



EVALUACIÓN DEL POTENCIAL DE REUSO DE AGUAS RESIDUALES TRATADAS EN LA PTAR DE EL CERRITO PARA RIEGO EN CULTIVOS DE CAÑA DE AZÚCAR



**CHRISTIAN CAMILO POLANÍA JANZASOY
DIANA MILENA TOLORZA VARGAS**

Cali, Colombia - 2020



**EVALUACIÓN DEL POTENCIAL DE REUSO DE AGUAS RESIDUALES
TRATADAS EN LA PTAR DE EL CERRITO PARA RIEGO EN CULTIVOS DE
CAÑA DE AZÚCAR**

ELABORADO POR:

**CHRISTIAN CAMILO POLANÍA JANZASOY - 1226239
DIANA MILENA TOLORZA VARGAS - 1627109**

Trabajo de grado presentado para optar por el título de Ingeniero Agrícola

DIRECTORES

**ANDRÉS FERNANDO ECHEVERRI SÁNCHEZ
Ingeniero Agrícola, M.Sc., PhD**

**INÉS RESTREPO TARQUINO
Ingeniera Sanitaria, M.Sc., PhD**

**UNIVERSIDAD DEL VALLE
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE INGENIERÍA AGRÍCOLA
CALI, COLOMBIA
2020**

NOTA DE ACEPTACIÓN

Paola Andrea Angulo Rojas
Jurado evaluador

Carlos Arturo Madera Parra
Jurado evaluador

Santiago de Cali, (día)/ (mes)/ 2020



DEDICATORIA

Quiero agradecer a Dios por brindarme la gracia de demostrar mis habilidades y conocimientos durante el transcurrir de mi pregrado. Por regalarme el don de la paciencia, fortaleza y sabiduría; además de concederme los talentos de la responsabilidad, perspicacia y entusiasmo, para dar cumplimiento a mis actividades diarias de la mejor manera. Igualmente, a la Virgen María por interceder a mis peticiones ante nuestro Padre Celestial.

De manera especial y con total entrega dedico este logro a mis padres Fernando Polanía y Yaneth Janzasoy por inculcarme los valores necesarios, y a mi hermana Ángela Polanía por su amor y apoyo incondicional durante el transcurrir de la vida. Han sido el motor principal para crecer personal y profesionalmente.

A mis abuelos, familiares, amigos y demás personas que me apoyaron, aconsejaron y animaron durante las dificultades; y así mismo celebraron o tuvieron una muestra de afecto durante las diversas vivencias.

A Diana Tolorza por su valiosa amistad y compañía durante los últimos años, resaltando su esfuerzo y dedicación para dar cumplimiento de manera satisfactoria a este trabajo de grado.

Christian Camilo Polanía Janzasoy

Agradecer primero que todo a Dios, por ser mi guía y el responsable de cumplir mi sueño de ser una profesional, poder graduarme como ingeniera agrícola, la carrera que escogí con mucho amor y a la que respeto.

Agradezco enormemente a mi madre Olga Vargas y a mi padre Asmed Tolorza, por haberme dado la oportunidad de formarme en esta prestigiosa universidad y haber sido mi apoyo durante todo este tiempo. Les dedico este logro a ellos, también a mi hermana gemela Mónica Tolorza y a mi novio Steven Ante quién estuvo presente durante 4 años ofreciendo su ayuda, su apoyo y su amor.

Gracias a Camilo Polanía porque juntos terminamos este trabajo de grado con mucho esfuerzo y sacrificios, eres un gran compañero de clase, de tesis y un gran amigo que me regaló la vida.

Diana Milena Tolorza Vargas



AGRADECIMIENTOS

A la Universidad del Valle y al programa académico de Ingeniería Agrícola, por brindarnos la oportunidad de adquirir e implementar todas las herramientas y conocimientos a lo largo de nuestro trasegar académico.

Nuestro más sincero sentido de gratitud a nuestro director Andrés Fernando Echeverri Sánchez y codirectora Inés Restrepo Tarquino, por su generoso acompañamiento, invaluable apoyo, confianza depositada y compromiso constante a lo largo de este tiempo.

A nuestros evaluadores Paola Andrea Angulo Rojas y Carlos Arturo Madera Parra, por sus valiosas contribuciones para dar cumplimiento a este trabajo investigativo.

A la Planta de Tratamientos de Aguas Residuales (PTAR) del municipio El Cerrito, Valle del Cauca (Colombia) por brindarnos el espacio para llevar a cabo la ejecución de este proyecto; y manera especial, al Ingeniero Carlos Fernando Rojas por confiar en nosotros. También queremos resaltar las labores de Luisa Medina, Pablo Medina, Tulio Medina y Valentina Domínguez por su acogida y constante colaboración; y en general, al personal que allí labora por sus aportes durante este proceso.

Al ingeniero Norberto Urrutia Cobo, y a cada una de las personas que integran los grupos de investigación REGAR perteneciente a la Escuela de Ingeniería de Recursos Naturales y del Ambiente (EIDENAR) y Saneamiento Ambiental del Instituto Cinara, por su acogida y permitir afianzar nuestras habilidades investigativas.

A María Fernanda Vásquez por su colaboración y gestión durante su labor como secretaria del programa académico al que pertenecemos.

A los Grupos de Apoyo a la Cultura Académica (GRACA), por sus ayudadas y correcciones en la redacción del documento.

A Melina Ruíz, Kiara Preciado, y a todos aquellos que contribuyeron directa o indirectamente para la realización de este trabajo de investigación.



RESUMEN

A nivel mundial la calidad del agua está siendo impactada constantemente por las descargas provenientes de las aguas residuales municipales e industriales, lo que se ha convertido en una problemática ambiental crucial. El siguiente documento desarrolla los resultados del proyecto investigativo realizado en la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) del municipio de El Cerrito, ubicado en el departamento del Valle del Cauca (Colombia). El agua residual tratada en esta PTAR es una combinación entre aguas residuales domésticas y aguas de producción industrial, más concretamente las producidas por las curtiembres cerriteñas que operan en el municipio.

El trabajo investigativo descrito en el cuerpo del trabajo fue considerado netamente exploratorio. La metodología empleada para dar cumplimiento a los objetivos emprendió con una revisión previa de literatura, abarcando conceptos técnicos correspondientes a las aplicaciones de riego empleando aguas residuales tratadas, además del reconocimiento y caracterización de la zona de estudio. Se realizó un balance hídrico variando la precipitación, meses de siembra y métodos de riego para obtener un total de 18 escenarios diferentes con base a los datos climatológicos reportados por la estación Ginebra (26095290) perteneciente a Cenicaña. Estos valores fueron extraídos del boletín de condiciones hídricas para determinar las áreas beneficiadas a regar con el agua residual tratada en la PTAR, tanto almacenando el efluente como sin desarrollar la actividad de almacenamiento.

Se evaluó la calidad agronómica del agua residual tratada considerando una base de datos histórica, y adicionalmente se llevó a cabo un muestreo considerando 7 evaluaciones tomados en el punto de salida del efluente; es decir, una vez el agua residual ha pasado por un proceso de depuración. Los criterios tenidos en cuenta para la salinización y sodicidad fueron los establecidos por la FAO (1985), USDA (1954) y Villafañe (2011). De igual manera se siguieron las recomendaciones propuestas por la WHO (2006), Bucks & Nakayama (1986) y se evaluó el índice de Langelier, para determinar el peligro de toxicidad, riesgo microbiológico, peligro de obturación por emisores de riego localizado de alta frecuencia (RLAF) y el peligro de afectación de infraestructura metálica de sistemas de riego, respectivamente. Por otra parte, se empleó una encuesta virtual mediante el formulario de Google para recolectar información significativa que condujo a la determinación de la disponibilidad a pagar (DAP) por parte de los cañeros pertenecientes al valle geográfico del río Cauca.

Con base a los resultados obtenidos para los 18 escenarios propuestos se pudo identificar que la precipitación suplió la demanda en algunas ocasiones, mientras que en otras si es necesario emplear el riego artificial. También se pudo constatar la eficiencia del riego por goteo al obtener menores volúmenes de agua, donde los escenarios 1.3 y 2.3 manifestaron mayores áreas beneficiadas (tanto almacenando el agua residual tratada como sin realizar la actividad); sin embargo, se opta por trabajar bajo el escenario crítico correspondiendo al escenario 2.3. La calidad agronómica del efluente reflejó el cumplimiento de los estándares establecidos, exceptuando por la alta presencia de huevos de helminto y no se considera no apta para riego agrícola. Finalmente, se obtuvieron 8 interacciones por parte de los cañeros mediante la encuesta virtual, donde el 50% de ellos expresaron estar interesados en la adquisición del agua residual tratada con fines de reuso, manifestando una DAP de 2,50 \$/m³.

PALABRAS CLAVES: Reuso agrícola, potencial del agua residual, alcance de abastecimiento, calidad agronómica, costo de venta.

TABLA DE CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN	1
2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	2
3. JUSTIFICACIÓN	3
4. ANTECEDENTES.....	4
4.1. Experiencias relacionadas con el reuso de aguas residuales tratadas en la agricultura...	4
5. MARCO TEÓRICO	10
5.1. AGUAS RESIDUALES	10
5.1.1. Aguas residuales industriales	10
5.1.2. Aguas residuales domésticas.....	10
5.1.3. Aguas residuales municipales	10
5.2. Tratamiento de aguas residuales	10
5.2.1. Tratamiento preliminar.....	10
5.2.2. Tratamiento primario	10
5.2.3. Tratamiento secundario	10
5.3. Concepto de reuso de aguas residuales tratadas.....	11
5.3.1. Reuso en agricultura.....	11
5.3.2. Reuso del agua residual en el Valle del Cauca	11
5.4. Parámetros de calidad.....	12
5.5. Demanda hídrica en el sector cañicultor	14
5.5.1. Evaporación: Ev	14
5.5.2. Evapotranspiración del cultivo en condición real: ET	14
5.5.3. Precipitación efectiva	15
5.5.4. Necesidades de riego neta	15
5.5.5. Eficiencias de un proyecto de riego	15
5.5.6. Necesidades de riego total.....	16
5.5.7. Caudal demandado en flujo continuo.....	16
5.6. Degradación de suelos.....	16
5.7. Indicadores de salinidad en suelos	16
5.7.1. Criterios de peligro de salinidad por calidad de agua para riego	17
5.8. Indicadores de sodicidad en el suelo	18
5.8.1. Criterios de peligro de sodicidad por calidad de agua para riego	19
5.9. Amenaza de toxicidad de cultivos.....	21
5.10. Riesgo microbiológico	21
5.10.1. Verificación y calidad microbiológica	21
5.11. Peligro de obturación de emisores RLAF	24
5.12. Peligro de afectación de infraestructura metálica de sistemas de riego	24
5.13. Potencial de comercialización del agua residual tratada	25
5.13.1. Beneficios potenciales del agua residual tratada.....	25
5.13.2. Recolección de datos como técnica para comercialización	27
5.13.3. Valoración contingente	28
6. OBJETIVOS.....	31
6.1. Objetivo General	31
6.2. Objetivos Específicos.....	31
7. METODOLOGÍA.....	32
7.1. Localización de la zona de estudio.....	32

7.2. Metodología para cumplir el objetivo específico 1	33
7.3. Metodología para cumplir el objetivo específico 2	35
7.3.1. Peligro de salinización	36
7.3.2. Peligro de sodicidad	36
7.3.3. Peligro de toxicidad.....	37
7.3.4. Riesgo microbiológico	37
7.3.5. Peligro de obturación de emisores RLAF	37
7.3.6. Peligro de afectación de infraestructura metálica de sistemas de riego	37
7.4. Metodología para cumplir el objetivo específico 3.....	38
7.4.1. Definición del plan de muestreo y aplicación del instrumento	39
7.4.2. Sistematización y análisis de respuestas	39
8. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	41
8.1. Caracterización y descripción de la zona de estudio.....	41
8.2. Resultados del objetivo específico 1	43
8.2.1. Estimación de la demanda hídrica	43
8.2.2. Comportamiento de la demanda hídrica	46
8.2.3. Áreas a beneficiarse con el efluente de la PTAR.....	51
8.3. Resultados del objetivo específico 2	58
8.3.1. Peligro de salinidad.....	61
8.3.2. Peligro de sodicidad	61
8.3.3. Amenaza de toxicidad	64
8.3.4. Riesgo microbiológico	64
8.3.5. Peligro de obturación de emisores RLAF	65
8.3.6. Peligro de afectación de infraestructura metálica de sistemas de riego	66
8.4. Resultados del objetivo específico 3	67
8.4.1. Identificación de actores involucrados.....	67
8.4.2. Sistematización y análisis de respuestas	67
9. CONCLUSIONES.....	74
9.1. Conclusiones del objetivo específico 1	74
9.2. Conclusiones del objetivo específico 2	74
9.3. Conclusiones del objetivo específico 3	75
10. RECOMENDACIONES	76
11. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	77
12. ANEXOS.....	83
12.1. Anexos de la encuesta virtual.....	83
12.2. Anexos del laboratorio Análisis Ambiental	84
12.3. Anexos del laboratorio Aguas del Instituto Cinara	88



LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Experiencias internacionales relacionadas con la aplicación de aguas residuales tratadas en agricultura	5
Tabla 2. Experiencias nacionales relacionadas con la aplicación de aguas residuales tratadas en agricultura	7
Tabla 3. Concentraciones máximas recomendadas para elementos del agua de riego	12
Tabla 4. Análisis comunes usados para evaluar los constituyentes encontrados en el agua residual.....	12
Tabla 5. Valores específicos de K para la caña de azúcar	15
Tabla 6. Rango de los niveles críticos de sanilidad en el suelo	17
Tabla 7. Clasificación de amenaza de salinidad en el agua de riego	17
Tabla 8. Clasificación de peligrosidad a la salinidad por el agua de riego	17
Tabla 9. Matriz de calificación de peligro de salinización de suelos.....	18
Tabla 10. Clasificación de los suelos según su contenido de sodio intercambiable	18
Tabla 11. Clasificación de peligrosidad a la sodificación por el agua de riego	19
Tabla 12. Concentración de Ca^0 en función de la CE y de la relación HCO_3/Ca	20
Tabla 13. Criterio para evaluar peligro de sodicidad relacionado con peligro de salinidad....	20
Tabla 14. Toxicidad en el riego	21
Tabla 15. Concentraciones de organismos excretados en aguas residuales.....	22
Tabla 16. Objetivos basados en la salud para el uso de agua residual para agricultura.....	22
Tabla 17. Monitoreos de verificación mínima recomendada de los objetivos de desempeño microbiano para el uso de aguas residuales y excretas en la agricultura	23
Tabla 18. Sensibilidad a la obturación (RLAF)	24
Tabla 19. Criterios para evaluar el peligro de obturación RLAF	24
Tabla 20. Índices Langelier para conocer la característica del agua.....	25
Tabla 21. Variedades de caña de azúcar en el valle geográfico del río Cauca	26
Tabla 22. Técnicas para establecer contacto con el público	27
Tabla 23. Evaluación de técnicas de muestreo	28
Tabla 24. Datos específicos de la estación Ginebra.....	33
Tabla 25. Eficiencias de riego.....	34
Tabla 26. Parámetros suministrados por la PTAR para determinar la calidad del efluente	35
Tabla 27. Parámetros evaluados del muestreo para determinar la calidad del efluente	36
Tabla 28. Tabla de factores para calcular IL.....	38
Tabla 29. Tarifas para determinar la TUA	40
Tabla 30. Señalización de la PTAR	42
Tabla 31. Escenario 1.1 de la demanda hídrica empleando precipitación al 50% y considerando enero como inicio de siembra	44
Tabla 32. Escenario 2.1 de la demanda hídrica empleando precipitación al 75% y considerando enero como inicio de siembra	45
Tabla 33. Valores de áreas que se beneficiarán con el efluente en el escenario 1.1.....	52
Tabla 34. Valores de áreas que se beneficiarán con el efluente en el escenario 1.2.....	53
Tabla 35. Valores de áreas que se beneficiarán con el efluente en el escenario 1.3.....	54

Tabla 36. Valores de áreas que se beneficiarán con el efluente en el escenario 2.1.....	55
Tabla 37. Valores de áreas que se beneficiarán con el efluente en el escenario 2.2.....	56
Tabla 38. Valores de áreas que se beneficiarán con el efluente en el escenario 2.3.....	57
Tabla 39. Resultados históricos para determinar la calidad agronómica.....	59
Tabla 40. Resultados experimentales para determinar la calidad agronómica	59
Tabla 41. Diferencias entre valores históricos a través del tiempo.....	60
Tabla 42. Diferencias entre las muestras evaluadas experimentalmente a través del tiempo..	60
Tabla 43. Resultados de los valores de Calcio corregido para agua de riego	61
Tabla 44. Resultados de la RAS° para determinar el peligro de sodicidad en el agua para riego	62
Tabla 45. Resultados de la RAS _{mod} para determinar el peligro de sodicidad en el agua para riego	63
Tabla 46. Valores de los factores acordes a los datos históricos	66
Tabla 47. Resultados obtenidos del ISL para el efluente.....	66
Tabla 48. Caracterización de los actores involucrados para el reuso	67
Tabla 49. Resumen del consolidado de respuestas	68
Tabla 50. Propietarios agrícolas por municipio o corregimiento.....	69
Tabla 51. Valor promedio de DAP	73

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Reducción de la infiltración en función del RAS° y de la CE del agua de riego	20
Figura 2. Valle geográfico del río Cauca	26
Figura 3. Formatos de pregunta bajo MVC	29
Figura 4. Localización de la zona de estudio. PTAR El Cerrito, Valle del Cauca	32
Figura 5. Fotografía aérea de la PTAR El Cerrito, Valle del Cauca.....	32
Figura 6. Planteamiento de escenarios para el objetivo 1	33
Figura 7. Diagrama metodológico para el cálculo de la demanda hídrica.....	34
Figura 8. Proceso inicial para la toma de muestras.....	35
Figura 9. Proceso final para la toma de muestras	35
Figura 10. Distribución de los muestreos realizados	36
Figura 11. Metodología general para determinar la DAP	39
Figura 12. Rejillas y desarenador.....	41
Figura 13. Ingreso del efluente	41
Figura 14. Laguna anaerobia de alta tasa.....	41
Figura 15. Laguna facultativa	41
Figura 16. Punto de salida del efluente	42
Figura 17. Vertimiento Río Sabaletas.....	42
Figura 18. Esquema de operatividad en la PTAR.....	42
Figura 19. Aves residentes del sector	43
Figura 20. Iguazas y pellares en las lagunas facultativas.....	43
Figura 21. Demanda-escenario 1.1 por gravedad	46
Figura 22. Demanda-escenario 1.1 por aspersión.....	46
Figura 23. Demanda-escenario 1.1 por goteo	46
Figura 24. Demanda-escenario 1.2 por gravedad	47
Figura 25. Demanda-escenario 1.2 por aspersión.....	47
Figura 26. Demanda-escenario 1.2 por goteo	47
Figura 27. Demanda-escenario 1.3 por gravedad	48
Figura 28. Demanda-escenario 1.3 por aspersión.....	48
Figura 29. Demanda-escenario 1.3 por goteo	48
Figura 30. Demanda-escenario 2.1 por gravedad	49
Figura 31. Demanda-escenario 2.1 por aspersión.....	49
Figura 32. Demanda-escenario 2.1 por goteo	49
Figura 33. Demanda-escenario 2.2 por gravedad	50
Figura 34. Demanda-escenario 2.2 por aspersión.....	50
Figura 35. Demanda-escenario 2.2 por goteo	50
Figura 36. Demanda-escenario 2.3 por gravedad	51
Figura 37. Demanda-escenario 2.3 por aspersión.....	51
Figura 38. Demanda-escenario 2.3 por goteo	51
Figura 39. Área del escenario 1.1 por gravedad	52
Figura 40. Área del escenario 1.1 por aspersión.....	52
Figura 41. Área del escenario 1.1 por goteo	52

Figura 42. Área del escenario 1.2 por gravedad	53
Figura 43. Área del escenario 1.2 por aspersión.....	53
Figura 44. Área del escenario 1.2 por goteo	53
Figura 45. Área del escenario 1.3 por gravedad	54
Figura 46. Área del escenario 1.3 por aspersión.....	54
Figura 47. Área del escenario 1.3 por goteo	54
Figura 48. Área del escenario 2.1 por gravedad	55
Figura 49. Área del escenario 2.1 por aspersión.....	55
Figura 50. Área del escenario 2.1 por goteo	55
Figura 51. Área del escenario 2.2 por gravedad	56
Figura 52. Área del escenario 2.2 por aspersión.....	56
Figura 53. Área del escenario 2.2 por goteo	56
Figura 54. Área del escenario 2.3 por gravedad	57
Figura 55. Área del escenario 2.3 por aspersión.....	57
Figura 56. Área del escenario 2.3 por goteo	57
Figura 57. Eutrofización y enturbiamiento del agua.....	59
<i>Figura 58. Resultados obtenidos de la RAS° vs. CEw, Caso 1</i>	<i>62</i>
Figura 59. Resultados obtenidos de la RAS° vs. CEw, Caso 2.....	62
Figura 60. Resultados obtenidos de la RAS° vs. CEw, Caso 3.....	62
Figura 61. Regresión de la RAS° (caso 1) vs. RAS _{mod}	63
Figura 62. Regresión de la RAS° (caso 2) vs. RAS _{mod}	63
Figura 63. Regresión de la RAS° (caso 3) vs. RAS _{mod}	63
Figura 64. Proceso de aplicación del instrumento	67
Figura 65. Marca temporal de respuestas	68
Figura 66. Conocimiento del reuso	68
Figura 67. Alternativas para complementar las necesidades hídricas del cultivo.....	69
Figura 68. Municipios con predios agrícolas	70
Figura 69. Área total de los predios	70
Figura 70. Interés en el reuso agrícola	71
Figura 71. Razones para la adquisición del agua residual tratada	71
Figura 72. DAP de los participantes	72
Figura 73. Comparación entre DAP y TUA	72

LISTA DE ABREVIATURAS

AVAD: Años de vida ajustados por discapacidad
B: Boro
Ca: Calcio
CENICAÑA: Centro de Investigación de la caña de azúcar de Colombia
CE: Conductividad Eléctrica
CEw: Conductividad Eléctrica del agua
Cl: Cloruros
CO₃: Carbonatos
CV: Coeficiente de variación
CVC: Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca
DAP: Disponibilidad a pagar
DESV: Desviación estándar
Ea: Eficiencia de aplicación
Ec: Eficiencia de conducción
Ed: Eficiencia de distribución
Ef: Eficiencias del proyecto
EPA: Agencia de Protección Ambiental
ETC: Evapotranspiración del cultivo
ET: Evapotranspiración del cultivo en condición real
Ev: Evaporación
FA: Factor de alcalinidad
FAO: Food and Agriculture Organization
FD: Factor de dureza
Fe: Hierro
FT: Factor de temperatura
HCO₃: Bicarbonatos
ISL: Índice de Saturación de Langelier
K: Potasio
Kt: Coeficiente del tanque
Mn: Manganeseo
Media: Media aritmética
Mfc: Módulo de flujo continuo
Mg: Magnesio
Na: Sodio
NRn: Necesidad de riego neta
NRt: Necesidad de riego neta
P: Precipitación
PE: Precipitación efectiva
Pm: Precipitación media
Qfc: Caudal de flujo continuo
RAS: Relación de adsorción de sodio
RLAF: Riego Localizado de Alta Frecuencia
SDT: Sólidos disueltos totales
SO₄: Sulfatos
SST: Sólidos suspendidos totales
USDA: United State Department of Agricultural
VAR: Varianza
WHO: World Health Organization



1. INTRODUCCIÓN

La agricultura ha cumplido un papel importante en la evolución del hombre, desde la antigüedad han sido adoptados comportamientos de la naturaleza para suplir sus necesidades. Este sector a nivel mundial se ha convertido en el mayor dependiente del agua; no obstante, el efecto nocivo sobre el entorno de la actividad agrícola ha generado un desequilibrio de la naturaleza y como consecuencia, se evidencia la escasez del recurso hídrico, resultando un gran desafío para la producción de alimentos.

Los recursos renovables de acuerdo al ciclo hidrológico suponen 42000 km³/año, donde cerca de 3900 km³ se extraen de ríos y acuíferos. Concretamente alrededor del 70% de toda la extracción de agua es destinada para el sector agrícola, mientras que cerca del 11% se destina para consumo doméstico y el 19% para el sector industrial (FAO, 2012). Actualmente se pretenden encontrar alternativas sistémicas orientadas a disminuir los impactos ocasionados y la conservación de los recursos, así como el mantenimiento de la base de la agricultura a través del tiempo. Por tanto, el mejoramiento u optimización en los sistemas de riego y el reuso de aguas lluvias son parte fundamental para la contabilidad del agua y permite mitigar su desperdicio.

Del mismo modo la reutilización de las aguas residuales tratadas es una forma de promover su conservación, siendo esta una práctica común alrededor del mundo. La Fundación Chile (2016) afirma que su origen se dió en la antigua Grecia (año 3000 AC), posteriormente la actividad continuó en países como Alemania, Inglaterra, Estados Unidos e India; no obstante, los países que lideran el reuso corresponden a Qatar, Israel y Kuwait de acuerdo al volumen promedio (Jiménez *et al*, 2008, citado por Fundación Chile, 2016).

Para su reutilización es indispensable contar con sistemas de tratamiento adecuados para la obtención de aguas de alta calidad para diversos fines. Dada su creciente demanda y en busca de lograr una mayor eficiencia de los recursos hídricos, las instalaciones de plantas de tratamiento de aguas residuales (PTAR) han aumentado considerablemente en los últimos años. Su distribución y funcionalidad varía de acuerdo con la necesidad hídrica y la tecnología con la que cuentan las diferentes zonas de cada país (Fundación Chile, 2016). Aproximadamente el 90% de las aguas residuales no tratadas en países en vía de desarrollo son vertidas directamente a ríos, lagos, y océanos, perjudicando las actividades humanas, su salud y el bienestar del ecosistema (Corcoran *et al*, 2010). De las aguas residuales generadas en un país como Colombia, tan solo el 24% tienen un proceso de depuración (MAVDT, 2010).

A nivel regional estas estadísticas siguen siendo relevantes, en especial en un territorio como el Valle del Cauca donde el cultivo extensivo de caña de azúcar es uno de los principales ejes económicos del departamento, y sin duda la optimización del recurso hídrico es un tema central. Es por esto que las aguas residuales tratadas en la PTAR del municipio de El Cerrito son el tema de interés sobre el cual se basa este trabajo de investigación, a través de la gestión de los recursos hídricos se considera conveniente evaluar el reuso y su potencial, para brindar una solución a las deficiencias que se puedan originar en la zona de estudio. Con lo anterior, se permite determinar el alcance del agua residual para abastecer la demanda hídrica de los cultivos de caña de azúcar aledaños a la PTAR de El Cerrito, evaluar su calidad agronómica y estimar posibles costos de venta a los cañicultores.

