Verges

- Los resultados presentes en este informe se refieren únicamente a los ensayos realizados a la muestra.
- Se prohíbe la reproducción parcial o total de este informe sin el consentimiento del laboratorio.

Maureen Aguirre
 COORDINADOR DEL LABORATORIO

Daniela López R.
 ANALISTA MICROBIOLÓGICO

Cristian I. Castañeda
 ANALISTA DE FÍSICOQUÍMICO

LABORATORIO DE AGUAS DEL INSTITUTO CINARA

Cra 15 con Calle 75 Esquina, Puerto Mallarino
 Teléfono: 662 9505 - Telefax: 662 9488

Correos electrónicos: clara.gonzalez@correounivalle.edu.co; noel.munoz@correounivalle.edu.co

 FACULTAD DE INGENIERIA AGUAS DEL INSTITUTO CINARA LABORATORIO DE		FORMATO		Versión: 1.0	Código: F-1. 3.03.01
Fecha de emisión: 09.09.2013		Título: INFORME DE RESULTADOS DE ENSAYOS			
Elaborado por: Edwin Fernando Benítez Barahona		Revisado por: Noel Muñoz Soto		Aprobado por: Director General	

FECHA (dd.mm.aaaa):	13.06.2017	N° 0396
---------------------	------------	---------

Código interno de la muestra: MF-ADI-0396-17		Fecha de recepción: 05.05.2017
Fecha de muestreo: 05.05.2017	Hora de muestreo:	Fecha realización de ensayos: 05.05.2017
Muestreado por: Jorge Trochez	Lugar de muestreo: Ptar Ginebra	Dirección:
Empresa: Proyecto Regalias	Teléfono:	E-mail:
Servicios solicitados por: Jorge Trochez	Ciudad: Cali	
Descripción de la muestra: Entrada y salida laguna anaerobia, Efluente laguna facultativa.		

RESULTADOS DE LOS ENSAYOS DE CALIDAD DE AGUA				
PARÁMETRO	MÉTODO	Afluente Anaerobia	Efluente Anaerobia	Efluente Facultativa
DQO (mg/L)	Reflujo	561	258	208
Sólidos suspendidos totales (mg/L)	co	50	223	197
Coliformes Totales (UFC/100ml)	Filtración	20000000	9400000	5300000
Coliformes Totales (Unidad log de		7,3	6,97	6,72
Coliformes Fecales (UFC/100ml)	Filtración	17000000	5400000	1500000
Coliformes Fecales (Unidad Logs de		7,2	6,73	6,2
Huevos de Helmintos (Número Huevos)	Balenger	7	0	0

Digit: Andrés Vargas

1. Los resultados presentes en este informe se refieren únicamente a los ensayos realizados a la muestra.
2. Se prohíbe la reproducción parcial o total de este informe sin el consentimiento del laboratorio.


 COORDINADOR DEL LABORATORIO


 ANALISTA MICROBIOLÓGICO


 ANALISTA DE FÍSICOQUÍMICO

LABORATORIO DE AGUAS DEL INSTITUTO CINARA
 Cra 15 con Calle 75 Esquina, Puerto Mallarino
 Teléfono: 662 9505 - Telefax: 662 9488
 Correos electrónicos: clara.gonzalez@correounivalle.edu.co; noel.munoz@correounivalle.edu.co

 FACULTAD DE INGENIERIA AGUAS DEL INSTITUTO CINARA LABORATORIO DE		FORMATO		Versión: 1.0	Código: F-1. 3.03.01
Fecha de emisión: 09.09.2013		Título: INFORME DE RESULTADOS DE ENSAYOS			
Elaborado por: Edwin Fernando Benítez Barahona		Revisado por: Noel Muñoz Soto		Aprobado por: Director General	

FECHA (dd.mm.aaaa):	13.06.2017	N° 0411
---------------------	------------	---------

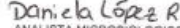
Código interno de la muestra: MF-ADI-0411-17		Fecha de recepción: 10.05.2017
Fecha de muestreo: 10.05.2017	Hora de muestreo:	Fecha realización de ensayos: 10.05.2017
Muestreado por: Jorge Trochez	Lugar de muestreo: Ptar Ginebra	Dirección:
Empresa: Proyecto Regalias	Teléfono:	E-mail:
Servicios solicitados por: Jorge Trochez	Ciudad: Cali	
Descripción de la muestra: Entrada y salida laguna anaerobia, Efluente laguna facultativa.		