2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Las personas que llevan a cabo la actividad agrícola en los cultivos aledaños a la PTAR de El Cerrito - Valle del Cauca, están fraccionando las tuberías del alcantarillado que conduce las aguas residuales antes de ser tratadas, para abastecer la demanda hídrica de sus cultivos (caña de azúcar). Estas aplicaciones pueden traer consecuencias ambientales como la contaminación del agua superficial, alteración de las propiedades del suelo y problemas de salud pública. Con lo anterior se refleja un desconocimiento por parte de la comunidad respecto al potencial de reuso que puedan tener las aguas residuales tratadas, obteniendo posibles mejoras en las propiedades físico químicas de sus suelos, ahorro de agroquímicos y costos de adquisición del agua corriente.

Las preguntas de investigación son:

¿Qué área se podría regar con el caudal del efluente proveniente de la PTAR de El Cerrito, para abastecer la demanda hídrica del cultivo de la caña de azúcar establecido en los predios aledaños a la misma?

¿Será apta la calidad agronómica del efluente de la PTAR de El Cerrito para riego, según su valoración por índices?

¿Estarían dispuestos los propietarios a realizar la inversión de implementar el riego con el agua residual tratada en la PTAR del El Cerrito, según el costo de venta estimado y los aportes que brinda el agua?

3. JUSTIFICACIÓN

En el municipio de El Cerrito se desconocen los instrumentos normativos (nacionales e internacionales) relacionados con el reuso del agua residual en la agricultura. La Resolución colombiana 1207 del año 2014 del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible especifica las bases legales y requisitos básicos para la implementación de aguas residuales tratadas; también directrices internacionales que involucran la Organización Mundial de la Salud (OMS), Agencia de Protección Ambiental (EPA) y Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación (FAO), cuyos enfoques convergen en la prevención de la salud humana, alimentaria y la conservación ambiental y establecen lineamientos para el reuso del agua.

El proceso de elaboración del cuero (curtiembres) es una actividad que predomina en el municipio de El Cerrito desde hace varios años. La mayoría del sector industrial cuenta con una formación empírica con desconocimiento de los impactos ambientales que genera esta actividad económica, lo que conlleva a la generación de vertimientos líquidos, residuos sólidos y emisiones atmosféricas que afectan el entorno y por tanto la composición del agua residual generada. Dicha actividad ha crecido de manera exponencial, tornándose más complejo llevar a cabo un debido control (CINARA, 2012).

De manera análoga, se están efectuando fraccionamientos a las tuberías del alcantarillado para abastecer la demanda hídrica de los cultivos, haciendo uso del recurso conducido por este medio sin un previo tratamiento; es decir, se ejecutan posesiones indebidas de elementos bióticos y abióticos las cuales representan ilegalidad, inseguridad y generación de conflictos. Las aguas con dicha condición pueden contener altas concentraciones de patógenos fecales, sustancias irritantes de la piel, químicos y residuos de pesticidas, lo que pone en riesgo la salud de las personas (FAO, 2017). Las poblaciones híbridas y campesinas al verse enfrentados a la exposición con estas aguas residuales, ponen en riesgo su salud y los productos que se comercializan, sin brindar de ninguna manera un respaldo a la seguridad alimentaria de los productos derivados de la caña de azúcar, conllevando a problemas fitosanitarios y socio-económicos.

El reuso de aguas residuales tratadas podría brindar mejores respuestas a los sistemas productivos debido a su posible contenido de materia orgánica y nutrientes. Por tal motivo, con el presente trabajo de investigación se pretende identificar el potencial de reuso de las aguas residuales tratadas de la PTAR del municipio de El Cerrito, valorando si su calidad agronómica es apta para la aplicación en sistemas de riego y determinar el abastecimiento de la demanda hídrica de los cultivos según su alcance. Por consiguiente, según los posibles efectos que pueda tener el agua residual tratada para riego en los cultivos de caña, se prevé un costo para su adquisición con el fin de buscar beneficios para los agricultores, intermediarios, grandes empresarios y personal encargado del manejo de la PTAR.

4. ANTECEDENTES

4.1. Experiencias relacionadas con el reuso de aguas residuales tratadas en la agricultura

En la Tabla 1 se presenta las experiencias internacionales relacionadas con la aplicación de aguas residuales tratadas en la agricultura, anexando resultados importantes que permiten definir la calidad del agua residual tratada, y en otros casos la variación de las propiedades del suelo. El aporte significativo de nutrientes y materia orgánica del agua residual tratada evidenciados en la mayoría de los casos y por largos periodos de tiempo, refleja la importancia de su implementación en el sector agrícola. Debido al crecimiento demográfico a nivel mundial, la dependencia del recurso hídrico es cada vez mayor; por tanto, el reuso del agua en los procesos alimenticios resulta ser una alternativa viable para suplir las necesidades y conservar los recursos.

En Colombia y a nivel departamental es usual que se empleen las aguas crudas (directa e indirectamente) para riego de cultivos como ocurre en el municipio de El Cerrito, Valle del Cauca, evidenciando una deficiencia en la planeación y buenas prácticas con esta alternativa. Análogamente, se percibe la carencia de experiencias e investigaciones con el reuso. Por ende la importancia de incentivar su uso racional, y de hacer seguimiento a proyectos pilotos de reuso de aguas residuales tratadas. En la Tabla 2 se presentan las experiencias nacionales relacionadas con la aplicación de aguas residuales tratadas en la agricultura, cuyos resultados evidenciados no mostraron aportes significativos de materia orgánica en el agua residual tratada, ni de nutrientes como el nitrógeno respecto al suelo.

De esta manera, se justifica la realización de este proyecto de investigación como fin de aportar al mejoramiento de las aplicaciones y determinar el alcance que estas tienen, resultando dependientes de las condiciones topográficas e hidrológicas; sin embargo, el fin converge en el desarrollo de nuevas alternativas para el sector agrícola a nivel nacional con base de los estudios realizados alrededor del mundo.

Tabla 1. Experiencias internacionales relacionadas con la aplicación de aguas residuales tratadas en agricultura

Objetivo de la aplicación	Cultivo y/o tipo de suelo	Variable	Concentraciones	País y escala experimental	Resultados obtenidos	Autor (es)
Fuente de Nutrientes	Tipo de suelos: Leptosol, feozem, vertisol Cultivos: Alfalfa, maíz, avena forrajera, colza, centeno, calabacín, coliflor, chiles	Agua residual: • MO: 3,8 - 4,4 % • CIC: 16 – 45 cmol_c/kg • pH: 7,1 - 7,5 • Arcilla: 23 - 44 % • Al: 0,82 ± 0,03 mg/L • As: 0,013 ± 0,007 mg/L • Cd: 0,001 ± 0,001 mg/L • Cr: 0,015 ± 0,001 mg/L • Cu: 0,038 ± 0,002 mg/L • Mn: 0,37 ± 0,01 mg/L • Ni: 0,019 ± 0,003 mg/L • Pb: 0,14 ± 0,01 mg/L • Se: 0,005 ± 0,006 mg/L • Zn: 0,80 ± 0,01 mg/L • Cu: 0,03 mg/L • Zn: 0,075 mg/L • Pb: 0,015 mg/L		 Alemania	El riego incrementó el contenido de materia orgánica del suelo en más del 60 % durante los primeros 30 a 40 años. El pH tiende a disminuir con el paso del tiempo alrededor de 1 unidad, lo que revela la capacidad de amortiguación de estos suelos. Las emisiones de CO ₂ es mucho mayor en comparación con la agricultura de secano. Los metales pesados y productos farmacéuticos, se acumulan en la capa superficial del suelo en el mediano plazo y son absorbidos por los cultivos en pequeñas cantidades.	Hettiarachchi, H. y Ardakanian, R. (2017).
				Campo		
Fuente de Nutrientes	Pastizales	Agua residual: • M.O: 43,1 g/kg • Fósforo: 126,44 mg/kg • Potasio: 284,92 mg/kg • Calcio: 9320 mg/kg • Magnesio: 754,2 mg/kg • Cadmio: 2,30 mg/kg • Plomo: 23,30 mg/kg • CE: 1,02 dS/m		 Venezuela	Incrementó considerablemente los niveles de Materia Orgánica, Fósforo, Potasio y Magnesio; sin embargo, su uso permanente incrementó contenidos de metales pesados como el Plomo y el Cadmio.	Zamora <i>et al.</i> (2008)
				Campo		
Fuente de Nutrientes	Hortalizas	Agua residual: • M.O: 13,3 g/kg • Fósforo: 14,66 mg/kg • Potasio: 140,0 mg/kg • Calcio: 9510 mg/kg • Magnesio: 240 mg/kg • CE: 1,10 dS/m		 Venezuela	Se obtuvo un alto contenido de materia orgánica, Fósforo, Potasio lo cual mejoró los niveles de fertilidad en el suelo.	Zamora <i>et al.</i> (2008)
				Campo		

Objetivo de la aplicación	Cultivo y/o tipo de suelo	Variable	Concentraciones	País y escala experimental	Resultados obtenidos	Autor (es)
Fuente de Nutrientes	Maíz: AG-1051 Suelo arenoso	Suelo: • pH en H₂O (1:2,5): 6,2 • H + Al: 0,83 cmolc/kg • Ca: 2,06 cmolc/kg • Mg: 1,47 cmolc/kg • K: 0,82 cmolc/kg • Na: 0,32 cmolc/kg • CTC: 5,52 cmolc/kg • MO: 17,0 g/kg • P: 117 mg/kg • CE: 1,20 dS/m • Zn: 1,7 mg/kg • Cu: 1,8 mg/kg • Fe: 15,0 mg/kg • Mn: 15,3 mg/kg • B: 0,7 mg/kg • Arena: 86% • Limo: 12%		 Brasil	No mostró diferencias significativas en los valores de productividad con el uso de dos efluentes. No obstante, cuando se emplea irrigación con aguas residuales en suelos arenosos, las sales serán lixiviadas, evitando un acumulado gradual y consecuente aumento en la salinidad.	Gorete <i>et al.</i> (2005)
				Campo Profundidad: 0-20 cm		
Fuente de Nutrientes	Café Variedad (Catuai)	Suelo: • pH: 4,59 • P: 5,70 mgdm⁻³ • K: 0,07 cmol_cdm⁻³ • Na: 0,09 cmol_cdm⁻³ • Ca: 0,66 cmol_cdm⁻³ • Mg: 0,19 cmol_cdm⁻³ • Al: 1,20 cmol_cdm⁻³ • H + Al: 6,90 cmol_cdm⁻³ • M.O: 3,66 dagkg⁻¹ • S: 5,20 mgdm⁻³ • ADA: 44,00 % • CA: 135,00 μS/cm⁻¹ • RAS: 0,13(cmol_cdm⁻³)^{0.5}		 Brasil	El agua residual filtrada con la implementación de filtros de arena, permitió mejorar en las características del suelo, evidenciadas en el aumento de pH, materia orgánica, K, Ca y Mg; presentando problemas de salinidad por incremento de iones de Na y conductividad eléctrica.	Medeiros <i>et al.</i> (2005)
				Campo Profundidad: 0-20 cm		
Fuente de Nutrientes	Frutales perennes (lima persa, guayaba, mango y níspero)	Suelo: • pH: 7,02 • CE: 0,10 mS/cm • Infiltración básica: 2,0 cm/h • Textura: Francoarenosa (Fa)		 Venezuela	Los suelos no presentaron elementos (sales, sodio y elementos químicos) que afectarán el desarrollo de los frutales sembrados. Ausencia de factores que limitan el desarrollo vegetal y el consumo.	Trujillo <i>et al.</i> (2000)
				Campo Profundidad: 0-20 cm		

Tabla 2. Experiencias nacionales relacionadas con la aplicación de aguas residuales tratadas en agricultura

Objetivo de la aplicación	Cultivo y/o tipo de suelo	Concentraciones	Escala experimental	Resultados obtenidos	Autor (es)
Fuente de Nutrientes	Caña de azúcar	Agua residual: • Calcio: 0,7034 meq/L • Magnesio: 0,44 meq/L • Sodio: 2,1 meq/L • Bicarbonato: 36,14 meq/L • Sulfato 0,52 meq/L • Nitratos 0,06 mg NO₃/L • Fósforo 7,82 mg P/L • Nitrógeno 27,44 mg N/L • Potasio 13,13 mg K/L • Coliformes fecales: 1'606.640 UFC/100mL • Cloruros: 59,2 mg CN/L	 Colombia	Alto valor de coliformes fecales, por lo cual las directrices colombianas lo clasifican como no apto para riego; sin embargo, el efluente podría ser empleado de modo seguro siempre y cuando se le realice un tratamiento oportuno de desinfección.	Trochez, J. (2017)
			Campo		
Impacto en los atributos químicos y macronutricionales de un suelo	Caña de azúcar Tipo de suelo: inceptisol	Agua residual: • CE: 0,64 dS/m • pH: 6,75 • Calcio: 30,22 mg/L • Magnesio: 10,66 mg/L • Sodio: 36,84 mg/L • Bicarbonato: 175,42 mg/L • Cloruros: 17,73 mg/L • Sulfatos: 77,49 mg/L • Nitratos: 12,60 mg NO₃/L • N de Amonio: 23,58 mg NH₄/L • Fosfatos: 1,40 mg PO₄/L • Potasio: 8,05 mg/L • DBO: 104 mg/L • DQO: 268 mg/L Suelo: Propiedades Químicas: • Calcio: 21,76 cmol/kg • Magnesio: 8,07 cmol/kg • Sodio: 0,34 cmol/kg	 Colombia	Tanto el agua subterránea como el efluente de la PTAR se clasifican como una buena calidad de agua fisicoquímica para el riego, con un peligro moderado de salinidad (C2S1) y un peligro moderado de sodicidad (CIS2). A excepción del NO₃, los componentes de aguas residuales cumplen con el límite máximo permisible en aguas residuales recuperadas en Colombia según la Resolución 1207 del 2014. Después de 1 año de irrigar con aguas residuales tratadas, las propiedades del inceptisol cambiaron así: las proporciones de Ca/Mg, Mg/K y Ca+Mg/K mejoraron ligeramente; la MO, Na, P y K aumentaron y el nitrógeno inorgánico (N-NH₄; N-NO₃) disminuyó. El tipo de tratamiento no influyó en la variación de los atributos químicos en el suelo, ya que no se encontraron diferencias estadísticamente en comparación con los otros. Los resultados demuestran que no hay un impacto adverso en los atributos químicos del suelo debido a	Facundo <i>et al.</i> (2015)

Objetivo de la aplicación	Cultivo y/o tipo de suelo	Concentraciones	Escala experimental	Resultados obtenidos	Autor (es)
		• CIC: 33,97 cmol/kg • pH: 7,58 • Ca/Mg: 2,7% • Mg/K: 16,9% • Ca+Mg/K: 62.6% • CE: 213 μmho/cm Macronutrientes • MO: 41,16 g/kg • P-BrayII: 54,53 mg/kg • K: 0,54 cmol/kg • N-NH_4: 0,69 mg/kg • N-NO_3: 3,86 mg/kg	Campo	la reutilización de las aguas residuales en el riego de caña.	
Fuente de Nutrientes	Caña de azúcar	Suelo: Pozo, TPA, TPC <i>Pozo:</i> • Materia orgánica: 3,0% • N Total Kjeidahl: 0,15% • P Total: 302,8 mg P/kg • Coliformes Totales: $2,31 \times 10^6$ UFC/g • E. coli: $8,89 \times 10^4$ UFC/g • Huevos de helmintos: <1 HH/g <i>TPA: Agua residual tratada por Tratamiento Primario Avanzado</i> • Materia orgánica: 2,6%	 Colombia	Valores menores al final del cultivo (mes 12) con excepción de TPC el cual fue mayor, evidenciando que el agua residual permitió probablemente que se presentaran procesos de humificación de la materia orgánica, aumentando la misma. No obstante, el análisis estadístico mostró que el uso de las aguas residuales no influye significativamente en el contenido de la materia orgánica ni del nitrógeno al suelo en los 12 meses del cultivo.	Silva <i>et al.</i> (2014)

Objetivo de la aplicación	Cultivo y/o tipo de suelo	Concentraciones	Escala experimental	Resultados obtenidos	Autor (es)
		• N Total Kjeidahl: 0,13% • P Total: 361,9 mg P/kg • Coliformes Totales: $4,15 \times 10^6$ UFC/g • E. coli: $7,56 \times 10^4$ UFC/g • Huevos de helmintos: <1 HH/g <i>TPC: Agua residual tratada por Tratamiento Primario Convencional</i> • Materia orgánica: 4,1% • N Total Kjeidahl: 0,20% • P Total: 314,8 mg P/kg • Coliformes Totales: $5,94 \times 10^6$ UFC/g • E. coli: $8,17 \times 10^4$ UFC/g • Huevos de helmintos: <1 HH/g	Campo		
Fuente de Nutrientes	Caña de azúcar	Agua residual: • pH: 6,66 • CE: 0,62 dS/m • Calcio: 1,58 meq/L • Magnesio: 0,83 meq/L • Sodio: 1,65 meq/L • Bicarbonato: 3,12 meq/L • Cloruro: 1,04 meq/L • Sulfato: 1,03 meq/L • Nitritos: 1,69 mg NO₂/L • Nitratos: 53,73 mg NO₃/L • N Amoniacal: 15,83 mg NH₃/L • Fósforo Total: 5,03 mg P/L • Fosfatos: 2,09 mg PO₄/L - N Total: 75,19 mg N/L	 Colombia	Suelos libres de salinidad y con menor peligro de sodicidad; valores óptimos dentro de las normas de calidad de agua para agricultura establecidos por la FAO y USDA y no se encontraron alteraciones en cuanto a la productividad.	Echeverri, A. (2011).
			Campo		

5. MARCO TEÓRICO

5.1. Aguas residuales

Según la OEFA (2014) son aguas que debido a su calidad, requieren un tratamiento previo con el fin del reuso o antes de ser vertidas a un cuerpo de agua; es decir, sus características originales han sido modificadas por actividades humanas. Se clasifican según su procedencia en industriales, domésticas y municipales.

5.1.1. Aguas residuales industriales

Proviene del desarrollo productivo como actividades mineras, agrícolas, energética, etc. (OEFA, 2014).

5.1.2. Aguas residuales domésticas

Son de origen residencial (residuos provenientes de baños, cocinas, pisos y aseo personal) y comercial (instituciones y zonas recreativas). Poseen generalmente desechos fisiológicos provenientes de la actividad humana, las cuales requieren tener una disposición adecuada (OEFA, 2014).

5.1.3. Aguas residuales municipales

Son aquellas aguas con presencia de aguas de drenaje pluvial o de origen industrial con un tratamiento previo, para su admisión en los sistemas de alcantarillado de tipo combinado (OEFA, 2014).

5.2. Tratamiento de aguas residuales

Las aguas crudas (sin ningún tratamiento) contienen una mezcla de sustancias orgánicas como residuos alimenticios, excretas, sales minerales, entre otros; además de sustancias inorgánicas suspendidas o disueltas (Fundación Chile, 2016). También se consideran sustancias biológicas como bacterias y virus, lo que constituyen un problema para la salud humana y del ambiente. Los principales métodos de tratamientos varían de acuerdo al fin de su reutilización.

5.2.1. Tratamiento preliminar

Según FONAM (2010) este tratamiento elimina las materias gruesas, cuerpos gruesos y arenosos, cuya presencia en el efluente perturbaría el tratamiento total y el funcionamiento eficiente de las máquinas, equipos e instalaciones de la planta de tratamiento.

5.2.2. Tratamiento primario

Se separan por procesos físicos y/o químicos las partículas en suspensión no retenidas en el tratamiento preliminar. Consiste principalmente en la remoción de sólidos suspendidos floculentos (mediante sedimentación o floculación), en la neutralización de la acidez o alcalidad excesivas y en la remoción de compuestos inorgánicos mediante precipitación química (FONAM, 2010).

5.2.3. Tratamiento secundario

Su finalidad es la reducción de la materia orgánica presente en las aguas residuales una vez superadas las dos fases anteriores. El tratamiento secundario o biológico es una oxidación de la materia orgánica biodegradable con participación de bacterias que se ejecuta para acelerar un proceso natural y evitar posteriormente la presencia de contaminantes y la ausencia de oxígeno en los cuerpos de agua (FONAM, 2010).

5.3. Concepto de reuso de aguas residuales tratadas

Consiste en reutilizar una o varias veces el agua que proviene del uso doméstico, industrial o agrícola, para ser aprovechado en diferentes actividades que el ser humano lo requiera. El reuso se ha venido implementado desde años atrás, cuyas primeras evidencias datan de la Grecia Antigua (Seguí, 2004).

5.3.1. Reuso en agricultura

El reuso del agua residual en el sector agrícola se ha convertido en una necesidad, considerándose una alternativa para suplir las necesidades del sector; aunque actualmente se implementa mayor cantidad de agua residual sin tratar, comparado con la que ha tenido un previo tratamiento perjudicando el suelo, el entorno, y el desarrollo productivo.

La utilización de aguas residuales tratadas en la agricultura puede tener grandes beneficios, uno de ellos es el aporte de materia orgánica y el incremento de macronutrientes; los principales son: nitrógeno (N), fósforo (P), potasio (K), calcio (Ca), azufre (S) y magnesio (Mg), permitiendo mejorar la fertilidad del suelo y disminuir el uso de fertilizantes químicos, conllevando a grandes ahorros económicos y a la preservación de los recursos naturales, principalmente las fuentes hídricas ya que se evita el vertimiento directo en cuerpos de agua superficiales.

5.3.2. Reuso del agua residual en el Valle del Cauca

La economía del Valle del Cauca se mueve principalmente por la potencialización de la caña de azúcar (*Saccharum officinarum*) y productos derivados. La implementación del reuso en el departamento se considera una alternativa, debido a la importancia del agua en las plantas para que lleven a cabo sus funciones principales por medio de la fotosíntesis, contrarrestando su alto valor de adquisición para riego artificial (el aporte principal lo proporciona la precipitación) disminuyendo costos en tarifas reglamentadas por la extracción de aguas subterráneas a entidades como la Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca (CVC).

Debido a la existencia de ingenios azucareros y medianos agricultores que se dedican a esta actividad, es necesario buscar innovaciones para la obtención de una mayor productividad y ahorro en su economía. Además de mejorar la competitividad en el medio, ya que en el periodo de los años 2015 al 2017, Brasil, India, y Tailandia encabezan la lista de países azucareros, exportando productos a menor costo y de alta calidad según la FAO (2018) con ayuda de La Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OCDE). Sin embargo, las innovaciones que se realicen en el sector azucarero a nivel de departamento deben acogerse a normatividades vigentes destinadas para el reuso en la agricultura y evitar problemáticas que puedan suscitar por el mal uso del recurso hídrico.

En el año 2012, la Environmental Protection Agency (EPA) y United States Agency for International Development (USAID) expusieron concentraciones máximas de elementos para la calidad del agua reutilizada para riego en la agricultura. Actualmente en Colombia rige la normatividad de reuso de aguas residuales tratadas con la Resolución 1207 del año 2014, expedida por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (MADS); la norma considera necesario un uso sostenible y eficiente del agua residual tratada para garantizar un aprovechamiento de los recursos naturales, ya que dichas aguas vertidas por los diferentes sectores reducen su capacidad natural de autodepuración (proceso de recuperación después de ser contaminada). En la Tabla 3 se evidencian las recomendaciones de manera puntualizada.

Tabla 3. Concentraciones máximas recomendadas para elementos del agua de riego

Elemento	Máxima concentración recomendada EPA-USAID	Máxima concentración recomendada MADS
Aluminio (Al) (mg/L)	5,00	5,0
Arsénico (As) (mg/L)	0,10	0,10
Berilio (Be) (mg/L)	0,10	0,10
Cadmio (Cd) (mg/L)	0,01	0,01
Cobalto (Co) (mg/L)	0,05	0,05
Cobre (Cu) (mg/L)	0,20	1,0
Flúor (F) (mg/L)	1,00	-
Hierro (Fe) (mg/L)	5,00	5,0
Litio (Li) (mg/L)	2,50	2,50
Manganeso (Mn) (mg/L)	0,20	0,20
Molibdeno (Mo) (mg/L)	0,01	0,07
Níquel (Ni) (mg/L)	0,20	0,20
Plomo (Pb) (mg/L)	5,00	5,00
Selenio (Se) (mg/L)	0,02	0,02
Zinc (Zn) (mg/L)	2,00	3,0
pH	-	6,0-9,0
Conductividad (uS/cm)	-	1500
Coliformes (NMP/100 ml)	-	1,0*E(+5)
Huevos de helmintos (huevos/L)	-	1,0
Hidrocarburos Totales (mg/L)	-	1,0
Cloruros (mg Cl/L)	-	300
Nitratos (mg/L)	-	5,0

Fuentes: EPA y USAID (2012), MADS (2014)

5.4. Parámetros de calidad

Las aguas residuales tratadas podrán ser reusadas si cumplen con los criterios de calidad (conjunto de parámetros) y con límites máximos permisibles determinados en la misma. Aunque el término ‘calidad de agua’ resulte relativo, puede inferirse que las aguas tratadas en la PTAR deben estar libre de cualquier amenaza.

Lo anterior se puede obtener mediante una comparación de características fisicoquímicas y biológicas entre muestras de agua con estándares de calidad, para ser implementada en el uso de riego. Los análisis físicos, químicos y biológicos que se evalúan comúnmente en las aguas residuales se registran en la Tabla 4.