RESULTADOS DE LOS ENSAYOS DE CALIDAD DE AGUA				
PARÁMETRO	MÉTODO	Afluente Anaerobia	Efluente Anaerobia	Efluente Facultativa
DQO (mg/L)	Reflujo	287	247	131
Sólidos suspendidos totales (mg/L)	co	50	48	123
Coliformes Totales (UFC/100ml)	Filtración	23000000	5300000	3200000
Coliformes Totales (Unidad log de		7,4	6,72	6,51
Coliformes Fecales (UFC/100ml)	Filtración	19000000	4000000	2900000
Coliformes Fecales (Unidad Logs de		7,3	6,60	6,5
Huevos de Helmintos (Número Huevos)	Balenger	7	0	0

Digit: Andrés Vargas

1. Los resultados presentes en este informe se refieren únicamente a los ensayos realizados a la muestra.
2. Se prohíbe la reproducción parcial o total de este informe sin el consentimiento del laboratorio.


 COORDINADOR DEL LABORATORIO


 ANALISTA MICROBIOLÓGICO


 ANALISTA DE FÍSICOQUÍMICO

LABORATORIO DE AGUAS DEL INSTITUTO CINARA
 Cra 15 con Calle 75 Esquina, Puerto Mallarino
 Teléfono: 662 9505 - Telefax: 662 9488
 Correos electrónicos: clara.gonzalez@correounivalle.edu.co; noel.munoz@correounivalle.edu.co

 FACULTAD DE INGENIERIA AGUAS DEL INSTITUTO CINARA LABORATORIO DE	FORMATO	Versión:	Código:
		1.0	F-1. 3.03.01
Fecha de emisión: 09.09.2013 Elaborado por: Edwin Fernando Benítez Barahona		Título: INFORME DE RESULTADOS DE ENSAYOS Revisado por: Noel Muñoz Soto Aprobado por: Director General	

FECHA (dd.mm.aaaa):	13.06.2017	N° 0444
---------------------	------------	---------

Código interno de la muestra: MF-ADI-0444-17		Fecha de recepción: 15.05.2017
Fecha de muestreo: 15.05.2017	Hora de muestreo:	Fecha realización de ensayos: 15.05.2017
Muestreado por: Jorge Trochez	Lugar de muestreo: Ptar Ginebra	Dirección:
Empresa: Proyecto Regalías	Teléfono:	E-mail:
Servicios solicitados por: Jorge Trochez		Ciudad: Cali
Descripción de la muestra: Entrada y salida laguna anaerobia, Efluente laguna facultativa.		

RESULTADOS DE LOS ENSAYOS DE CALIDAD DE AGUA				
PARÁMETRO	MÉTODO	Afluente Anaerobia	Efluente Anaerobia	Efluente Facultativa
DQO (mg/L)	Reflujo	551	241	218
Sólidos suspendidos totales (mg/L)	co	177	143	67
Coliformes Totales (UFC/100ml)	Filtración	5400000	830000	420000
Coliformes Totales (Unidad log de)	Filtración	6,7	5,92	5,62
Coliformes Fecales (UFC/100ml)	Filtración	300000	580000	13200
Coliformes Fecales (Unidad Logs de)	Filtración	5,5	5,76	4,1
Huevos de Helmintos (Número Huevos)	Bailenger	7	0	0

1. Los resultados presentes en este informe se refieren únicamente a los ensayos realizados a la muestra.
 2. Se prohíbe la reproducción parcial o total de este informe sin el consentimiento del laboratorio.


 COORDINADOR DEL LABORATORIO


 ANALISTA MICROBIOLÓGICO


 ANALISTA DE FÍSICOQUÍMICO

LABORATORIO DE AGUAS DEL INSTITUTO CINARA
 Cra 15 con Calle 75 Esquina, Puerto Mallarino
 Teléfono: 662 9505 - Telefax: 662 9488
 Correos electrónicos: clara.gonzalez@correounivalle.edu.co; noel.munoz@correounivalle.edu.co

 FACULTAD DE INGENIERIA AGUAS DEL INSTITUTO CINARA LABORATORIO DE	FORMATO	Versión:	Código:
		1.0	F-1. 3.03.01
Fecha de emisión: 09.09.2013 Elaborado por: Edwin Fernando Benítez Barahona		Título: INFORME DE RESULTADOS DE ENSAYOS Revisado por: Noel Muñoz Soto Aprobado por: Director General	

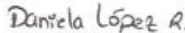
FECHA (dd.mm.aaaa):	13.06.2017	N° 0494
---------------------	------------	---------

Código interno de la muestra: MF-ADI-0494-17		Fecha de recepción: 25.05.2017
Fecha de muestreo: 25.05.2017	Hora de muestreo:	Fecha realización de ensayos: 25.05.2017
Muestreado por: Jorge Trochez	Lugar de muestreo: Ptar Ginebra	Dirección:
Empresa: Proyecto Regalías	Teléfono:	E-mail:
Servicios solicitados por: Jorge Trochez		Ciudad: Cali
Descripción de la muestra: Entrada y salida laguna anaerobia, Efluente laguna facultativa.		