Tabla 4. Análisis comunes usados para evaluar los constituyentes encontrados en el agua residual

Análisis	Usos e importancia en el análisis de resultados	Autor (es)
Características físicas		
Temperatura	Importante en el diseño y operación de procesos biológicos en instalaciones de tratamiento.	Metcalf & Eddy (2003)
Sólidos suspendidos totales (SST)	Evalúa el potencial de reutilización de las aguas residuales y determinar el tipo de operaciones y procesos más adecuados para su tratamiento.	Metcalf & Eddy (2003)
Conductividad eléctrica	Indicador que permite conocer la cantidad de sales disueltas presentes. Control de salinidad.	Méndez <i>et al.</i> (2007)
Características químicas		
Nitratos (NO ₃)	Se utilizan como una medida de los nutrientes presentes y el grado de descomposición en las aguas residuales; Las formas oxidadas se pueden tomar como una medida del grado de oxidación.	Metcalf & Eddy (2003)
Nitratos (NO ₂)		
Nitrógeno Amoniacal (N-NH ₃)		
Nitrógeno Total (N)		
Fósforo Total (F)		
Potasio (K)		

Análisis	Usos e importancia en el análisis de resultados	Autor (es)
Magnesio (Mg)	Por propósitos prácticos han sido generalmente agrupados como iones similares para mantener la estructura del suelo cuando se cuantifica sodicidad del suelo y agua de irrigación.	Laboratorio de salinidad del los Estados Unidos (1954) citado por Aristizabal, A. (2009)
Calcio (Ca)		
Grasas y aceites	Si no se elimina la grasa y el aceite antes de la descarga de las aguas residuales tratadas, puede interferir con la vida biológica en las aguas superficiales y crear películas antiestéticas.	Metcalf & Eddy (2003)
pH	Es una medida de la acidez o basicidad de una solución acuosa.	Metcalf & Eddy (2003)
Hidrocarburos Totales (HTP)	Impiden el intercambio gaseoso con la atmósfera, iniciando una serie de procesos físico-químicos simultáneos, que dependiendo del tipo de hidrocarburo y cantidad vertida pueden ser procesos más o menos lentos lo que ocasiona una mayor toxicidad generando graves consecuencias ambientales tanto en la flora como en la fauna.	Benavides <i>et al.</i> (2006) citado por Velásquez, J. (2017)
Detergentes - tensoactivos (SAAM)	Durante el tratamiento de las aguas residuales, un elevado porcentaje de estos compuestos es eliminado mediante procesos aeróbicos de biodegradación y adsorción en el material particulado, mientras que los metabolitos generados y los tensoactivos no degradados son dispersados en los diferentes compartimentos ambientales.	Ying, G. (2006) citado por Ríos, F. (2014)
Cianuro Total (CN)	Se usa ampliamente en la industria, especialmente para la limpieza de metales y en galvanoplastia. Es también uno de los principales contaminantes de los efluentes residuales procedentes del lavado de gases, en las plantas de gas y del coque en los altos hornos.	Martínez <i>et al.</i> (2016)
Sulfuros (S)	Son para evaluar la presencia o ausencia de un elemento específico.	Metcalf & Eddy (2003)
Aluminio (Al)		
Cloruros (Cl)	Son para evaluar la conveniencia de las aguas residuales para la reutilización agrícola. Peligro se sodicidad (aumento en la proporción de sodio intercambiable).	Metcalf & Eddy (2003)
Sulfatos (SO ₄)	Son para evaluar el potencial de formación de olores y puede afectar la capacidad de tratamiento de los residuos de lodos.	Metcalf & Eddy (2003)
Bicarbonatos (HCO ₃)	Están condicionados por el valor de pH. Hace presencia en el rango de: 3,5 - 8,3; y conlleva a la alcalinidad del agua residual (neutralizar ácidos).	Méndez <i>et al.</i> (2007)
Hierro Total (Fe)	Existe en el organismo. Su deficiencia se nota en procesos vitales, mediante los cuales las células producen energía; por tanto, se busca evaluar el contenido de hierro total en una muestra de agua residual.	Pérez <i>et al.</i> (2013)
Zinc (Zn)	Son para evaluar la conveniencia de las aguas residuales para su reutilización y los efectos de toxicidad en el tratamiento. Las cantidades mínimas de metales son importantes en el tratamiento biológico.	Metcalf & Eddy (2003)
Cobre (Cu)		
Cromo Total (Cr)		
Níquel (Ni)		
Plomo (Pb)		
Cadmio (Cd)		
Mercurio Total (Hg)		
Acidez (CaCO ₃)	Mide el contenido total de iones Ca ⁺² y Mg ⁺² , se puede distinguir entre la dureza de calcio y la dureza de magnesio.	Pérez <i>et al.</i> (2013)
Alcalinidad Total	Es una medida de la capacidad amortiguadora de las aguas residuales.	Metcalf & Eddy (2003)
Dureza Total		
Dureza Cálrica (CaCO ₃)		

Análisis	Usos e importancia en el análisis de resultados	Autor (es)
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	Es una medida de la concentración de sustancias (cantidad de oxígeno consumido por la porción de materia orgánica existente) que en agua pueden oxidar los compuestos orgánicos ser atacadas por un agente químico fuerte.	Jiménez, B. (2001)
Demanda biológica de oxígeno (DBO)	Es una medida de la cantidad de oxígeno requerido por los microorganismos para degradar (metabolizar) la materia orgánica en el agua.	Jiménez, B. (2001)
Características biológicas		
Coliformes Totales	Este grupo incluye cuatro géneros en la familia Enterobacteriaceae. Estos son Escherichia, Citrobacter, Enterobacter y Klebsiella. Del grupo, la Escherichia genus (especie de E. coli) parece ser la más representativa de la contaminación fecal. Son para evaluar la presencia de bacterias patógenas y la eficacia del proceso de desinfección.	Metcalf & Eddy (2003)
Coliformes Fecales	Son un subgrupo de los coliformes totales, capaz de fermentar la lactosa, se encuentran en los intestinos y excrementos de humanos y animales. Son para evaluar la presencia de bacterias patógenas y la eficacia del proceso de desinfección.	Gómez <i>et al.</i> (2002), Metcalf & Eddy (2003)

5.5. Demanda hídrica en el sector cañicultor

Consiste en la cantidad de agua requerida para riego (involucrando precipitaciones y aporte artificial), para abastecer la necesidad hídrica del cultivo. Para su desarrollo, es importante tener en cuenta el caudal disponible (oferta) y calidad de agua, datos del cultivo, suelo, riego y clima, los cuales varían específicamente de la zona.

5.5.1. Evaporación: *Ev*

De acuerdo con CENICAÑA (2015), se denomina evaporación de agua del suelo al proceso que pasa de un estado líquido hacia el estado gaseoso; el agua presente en el suelo es removida por efecto de la energía procedente de la radiación solar. Cuando ocurre la evaporación del agua desde la superficie del suelo, el aire circundante se carga de humedad y la superficie del suelo pierde humedad; si no existe un déficit de presión de vapor de agua en la superficie del suelo, el proceso de evaporación se hace cada vez más lento.

5.5.2. Evapotranspiración del cultivo en condición real: *ET*

El proceso de evapotranspiración (ET) es importante al momento de evaluar la demanda hídrica. CENICAÑA (2015) lo define como el proceso combinado por medio del cual el agua es convertida en vapor desde formas líquidas o sólidas (vía evaporación), ya sea que estas provengan del suelo o de las superficies húmedas y tejidos internos de las plantas. Sin embargo, en las primeras etapas del cultivo el agua se pierde por evaporación directa del suelo, pero a medida que ocurre el desarrollo vegetativo la transpiración se convierte en el proceso principal.

De acuerdo a los requerimientos hídricos en el Valle del Cauca, en los trabajos investigativos realizados por CENICAÑA se encontró que en el valle geográfico del río Cauca, existe una relación lineal significativa entre la evapotranspiración (ET) y la evaporación (Ev), lo que permite calcular la ET a partir de la evaporación medida en tanque clase A. Una vez estimado el valor de ET es posible programar los riegos utilizando el método de balance hídrico (CENICAÑA, 2015). Estos trabajos permitieron también obtener los valores del coeficiente de desarrollo de la caña de azúcar (K) para lograr convertir la evaporación del tanque clase A en evapotranspiración, descrita en la siguiente fórmula:

$$ET = K * E_v \quad (1)$$

donde:

K : Coeficiente de desarrollo de la caña

E_v : Evaporación

Tabla 5. Valores específicos de K para la caña de azúcar

Meses	Valores de K
1-3	0,3
3-4	0,4
4-5	0,6
5-6	0,7
6-8	0,8
8-9	0,7
9-11	0,6

Fuente: Cenicaña (2015)

5.5.3. Precipitación efectiva

Villalobos *et al.* (2009) infiere que la precipitación efectiva (P_e) es aquella fracción de la lluvia que se infiltra y se almacena en la zona de raíces, para satisfacer los requerimientos de los cultivos. Existen varios métodos para su estimación, sin embargo, el más empleado suele ser el recomendado por el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA) expresado en las Ecuaciones 2 y 3, dependiendo del caso.

$$P_e = P_m * \left(125 - \frac{0,20P_m}{125}\right) \quad (2) \quad \text{para } P_m < 250 \text{ mm/mes}$$

$$P_e = 125 + 0,10 * P_m \quad (3) \quad \text{para } P_m > 250 \text{ mm/mes}$$

donde:

P_m : Precipitación media.

5.5.4. Necesidades de riego neta

Se denomina necesidades de riego netas (NR_n) a la cantidad de agua que se aplica mediante riego artificial. Se emplea debido a que la precipitación no suele ser suficiente en algunos casos, o su distribución resulta poco uniforme. Su cálculo se halla por la diferencia entre ET_c y P_e (Villalobos *et al.*, 2009).

5.5.5. Eficiencias de un proyecto de riego

MINAGRI *et al.* (2015) presentan que las eficiencias de un proyecto de riego (E_p) están compuestas por las eficiencias de conducción (E_c), distribución (E_d) y aplicación (E_a). El producto de estas tres determina la eficiencia de riego del sistema.

- E_c : Permite evaluar pérdidas de agua en el canal principal (infiltración, desbordes, etc), desde su punto de captación hasta el punto final del canal principal.
- E_d : Permite conocer las pérdidas generadas entre la toma lateral del canal principal, hasta la entrega (usuarios).
- E_a : Es la cantidad de agua útil para el cultivo que queda en el suelo, en relación al total del agua que se aplicó en la parcela. Está sujeta a varios factores como las características del suelo, topografía, método de riego, características de la operación (tecnificación), entre otros.

5.5.6. Necesidades de riego total

La necesidad básica total de riego (NR_t) se puede dar en unidades de caudal (m^3/seg) o de volumen (m^3). Se calcula mediante la razón de NR_n sobre la eficiencia del proyecto de riego.

$$NR_t = \frac{NR_n}{E_c * E_d * E_a} \quad (4)$$

5.5.7. Caudal demandado en flujo continuo

El caudal demandado en flujo continuo (Q_{fc}) corresponde al caudal del proyecto con disponibilidad de 24 horas continuas de jornada para riego. Se obtiene con el producto del Módulo de flujo continuo (M_{fc}) por el área del cultivo.

$$Q_{fc} = M_{fc} * A \quad (5)$$

donde:

M_{fc} : Módulo de flujo continuo.

A : Área del cultivo (hectáreas).

5.6. 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 (Trochez, J. 2017). Los principales peligros asociados a la calidad del agua en la agricultura son: salinidad, sodicidad, toxicidad y problemas varios causados por exceso de algunos iones (FAO, 1985 citado por Trochez, 2017).

5.7. Indicadores de salinidad en suelos

El problema de la salinización de suelos pertenece a la categoría de degradación química del suelo y puede desencadenarse de manera natural, las cifras de salinización antrópica (o secundaria) de suelos son altas y están estrechamente ligadas a la agricultura bajo riego, especialmente a problemas de diseño y manejo del riego y de la calidad del agua utilizada (FAO & ITPS, 2015, citado por Echeverri, 2018).

En Colombia el problema de salinización no es tan crítico como el resto de países de Latinoamérica y el Caribe; sin embargo, se aprecia existencia en zonas con impactos importantes por este fenómeno. Las causas principales en Colombia son las inadecuadas tecnologías usadas, la deficiente programación de riego y la calidad del agua aplicada que en muchos casos incluye agua residual doméstica sin un previo tratamiento (FAO & ITPS, 2015, citado por Echeverri, 2018). Los distritos de riego de Colombia tienen otras condiciones que pueden aportar en un momento dado al desarrollo de estos procesos como el aporte descontrolado de fertilizantes, escasa o nula infraestructura de drenaje y condiciones naturales como texturas pesadas (Echeverri, 2018).

Tanto el suelo como las aguas de riego contienen sales de manera natural. Las plantas requieren algunas sales para su óptimo desarrollo, el problema ocurre cuando estos contenidos superan cierto umbral y afectan al suelo y a la productividad del mismo. Lo anterior ha ocurrido principalmente en zonas bajo riego y deficiente infraestructura o condiciones de drenaje (Kumar & Venkateswarlu, 2011, citado por Echeverri, 2018).

En Colombia, Otero *et al.* (2002), citado por Echeverri (2018) reportaron 63.261 km² con condiciones salino sódicas. La cifra reportada representa el 5,6% de la extensión del país. Los departamentos más afectados son los de la zona norte (costa atlántica) como Magdalena, Guajira, Cesar, Córdoba, Bolívar, Sucre y Atlántico; la zona de Antioquia, Valle del Cauca, Tolima y Huila. De igual manera se reporta que un 2,81% del área del país se encuentra en alto grado de susceptibilidad a procesos de salinización y/o sodificación de suelos y un 2,3% en grado moderado de susceptibilidad. El indicador de salinidad de suelos más aceptado es la Conductividad Eléctrica (Ezlit *et al.*, 2010; Rhoades, Chanduvi, & Lesch, 1999, citado por Echeverri, 2018). En la Tabla 6 se presenta el rango de niveles críticos de salinidad en el suelo según el contenido de Conductividad Eléctrica.

Tabla 6. Rango de los niveles críticos de sanilidad en el suelo

Conductividad eléctrica (dS/m)	Categoría	Observaciones
0-2	No salino	Sin restricciones para los cultivos
2-4	Ligeramente salino	Restricciones moderadas para algunos cultivos
4-8	Medianamente salino	Preferir cultivos tolerantes
8-16	Fuertemente salino	Disminución de rendimiento en la mayoría de los cultivos
>16	Extremadamente salino	Baja de rendimiento y calidad en cultivos tolerantes

Fuente: Pizarro (1987) citado por Sierra *et al.* (2001)

5.7.1. Criterios de peligro de salinidad por calidad de agua para riego

La presencia excesiva de sales presentes en el agua destinada para riego ocasiona daños para el suelo y planta, ya que imposibilita obtener un equilibrio entre la conservación del cuerpo natural (suelo) e impide un rendimiento óptimo del cultivo. De acuerdo con Bhattacharya *et al.* (2012), la conductividad eléctrica del agua (CEw) indica el total de sales presentes en el efluente y resulta ser un mecanismo rápido de localizar posibles problemas en la calidad del agua con base a la amenaza que puedan representar dichas sales (ver Tabla 7).

Tabla 7. Clasificación de amenaza de salinidad en el agua de riego

USDA (1954)		FAO (1985)	
CEw (dS/m)	Peligro	CEw (dS/m)	Peligro
0 - 0,25	Bajo	0 - 0,7	Bajo
0,25 - 0,75	Medio		
0,75 - 2,25	Alto	0,7 - 3,0	Medio
2,25 - 4,0	Muy Alto		
> 4,0	Excesivamente Alto	> 3,0	Alto

Fuente: USDA (1954) y FAO (1985)

La USDA (1954), además considera la clasificación al peligro de salinización de los suelos por el agua destinada para las labores de riego.

Tabla 8. Clasificación de peligrosidad a la salinidad por el agua de riego

Tipo	Interpretación
C1	Agua de baja salinidad, apta para el riego en todos los casos. Pueden existir problemas solo en suelos de muy baja permeabilidad
C2	Agua de salinidad media, apta para riego. En ciertos casos puede ser necesario emplear volúmenes de agua en exceso y utilizar cultivos tolerantes a la salinidad
C3	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

Tipo	Interpretación
C4	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
C5	Agua de salinidad excesiva, que sólo debe emplearse en casos muy contados, extremando todas las precauciones apuntadas anteriormente
C6	Agua de salinidad excesiva, no aconsejable para riego

Existe una propuesta de clasificación integral que toma como base las anteriores concentraciones de sales, donde se considera además su grado de dificultad para un lavado (Echeverri *et al.*, 2016).

Tabla 9. Matriz de calificación de peligro de salinización de suelos

CE _w (dS/m)	Solubilidad de sales en el agua (mmol/L)		
	> 5000	1000 - 5000	< 1000
0 - 0,25	Bajo	Bajo	Muy bajo
0,25 - 0,7	Medio	Medio	Bajo
0,7 - 3,0	Alto	Medio	Medio
> 3,0	Muy alto	Alto	Alto

Fuente: Echeverri *et al* (2016) y Echeverri (2018)

5.8. Indicadores de sodicidad en el suelo

La sodicidad son los que contienen en la zona radicular suficiente sodio adsorbido por el complejo de cambio para desarrollar propiedades físicas y químicas desfavorables, restringiendo el normal crecimiento de las plantas. La reacción de estos suelos varía según el porcentaje de sodio intercambiable (PSI), además de la presencia-ausencia de CO o CO₃. El pH comprende entre 8 hasta más de 9,5 y el contenido en sales de estos suelos es generalmente bajo (CE < 2 mmhos/cm) donde CE corresponde a la conductividad eléctrica (CVC, s.f.).

Un contenido elevado de sodio determina una condición física inadecuada en el perfil del suelo, reduciendo la infiltración del agua y estimulando condiciones químicas y nutricionales no deseables. La dispersión de agregados y la reducción del tamaño de poros disminuyen la permeabilidad del aire y agua en el suelo, mientras que los iones Ca y Mg contrarrestan los efectos del sodio. La evaluación de la condición de suelo sódico se basa en la Relación de Adsorción de Sodio (RAS) de extracto de pasta saturada (Honorato, 2000, citado por Alvarado, 2011). En la Tabla 10 se presenta la clasificación de los suelos según su contenido de sodio intercambiable.

Tabla 10. Clasificación de los suelos según su contenido de sodio intercambiable

PSI (%)	Tipo de suelo
< 7	No sódico
7 - 15	Ligeramente sódico
15 - 20	Medianamente sódico
20 - 30	Fuertemente sódico
> 30	Extremadamente sódico

Fuente: Pizarro (1987) citado por Sierra *et al.* (2001)

La aplicación de enmienda conduce obligatoriamente a planificar lavados para remover el sodio del suelo que constituye el peligro de sodificación. La calificación del agua obtenida mediante el procedimiento para calcular la cantidad de enmienda requerida según el peligro de sodificación del suelo varía desde muy baja, sin limitación de uso y sin requerimiento de yeso,

hasta muy alta donde se debe descartar el agua o mezclarla con otra que baje el peligro de sodio (Villafañe, 2011).

5.8.1. Criterios de peligro de sodicidad por calidad de agua para riego

Tanto la salinidad como la sodicidad son de alto peligro para la calidad de agua para riego ya que si se encuentran presentes en el suelo se incrementa la presión osmótica del agua del suelo, lo que impide su aprovechamiento por parte de las raíces y se genera además un desbalance nutricional, provocando toxicidad y deficiencias en las plantas lo que conlleva a una disminución del rendimiento y la calidad del producto final vegetal y por supuesto en la fertilidad del suelo agrícola (Medina *et al.*, 2016). La USDA (1954) clasifica la peligrosidad a la sodificación del suelo por el agua de riego en función de su índice RAS, información consolidada en la Tabla 11.

Tabla 11. Clasificación de peligrosidad a la sodificación por el agua de riego

Tipo	Interpretación
S1	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
S2	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
S3	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 altos de riego
S4	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: Adaptado de USDA (1954)

Para la FAO (1985) la evaluación de la sodicidad se realiza teniendo en cuenta la Relación de Adsorción de Sodio corregido (RAS°) y la Conductividad Eléctrica del agua de riego. La RAS° se calcula mediante la siguiente expresión:

$$RAS^o = \frac{Na}{\sqrt{\frac{Ca^o + Mg}{2}}} \quad (6)$$

donde:

RAS°: Relación de adsorción de Sodio (adimensional).

Na y Mg: Contenido de Sodio y Magnesio en el agua de riego (meq/l).

Ca°: Concentración ajustada de calcio en el agua de riego (meq/l).

El Ca° se obtiene de la Tabla 12 que corresponde al valor ajustado de la concentración de Ca presente el agua. Este valor resulta dependiente de la salinidad del agua de riego y de los factores que afectan la disolución o precipitación del Ca.

Tabla 12. Concentración de Ca^{+2} en función de la CE y de la relación HCO_3/Ca

		Salinidad del agua aplicada (EC_w) (ds/m)											
HCO_3/Ca		0,1	0,2	0,3	0,5	0,7	1	1,5	2	3	4	6	8
	0,05	13,20	13,61	13,92	14,40	14,79	15,26	15,91	16,43	17,28	17,97	19,07	19,94
	0,10	8,31	8,57	8,77	9,07	9,31	9,62	10,02	10,35	10,89	11,32	12,01	12,56
	0,15	6,34	6,54	6,69	6,92	7,11	7,34	7,65	7,90	8,31	8,64	9,17	9,58
	0,20	5,24	5,40	5,52	5,71	5,87	6,06	6,31	6,52	6,86	7,13	7,57	7,91
	0,25	4,51	4,65	4,76	4,92	5,06	5,22	5,44	5,62	5,91	6,15	6,52	6,82
	0,30	4,00	4,12	4,21	4,36	4,48	4,62	4,82	4,98	5,24	5,44	5,77	6,04
	0,35	3,61	3,72	3,80	3,94	4,04	4,17	4,35	4,49	4,72	4,91	5,21	5,45
	0,40	3,30	3,40	3,48	3,6	3,7	3,82	3,98	4,11	4,32	4,49	4,77	4,98
	0,45	3,05	3,14	3,22	3,33	3,42	3,53	3,68	3,80	4,00	4,15	4,41	4,61
	0,50	2,84	2,93	3,00	3,10	3,19	3,29	3,43	3,54	3,72	3,87	4,11	4,3
	0,75	2,17	2,24	2,29	2,37	2,43	2,51	2,62	2,70	2,84	2,95	3,14	3,28
	1,00	1,79	1,85	1,89	1,96	2,01	2,09	2,16	2,23	2,35	2,44	2,59	2,71
	1,25	1,54	1,59	1,63	1,68	1,73	1,78	1,86	1,92	2,02	2,10	2,23	2,33
	1,50	1,37	1,41	1,44	1,49	1,53	1,58	1,65	1,70	1,79	1,86	1,97	2,07
	1,75	1,23	1,27	1,30	1,35	1,38	1,43	1,49	1,54	1,62	1,68	1,78	1,86
	2,00	1,13	1,16	1,19	1,23	1,26	1,31	1,36	1,40	1,48	1,54	1,63	1,7
	2,25	1,04	1,08	1,10	1,14	1,17	1,21	1,26	1,30	1,37	1,42	1,51	1,58
	2,50	0,97	1,00	1,02	1,06	1,09	1,12	1,17	1,21	1,27	1,32	1,4	1,47
	3,00	0,85	0,89	0,91	0,94	0,96	1,00	1,04	1,07	1,13	1,17	1,24	1,30
	3,50	0,78	0,80	0,82	0,85	0,87	0,90	0,94	0,97	1,02	1,06	1,12	1,17
	4,00	0,71	0,73	0,75	0,78	0,80	0,82	0,86	0,88	0,93	0,97	1,03	1,07
	4,50	0,66	0,68	0,69	0,72	0,74	0,76	0,79	0,82	0,86	0,90	0,95	0,99
	5,00	0,61	0,63	0,65	0,67	0,69	0,71	0,74	0,76	0,80	0,83	0,88	0,93
	7,00	0,49	0,50	0,52	0,53	0,55	0,57	0,59	0,61	0,64	0,67	0,71	0,74
	10	0,39	0,40	0,41	0,42	0,43	0,45	0,47	0,48	0,51	0,53	0,56	0,58
	20	0,24	0,25	0,26	0,26	0,27	0,28	0,29	0,30	0,32	0,33	0,35	0,37
	30	0,18	0,19	0,20	0,20	0,21	0,21	0,22	0,23	0,24	0,25	0,27	0,28

Tabla 13. Criterio para evaluar peligro de sodicidad relacionado con peligro de salinidad

RAS°	Peligro de sodicidad de acuerdo a la CE (ds/m)		
	Peligro bajo	Peligro medio	Peligro alto
0 - 3	> 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

Fuente: FAO (1985)

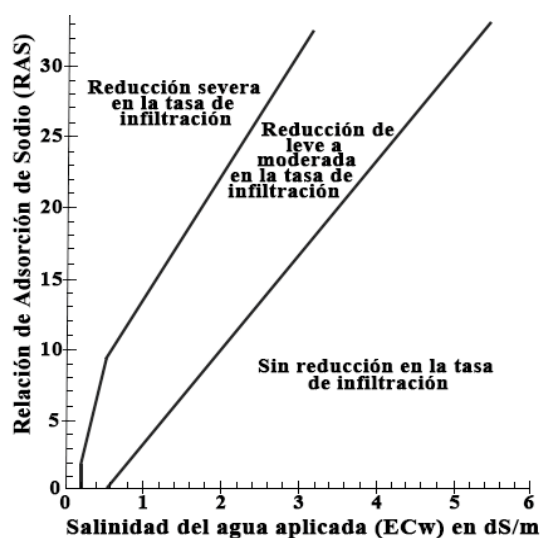


Figura 1. Reducción de la infiltración en función del RAS° y de la CE del agua de riego

Fuente: FAO (1985)

Según Suárez (1981), en la Figura 1 se puede observar la relación existente entre la RAS^0 y la CEw del agua de riego. Villafañe (2011) propuso un modelo para diagnosticar los peligros de sodificación en el agua denominado RAS modificado (RAS_{mod}), al igual que la RAS^0 , ambos representan el RAS en el agua de riego una vez infiltrada en el suelo, la propuesta se registra en la Ecuación 7.

$$RAS_{mod} = \frac{Na^+}{\sqrt{\frac{Ca^{2+} - (CaCO_3 + 0,5 * Ca(HCO_3)_2) + Mg^{2+} - (MgCO_3 + 0,25 * Mg(HCO_3)_2)}{2}}} \quad (7)$$

La FAO (1985) clasifica las aguas en tres grupos según el peligro potencial de permeabilidad que resulta de considerar los valores de RAS^0 , con esta clasificación se define si el agua residual presenta problemas de sodicidad.

5.9. Amenaza de toxicidad de cultivos

Hace referencia a problemas específicos ocasionados directamente en el cultivo debido a una concentración determinada de un ion en la solución del suelo, entre ellos el cloro, sodio y boro resultan ser los iones tóxicos en las aguas destinadas para riego. Según Báez (1999), citado por Echeverri (2011), los cultivos se ven afectados ante una concentración alta de estos elementos, resultando ser más susceptibles las plantas leñosas perennes y los frutales. En la Tabla 14 se especifica su grado de restricción.

Tabla 14. Toxicidad en el riego

Toxicidad					
Parámetro		Unidad	Grado de restricción de uso		
			Ninguno	Leve a moderado	Severo
Sodio (Na)	riego por gravedad	meq/l	< 3,0	3 - 9	> 9
	riego por aspersión	meq/l	< 3,0	> 3,0	-
Cloruro (Cl)	riego por gravedad	meq/l	< 4	4 - 10	> 10
	riego por aspersión	meq/l	< 3	> 3	-
Boro (B)	general	meq/l	< 0,7	0,7 - 3,0	> 3,0

Fuente: FAO (1985)

5.10. Riesgo microbiológico

Existe un riesgo microbiológico del recurso hídrico relacionado con el contacto directo e indirecto del agua contaminada con excrementos humanos o animales, ocasionando posibles enfermedades de origen hídrico por ingestión, inhalación o contacto con el agua. La organización Mundial de la Salud (OMS) o también conocido en inglés por las siglas (WHO), en el año 2006 hizo públicas las guías para la calidad y uso seguro de las aguas residuales en la agricultura.

Las enfermedades infecciosas ocasionadas por agentes patógenos como bacterias, virus y parásitos en condiciones específicas, son los peligros comunes para la salud humana cuando entra en contacto con la calidad del agua residual. Los patógenos pueden sobrevivir, acumularse y ser transportados al aumentar el caudal del agua (WHO, 2006).

5.10.1. Verificación y calidad microbiológica

Según la WHO (2006) los agentes patógenos poseen características propias que permiten la distinción de otros factores contaminantes presentes en el agua. La probabilidad de infección por la exposición de un agente patógeno depende de la cantidad y virulencia, así como de la persona que entra en contacto con el agua. Adicionalmente se menciona su capacidad de replicación en alimentos, aumentando las posibilidades de infección.

Cuando se trabaja con plantas de tratamiento es necesario llevar a cabo evaluaciones de control que involucren los procesos e inspecciones sanitarias, complementadas con el monitoreo operativo y evaluaciones de riesgos de contaminación. Si el agua es destinada para riego agrícola es necesario tener precaución al momento de tener contacto con el agua residual durante y después de la actividad, o en su defecto con cosechas contaminadas. La Tabla 15 se mencionan los organismos excretados en aguas residuales.

Tabla 15. Concentraciones de organismos excretados en aguas residuales

Patógenos	Concentración (por litro)
Bacterias	
Coliformes fecales	$10^8 - 10^{10}$
<i>Campylobacter jejuni</i>	$10 - 10^4$
<i>Salmonella spp.</i>	$1 - 10^5$
<i>Shigella spp.</i>	$10 - 10^4$
<i>Vibrio cholerae</i>	$10^2 - 10^5$
Helmintos	
<i>Áscaris lumbricoides</i>	$1 - 10^3$
<i>Ancylostoma duodenale</i> / <i>Necator americanus</i>	$1 - 10^3$
<i>Trichuris trichiura</i>	$1 - 10^2$
<i>Schistosoma mansoni</i>	ND
Protozoarios	
<i>Cryptosporidium parvum</i>	$1 - 10^4$
<i>Entamoeba histolytica</i>	$1 - 10^2$
<i>Giardia intestinalis</i>	$10^2 - 10^5$
Virus	
Virus entéricos	$10^5 - 10^6$
Rotavirus	$10^2 - 10^5$

Fuente: WHO, (2006)

En la Tabla 16 se presentan los objetivos basados en la salud para el uso de agua residual en la agricultura, según el tipo de riego.

Tabla 16. 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	Número de huevos de helmintos por litro
Riego sin restricción	$\leq 10^{-6}$ ^a		
Lechuga		6	≤ 1 ^{b,c}
Cebolla		7	≤ 1 ^{b,e}
Riego restringido	$\leq 10^{-6}$ ^a		
Altamente mecanizada		3	≤ 1 ^{b,e}
Labor intensiva		4	≤ 1 ^{b,c}
Riego localizado (goteo)	$\leq 10^{-6}$ ^a		
Cultivos altos en crecimientos		2	No hay recomendación ^{b,c}
Cultivos bajos en crecimientos		4	≤ 1 ^{c,d}

Fuente: WHO, (2006)

donde:

- ^a Reducción de rotavirus: Objetivos de salud que pueden ser logrados para riego no restringido y localizado, por una reducción de patógenos de 6 a 7 unidades Log (obtenida por una combinación de tratamiento de agua residual y otras medidas de

protección de salud), para irrigación restringida se logra una reducción de patógenos mediante de 2-3 unidades Log.

- ^b Cuando los infantes menores de 15 años están expuestos al agua residual sin tratamiento, se deben usar medidas adicionales de protección de la salud (por ejemplo, tratamiento a ≤ 0.1 huevos por litro, equipos de protección como guantes o zapatos / botas o quimioterapia).
- ^c Se debe determinar una media aritmética a lo largo de la temporada de riego. El valor de la media ≤ 1 de huevos por litro debe obtenerse para al menos el 90% de las muestras y tener en cuenta un valor alto ocasional de muestra (por ejemplo, con >10 huevos por litro). Con algunos procesos de tratamiento de aguas residuales (por ejemplo, lagunas de estabilización de desechos) el tiempo de retención hidráulica se puede usar como un sustituto que garantiza el acercamiento de ≤ 1 huevo por litro.
- ^d Ningún cultivo es recogido del suelo.

Finalmente, en la Tabla 17 se presentan monitoreos de verificación que permiten la aplicación de métodos, procedimientos, pruebas y otras evaluaciones de calidad de agua microbiana para *E. coli* y helmintos.

Tabla 17. Monitoreos de verificación mínima recomendada de los objetivos de desempeño microbiano para el uso de aguas residuales y excretas en la agricultura

Actividad / Exposición	Parámetros de monitoreo ^a de la calidad del agua	
Agricultura	<i>E. coli</i> por 100 ml ^b (significado aritmético)	Huevos de helmintos por litro ^b (significado aritmético)
Riego sin restricción		
Tubérculos	$\leq 10^3$	≤ 1
Cultivos con hojas	$\leq 10^4$	
Riego por goteo, cultivos de alto crecimiento	$\leq 10^5$	
Riego restringido		
Agricultura intensiva en mano de obra	$\leq 10^4$	≤ 1
Agricultura altamente mecanizada	$\leq 10^5$	
Tanque séptico	$\leq 10^6$	

Fuente: WHO, (2006)

- ^a El monitoreo se debe realizar en el punto de uso o en el punto de descarga de efluentes. La frecuencia de monitoreo es la siguiente:
 - Áreas urbanas: Una muestra cada dos semanas para *E. coli* y una muestra por mes para huevos de helmintos.
 - Zonas rurales: Una muestra cada mes para *E. coli* y una muestra cada 1-2 meses para huevos de helmintos.

Se requieren muestras compuestas de cinco litros para los huevos de helmintos preparados a partir de muestras tomadas seis veces al día. El monitoreo de los huevos de trematodos es difícil debido a la falta de procedimientos estandarizados. La inactivación de los huevos de trematodos se debe evaluar como parte de la validación del sistema.

- ^b Para la excreta se pueden usar pesos en lugar de volúmenes, dependiendo del tipo de excreta: 100 mL de agua residual es equivalente a 1–4 g de sólidos totales; 1 litro = 10–40 g de sólidos totales. Los números requeridos de *E. coli* o helmintos serían los mismos por unidad de peso.

5.11. Peligro de obturación de emisores RLAF

Los emisores son los elementos más importantes en la implementación de un sistema con los riegos localizados de alta frecuencia (RLAF). A su vez es el principal problema que posee debido a su facilidad de obturación por precipitados químicos, remoción de parámetros físicos y microbiológicos; ya que este sistema no solo permite implementar el riego sino también incluir distintos productos como abonos, correctores de suelos, y productos fitosanitarios. Otros inconvenientes pueden generarse por proceso de fabricación de emisores y diseños inadecuados en los sistemas (Pizarro, 1996).

Las consecuencias del suceso inciden en la uniformidad de riego, por ende se ve afectado el desarrollo vegetativo de las plantas y finalmente la producción. Pizarro manifiesta que el peligro de obturación de un emisor resulta dependiente del diámetro mínimo de paso y la velocidad de agua, para ello muestra una clasificación de los emisores según su diámetro y probabilidad de obturación, intuyendo que a mayor velocidad es menor el peligro de obturación. En la Tabla 18 se presenta la sensibilidad de acuerdo al diámetro del emisor.

Tabla 18. Sensibilidad a la obturación (RLAF)

Diámetro mínimo (mm)	Sensibilidad a la obturación
≤ 0.7	Alta
0.7 – 1.5	Media
> 1.5	Baja

Fuente: Pizarro, (1996)

Desde hace más de tres décadas se han planteado criterios para evaluar el peligro de obturación de emisores en RLAF, estos criterios fueron propuestos por Bucks & Nakayama (1986) los cuales incluyen aspectos físicos, químicos y microbiológicos registrados en la Tabla 19.

Tabla 19. Criterios para evaluar el peligro de obturación RLAF

PARÁMETRO	Unidad	PELIGRO		
		bajo	medio	alto
Sólidos suspendidos totales (SST)	mg/L	< 50	50 - 100	> 100
pH	unidad de pH	< 7	7,0 - 8,0	> 8,0
Sólidos totales disueltos (STD)	mg/L	< 500	500 - 2000	> 2000
Manganeso (Mn)	mg/L	< 0,1	0,1 - 0,15	> 0,15
Hierro (Fe)	mg/L	< 0,1	0,1 - 0,15	> 0,15

Fuente: Bucks & Nakayama (1986)

5.12. Peligro de afectación de infraestructura metálica de sistemas de riego

La corrosividad e incrustación puede generar inconvenientes en los procesos de riego, por lo que es importante realizar cálculos para determinar el equilibrio del agua por medio del índice de Saturación de Langelier (ISL). Para su determinación es necesario realizar mediciones de parámetros específicos correspondientes a pH, dureza, temperatura y alcalinidad.

$$ISL = pH_m - pH_s \quad (8)$$

donde:

pH_m= Potencial de hidrógeno medido

pH_s= Potencial de hidrógeno en equilibrio o saturación

Langelier es un indicador que permite conocer el estado del agua y la relación con el medio conductor. Según Rodríguez *et al.* (1999), si el índice resulta inferior a cero puede afirmarse que el agua posee un carácter corrosivo generando problemas en su calidad y el desarrollo de posibles bacterias e infecciones. En el suceso de ser igual a cero se considera neutro, mientras que al sobrepasar positivamente dicho valor indica que el agua posee un carácter incrustante; es decir, existe formación de costra mineral en la superficie del medio conductor (generalmente tuberías) reduciendo el flujo. En la Tabla 20 se presentan los rangos de ISL.

Tabla 20. Índices Langelier para conocer la característica del agua

ISL	Característica del agua
$-2,0 < \text{ISL} < -0,5$	Corrosión severa
$-0,5 < \text{ISL} < 0$	Corrosión leve pero sin formación de incrustaciones
$\text{ISL} = 0$	Equilibrada pero posible corrosión leve
$0 < \text{ISL} < 0,5$	Formación leve de incrustaciones y corrosiva
$0,5 < \text{ISL} < 2$	Formación de incrustaciones pero no corrosiva

Fuente: Carrier (1980) citado por Abdsolahei, et al. (2009) y Trayanova, et al. (2018)

5.13. Potencial de comercialización del agua residual tratada

El concepto de comercialización se define como el conjunto de funciones que se desarrollan desde que se presta un servicio, hasta que el beneficio involucre de manera directa al consumidor. Su valor económico está estrechamente ligado en compensar una necesidad y el bienestar que genera quien lo adquiere; por tanto, el monto a pagar depende de los atributos que se perciba en dicho beneficio (IICA, 2018). Debido a la alta demanda del requerimiento hídrico a nivel mundial, la humanidad ha impulsado otras alternativas como la desalinización del agua de mar y la reutilización de aguas residuales tratadas (Navarro, 2018, citado por Ruiz *et al.*, 2020).

Según Guzmán, *et al.* (2019) el recurso hídrico es uno de los principales afectados por el desbalance ocasionado en las actividades económicas, siendo susceptible principalmente por la escasez de la explotación y la contaminación por vertimientos; además de señalar a la sociedad civil como responsable directa del consumo y contaminación de los recursos naturales. El reuso de las aguas residuales tratadas resulta llamativo para diversos sectores (especialmente el agrícola) debido a sus amplios beneficios, factores que contribuyen al aumento del interés por implementar esta alternativa como instrumento para la gestión racional de los recursos hídricos. La importancia de impulsar el potencial de comercialización de las aguas residuales brinda alternativas adicionales para abastecer las necesidades que subyacen en el sector agrícola. Ruiz *et al.* (2020) propuso un modelo de recuperación de costos para el proceso de tratamiento y reutilización, generando incentivos adecuados para el uso eficiente de las aguas residuales y garantizando su disponibilidad futura.

5.13.1. Beneficios potenciales del agua residual tratada

Entre los principales beneficios en reusar las aguas residuales tratadas se encuentra el suministro de nutrientes y materia orgánica a las plantas (Barros *et al.*, 2015). También conlleva al ahorro del agua dulce en la actividad agrícola, permitiendo la reducción de los impactos ambientales en los cuerpos de agua receptores; además de incrementar su disponibilidad y generar un potencial en los ecosistemas sensibles como en las actividades recreativas (Galvis *et al.*, 2018). Así mismo, se considera un aumento y rigurosidad en la legislación ambiental por el pago de tarifas.

5.13.1.2. Ahorro de fertilizantes por reuso de agua residual tratada

Regmi *et al.* (2016), expresan que existe un gran desafío por implementar sistemas de tratamiento adecuados con la finalidad de implementar las aguas residuales para riego agrícola. Sus valiosos componentes nutricionales pueden reemplazar los fertilizantes químicos representando un ahorro significativo para el sector agroindustrial (Barros *et al.*, 2015). De acuerdo con CONADESUCA (2015), los aportes de NPK fomentan la alta producción agrícola, estimulando el crecimiento y desarrollo radicular; mientras que el Mg incrementa la actividad fotosintética y el Ca asegura resistencia de raíces, tallos y hojas.

Aunque la caña de azúcar no exige ningún tipo de suelo, Asocaña (2018) afirma que los cambios generados en las plantaciones están estrechamente relacionados con la extracción de nutrientes. Las diferencias de materia orgánica en el suelo pueden ser compensadas con aplicaciones de abonos orgánicos, empleados para sustituir parcialmente los macronutrientes. En la Tabla 21, Victoria *et al.* (2013) de Cenicaña presentan un catálogo donde se incluyen las variedades destacadas por su adaptación y productividad en el valle geográfico del río Cauca.

Tabla 21. Variedades de caña de azúcar en el valle geográfico del río Cauca

Variedades de la caña de azúcar				
CC: Cenicaña Colombia	MZC: Mayaguez Colombia		Mex: México	PR: Puerto Rico
RD: República Dominicana	CCSP: Cenicaña Colombia-Sao Paulo		SP: Sao Paulo	V: Venezuela
CC 03-154	CC 93-4223	CC 92-2154	CC 86-33	CC 82-27
CC 01-1940	CC 93-4181	CC 91-1945	CC 85-96	CC 82-26
CC 01-1228	CC 93-3895	CC 91-1880	CC 85-92	CC 82-15
CC 01-678	CC 93-3826	CC 91-1606	CC 85-68	MZC 74-275
CC 00-3771	CC 93-3803	CC 91-1555	CC 85-63	RD 75-11
CC 00-3079	CC 93-744	CCSP 89-1997	CC 84-75	SP 71-6949
CC 98-72	CC 92-2804	CCSP 89-259	CC 84-66	V 71-51
CC 97-7170	CC 92-2393	CCSP 89-43	CC 84-56	V 71-49
CC 94-5827	CC 92-2358	CC 89-2000	CC 84-10	Mex 64-1487
CC 93-7510	CC 92-2198	CC 87-505	CC 83-25	PR 61-632
CC 93-4418	CC 92-2188	CC 87-434	CC 82-28	-

Fuente: Victoria *et al.* (2013)



Figura 2. Valle geográfico del río Cauca
Fuente: Asocaña, (2020)

El área sembrada comprende 47 municipios de los departamentos del Cauca, Valle del Cauca y Risaralda. Existen 243.232 hectáreas sembradas con caña para azúcar: el 25% corresponde a tierras propias de los 14 ingenios establecidos, y el 75% a más de 2.750 proveedores (Asocaña, 2020).

Pese a las ventajas que pueda representar la reutilización de las aguas residuales tratadas, existe poca experiencia en Colombia y América Latina (Galvis *et al.*, 2018). De acuerdo con Asocaña (2020), dentro de las tecnologías que implementa la agroindustria para un uso eficiente del agua está el control administrativo del riego asistido por computador, riego por pivote, riego por surco alterno, fertirriego (ahorrando fertilizantes entre el 28% y 38%), entre otros. A nivel nacional la opción predominante para el riego agrícola es el uso del recurso hídrico subterráneo y se estima que el 36% del territorio posee buena aptitud para su explotación (FAO, 2015). En consecuencia, los cañeros deben pagar la tasa por uso de agua (TUA) ante la autoridad ambiental para su extracción desde fuentes superficiales y subterráneas, cuyo valor económico está asignado por cuencas hidrográficas.

5.13.2. Recolección de datos como técnica para comercialización

De acuerdo a la definición de la Real Academia Española (RAE), el término encuesta hace alusión al conjunto de preguntas dirigidas a una muestra representativa de personas para recopilar información o conocer una opinión; por tanto, son mecanismos sistemáticos de recolección de datos en una investigación para llegar a un público objetivo. En busca de potencializar los índices de respuesta la estructura debe ser diseñada de manera clara y concisa, usualmente se realiza de manera presencial, vía telefónica o por correo.

Tabla 22. Técnicas para establecer contacto con el público

Enfoques de investigación	Métodos de contacto	Plan de muestreo	Instrumentos
Observación, encuesta	Internet o email	Unidad de muestreo	Cuestionario, instrumentos digitales
Observación, encuesta	Teléfono, celular	Tamaño de la muestra	Instrumentos mecánicos
Experimento, encuesta, entrevista	Personal	Método de muestreo	Instrumentos

Fuente: Adaptado de Torres *et al.* (2019)

- *Encuesta por internet o email:* El conjunto de preguntas es enviado por correo electrónico o empleando sitios web, ya sea con hipervínculo o redes sociales (Abundis, 2016). Torres *et al.* (2019) manifiesta que se ha adoptado con facilidad la implementación de las Tecnologías de la Información y Comunicación (TIC); aunque cuenta con costos favorables, la tasa de respuesta baja.
- *Encuesta por teléfono o celular:* Resulta ser una alternativa favorable, pero tiene como desventaja que los entrevistados pueden negarse fácilmente o brindar información no veraz. Deben ser concisas pues tienden a impacientarse (Torres *et al.*, 2019).
- *Encuesta personal:* Según Torres *et al.* (2019) ocurre generalmente entre dos personas y se emplean herramientas como libretas o grabadoras de voz para el registro de datos precisos. El costo es parte de sus limitaciones al igual que el adiestramiento del entrevistador; por tanto, es importante fomentar una conversación amena y espontánea.

En la Tabla 23 se muestran las ventajas y desventajas con base a algunos criterios de investigación.

Tabla 23. Evaluación de técnicas de muestreo

Criterios	Torres <i>et al.</i> (2019)			Malhorta (citado en Rivera, 2019)		
	Internet o email	Teléfono o celular	Presencial	Internet o email	Teléfono o celular	Presencial
Flexibilidad de la recolección de datos	Bajo	Bueno	Excelente	Bajo	Bueno	Excelente
Cantidad de información que es posible reunir	Bueno	Moderado	Excelente	Moderado	Bajo	Excelente
Control de la muestra	Moderado	Excelente	Moderado	Moderado	Bueno	Bueno
Control de ambiente en la recolección de la información	Bajo	Excelente	Bueno	Bajo	Moderado	Bueno
Tasa de respuestas	Bajo	Bueno	Bueno	Bajo	Moderado	Excelente
Costo	Bueno	Moderado	Bajo	Bajo	Moderado	Bueno

Fuente: Adaptado de Torres et al. (2019) y Rivera (2019)

Se pueden plantear diversos formatos alternativos de respuesta a las preguntas planteadas: abiertas, cerradas o mixtas. Las preguntas abiertas facilitan al encuestado responder libremente, deben ser contestadas con sus propias palabras y no se limita la elección de respuesta. En las preguntas cerradas se especifican de antemano las posibles respuestas y el encuestado elige entre las opciones establecidas, permitiendo simplificar el trabajo de campo y análisis de resultados. Pueden ser dicotómicas o politómicas, existiendo a su vez varias alternativas de clasificación.

- *Elección única:* Plantean alternativas excluyentes, permitiendo seleccionar una sola opción de las demás planteadas.
- *Elección multiple:* No son excluyentes entre sí, accediendo a elegir más de una opción.
- *Ranking:* Existe jerarquía en las respuestas.
- *Escala:* Se evalúa el grado de intensidad de una variable.

Las preguntas mixtas especifican distintas alternativas de respuesta combinando las dos opciones anteriores: cerrada y adicionalmente ofrece la respuesta no especificada.

5.13.3. Valoración contingente

El método de valoración contingente (MVC) logra que la personas revelen de manera directa su disponibilidad a pagar (DAP) por la prestación de un servicio o bien ambiental (Parra, 2002, citado por Brand, 2017). La valoración del bien ambiental conlleva a que su demanda sea igual a la de los bienes económicos con la finalidad de identificar la demanda efectiva; por tanto, la DAP es una medida fiable de la demanda (Brand, 2017).

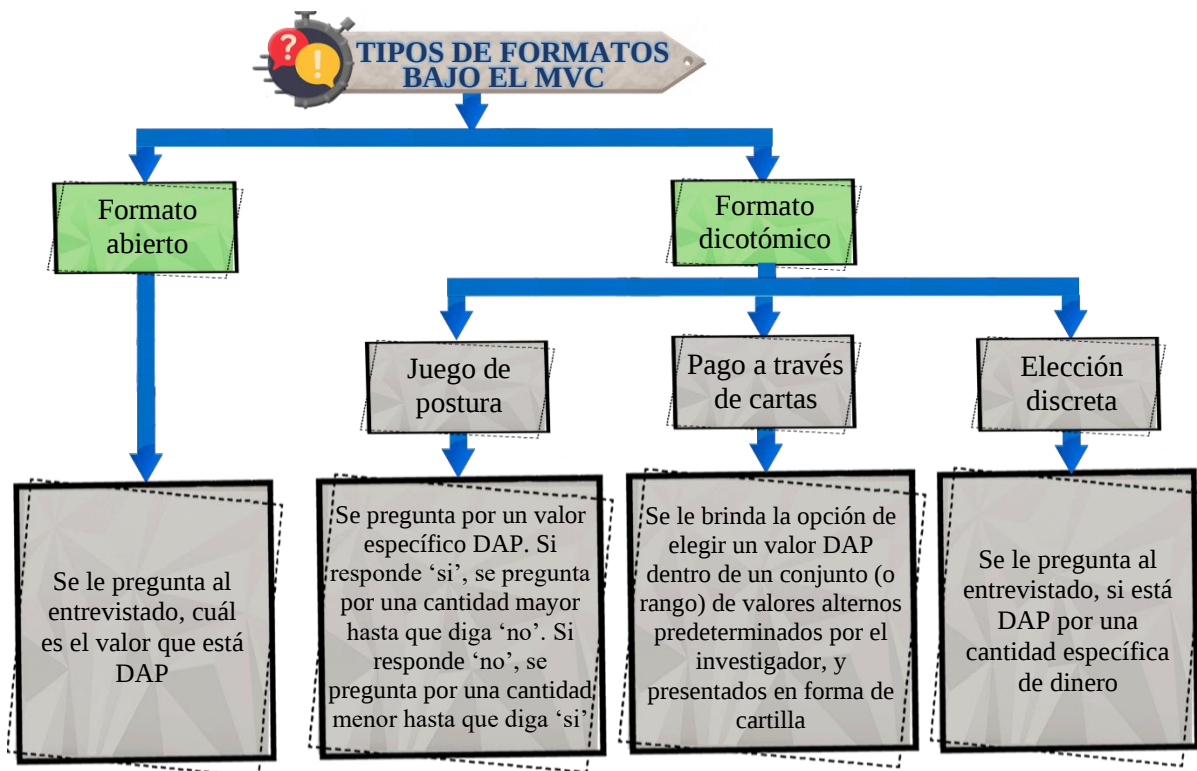


Figura 3. Formatos de pregunta bajo MVC
Fuente: Adaptado de Mendieta (2006), citado por Brand (2017)

3.13.3. Disponibilidad a pagar (DAP)

Cuando se desea realizar alguna valoración económica por mejoras ambientales lo habitual es estimar la disponibilidad a pagar (DAP) de las personas, como una aproximación de la variación compensatoria (VC) para medir los beneficios económicos (Tudela, 2017). En el caso puntual de El Cerrito, resulta ser un instrumento técnico factible para determinar el potencial de comercialización y lograr evidenciar cuánto están dispuestos a pagar los interesados en la adquisición el efluente tratado en la PTAR.

Parra *et al.* (2005), expone los beneficios de los diversos niveles de servicio permitiendo obtener una apreciación sobre el nivel de servicio y la tecnología más viable desde el sector financiero. Existe una gran variedad de estudios empíricos que utilizan el método de valoración contingente (MVC) en la estimación de la DAP por mejoras en la provisión de saneamiento básico; por tanto, el MVC ha permitido obtener la valoración económica del servicio propuesto a partir del planteamiento de una mejora en las condiciones de vida de los beneficiarios (Tudela, 2017). Su implementación mediante el proceso de cuestionario en el área agrícola implica tener contacto con los dueños de los predios para medir su disponibilidad a pagar, con base a la calidad del agua que se desea implementar como riego.

Rivera (2019) expresa que de acuerdo a las políticas ambientales es necesario conocer la valoración económica ambiental de un bien o servicio ambiental para generar ciertos lineamientos. Según Labandeira (2006), citado por Rivera (2019), manifiesta la utilidad de la valoración económica con tres factores: 1) Incorporación en el análisis coste-beneficio de los proyectos de desarrollo relacionados a los bienes ambientales; 2) Apoya en la determinación del costo marginal externo de la contaminación y del coste generado por externalidades; 3) Estimación en el bienestar agregado económicamente, suscitado en un determinado lapso de tiempo. A nivel internacional la DAP es empleada satisfactoriamente por entidades como International Water Management Institute (IWMI), Water and Sanitation Centre (IRC), y en

países como Bolivia. A nivel nacional se ha empleado esta metodología en Cajamarca y San Isidro, mientras que a nivel regional se ejecutó en La Castilla y El Chocho (Brand, 2018).

- *Valor estadístico de la DAP*

En una investigación la estadística descriptiva organiza y resume datos de manera clara y sencilla por medio de cuadros, tablas, figuras y gráficos (Rendón, 2016). En consecuencia, Brand (2017) afirma que si se lleva a cabo un análisis estadístico descriptivo, es posible obtener el valor monetario promedio que los encuestados están DAP por el servicio.

Este valor es calculado analizando estadísticamente los resultados de las preguntas considerando un rango desde el valor monetario propuesto hasta el máximo valor que estén dispuestos a pagar. El beneficio de este método es que se consideran todas las respuestas positivas y negativas, tanto de las personas que acepten pagar la tarifa sugerida, como de los que no estén dispuestos pero que expresen algún valor DAP (Brand, 2017).

- *Modelo de la DAP*

Brand (2017) resalta otra alternativa empleada a través de un modelo econométrico donde se involucran cuatro ciencias: economía, estadística, matemáticas e informática; basado en variables definidas, representativas e influyentes en la medida de la DAP. Esta información estadística también puede ser recolectada por medio de encuestas. Los modelos econométricos probabilísticos probit y logit se ajustan si se opta por el formato dicotómico, mientras que para el formato abierto usualmente se emplea el modelo de mínimos cuadrados ordinarios (MCO). Comúnmente los softwares implementados para los respectivos modelos suelen ser Stata, Eviews, Gretl, entre otros.

6. OBJETIVOS

6.1. Objetivo General

Identificar el potencial de reuso del efluente de la PTAR del municipio El Cerrito, Valle del Cauca para riego de caña de azúcar.

6.2. Objetivos Específicos

- Estimar el área de cultivo de caña de azúcar que podría beneficiarse con el efluente de la PTAR de El Cerrito.
- Evaluar la calidad agronómica del efluente de la PTAR de El Cerrito para su uso en riego.
- Determinar el potencial de comercialización del uso de las aguas residuales tratadas para el reuso en cultivos de caña de azúcar.