RESULTADOS DE LOS ENSAYOS DE CALIDAD DE AGUA				
PARÁMETRO	MÉTODO	Afluente Anaerobia	Efluente Anaerobia	Efluente Facultativa
DQO (mg/L)	Reflujo	569	236	206
Sólidos suspendidos totales (mg/L)	co	100	70	27
Coliformes Totales (UFC/100ml)	Filtración	4,80E+07	7,70E+07	1,22E+07
Coliformes Totales (Unidad log de)	Filtración	7,7	7,69	7,09
Coliformes Fecales (UFC/100ml)	Filtración	6,60E+07	1,80E+07	8,20E+05
Coliformes Fecales (Unidad Logs de)	Filtración	7,8	7,26	5,9
Huevos de Helmintos (Número Huevos)	Bailenger	7	0	0

1. Los resultados presentes en este informe se refieren únicamente a los ensayos realizados a la muestra.
 2. Se prohíbe la reproducción parcial o total de este informe sin el consentimiento del laboratorio.


 COORDINADOR DEL LABORATORIO


 ANALISTA MICROBIOLÓGICO


 ANALISTA DE FÍSICOQUÍMICO

LABORATORIO DE AGUAS DEL INSTITUTO CINARA
 Cra 15 con Calle 75 Esquina, Puerto Mallarino
 Teléfono: 662 9505 - Telefax: 662 9488
 Correos electrónicos: clara.gonzalez@correounivalle.edu.co; noel.munoz@correounivalle.edu.co

ANEXO B. Características de corrosión e índice de saturación - metodología Hach®

Tabla I. Temperatura del Agua.

Temperatura del agua (°C)	A
0	2,6
4	2,5
8	2,4
12	2,3
16	2,2
20	2,1
25	2
30	1,9
40	1,7
50	1,55
60	1,4
70	1,25
80	1,15

Tabla II. Temperatura de sólidos Disueltos.

SDT (Sólidos disueltos totales mg/l)	B
0	9,7
100	9,77
200	9,83
400	9,86
600	9,89
1000	9,9

Tabla III. Dureza o alcalinidad.

Dureza o alcalinidad en mg/l Ca CO ₃	C ¹ o D ²
10	1
20	1,3
30	1,48
40	1,6
50	1,7
60	1,78
70	1,84
80	1,9
100	2
200	2,3
300	2,48
400	2,6
500	2,7
600	2,78
700	2,84
800	2,9
900	2,95
1000	3

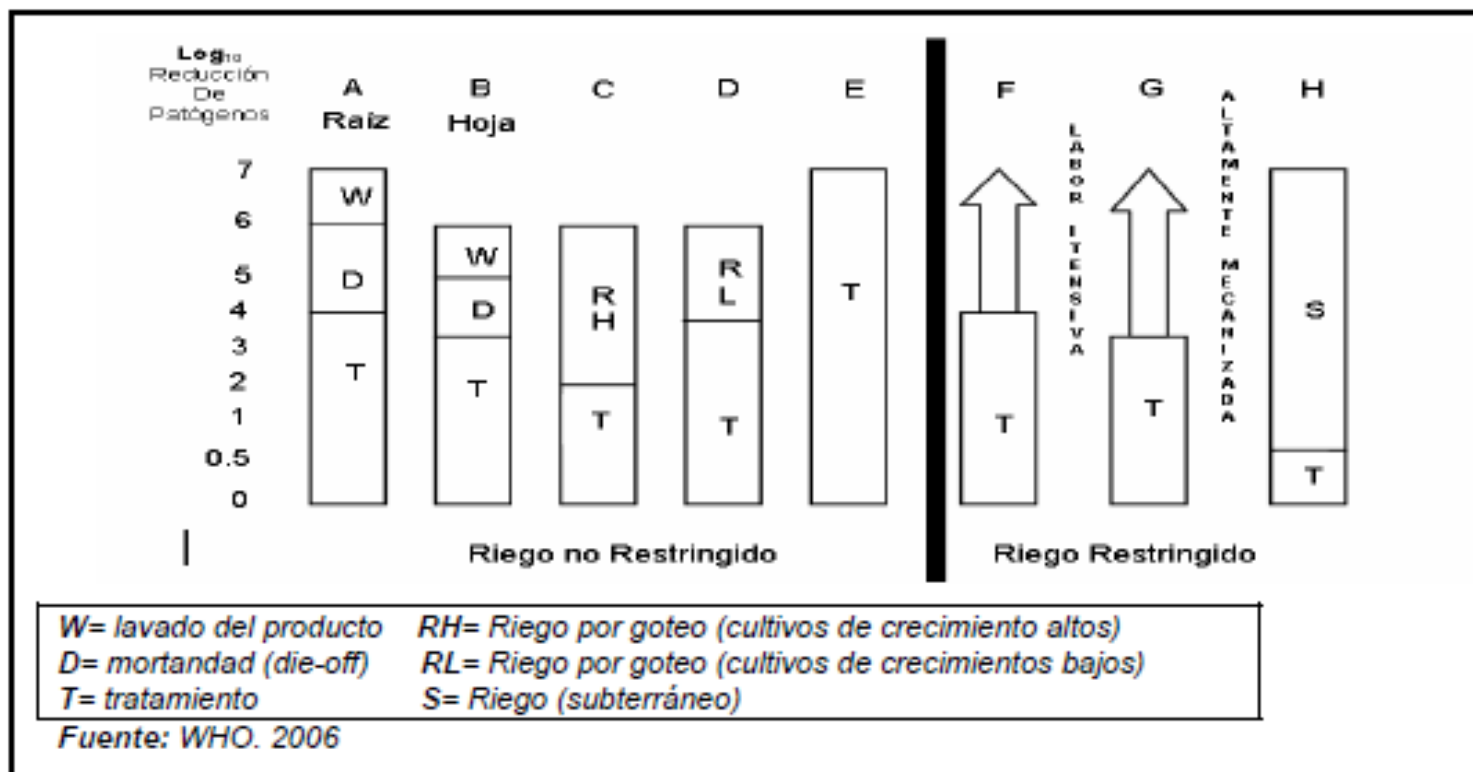
¹Factor C es el logaritmo (base 10) de la dureza de calcio, expresada en mg/l

²Factor C es el logaritmo (base 10) de la alcalinidad total, expresada en mg/l

Tabla IV. Características de Corrosión.

Características corrosivas	Índice de Langelier	Índice de agresividad
Altamente agresivo	< -2,0	<10,0
Moderadamente agresivo	-2 hasta 0,0	10,0 hasta 12,0
No agresivo	> 0,0	>12,0

ANEXO C. Opciones para la reducción de patógenos virales, bacteriales y protozoarios



Fuente: WHO (2006) citado por García y Tascon (2007).

ANEXO D. REQUERIMIENTOS DE NUTRIENTES N, P, K DE SUELOS ANALIZADOS

A continuación, se presenta estándares de Quintero (1995) empleados en la creación del plan de fertilización. Los requerimientos nutricionales del cultivo se definieron específicamente para socas de caña de azúcar y al análisis químico de los suelos.

Requerimientos de nitrógeno

M.O EN EL SUELO (%)	Drenaje del suelo					
	Bueno		Pobre		Muy pobre	
	P	S	P	S	P	S
<2	80	125	100	150	120	175
2 - - 4	60	100	80	125	100	150
>4	40	75	60	100	80	125

FUENTE. Adaptado de Quintero (1995)

De acuerdo a la anterior tabla y tomando en consideración algunos de los parámetros del suelo como el contenido de MO (%) (en suelos analizados es 3,57%) y drenaje del suelo como bueno, se definió una dosis de aplicación de N al suelo: 100 kg/Ha.

Requerimientos de fosforo

Estándar para fosforo (P)

Contenido de P disponible (ppm o mg/kg)	Categoría	Dosis de P205 (Kg/Ha)
<5	Baja	50
5 -- 10	Mediana	30
> 10	Alta	- -

FUENTE. Adaptado de Quintero (1995)

De acuerdo al anterior diagrama y a los resultados obtenidos de analisis quimicos de suelos; los sustratos presenta un contenido de fosforo mayor a 10 ppm (alto); por tanto, se estima que no es necesario aplicar este nutrimento a los suelos analizados.

Requerimientos de potasio

Estándar para potasio (K)

Contenido de K intercambiable (cmol/kg)	Categoría	Dosis de K20 (kg/ha)
<0,15	Baja	60
0,15 - - 0,30	Mediana	30
>0,3	Alta	--

FUENTE: Adaptado de Quintero (1997).

A partir del anterior diagrama y resultados de análisis químicos efectuados al suelo (**Tabla 23**); cada uno de ellos presenta un contenido de potasio perteneciente al rango de 0,15 – 0, 30 cmol/kg (categoría: medio), por lo cual, fue estimada una aplicación 30 Kg/Ha.