7. METODOLOGÍA

7.1. Localización de la zona de estudio

El proyecto se llevó a cabo en las instalaciones de la planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR) de El Cerrito (Valle del Cauca) ubicada en la vía al corregimiento San Antonio, la cual se encuentra a una distancia aproximada de 1,54 km de la cabecera municipal y 0.65 km de la vía Panamericana. Los predios aledaños a la PTAR cuentan con grandes extensiones de tierra cultivadas con caña de azúcar (Rebolledo *et al.*, 2018).

Limita al norte con los municipios de Guacarí, Ginebra y Buga, al oriente con el departamento del Tolima, sur con el municipio de Palmira y al occidente con el municipio de Vijes. Se ubica a una altitud de 987 metros sobre el nivel del mar (m.s.n.m) con coordenadas 3° 41' 40" latitud norte y 76° 19' 33" latitud oeste, el promedio de precipitaciones asciende a 1.557 mm y su temperatura oscila entre 24 y 32 °C. Posee los pisos térmicos cálido, medio, frío, y páramos (Alcaldía Municipal de El Cerrito 2016, citado por Rebolledo *et al.*, 2018).



Figura 4. Localización de la zona de estudio. PTAR El Cerrito, Valle del Cauca



Figura 5. Fotografía aérea de la PTAR El Cerrito, Valle del Cauca

7.2. Metodología para cumplir el objetivo específico 1

El área de cultivo que potencialmente puede beneficiarse con el agua residual tratada de la PTAR de El Cerrito como fuente de riego, fue estimada a través de la evaluación de distintos factores y condiciones climatológicas propias de la zona de estudio. Se llevó a cabo un balance hídrico empleando los datos climatológicos reportados por la estación Ginebra cercana al área de estudio, cuya información fue extraída del boletín de condiciones hídricas establecido por Cenicaña a través de la herramienta de apoyo meteoportal.

Tabla 24. Datos específicos de la estación Ginebra

Datos	Descripción
Nombre de estación y código	Ginebra - 26095290
Municipio y departamento	Ginebra - Valle del Cauca
Zona hidrográfica	Cauca
Área hidrográfica	Magdalena, Cauca
Ubicación	3.68694444° , -76,27333333°
Altitud	990
Categoría	Climática principal
Fecha de instalación	01/05/1997
Sub-zona hidrográfica	Río Guabas, Sabaletas y Sonso

Fuente: Cenicaña (2018)

Fue posible construir una base de datos con los valores de P y E_v incluyendo registros desde el año 1997 hasta el 2019. Estos valores fueron organizados en forma descendente por mes, con el fin de realizar el cálculo de probabilidades de ocurrencia y determinar su nivel de excedencia. Posteriormente se plantearon dos escenarios climáticos con base a lo sugerido por la FAO para proyectos de irrigación agrícola, manejando el promedio de la E_v y variando la P : los escenarios 1 y 2, con el 50% de E_v como valor constante y la P con el 50% y 75%, respectivamente.

Se procedió a la escogencia del periodo de siembra considerando tres meses distintos con base a las variaciones abruptas identificadas en la información secundaria del boletín de Cenicaña, correspondiendo a enero, abril y octubre. Por otro lado, se tuvieron en cuenta los métodos de riego convencionales como gravedad, aspersión y goteo para completar un total de dieciocho escenarios diferentes como se evidencia en la Figura 6.



Figura 6. Planteamiento de escenarios para el objetivo 1

Se procedió a realizar el cálculo de la demanda hídrica en cada uno de las propuestas ya descritas, cuya metodología se esquematiza en la Figura 7.

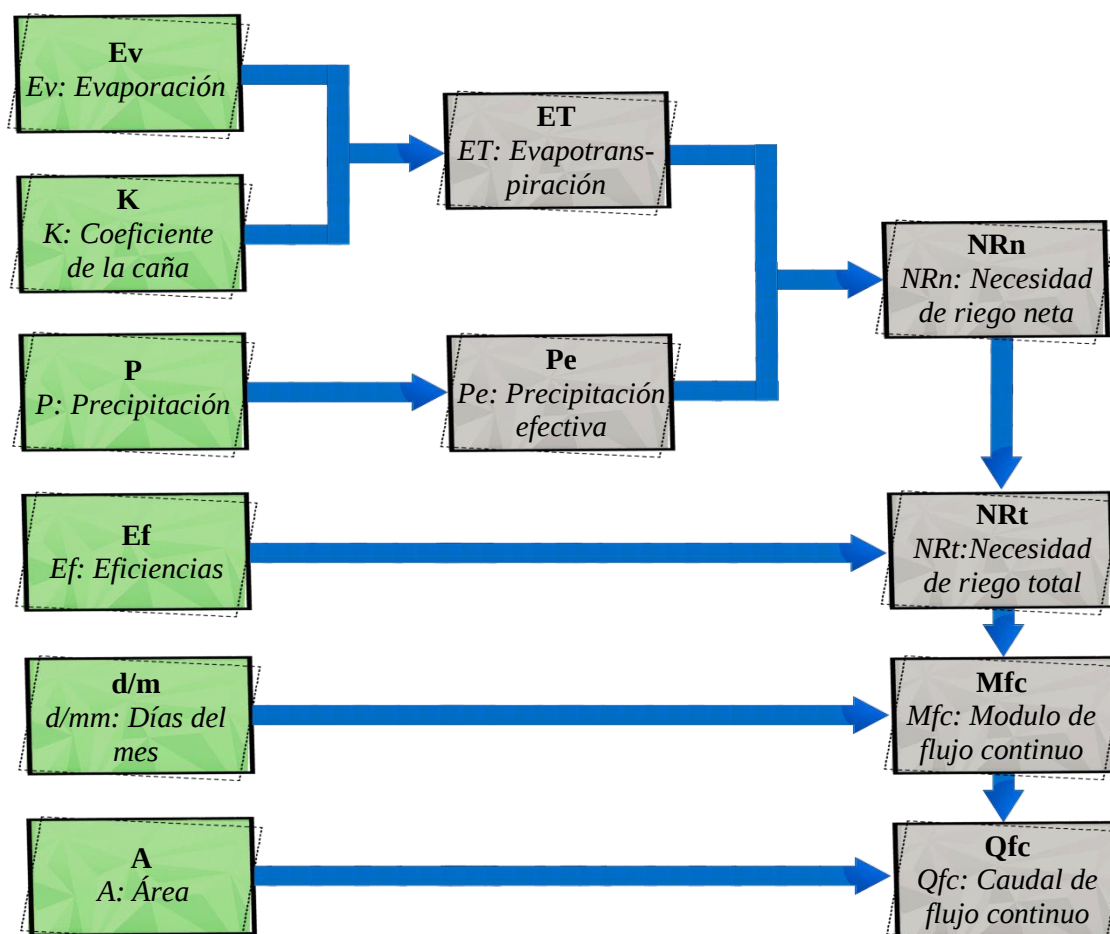


Figura 7. Diagrama metodológico para el cálculo de la demanda hídrica

La metodología anteriormente descrita se implementó para el cultivo de caña de azúcar sin tener en cuenta ninguna distinción en la variedad de especie; además se estableció un área estándar mínima cultivable de una hectárea (1 ha). En la Tabla 25 se muestran las eficiencias que posee cada sistema de riego basadas en información recopilada por Cenicaña y por experiencias del sector azucarero de Colombia (CENICAÑA, 2015).

Tabla 25. Eficiencias de riego

Sistema de riego	Eficiencia de conducción	Eficiencia de distribución	Eficiencia de aplicación
Goteo	97,5%	97,5%	90%
Aspersión	97,5%	97,5%	70%
Gravedad	97,5%	97,5%	50%

A través de la implementación de una estrategia no convencional de reuso como riego en cultivos de caña de azúcar, fue posible determinar el área a beneficiar con el efluente para cada uno de los escenarios propuestos con dos posibles alternativas: almacenando el agua residual tratada y desarrollando la actividad agrícola sin almacenamiento.

7.3. Metodología para cumplir el objetivo específico 2

Para determinar la calidad del efluente se tuvo en cuenta la información disponible en el momento. La PTAR de El Cerrito suministró una base de datos con parámetros históricos consolidados en la Tabla 26 correspondientes a los años 2016, 2017 y 2018, se procesó la información partiendo de que los datos fueron válidos sin brindar garantía de ellos. Posteriormente se realizó el análisis con los indicadores según la literatura.

Tabla 26. Parámetros suministrados por la PTAR para determinar la calidad del efluente

Laboratorios	Parámetros	Unidades
PTAR El Cerrito	pH	Unidades de pH
	CEw	dS/m
	Temperatura	°C
	Cloruros	mg/L
	Sulfatos	mg/L
	Alcalinidad total	mg/L
	Dureza total	mg/L
	SDT	mg/L
	SST	mg/L

Adicionalmente se realizaron siete muestreos puntuales en el punto de salida del efluente, empleando un recipiente de 10 L para la evaluación de huevos de helmitos y dos recipientes adicionales de 500 ml para los parámetros restantes; anotando que uno de estos últimos contenía ácido nítrico (ver Figuras 8 y 9). El análisis correspondiente estuvo a cargo de los laboratorios Análisis Ambiental y Aguas Cinara.



Figura 8. Proceso inicial para la toma de muestras



Figura 9. Proceso final para la toma de muestras

De acuerdo con el cronograma planteado el muestreo del efluente estuvo previsto para llevarse a cabo periódicamente cada lunes; no obstante, una vez finalizado el cuarto muestreo se recibió una notificación por parte de la Alcaldía de El Cerrito para el cierre indefinido de la PTAR. En consecuencia, se concluyeron las muestras en los días restantes quedando distribuidas como se evidencia en la Figura 10. Los parámetros evaluados en el agua residual tratada mediante el muestreo se presentan en la Tabla 27.

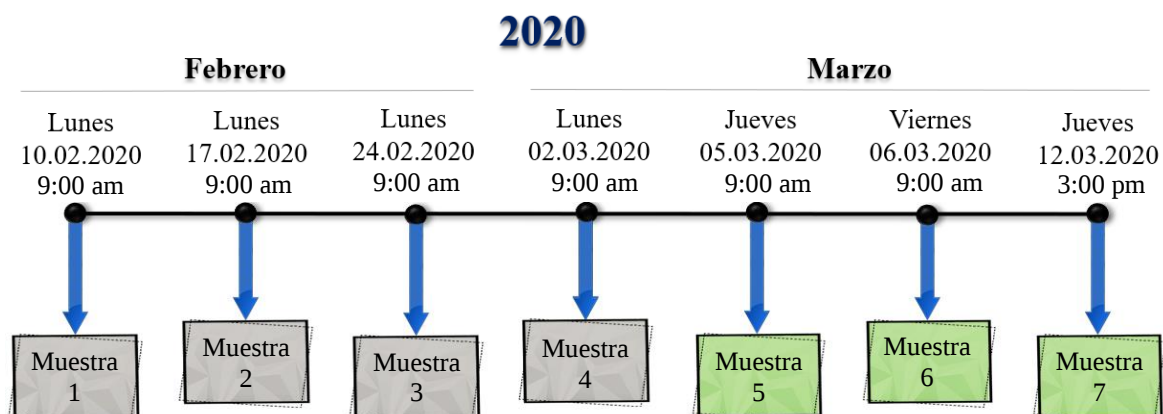


Figura 10. Distribución de los muestreos realizados

Tabla 27. Parámetros evaluados del muestreo para determinar la calidad del efluente

Laboratorio	Parámetros	Método	Expresado en
Análisis Ambiental	Calcio	SM3111D	mg/L
	Magnesio	SM3111B	mg/L
	Sodio	SM3111B	mg/L
	Potasio	SM3111B	mg/L
	pH	SM4500H+ -B	unidades de pH
	Alcalinidad total	SM2320B	mg CaCO ₃ /L
	Alcalinidad al bicarbonato	SM2320B	mg CaCO ₃ /L
	Alcalinidad al carbonato	SM2320B	mg CaCO ₃ /L
Aguas del Instituto Cinara	Huevos de helminto	Bailenger	unidades de huevos/L

Partiendo de lo mencionado con anterioridad se procedió a evaluar los estándares de calidad agronómica con base a la información disponible, la cual fue comparada con lo sugerido por la literatura vigente hasta el momento.

7.3.1. Peligro de salinización

Para evaluar el peligro de salinización se tuvieron como referentes los criterios establecidos por la FAO (1985) y conjuntamente los de la USDA (1954), donde la CE_w fue el parámetro principal para lograr determinar el peligro a la salinización de los suelos en los cuales se encuentran establecidos los cultivos de caña de azúcar, por causa del riego con el agua residual tratada proveniente de la PTAR de El Cerrito.

7.3.2. Peligro de sodicidad

Para evaluar el peligro de sodicidad se tuvo en cuenta la clasificación propuesta por la FAO (1985) que involucra la RAS° y la CE. Con apoyo de la Tabla 11 se corrigieron los valores de Ca ya que este resulta dependiente de la salinidad del agua de riego (CE_w) y la relación entre los bicarbonatos y el Ca presente en la misma. Luego se determinó la RAS° con la ecuación de la FAO, evidenciando graficamente los resultados obtenidos de la RAS° vs. los

valores de CE_w. Esta gráfica relaciona la salinidad (CE) con la RAS° para predecir el efecto sobre la infiltración en el suelo, indicando si esta resulta severa, moderada o sin reducción. Se determinó la RAS_{mod} empleando la fórmula propuesta por Villafañe (2011). Por tanto, se compararon los resultados de la RAS° y RAS_{mod} mediante una regresión lineal, reflejando una representación del recurso hídrico una vez infiltrado en el suelo.

7.3.3. Peligro de toxicidad

Se siguieron las recomendaciones establecidas por la FAO (1985) donde establecen determinados rangos para los iones tóxicos más comunes: Na, Cl y B. Los valores experimentales fueron comparados con la literatura para establecer las restricciones de uso del efluente tratado en la PTAR de El Cerrito.

7.3.4. Riesgo microbiológico

Se siguieron los criterios de evaluación establecidos por la WHO, quienes en el año 2006 hicieron públicas las guías que determinan la calidad y uso seguro de las aguas residuales en la agricultura. Para esta investigación fueron considerados los huevos de helminto como indicadores de contaminación fecal en el agua residual tratada.

7.3.5. Peligro de obturación de emisores RLA_F

Los valores experimentales fueron comparados con la literatura, siguiendo criterios de evaluación establecidos por Bucks & Nakayama (1986) donde incluyen parámetros de calidad del agua destinada para riego (SST, STD, pH, Mn y Fe) con la finalidad de disminuir el riesgo de obturación en los sistemas de riego RLA_F por material biológico, químico y físico.

7.3.6. Peligro de afectación de infraestructura metálica de sistemas de riego

Se determinó el índice de Langelier para evaluar el comportamiento del efluente. Con base a los valores de Carrier (1980) leídos en la publicación de Trayanova *et al.* (2018), se determinó el tipo de carácter que posee el agua residual tratada destinada para riego: corrosivo, neutro o incrustante.

De acuerdo con Rodríguez *et al.* (1999), se considera de carácter corrosivo si el índice obtenido resulta inferior a cero, neutro si el valor es igual a cero e incrustante si supera positivamente dicho valor. La Ecuación 11 representa la fórmula general que involucra el pH_s y se desglosa posteriormente en la Ecuación 12.

$$ISL = pH_m - pH_s \quad (11)$$

$$ISL = pH_m + FT + FA + FD - 12,5 \quad (12)$$

donde:

pH_m: Potencial de hidrógeno medido

FT: Factor de temperatura

FA: Factor de alcalinidad

FD: Factor de dureza

12,5: Constante fija correspondiente a los sólidos totales disueltos

Con base a los valores de temperatura, alcalinidad total y dureza cálcica, fueron determinados sus factores correspondientes según el Ministerio de la Protección Social (2010). Debido a que estos no resultaron ser exactos, fue necesario recurrir a la obtención de valores intermedios empleando una interpolación lineal simple.

Tabla 28. Tabla de factores para calcular IL

Temperatura		Alcalinidad total		Dureza cálcica	
Unidad	Factor	Unidad	Factor	Unidad	Factor
°C	FT	mg CaCO ₃ /L	FA	mg CaCO ₃ /L	FD
5	0,13	10	1,006	5	0,305
10	0,257	20	1,307	10	0,606
15	0,376	30	1,484	15	0,782
17	0,422	35	1,551	25	1,004
19	0,466	40	1,609	50	1,306
20	0,487	45	1,66	75	1,482
21	0,509	50	1,706	100	1,607
22	0,529	55	1,747	125	1,704
23	0,55	60	1,785	150	1,784
24	0,57	65	1,82	175	1,851
25	0,59	70	1,852	200	1,909
26	0,61	75	1,882	225	1,96
27	0,629	80	1,91	250	2,006
28	0,648	85	1,937	275	2,047
29	0,667	90	1,961	300	2,085
30	0,685	95	1,985	350	2,152
31	0,703	100	2,007	400	2,21
32	0,721	105	2,028	450	2,261
33	0,738	110	2,049	500	2,307
34	0,755	120	2,087	550	2,348
35	0,772	130	2,121	600	2,386
36	0,789	140	2,154	650	2,421
37	0,805	150	2,184	700	2,453
38	0,82	200	2,309	800	2,511
39	0,836	250	2,406	900	2,563
40	0,851	300	2,485	1000	2,608

Fuente: Ministerio de la Protección Social (2010)

7.4. Metodología para cumplir el objetivo específico 3

La evaluación del potencial de comercialización del agua residual tratada en la PTAR de El Cerrito para riego agrícola, se determinó mediante la realización de una encuesta destinada a los cañeros pertenecientes al valle geográfico del río Cauca. Se tuvieron en cuenta factores para conocer la dinámica de este sector agrícola el cual exige una alta demanda de agua, infiriendo su disponibilidad a pagar (DAP) por el servicio de tratamiento del agua residual. En la Figura 11 se esquematiza la metodología empleada.

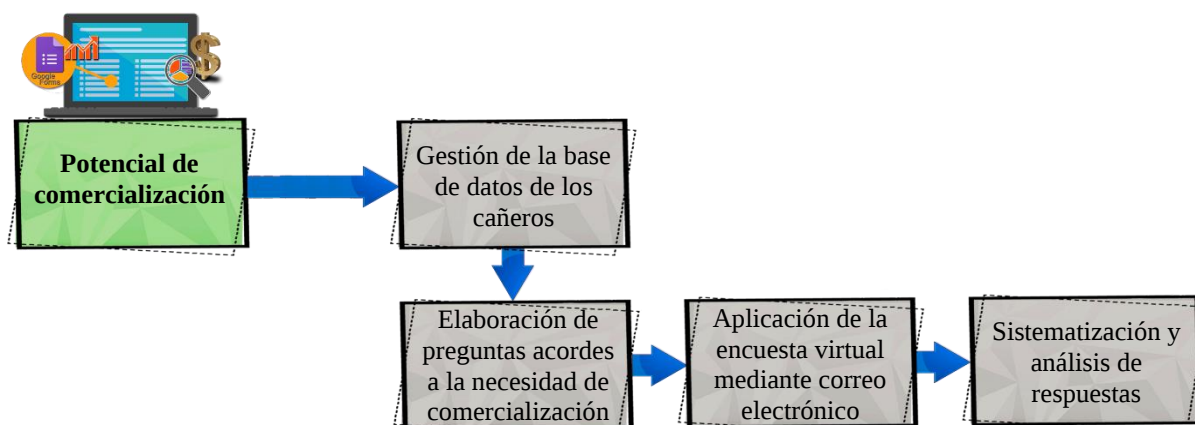


Figura 11. Metodología general para determinar la DAP

7.4.1. Definición del plan de muestreo y aplicación del instrumento

Se gestionó la posibilidad de utilizar la base de datos administrada por la Asociación de Cultivadores de Caña de Azúcar de Colombia (Asocaña), quienes concedieron el permiso de implementar el procedimiento investigativo con la población objeto de estudio representada por los miembros del valle geográfico del río Cauca, y cuya muestra definida para esta ocasión fueron de diez individuos.

Posteriormente se elaboraron un total de siete preguntas ajustadas a las necesidades específicas empleando tipos de carácter cerradas de elección única (adoptando formas dicotómicas y politómicas) y de elección múltiple; además de incluir preguntas abiertas las cuales conllevaron a la obtención de información relacionada con el potencial de comercialización.

7.4.1.1. Instrumento y método de medición

El instrumento definido para la recolección de datos se empleó a través de una encuesta virtual utilizando la herramienta del formulario de Google, la cual es totalmente gratuita y permite agregar varios usuarios, preguntas y respuestas ilimitadas (Abundis, 2016).

Con la finalidad de obtener óptimos resultados en su aplicación se diseñó a través de una estructura concisa y se anexó una breve descripción en su encabezado, exponiendo los beneficios del reuso y el objetivo del proyecto de investigación. Se realizaron encuestas piloto a priori con personas naturales representantes de Asocaña, para conocer el correcto entendimiento de las preguntas por parte del entrevistado, realizar los ajustes necesarios y obtener finalmente su aval.

7.4.1.2. Realización de la encuesta definitiva

Se formuló la encuesta virtual en agosto del 2020 y fue enviada en el siguiente mes por medio de correo electrónico a los cañeros, anexando el link correspondiente del formulario de Google (ver anexos 10.1). Así mismo se estimó una prórroga de quince días, tiempo durante el cual la encuesta estuvo disponible en la plataforma digital para favorecer la intervención de los participantes. La información recolectada fue revisada de manera periódica con el objetivo de corregir cualquier error o discrepancia suscitada.

7.4.2. Sistematización y análisis de respuestas

Una vez recolectada la información se unificaron los datos obtenidos en el cuestionario virtual. Estos fueron consolidados en el programa Excel con la finalidad de organizar y evaluar

su calidad para su posterior análisis individual, empleando tablas y gráficos para la adecuada interpretación del lector.

Con base a la tasa por uso de agua (TUA) que los cañeros pagan ante la autoridad ambiental CVC, se realizó una comparación con la disponibilidad a pagar (DAP) consolidada por cada uno de los encuestados. La CVC en el 2019 expuso unas tarifas fijas de cobro para usos diferentes al doméstico, donde la agricultura, ganadería, caza, silvicultura y pesca se engloban como una sola actividad; estas tarifas de cobro se realizan conforme a la cuenca hidrográfica que comprende un determinado sector o municipio. Por consiguiente, se tuvo en cuenta la Tabla 29 donde se consolidan los valores de interés para esta ocasión.

Tabla 29. Tarifas para determinar la TUA

Año	Cuenca	Aguas subterráneas	Aguas superficiales
		TUA (\$/m ³)	TUA (\$/m ³)
2019	Amaime	4,51	4,02
	Bugalagrande	0,96	1,58
	El Cerrito	7,08	4,02
	Guachal	7,08	3,01
	Guadalajara	2,18	4,55
	La Vieja	1,54	1,54
	Sabaletas	2,92	4,02

Fuente: Adaptado de CVC (2019)

Finalmente, fue posible determinar el valor monetario promedio de la DAP por parte de los cañeros interesados en la adquisición del agua residual tratada en la PTAR de El Cerrito.

8. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

8.1. Caracterización y descripción de la zona de estudio

La PTAR del municipio de El Cerrito opera inicialmente con un tratamiento preliminar compuesto por rejas (gruesas y atrapa pelos) y un desarenador para la remoción de partículas sólidas, luego el agua conducida llega al sistema de bombeo el cual consta de un pozo y un par de bombas para el ascenso respectivo del flujo. Posteriormente se realiza un tratamiento primario por medio de dos lagunas anaerobias de alta tasa, reforzadas en su interior con geomembranas para garantizar la ausencia de oxígeno y así lograr el manejo pertinente de gases, lodos y zonas de sedimentación.



Figura 12. Rejillas y desarenador



Figura 13. Ingreso del efluente



Figura 14. Laguna anaerobia de alta tasa



Figura 15. Laguna facultativa

Adicionalmente se ejecuta un tratamiento secundario conformado por dos lagunas facultativas las cuales han sido mejoradas con la implementación de baffles para mejorar la hidrodinámica de las lagunas. El efluente está siendo vertido en el río Sabaletas, esta zona de descarga se encuentra a menos de 10 km de la desembocadura del río Cauca.

Actualmente la PTAR está manejando un caudal promedio de 70 L/s y el proceso empleado es de carácter biológico, su variación depende netamente del dinamismo de operación del sector industrial y urbano. Finalmente, se mencionan los lechos de secado para llevar a cabo el manejo y tratamiento de lodos provenientes de las lagunas.



Figura 16. Punto de salida del efluente



Figura 17. Vertimiento Río Sabaletas

En la Figura 18 y Tabla 30 se presenta de manera esquemática la información descrita anteriormente, donde es posible lograr una ubicación espacial de la PTAR El Cerrito e identificar los procesos que se llevan a cabo.

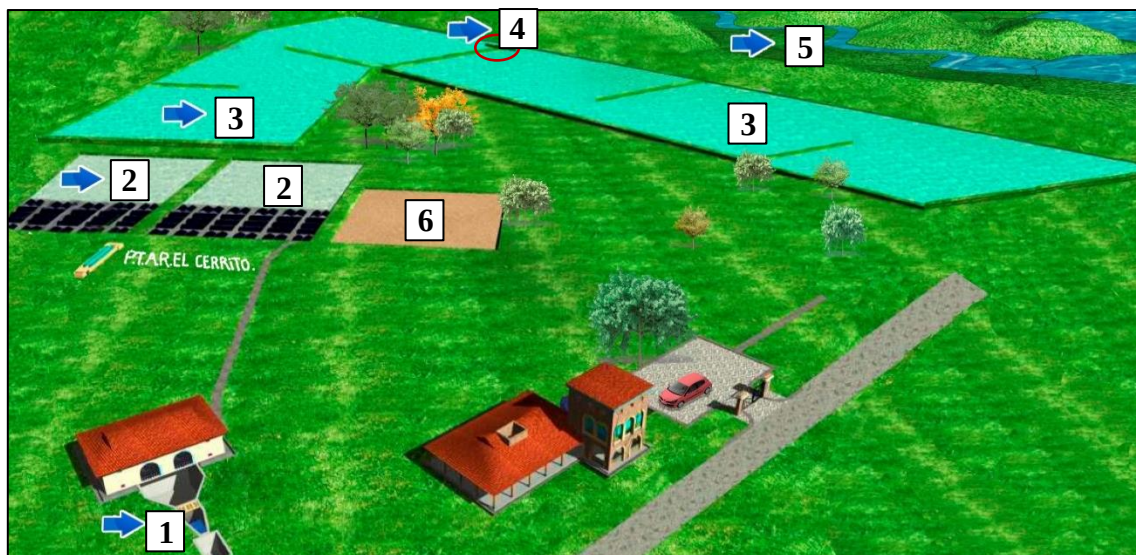


Figura 18. Esquema de operatividad en la PTAR

Tabla 30. Señalización de la PTAR

Nº	Indicación
1	Rejas, desarenador y sistema de bombeo
2	Lagunas anaerobias de alta tasa
3	Lagunas facultativas
4	Salida del efluente tratado y punto de muestreo
5	Vertimiento Río Sabaletas
6	Lechos de secado para el manejo de lodos

El diseño del sistema de tratamiento de aguas residuales de El Cerrito fue realizado por el instituto CINARA de la Universidad del Valle. Durante los recorridos realizados en la PTAR no se evidenciaron presencia de malos olores y también se detalló la implementación del procedimiento de perfil de lodos para su respectiva purga, los cuales finalmente son neutralizados con cal y cumplen dos objetivos: relleno de terrenos y abono para algunas zonas. A su vez se observaron indicadores biológicos como la garza real, pellar, iguaza maría común, zariguellas, iguanas, armadillos, ardillas y sapos que han hecho presencia en el lugar y se evidenciaron constantemente en las visitas realizadas, siendo este un medidor de la calidad del efluente tratado (ver Figuras 19 y 20).



Figura 19. Aves residentes del sector



Figura 20. Iguazas y pellares en las lagunas facultativas

8.2. Resultados del objetivo específico 1

8.2.1. Estimación de la demanda hídrica

En el escenario 1 se contemplaron los procedimientos necesarios para la demanda hídrica, considerando un nivel o probabilidad de excedencia de la P al 50%. A partir de esta propuesta se desglosaron otros 3 escenarios: 1.1, 1.2 y 1.3; considerando diferentes meses de siembra (enero, abril y octubre) y distintos métodos de riego (gravedad, aspersión y goteo) teniendo presente las eficiencias correspondientes a cada uno de ellos (aplicación, conducción y distribución). Para el escenario 2 se consideró una probabilidad de excedencia de la P al 75%, siendo este el escenario crítico para esta investigación. De manera análoga, se desglosaron los 3 escenarios conservando los mismos meses de siembra y métodos de riego.

Se pudo evidenciar una variabilidad en la demanda con los diversos escenarios. Particularmente se registraron periodos en los que la precipitación suple la demanda y no es necesario implementar el riego artificial; caso contrario ocurrió en otros periodos donde la precipitación resulta menor y se requiere la aplicación de riego. En las Tablas 31 y 32 se demuestra el procedimiento agrícola convencional para el cálculo de la demanda hídrica correspondientes a los escenarios 1.1 y 2.1, donde se tuvo en cuenta la P al 50% y 75% respectivamente; además del mes de enero como inicio de siembra y el sistema de riego por gravedad.

Tabla 31. Escenario 1.1 de la demanda hídrica empleando precipitación al 50% y considerando enero como inicio de siembra

	MES	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
PARÁMETRO	UNIDAD	VALOR DÍA/MES											
Cantidad de días	días/mes	31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31
Precipitación al 50% probabilidad de excedencia (P)	mm/mes	64,8	47,1	101,5	139,0	108,5	51,6	39,6	34,0	60,5	120,6	104,6	75,9
Evaporación al 50% probabilidad de excedencia (Ev)	mm/mes	127,7	121,3	121,9	121,5	118,5	116,1	134,2	143,7	134,0	130,8	119,1	124,7
Caudal mensual de oferta (Qofert)	L/s	72,6	66,8	66,1	67,6	60,7	59,5	60,3	60,3	68,2	71,9	62,5	67,9
Precipitación efectiva (Pe)	mm/mes	58,08	43,55	85,02	108,09	89,66	47,34	37,09	32,15	54,64	97,33	87,09	66,68
Volumen ofertado mensual (Vofert)	m³	194452	161603	177042	175219	162579	154224	161508	161508	176774	192577	162000	181863
Evapotranspiración real del cultivo (ET)	mm/mes	38,31	36,39	36,57	48,60	71,10	81,27	107,36	114,96	93,80	78,48	71,46	74,82
Necesidad de Riego Neta (NRtn)	mm/mes	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	33,930	70,269	82,810	39,156	0,000	0,000	8,137
Eficiencia producto (Ep)	%	0,475	0,475	0,475	0,475	0,475	0,475	0,475	0,475	0,475	0,475	0,475	0,475
NRt bruto o total (NRtn)	mm/mes	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	71,385	147,838	174,221	82,380	0,000	0,000	17,120
Módulo de riego (Mfc)	l/seg-ha	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,275	0,552	0,650	0,318	0,000	0,000	0,064
Área cultivable (A)	ha	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Volumen demandado (Vd)	m³/mes	0	0	0	0	0	714	1478	1742	824	0	0	171
Caudal de flujo continuo (Qfc)	l/seg	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,275	0,552	0,650	0,318	0,000	0,000	0,064
Volumen ofert - Volumen demandado (Vofert - Vd)	m³/mes	194452	161603	177042	175219	162579	153510	160029	159765	175951	192577	162000	181692

Tabla 32. Escenario 2.1 de la demanda hídrica empleando precipitación al 75% y considerando enero como inicio de siembra

	MES	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
PARÁMETRO	UNIDAD	VALOR DÍA/MES											
Cantidad de días	días/mes	31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31
Precipitación al 75% probabilidad de excedencia (P)	mm/mes	27,3	34,0	71,6	100,1	74,8	34,5	15,3	11,9	22,4	79,1	72,3	37,8
Evaporación al 50% probabilidad de excedencia (Ev)	mm/mes	127,7	121,3	121,9	121,5	118,5	116,1	134,2	143,7	134,0	130,8	119,1	124,7
Caudal mensual de oferta (Qofert)	L/s	72,6	66,8	66,1	67,6	60,7	59,5	60,3	60,3	68,2	71,9	62,5	67,9
Precipitación efectiva (Pe)	mm/mes	26,11	32,15	63,40	84,07	65,85	32,60	14,93	11,67	21,60	69,09	63,94	35,51
Volumen ofertado mensual (Vofert)	m³	194452	161603	177042	175219	162579	154224	161508	161508	176774	192577	162000	181863
Evapotranspiración real del cultivo (ET)	mm/mes	38,31	36,39	36,57	48,60	71,10	81,27	107,36	114,96	93,80	78,48	71,46	74,82
Necesidad de Riego Neta (NRtn)	mm/mes	12,202	4,240	0,000	0,000	5,252	48,674	92,435	103,287	72,203	9,391	7,524	39,306
Eficiencia producto (Ep)	%	0,475	0,475	0,475	0,475	0,475	0,475	0,475	0,475	0,475	0,475	0,475	0,475
NRt bruto o total (NRtn)	mm/mes	25,673	8,920	0,000	0,000	11,050	102,405	194,471	217,302	151,906	19,757	15,829	82,695
Módulo de riego (Mfc)	l/seg-ha	0,096	0,037	0,000	0,000	0,041	0,395	0,726	0,811	0,586	0,074	0,061	0,309
Área cultivable (A)	ha	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Volumen demandado (Vd)	m³/mes	257	89	0	0	110	1024	1945	2173	1519	198	158	827
Caudal de flujo continuo (Qfc)	l/seg	0,096	0,037	0,000	0,000	0,041	0,395	0,726	0,811	0,586	0,074	0,061	0,309
Volumen ofert - Volumen demandado (Vofert - Vd)	m³/mes	194195	161513	177042	175219	162468	153200	159563	159334	175255	192379	161842	181036

8.2.2. Comportamiento de la demanda hídrica

Evaluando el escenario 1 donde se contempló un nivel de ocurrencia de la P del 50%, se analizan en detalle las diversas propuestas realizadas.

El escenario 1.1 donde se consideró a enero como etapa inicial de siembra, se reflejó un volumen de agua demandado nulo que se mantuvo constante durante los primeros 5 meses del año; es decir, el aporte de la P de enero a mayo es suficiente para no contemplar el uso de riego. No obstante, a partir del mes de mayo se refleja una variación abrupta que evidencia un crecimiento sostenido hasta llegar al mes de agosto, siendo este último el máximo valor de demanda obtenido para este escenario. Posteriormente desciende hasta llegar al punto mínimo en el mes de octubre, donde no requiere riego hasta noviembre. Finalmente, al culminar el año se evidencia nuevamente un requerimiento mínimo de riego.

Se reflejaron siete meses del año comprendiendo de enero a mayo y de octubre a noviembre, en los cuales no se requiere ninguna aplicación de riego. En relación a la mayor demanda obtenida en el mes de agosto según los sistemas de riego, correspondieron a volúmenes de 1742 m³, 1244 m³ y 968 m³ para los sistemas de gravedad, aspersión y goteo, respectivamente; por tanto, se optimiza mayoritariamente el recurso hídrico si se emplea el sistema por goteo.

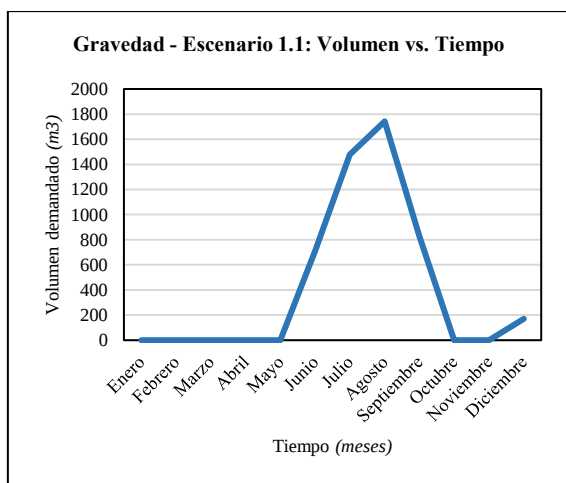


Figura 21. Demanda-escenario 1.1 por gravedad

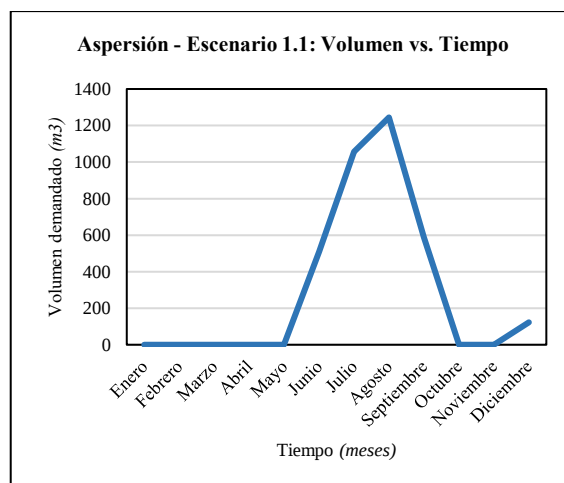


Figura 22. Demanda-escenario 1.1 por aspersión

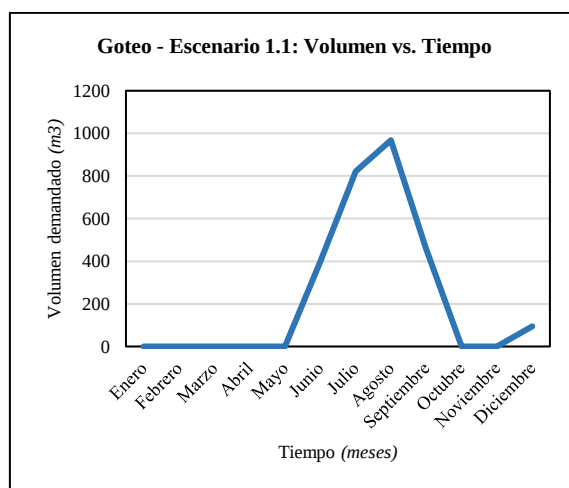


Figura 23. Demanda-escenario 1.1 por goteo

En contraste y considerando el mes de abril como inicio del proceso de siembra, el escenario 1.2 requiere un aporte artificial de agua desde el comienzo del año hasta el mes de febrero, a partir de allí la demanda desciende hasta marzo y adquiere una tendencia constante de cero riego hasta los 3 meses posteriores. En junio manifiesta un crecimiento hasta lograr su punto máximo en el mes de agosto y se reduce hasta octubre, donde finalmente adquiere un crecimiento paulatino hasta finalizar el año.

Por tanto, se obtuvieron tan solo cuatro meses del año (marzo, abril, mayo y junio) donde no se requiere ninguna aplicación de riego. De manera análoga si se evalúa la mayor demanda acorde a los sistemas de riego, nuevamente predomina una mayor optimización en el sistema por goteo correspondiendo a un volumen de 632 m³ en el mes de agosto, seguido por el sistema de aspersión con 813 m³ y el de gravedad con 1138 m³, generando este último una mayor demanda y probablemente un mayor desperdicio del recurso.

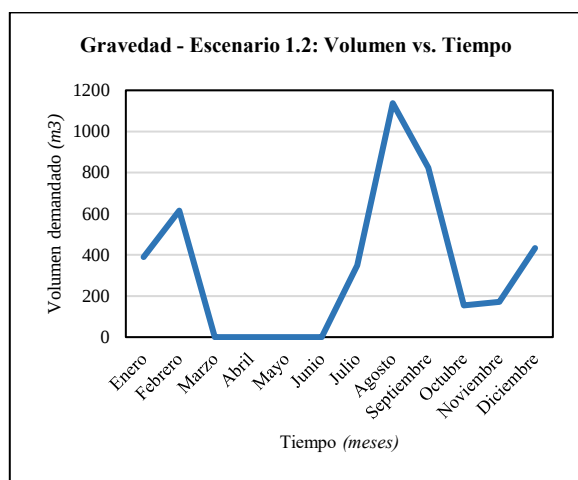


Figura 24. Demanda-escenario 1.2 por gravedad

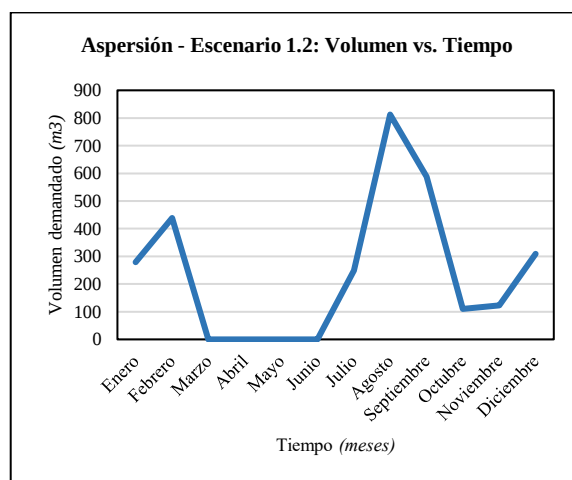


Figura 25. Demanda-escenario 1.2 por aspersión

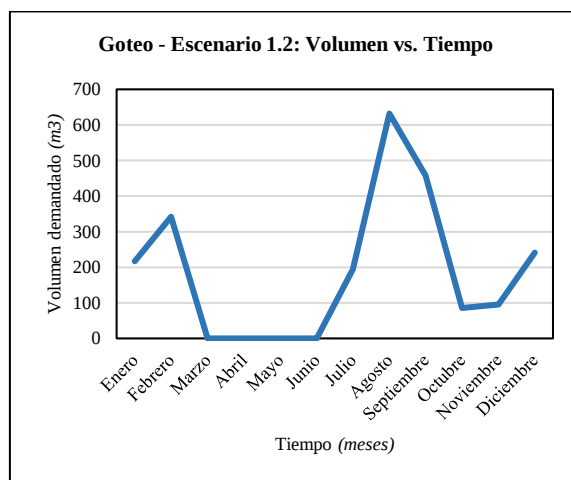


Figura 26. Demanda-escenario 1.2 por goteo

Comenzando la etapa de siembra en el mes de octubre, el escenario 1.3 arranca el año contemplando la implementación de riego hasta el mes de febrero; sin embargo, disminuye hasta llegar al punto rescindido de aplicación en el mes de marzo y prolonga este comportamiento hasta abril. En este último mes se presenta un crecimiento sosegado hasta conseguir su máximo valor correspondiente al mes de agosto y una vez culminado el mes, desciende considerablemente en el mes de octubre, hasta nuevamente obviar la opción de riego hasta culminar el año.

Por consiguiente, se evita implementar los sistemas de riego durante cinco meses del año correspondiendo a enero, abril, octubre, noviembre y diciembre. Acorde a los máximos valores obtenidos de volumen demandado para los sistemas de riego, en el mes de agosto fueron de 1138 m³, 813 m³ y 632 m³ para gravedad, aspersión y goteo, respectivamente. Los datos expuestos anteriormente fueron homogéneos a los conseguidos en el escenario 1.2, aunque dicha semejanza únicamente aplicó para el mes de agosto.

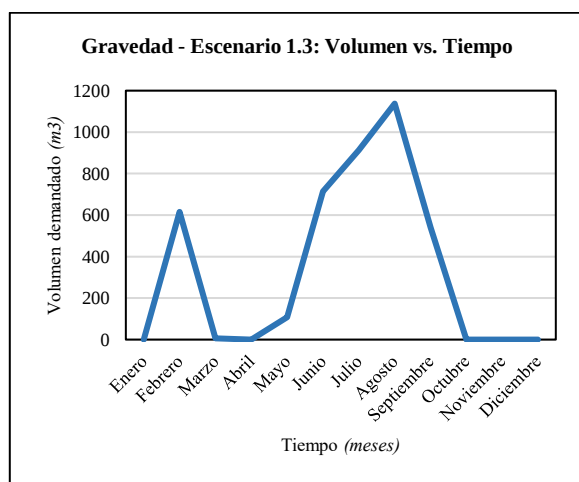


Figura 27. Demanda-escenario 1.3 por gravedad

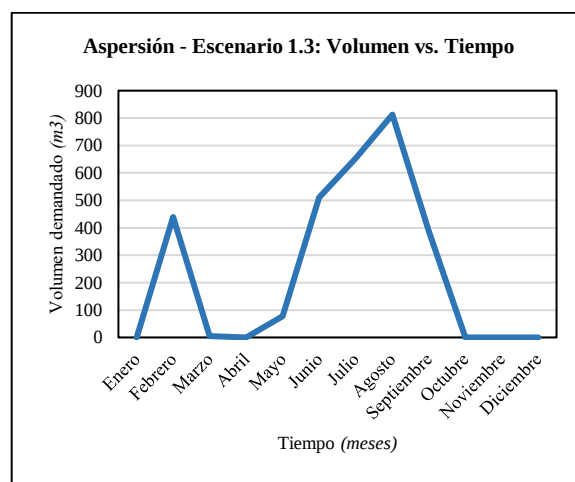


Figura 28. Demanda-escenario 1.3 por aspersión

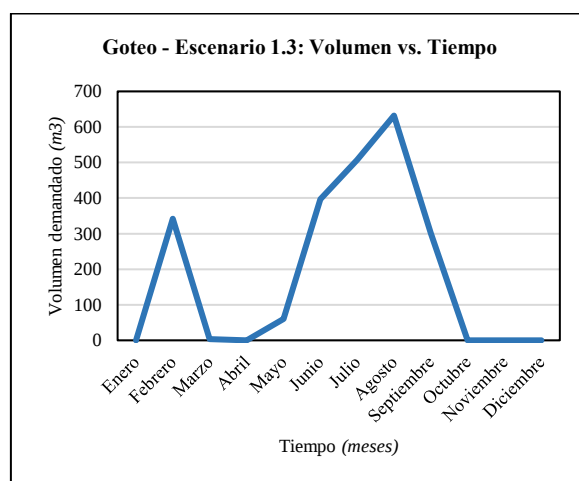


Figura 29. Demanda-escenario 1.3 por goteo

Para el escenario 2 se consideró una probabilidad de excedencia de la P al 75%. De manera análoga, se desglosaron los 3 escenarios que se describen a continuación.

En la alternativa 2.1 se consideró el mes de enero como periodo para emprender la siembra, arrancando en enero con un volumen mínimo que desciende sosegadamente hasta el mes de marzo, luego adopta un comportamiento constante de cero riego hasta el mes de abril. Prontamente el volumen asciende considerablemente hasta lograr a su punto máximo en el mes de agosto, donde procede a disminuir hasta llegar a noviembre y generar un aumento en su valor hasta el mes de diciembre.

Por tanto, los valores de demanda máximos obtenidos en esta alternativa correspondientes al mes de agosto fueron de 2173 m³ por gravedad, 1552 m³ por aspersión y 1207 m³ por goteo. De acuerdo a los sistemas de riego se refleja nuevamente una reducción

significativa en el recurso hídrico si se implementa por goteo. Para esta alternativa los meses de marzo y abril representan un ahorro en la aplicación de riego.

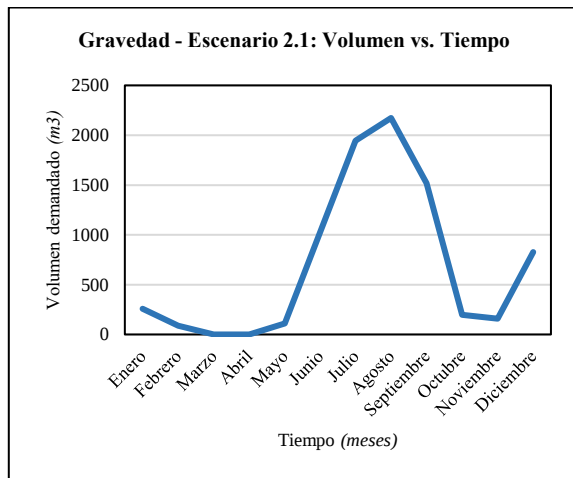


Figura 30. Demanda-escenario 2.1 por gravedad

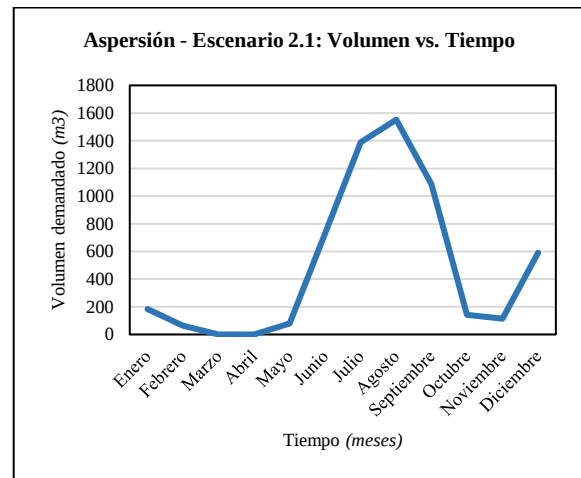


Figura 31. Demanda-escenario 2.1 por aspersión

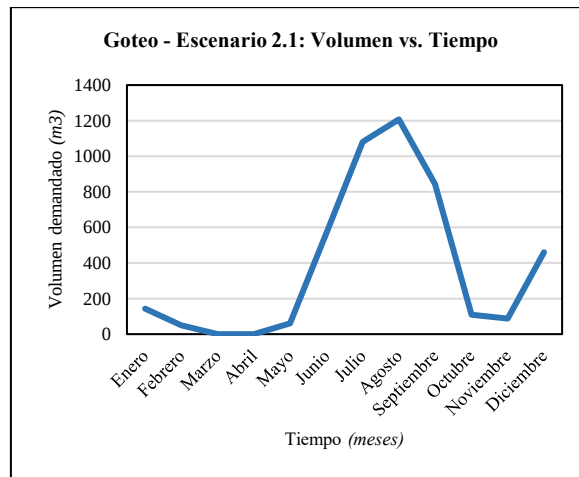


Figura 32. Demanda-escenario 2.1 por goteo

El escenario 2.2 inicia con un volumen demandado intermedio el cual disminuye hasta abril, a partir de este mes presenta un comportamiento nulo de riego hasta el mes de mayo donde emprende a ascender paulatinamente hasta junio; sin embargo, a partir de junio adopta un crecimiento abrupto hasta alcanzar su punto máximo en el mes de agosto. Una vez alcanzado este mes, se torna un descenso hasta llegar a noviembre donde nuevamente apta un breve crecimiento hasta culminar el año.

Se lograron obtener dos meses del año donde no se implementa el riego (abril y mayo) conservando el comportamiento del escenario 2.1 acorde a la misma cantidad de meses donde se refleja dicha nulalidad, añadiendo que el mes de abril resulta repetitivo en ambos casos. De acuerdo al mayor volumen obtenido en agosto para los diversos sistemas de riego, le corresponden los valores de 1568 m³ por gravedad, 1120 m³ por aspersión y 871 m³ por goteo; donde nuevamente continúa el patrón de reducción para este último sistema de riego.

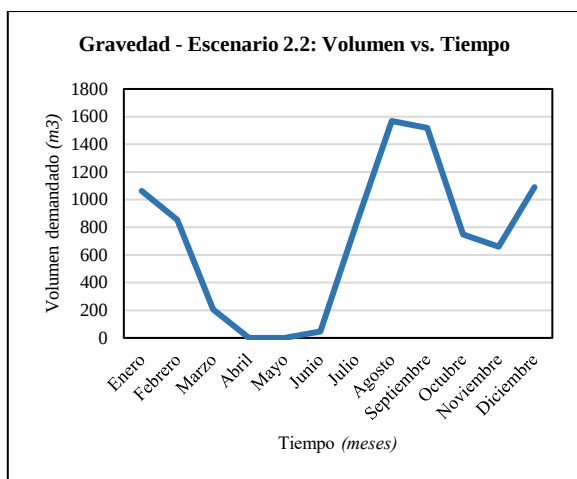


Figura 33. Demanda-escenario 2.2 por gravedad

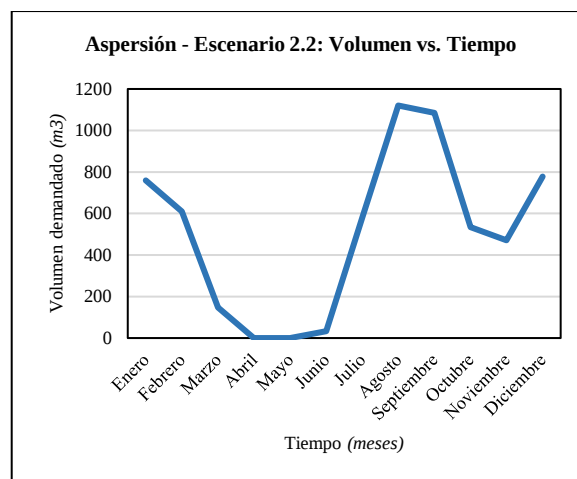


Figura 34. Demanda-escenario 2.2 por aspersión

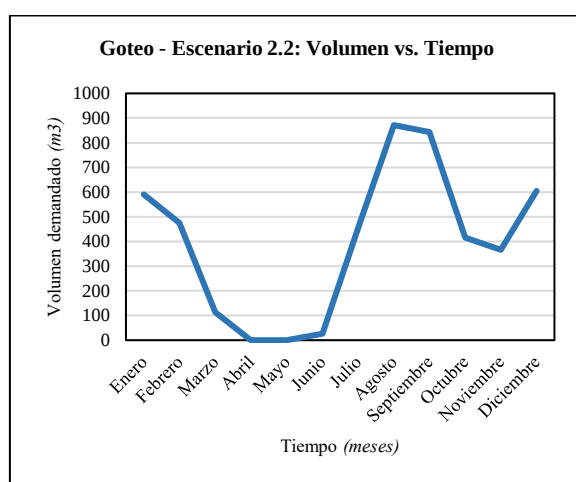


Figura 35. Demanda-escenario 2.2 por goteo

Finalmente, en el escenario 2.3 se emprende el año con la aplicación del sistema de riego de manera ascendente hasta el mes de febrero, donde manifiesta un descenso gradual hasta abril. A partir de este mes se origina un aumento considerable hasta lograr el máximo volumen demandado en agosto, luego asume un comportamiento opuesto disminuyendo drásticamente el volumen hasta llegar a octubre donde se descarta la aplicación artificial de agua hasta el mes de noviembre. Finalmente exhibe un leve ascenso hasta el mes de diciembre.

De manera reiterativa se conservan la misma cantidad de meses (octubre y noviembre) evidenciando un aporte suficiente de la P para descartar la implementación de riego. Los valores de 1568 m^3 , 1120 m^3 y 871 m^3 fueron los máximos de volumen obtenidos en el mes de agosto para los sistemas de gravedad, aspersión y goteo, respectivamente. Así mismo se refleja un mayor requerimiento hídrico si se implementa el sistema por gravedad.

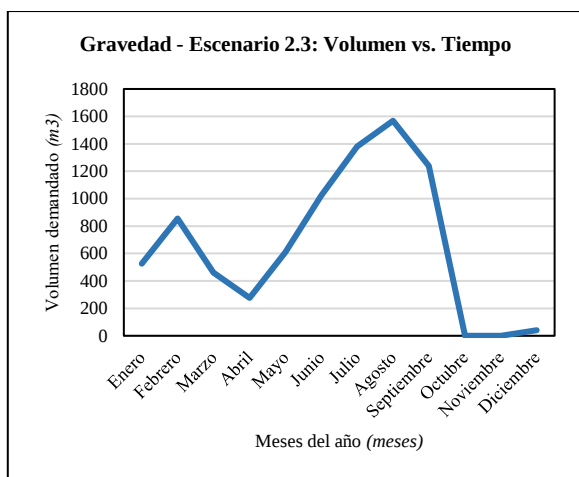


Figura 36. Demanda-escenario 2.3 por gravedad

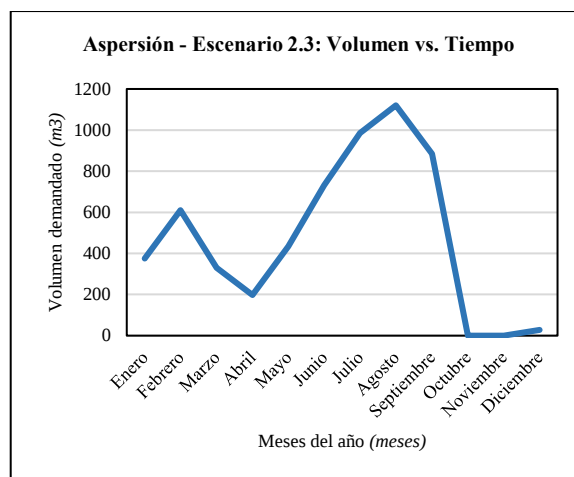


Figura 37. Demanda-escenario 2.3 por aspersión

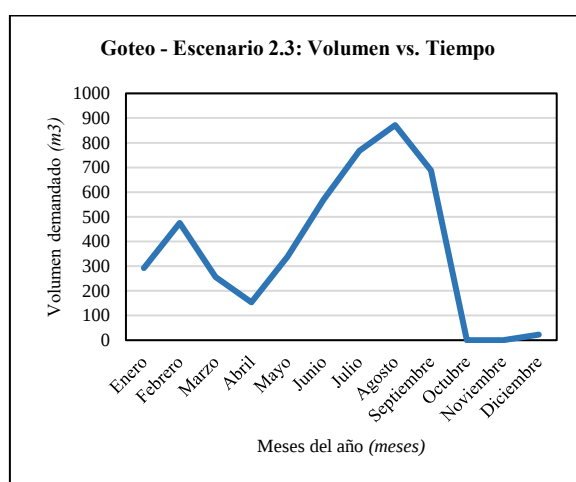


Figura 38. Demanda-escenario 2.3 por goteo

Después de analizar el comportamiento obtenido de la demanda en cada uno de los escenarios 1 y 2, se logró evidenciar de manera gráfica la versatilidad existente en cada uno de ellos, debido a que se consideraron dos valores de P , fechas de siembra diferentes, y distintos métodos de riego.

En consecuencia y sin importar la variabilidad de los factores mencionados anteriormente, en todos los escenarios predominó el mes de agosto como pico más alto de la demanda. Efectivamente resulta ser el mes donde ocurren menores precipitaciones en la zona de estudio, por lo que resulta necesario una mayor aplicación de riego. En contraste, el mes donde ocurre la mayor precipitación anual y por ende se omite la implementación de riego, corresponde al mes de abril en el escenario 1; sin embargo, en el escenario 2 dicho mes solamente prevaleció para las propuestas 2.1 y 2.2. Se puso en manifiesto que implementar el sistema de riego por gravedad representa una mayor demanda, mientras que el sistema por goteo conlleva a considerarse el mecanismo principal de optimización del recurso hídrico.

8.2.3. Áreas a beneficiarse con el efluente de la PTAR

Se consideraron dos alternativas posibles: almacenar el agua residual tratada destinada para riego y desarrollar la actividad sin almacenamiento. Con base a ello se determinaron las áreas a beneficiarse con el efluente previamente tratado, las cuales resultaron ser variantes de acuerdo a cada sistema de riego.

Se analizaron cada uno de los escenarios propuestos consolidando la información en las siguientes Tablas, y evidenciando de manera gráfica el panorama de las áreas beneficiadas mensualmente desarrollando la actividad sin almacenamiento. A continuación se analiza el escenario 1 y sus diversas propuestas.

Tabla 33. Valores de áreas que se beneficiarán con el efluente en el escenario 1.1

Escenario 1.1		
Método de riego	Alternativas	Área (ha)
 Gravedad	Con almacenamiento	418
	Sin almacenamiento	Área min
		93
 Aspersión	Con almacenamiento	585
	Sin almacenamiento	Área min
		130
 Goteo	Con almacenamiento	753
	Sin almacenamiento	Área min
		167

De acuerdo a los tres sistemas de riego expuestos en la tabla anterior, en el escenario 1.1 se pudo lograr abarcar un área potencial de 753 *ha* para la actividad de almacenamiento del agua residual tratada, y el área mínima más extensa de 167 *ha* sin almacenamiento; ambos valores correspondientes al riego por goteo.

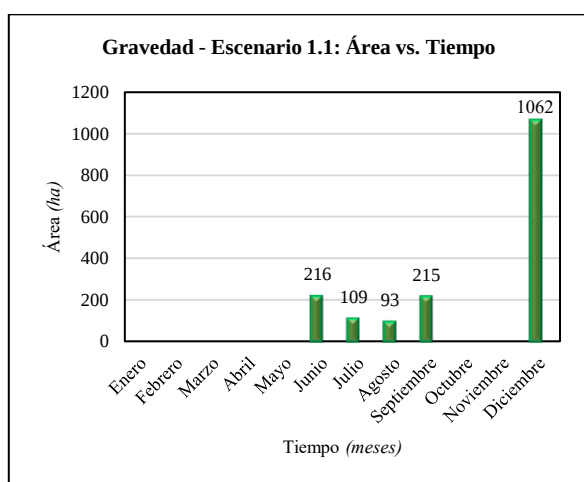


Figura 39. Área del escenario 1.1 por gravedad

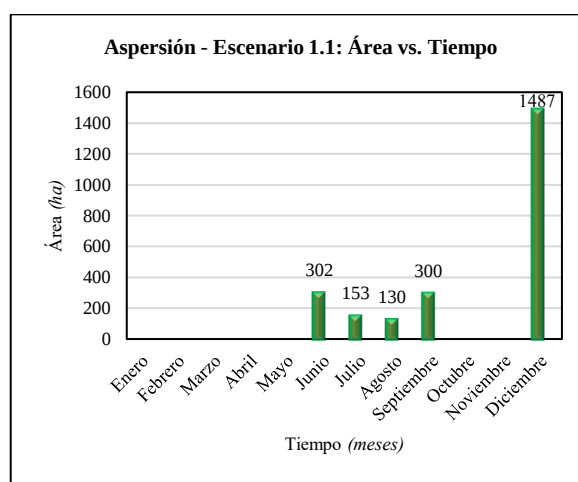


Figura 40. Área del escenario 1.1 por aspersión

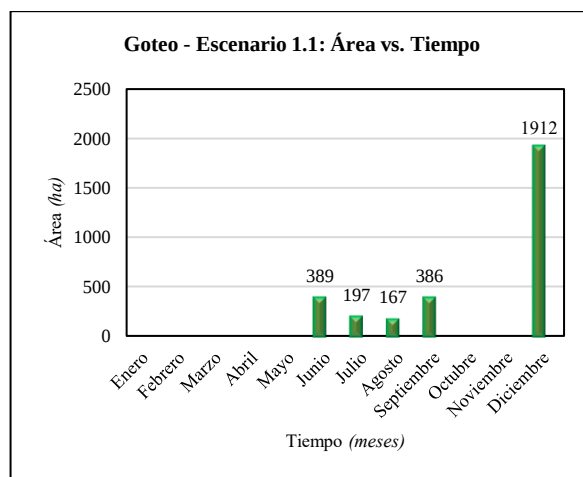


Figura 41. Área del escenario 1.1 por goteo

Evaluando las áreas de manera mensual se apreció una diferencia considerable entre las obtenidas en diciembre con respecto a los demás meses. Se reflejaron áreas mínimas en agosto de 93 ha, 130 ha y 167 ha para gravedad, aspersión y goteo, respectivamente. Conservando el mismo orden de los sistemas se lograron áreas máximas de 1062 ha, 1487 ha y 1912 ha, cuyos valores incumben al mes de diciembre.

Tabla 34. Valores de áreas que se beneficiarán con el efluente en el escenario 1.2

Escenario 1.2		
Método de riego	Alternativas	Área (ha)
 Gravedad	Con almacenamiento	506
	Sin almacenamiento	Área min 142
 Aspersión	Con almacenamiento	708
	Sin almacenamiento	Área min 199
 Goteo	Con almacenamiento	911
	Sin almacenamiento	Área min 256

En el escenario 1.2 el sistema de riego por goteo logró abarcar un área potencial de 911 ha almacenando el agua. Del conjunto de áreas mínimas, el valor mayor que se obtuvo correspondió a 256 ha desarrollando la actividad sin almacenamiento.

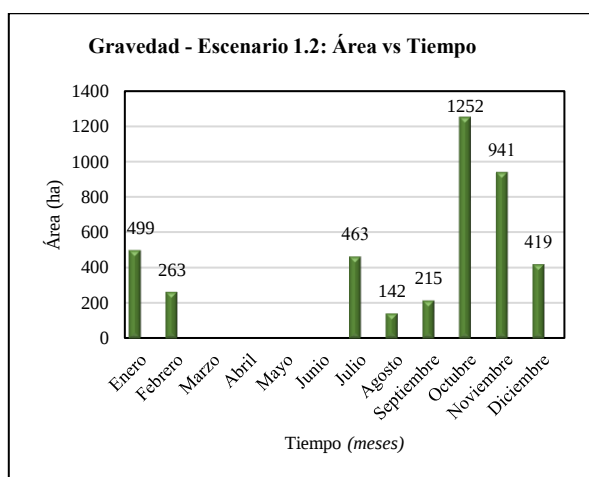


Figura 42. Área del escenario 1.2 por gravedad

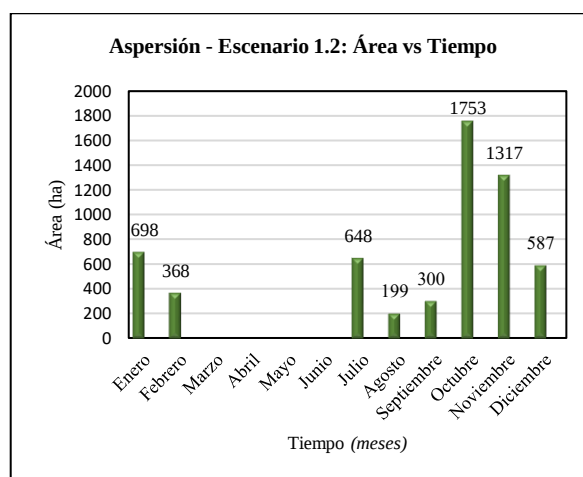


Figura 43. Área del escenario 1.2 por aspersión

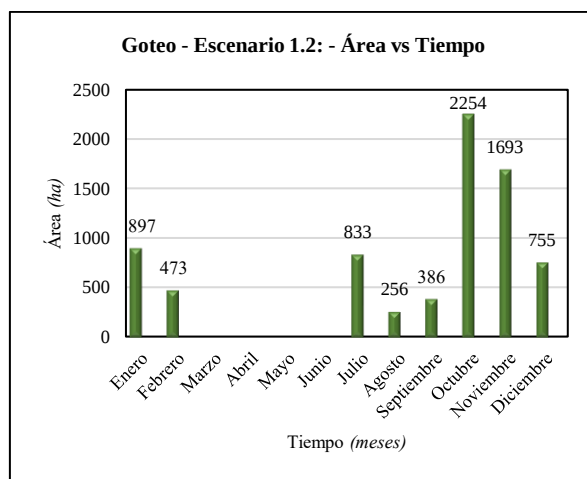


Figura 44. Área del escenario 1.2 por goteo

Las gráficas del análisis mensual demostraron una mayor variabilidad con respecto al escenario 1.1, obteniendo áreas mínimas de 142 *ha* empleando el sistema por gravedad, 199 *ha* por aspersión y 256 *ha* por goteo; mientras que las áreas máximas correspondieron a los valores de 1252 *ha*, 1753 *ha* y 2254 *ha*, respectivamente. Para el escenario 1.2 prevaleció agosto como mes de áreas mínimas, mientras que octubre manifestó una tendencia en áreas máximas.

Tabla 35. Valores de áreas que se beneficiarán con el efluente en el escenario 1.3

Escenario 1.3		
Método de riego	Alternativas	Área (ha)
 Gravedad	Con almacenamiento	511
	Sin almacenamiento	Área min
		142
 Aspersión	Con almacenamiento	715
	Sin almacenamiento	Área min
		302
 Goteo	Con almacenamiento	919
	Sin almacenamiento	Área min
		256

Almacenando el agua se obtuvieron 919 *ha* beneficiadas empleando el riego por goteo, siendo esta el área potencial con respecto a los demás sistemas. El área mínima más extensa fue de 256 *ha* desarrollando la actividad sin almacenamiento para el mismo sistema de riego.

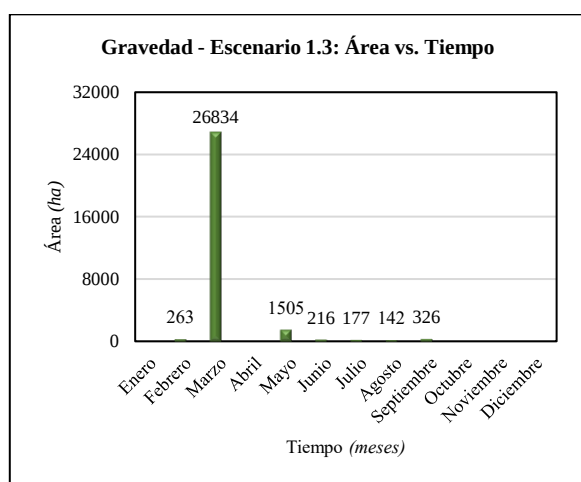


Figura 45. Área del escenario 1.3 por gravedad

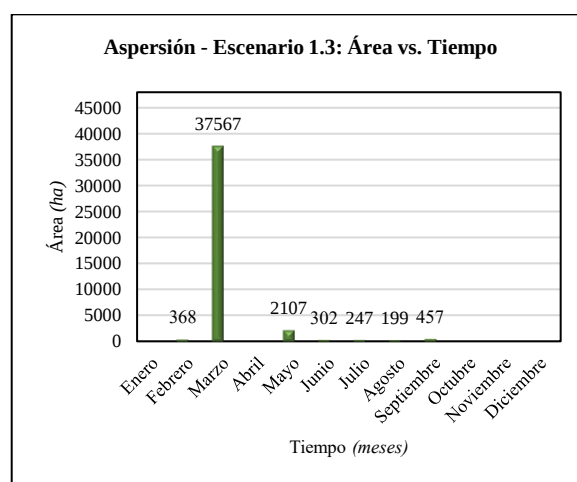


Figura 46. Área del escenario 1.3 por aspersión

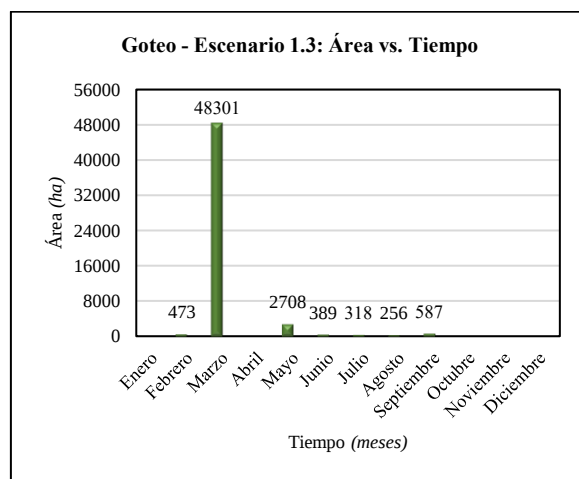


Figura 47. Área del escenario 1.3 por goteo

Finalmente, ocurrió una diferencia significativa entre las áreas obtenidas en el mes de marzo con respecto a los demás meses. Las áreas mínimas correspondieron al mes de agosto con 142 *ha*, 199 *ha* y 256 *ha* y áreas máximas en el mes de marzo de 26834 *ha*, 37567 *ha* y 48301 *ha* para los sistemas de riego por gravedad, aspersión y goteo, respectivamente.

A continuación se analizan las diversas propuestas que incluye el escenario 2.

Tabla 36. Valores de áreas que se beneficiarán con el efluente en el escenario 2.1

Escenario 2.1		
Método de riego	Alternativas	Área (ha)
 Gravedad	Con almacenamiento	248
	Sin almacenamiento	Área min
		74
 Aspersión	Con almacenamiento	348
	Sin almacenamiento	Área min
		104
 Goteo	Con almacenamiento	447
	Sin almacenamiento	Área min
		134

En el escenario 2.1 el sistema de riego por goteo logró abarcar un área potencial de 447 *ha* almacenando el recurso hídrico tratado. Del conjunto de áreas mínimas, la más extensa obtenida fue de 134 *ha* desarrollando la actividad sin almacenamiento.

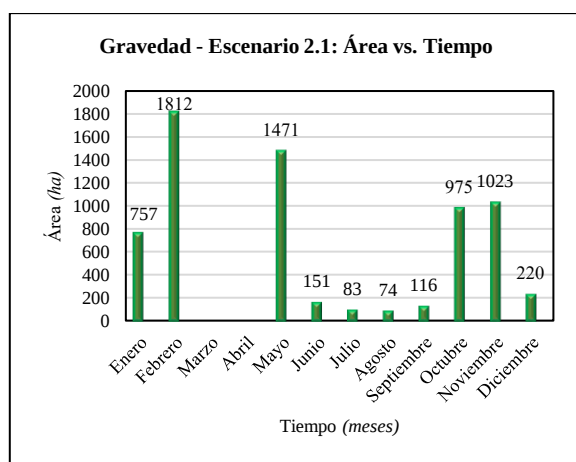


Figura 48. Área del escenario 2.1 por gravedad

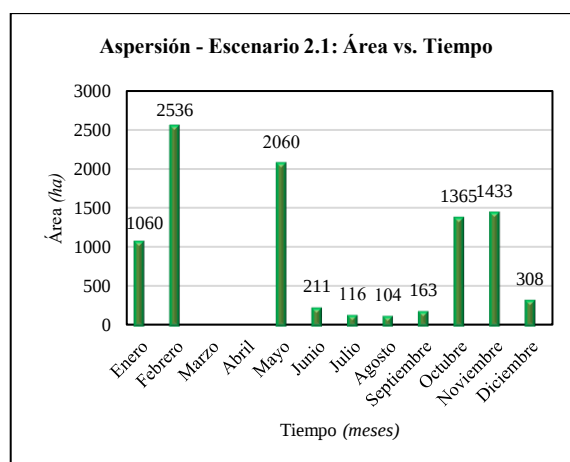


Figura 49. Área del escenario 2.1 por aspersión

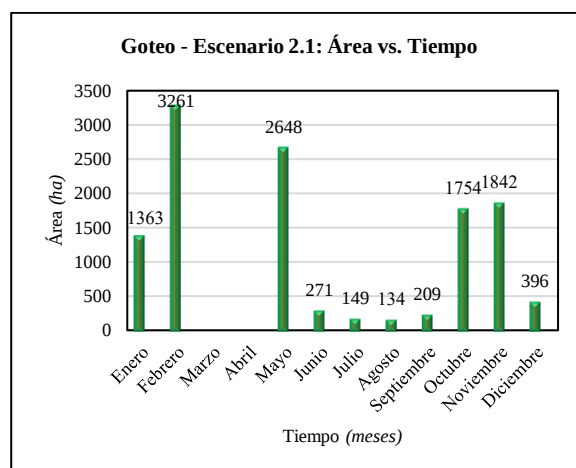


Figura 50. Área del escenario 2.1 por goteo

En este escenario ocurrió un dinamismo con base al análisis mensual de áreas, evidenciando la ausencia de áreas en los meses de marzo y abril. En consecuencia, las áreas mínimas fueron de 74 *ha* empleando el sistema por gravedad, 104 *ha* por aspersión y 134 *ha* por goteo durante el mes de agosto; mientras que las áreas máximas alcanzaron valores de 1812 *ha*, 2536 *ha* y 3261 *ha* en el mes de febrero, respectivamente.

Tabla 37. Valores de áreas que se beneficiarán con el efluente en el escenario 2.2

Escenario 2.2		
Método de riego	Alternativas	Área (ha)
 Gravedad	Con almacenamiento	241
	Sin almacenamiento	Área min 103
 Aspersión	Con almacenamiento	337
	Sin almacenamiento	Área min 144
 Goteo	Con almacenamiento	433
	Sin almacenamiento	Área min 185

Realizando el almacenamiento se obtuvieron 443 *ha* beneficiadas empleando el riego por goteo, resultando ser el área potencial entre los tres sistemas. El área mínima más extensa fue de 185 *ha* desarrollando la actividad sin almacenamiento para el mismo sistema de riego.

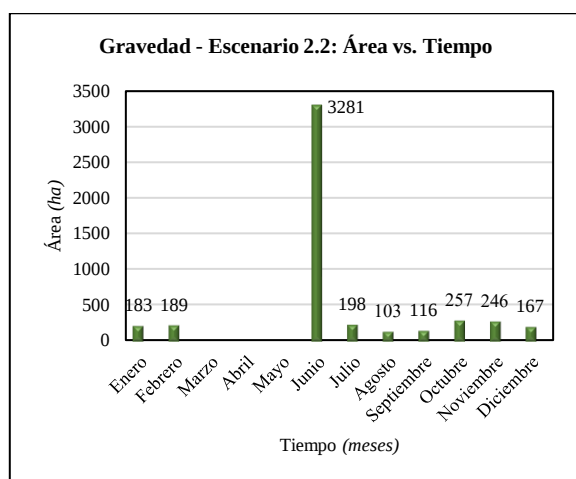


Figura 51. Área del escenario 2.2 por gravedad

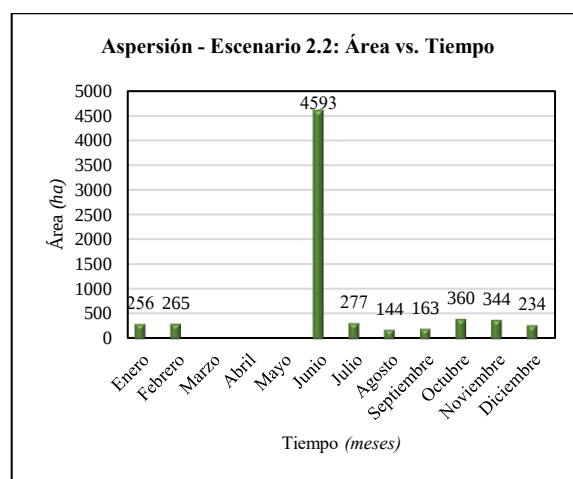


Figura 52. Área del escenario 2.2 por aspersión

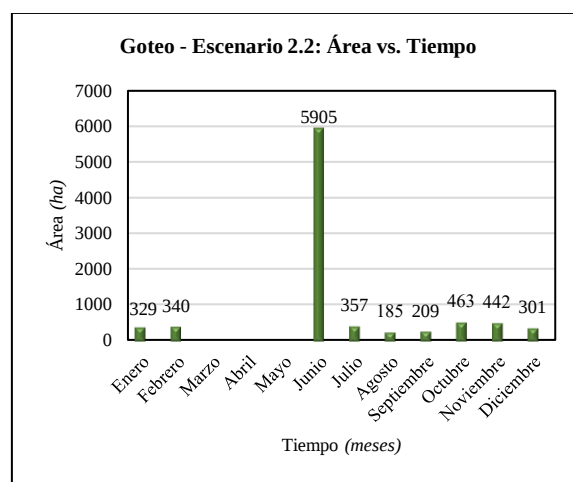


Figura 53. Área del escenario 2.2 por goteo

Gráficamente se pudo evidenciar la diferencia exuberante ocurrida en junio si se compara con los demás meses. Se obtuvieron áreas mínimas de 103 *ha* para el sistema por gravedad, 144 *ha* por aspersión y 185 *ha* por goteo; mientras que las áreas máximas correspondieron a los valores de 3281 *ha*, 4593 *ha*, 5905 *ha*, respectivamente. Para este escenario prevaleció agosto como el mes de áreas mínimas y junio manifestó su tendencia en las áreas máximas.

Tabla 38. Valores de áreas que se beneficiarán con el efluente en el escenario 2.3

Escenario 2.3		
Método de riego	Alternativas	Área (ha)
 Gravedad	Con almacenamiento	258
	Sin almacenamiento	103
 Aspersión	Con almacenamiento	362
	Sin almacenamiento	144
 Goteo	Con almacenamiento	465
	Sin almacenamiento	185

En el escenario 2.3 el sistema de riego por goteo logró abarcar un área potencial de 465 *ha* almacenando el agua residual tratada. Del conjunto de áreas mínimas, la que tuvo mayor extensión correspondió a 185 *ha* desarrollando la actividad sin almacenamiento.

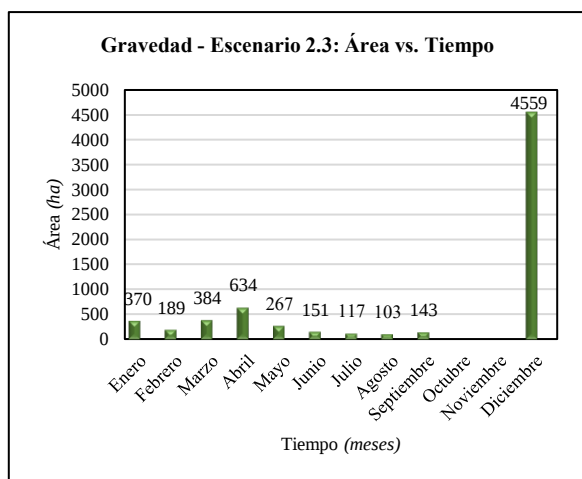


Figura 54. Área del escenario 2.3 por gravedad

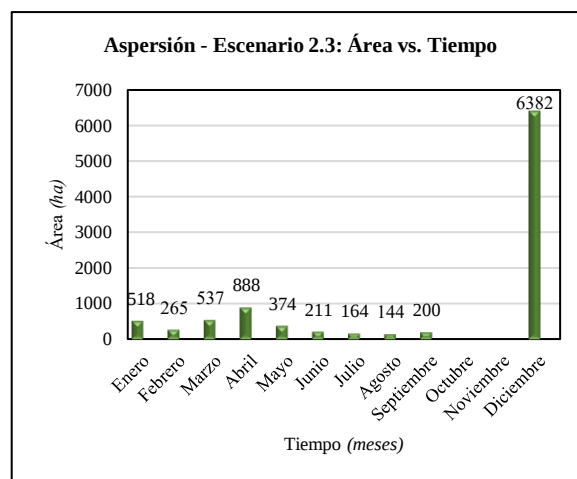


Figura 55. Área del escenario 2.3 por aspersión

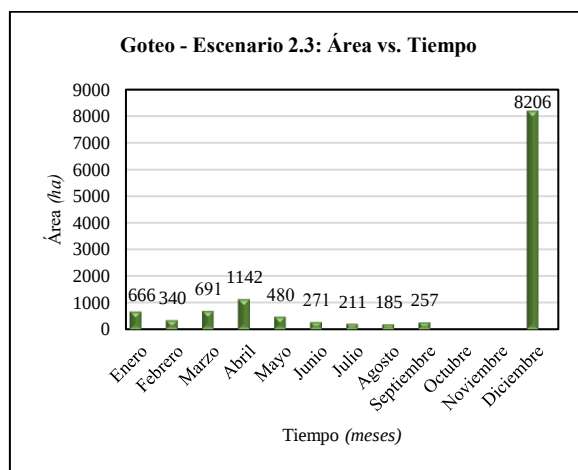


Figura 56. Área del escenario 2.3 por goteo

Con las 3 figuras anteriores se logró apreciar una diferenciación entre las áreas obtenidas en el mes de diciembre con respecto a los meses restantes del año. Para este escenario las áreas mínimas se reflejaron en el mes de agosto con 103 *ha*, 144 *ha* y 185 *ha* y áreas máximas en el mes de diciembre con 4559 *ha*, 6382 *ha* y 8206 *ha* para los sistemas de riego por gravedad, aspersión y goteo, respectivamente.

Se apreció un dinamismo en la cantidad de áreas por año originado por el mes de siembra, además los sistemas de riego demostraron el dominio de la eficiencia que posee cada sistema. Tanto en los escenarios 1 y 2 el sistema por goteo logró abarcar más extensión de terrero, tanto con almacenamiento y sin almacenar el agua. Este sistema de precisión permite disminuir el volumen de agua de aplicación en los cultivos, resultando ser más beneficioso para el dueño del predio (MINAGRI, 2015). Sin embargo, implica un peligro de obturación en los emisores que hacen parte de este sistema de riego, debido al material particulado que posee el agua residual. El sistema de riego que presentó una menor área en los diferentes escenarios fue el sistema por gravedad debido a que este sistema refleja una eficiencia menor de aplicación, lo que conlleva a mayor desperdicio de agua y reduce las posibilidades en su cantidad de almacenamiento (MINAGRI, 2015).

Almacenar un recurso hídrico se convierte en una estrategia ventajosa en cualquier aspecto para suplir las necesidades hídricas de un cultivo; sin embargo, debido a que se trata de agua residual tratada es necesario evaluar la consideración de su almacenamiento y qué estudios adicionales implica realizar la actividad. A continuación se mencionan algunas experiencias y recomendaciones al respecto.

En el año 2012 un grupo de investigadores en España evaluaron el peligro que representa el riego con agua residual tratada. En sus resultados determinaron que el implemento de estas aguas con tratamiento secundario genera una serie de problemas: obturación de goteros a causa de la materia orgánica suspendida en el agua, por otro lado el almacenamiento del agua no debe prolongarse durante más de una semana a causa de la rápida proliferación de algas y otros microorganismos; además que los filtros deben ser limpiados de forma periódica a causa de la rápida acumulación de sólidos en ellos. Estos problemas pueden ser solucionados por medio de tratamientos terciarios como la micro-filtración y foto-fenton solar (Gobierno de España *et al.*, 2012). En el caso de la PTAR de El Cerrito almacenar el agua residual tratada implica considerar la elaboración de tanques que cumplan con la rigurosidad de contener el recurso, o de adicionar al proceso de depuración un tratamiento terciario lo cual representa una inversión.

8.3. Resultados del objetivo específico 2

Durante la obtención de muestras destinadas para las pruebas de laboratorio se pudo evidenciar variaciones físicas en el efluente, especialmente en lo que respecta al color y por presencia excesiva de detergentes, originados por el sector industrial y principalmente por las curtiembres cerriteñas activas.

Sumado a ello el cese de operatividad de la PTAR durante algunos días generó eutrofización del agua presente en las lagunas, lo cual favoreció la acumulación de nutrientes y conllevó al crecimiento excesivo de materia orgánica y de algas (ver Figura 57). Dichas condiciones pudieron repercutir en la variabilidad existente entre ciertos valores obtenidos en cada uno de los parámetros, como también la diferencia de tiempo (años) presente en los datos históricos de los parámetros suministrados por la PTAR de El Cerrito, especialmente la Ce y STD del año 2018.



Figura 57. Eutrofización y enturbiamiento del agua

Se implementó una estadística descriptiva para los datos históricos y los que fueron obtenidos experimentalmente, para lograr evaluar la cantidad de datos presentes y su respectivo comportamiento. Con lo anterior fue posible llevar a cabo una adecuada interpretación, permitiendo un mejoramiento en los análisis y en la toma de decisiones para las respectivas discusiones. A continuación se muestran los valores correspondientes a cada parámetro requerido para determinar la calidad agronómica del agua presente en la PTAR.

Tabla 39. Resultados históricos para determinar la calidad agronómica

PARÁMETRO	HISTORIAL			ESTADÍSTICA DESCRIPTIVA			
	2016	2017	2018	VAR	DESV	CV	MEDIA
pH (unidad pH)	7,680	7,874	7,855	0,011	0,107	1,371	7,803
CEw (dS/m)	0,510	0,519	3,415	2,804	1,675	113,048	1,481
Temperatura (°C)	18,400	21,660	27,620	21,860	4,675	20,724	22,560
Cl (meq/l)	1,439	1,435	2,290	0,243	0,492	28,611	1,721
SO4 (meq/l)	-	0,293	0,656	0,066	0,257	54,095	0,475
Dureza (meq/l)	1,199	1,391	1,529	0,027	0,166	12,071	1,373
Alcalinidad (meq/l)	1,649	1,633	1,762	0,005	0,070	4,182	1,681
STD (mg/l)	192,000	433,667	736,398	74403,030	272,769	60,078	454,022
SST (mg/l)	39,500	46,533	52,660	43,365	6,585	14,244	46,231

Tabla 40. Resultados experimentales para determinar la calidad agronómica

PARÁMETRO	MUESTREO							ESTADÍSTICA DESCRIPTIVA			
	1	2	3	4	5	6	7	VAR	DESV	CV	MEDIA
pH (unidad pH)	7,5	6,9	7,1	7,4	7,1	8,2	7,5	0,181	0,426	5,767	7,386
Ca (meq/l)	3,628	4,042	3,959	4,039	4,504	5,141	23,089	51,104	7,149	103,386	6,915
Mg (meq/l)	1,652	1,225	1,76	1,705	1,34	1,29	1,164	0,062	0,249	17,197	1,448
Na (meq/l)	6,724	6,835	8,633	6,998	5,488	5,766	4,049	2,064	1,437	22,604	6,356
K (meq/l)	0,274	0,253	0,584	0,468	0,415	0,381	0,271	0,015	0,122	32,365	0,378
CO3 (meq/l)	0	0	0	0	0	0	0	0,000	0,000	-	0,000
HCO3 (meq/l)	5,693	7,014	6,025	6,433	4,835	4,736	6,605	0,762	0,873	14,777	5,906
Huevos de helminto (unidades de huevos/l)	115	56	30	105	2	90	8	1823,100	42,698	88,037	48,500

Se realizó la verificación de la existencia de diferencias entre las medias. Para ello se empleó la prueba t de Student por medio del programa estadístico informático SPSS, que implícitamente evalúa los supuestos de normalidad e igualdad de varianzas. En este trabajo se consideró un nivel de significancia de 0.05 planteando la igualdad de medias como hipótesis nula.

En los datos pertenecientes al grupo histórico se identificó que el año 2016 incluía un solo valor por parámetro, generando una incidencia negativa en el análisis estadístico. Por consiguiente, la prueba se implementó netamente para los valores correspondientes a los años 2017 y 2018. Desde años anteriores la CVC implementó un programa de Producción Más Limpia (PML) con los curtidores, pero al transcurrir del tiempo muchas de ellos no han podido cumplir con la normatividad ambiental generando grandes traumatismos en la PTAR. En el año 2018 aparentemente se reflejaron valores atípicos que pueden estar ligados a lo mencionado con anterioridad, ya que actualmente no cuentan con un buen sistema de tratamiento.

De acuerdo a los obtenidos experimentalmente se consideró la opción de clasificarlos en dos grupos: Grupo de muestras 1 para las 4 pruebas realizadas los lunes cada ocho días, y Grupo de muestras 2 correspondiendo a los 3 restantes que fueron tomadas en diferentes días debido al cierre de la PTAR; sin embargo, dicha clasificación se empleó netamente con la finalidad de evaluar si el cese de operatividad influyó en la toma de muestras.

Tabla 41. Diferencias entre valores históricos a través del tiempo

ANÁLISIS ESTADÍSTICO SPSS PARA GRUPO HISTÓRICO (AÑOS 2017 Y 2018)										
Parámetros históricos	pH	ECw	STD	SST	Dureza	SO₄	Cl	DBO	Temperatura	Alcalinidad
Evaluación de normalidad										
Prueba Shapiro-Wilk p1-valor	Año 2017									
	0,486	0,428	0,025	0,092	0,034	0,000	0,070	0,001	0,036	0,013
	Año 2018									
	0,890	0,001	0,145	0,107	0,107	0,001	0,628	0,130	0,113	0,073
Evaluación de igualdad de varianzas										
Prueba Levene p2-valor	0,546	0,004	0,145	0,405	0,204	0,344	0,126	0,001	0,001	0,302
Evaluación de igualdad de medias										
Prueba t de Student p3-valor	0,889	0,068	0,121	0,607	0,626	0,515	0	0,016	0,001	0,690
Igualdad de medias	si	no	no	si	no	no	no	no	no	no

Nivel de significancia p=0,05

Tabla 42. Diferencias entre las muestras evaluadas experimentalmente a través del tiempo

ANÁLISIS ESTADÍSTICO SPSS PARA GRUPO DE MUESTRAS 1 Y 2									
Parámetros experimentales	pH	Ca	Mg	Na	K	Alcalinidad	HCO₃	CO₃	Huevos de helminto
Evaluación de normalidad									
Prueba Shapiro-Wilk p1-valor	Grupo de muestras 1								
	0,650	0,054	0,089	0,033	0,381	0,903	0,903	-	0,475
	Grupo de muestras 2								
	0,702	0,058	0,533	0,289	0,435	0,089	0,090	-	0,117
Evaluación de igualdad de varianzas									
Prueba Levene p2-valor	0,263	0,005	0,207	0,919	0,066	0,171	0,170	-	0,700
Evaluación de igualdad de medias									
Prueba t de Student p3-valor	0,287	0,228	0,087	0,025	0,714	0,200	0,200	-	0,256
Igualdad de medias	si	no	si	no	si	si	si	si	si

Nivel de significancia p=0,05

Sabiendo el dinamismo que refleja el agua por naturaleza, con la prueba t de Student se pudo corroborar que si existe diferencia significativa en las medias de los parámetros históricos con excepción de los valores de pH y SST, esta ocurrencia probablemente se deba a factores diferenciadores de tiempo. Caso contrario ocurrió con los datos experimentales los cuales en su mayoría no resultaron con diferencia de medias, solamente existió una diferenciación en Ca

y Na; es decir, el cese de operatividad de la PTAR no influyó negativamente en la mayoría de los parámetros.

Considerando los datos obtenidos experimentalmente y la diferencia de medias existente en el grupo histórico, se decidió descartar la aceptación de la hipótesis nula e implementar el análisis por parámetro de manera individual. Con base a la información a la que se tuvo acceso y los criterios de evaluación, se procede a realizar el análisis agronómico del efluente tratado en la PTAR de El Cerrito.

8.3.1. Peligro de salinidad

De acuerdo a los lineamientos de USDA (1954) y FAO (1985) se presentaron una discrepancia en sus criterios. El agua residual tratada reflejó un peligro medio a la salinización cuyos valores de CE_w correspondientes a los años 2016 y 2017 estuvieron dentro del rango de 0,25 – 0,75 dS/m según USDA (1954); mientras que la FAO (1985) estima un rango más amplio de 0 – 0,7 dS/m y cuya clasificación declara un peligro bajo. El valor del año 2018 no mantuvo la tendencia de los rangos anteriormente mencionados, siendo este de 3,415 dS/m; por tanto, con base a los criterios de USDA y FAO el efluente indica un peligro muy alto y medio a la salinización.

De manera sucinta García (2012), desaprueba el riego incesante con aguas que contienen sales en solución ya que puede traer como consecuencia la salinización de los suelos, lo que conlleva a la reducción en la disponibilidad de agua para la planta e incrementa el esfuerzo que esta debe ejercer para extraerla. El agua con una salinidad alta sólo debe usarse en casos de suelos con buena permeabilidad, para que los riegos de lavado produzcan una lixiviación suficiente e impidan que las sales se acumulen en cantidades peligrosas. Deben también seleccionarse los cultivos adecuados a estas condiciones (Richards, 1985, citado por García *et al.*, 2017).

La caña de azúcar es considerada moderadamente sensible a la salinidad (Grattan, 2018), y así también la catalogó Simões *et al.* (2016) en su trabajo investigativo, donde evaluaron su efecto en diez variedades de caña de azúcar empleando un diseño experimental por bloques al azar y compuesto por seis niveles de salinidad (0, 1.0, 2.0, 4.0, 6.0 y 8.0 dS/m) obteniendo respuestas similares en la reducción de su crecimiento a medida que aumenta la salinidad. El agua residual tratada en de la PTAR de El Cerrito posee una clasificación de tipo C2-C4; es decir, puede considerarse un recurso apto y apto con restricciones para las labores de riego. En consecuencia, resulta necesario seleccionar las variedades de caña de azúcar que sean más tolerantes a la salinidad, y que los suelos donde se tengan establecidos los cultivos posean buen drenaje.

8.3.2. Peligro de sodicidad

Utilizando los datos históricos de C_{ew} se ajustaron los valores de Ca. Este procedimiento es necesario para determinar la RAS^o los cuales se registran en la Tabla 43.

Tabla 43. Resultados de los valores de Calcio corregido para agua de riego

Caso	Parámetro	Resultados de Ca corregido						
		1	2	3	4	5	6	7
1	CE _w (dS/m)	0,510						
	Ca ^o (meq/l)	1,49	1,35	1,49	1,49	1,96	2,37	4,92
2	CE _w (dS/m)	0,519						
	Ca ^o (meq/l)	1,49	1,35	1,49	1,49	1,96	2,37	4,92
3	CE _w (dS/m)	3,415						
	Ca ^o (meq/l)	1,79	1,62	1,79	1,79	2,35	2,84	5,91

En la Tabla 44 se registran los valores obtenidos del RAS°.

Tabla 44. Resultados de la RAS° para determinar el peligro de sodicidad en el agua para riego

Caso	Parámetro	Muestreo						
		1	2	3	4	5	6	7
1	RAS°	5,365	6,024	6,772	5,537	4,272	4,262	2,321
2	RAS°	5,365	6,024	6,772	5,537	4,272	4,262	2,321
3	RAS°	5,126	5,731	6,48	5,294	4,04	4,012	2,153

De acuerdo con la FAO (1985), el efluente posee una clasificación tipo S1 considerandolo como apto para riego agrícola. De acuerdo a los valores de la RAS° conexos a los de la CE indicaron un peligro de sodicidad de bajo a medio. De manera gráfica se pudo evidenciar que la infiltración aumenta con la salinidad y disminuye con las concentraciones sódicas; es decir, la infiltración es proporcional a las concentraciones salinas e inversamente proporcional a las concentraciones de sodio.

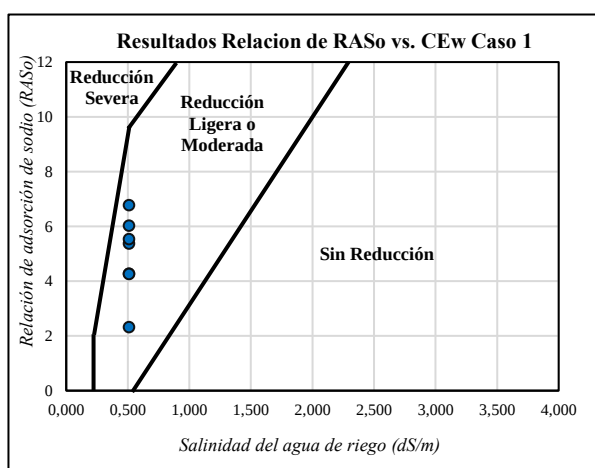


Figura 58. Resultados obtenidos de la RAS° vs. CEw, Caso 1

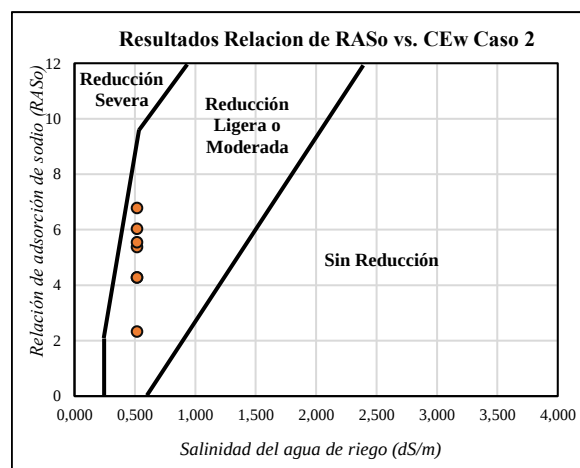


Figura 59. Resultados obtenidos de la RAS° vs. CEw, Caso 2

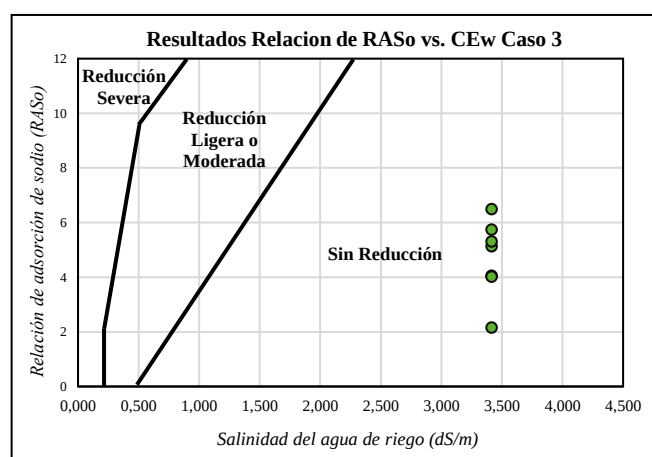


Figura 60. Resultados obtenidos de la RAS° vs. CEw, Caso 3

En las Figuras 58 y 59 se evidencian los problemas de infiltración correspondientes al año 2016 y 2017, respectivamente, donde el 100% de los resultados presentaron un problema ligero de reducción de la infiltración. En el año 2018 la totalidad de los resultados no manifestaron ninguna reducción de infiltración, lo cual indica que se presentaron bajas concentraciones de sodio en el agua residual pero con altas concentraciones de sales.

En la Tabla 45 se muestran los resultados obtenidos para la RAS_{mod} propuesto por Villafañe (2011).

Tabla 45. Resultados de la RAS_{mod} para determinar el peligro de sodicidad en el agua para riego

PARÁMETRO	MUESTREO						
	1	2	3	4	5	6	7
RAS_{mod}	5,442	5,638	6,721	5,449	4,143	4,045	1,251

La RAS° y RAS_{mod} representan la RAS en el agua de riego una vez se ha infiltrado en el suelo (Villafañe, 2011). Para corroborar la dispersión existente entre los valores obtenidos, se realizó una regresión lineal simple incluyendo su respectiva ecuación de predicción y el coeficiente de determinación denotado como R^2 .

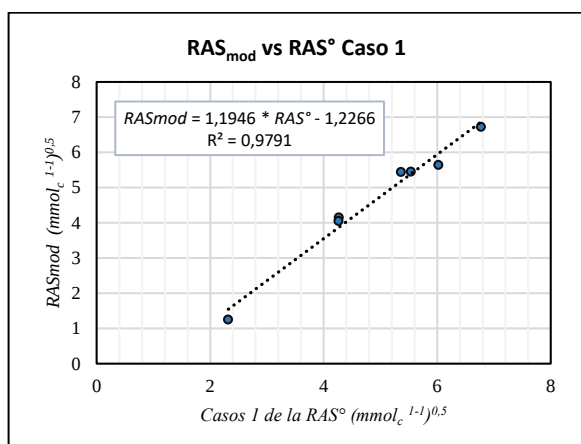


Figura 61. Regresión de la RAS° (caso 1) vs. RAS_{mod}

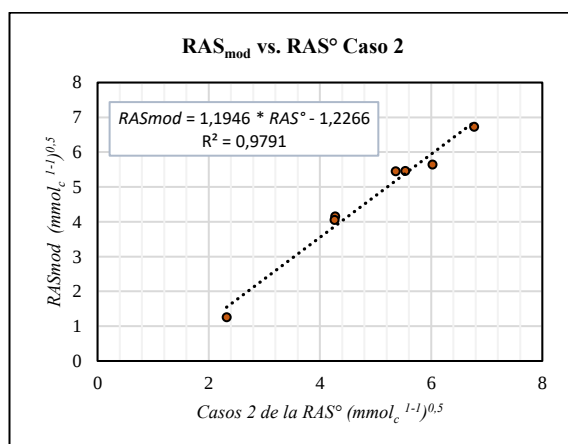


Figura 62. Regresión de la RAS° (caso 2) vs. RAS_{mod}

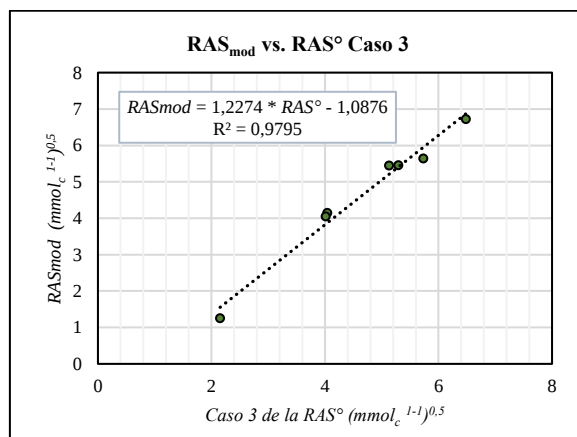


Figura 63. Regresión de la RAS° (caso 3) vs. RAS_{mod}

En los diagramas de dispersión se evidencia el ajuste de los puntos a una ecuación lineal, logrando observar una semejanza entre los resultados de RAS° y RAS_{mod} en cada uno de los casos corroborando lo propuesto por Villafañe (2011). Se sugiere considerar netamente los valores de la RAS_{mod} ya que la RAS° no contempla cambios en el ion de Mg; sin embargo, esta consideración es válida solo si se tiene la composición salina del agua (Villafañe, 2011). En consecuencia, los valores de Mg presentes en el agua residual tratada desdizada para riego agrícola no influyen tentativamente en la clasificación de peligro de sodificación del suelo, conservando su tendencia de bajo a medio.

Cuellar *et al.* (2015) evaluaron el peligro de sodicidad presentes en el agua para riego de El Valle del Mezquital en el estado de Hidalgo. Para el caso del RAS° observaron que el 93,6% de los puntos de muestreo fueron considerados como aguas sin problemas de sodicidad, el 5,6% aguas de media en sodio, y solo el 0,8% correspondiente a 1 muestra indicó una clasificación de agua alta en sodio. En cuanto a los resultados de la RAS_{mod} el 92,8% indicaron aguas bajas en sodio y aptas para riego agrícola, mientras que el 6,4% con un total de 8 muestras fueron clasificadas como altas en sodio; además recomiendan el lavado frecuente si el suelo contiene alto potencial de intercambio catiónico. Lo anterior evidencia la importancia de emplear el método de Villafañe (2011) considerando la RAS_{mod} como factor influyente en la clasificación de peligro a la sodicidad.

8.3.3. Amenaza de toxicidad

La toxicidad genera perturbaciones metabólicas en las plantas, principalmente en la reducción del crecimiento y alteraciones del equilibrio nutricional. La presencia de sal (*NaCl*) en el entorno de la planta incrementa las concentraciones de *Na* y *Cl*, así como la disminución de *K* en las hojas y raíces (Maggio *et al.*, 2007 citado por Gandonou *et al.*, 2011).

Con base a los lineamientos de la FAO (1985) el efluente de la PTAR con fines de reuso en la agricultura no generaría mayores afectaciones metabólicas en el cultivo, conservando las concentraciones de *K* para su óptimo desarrollo vegetativo. Los valores obtenidos experimentalmente de *Na* se encontraron dentro del rango de 4,0 a 8,6 meq/l indicando una incidencia de toxicidad de leve a moderada si se considera el riego por gravedad y aspersión como métodos de aplicación de agua. En contraste, los valores históricos de *Cl* oscilaron entre 1,4 a 2,3 meq/l indicando una nulidad de peligro para ambos métodos de riego. Así lo ratifica Ayers y Westcot (1987) citado por Pérez *et al.* (2019), afirmando la restricción del agua destinada para riego cuando la concentración de *Cl* supera los 4 meq/l debido a que puede acumularse en las hojas y conllevar a la clorosis, repercutiendo en el proceso de fotosíntesis. Si la concentración de *Cl* está entre 4 a 10 meq/l existe una restricción moderada en su uso; sin embargo, si la concentración supera los 10 meq/l se descarta la posibilidad de uso debido a que pueden existir afectaciones graves.

Respecto a los valores de *B* históricamente no se tuvo ninguna información y tampoco pudo ser incluido dentro de las pruebas realizadas. No obstante, es un parámetro importante y se manifiesta por medio de manchas amarillas, tanto en el borde como en el ápice de las hojas. Mancilla-Villa *et al.* (2014) citado por Pérez *et al.* (2019), expone un nivel de toxicidad discrepante al recomendado por la FAO (1985) oscilando entre 0,28 y 0,56 meq/l.

Aunque los diversos cultivos presentan diferente tolerancia a la toxicidad, Maas y Hoffmann (1990) citado por Gandonou *et al.* (2011) menciona que la caña de azúcar demuestra ser un cultivo moderadamente sensible; no obstante, este concepto suele cambiar de acuerdo a la variedad de caña que se implemente. Gandonou *et al.* (2011) evaluaron los efectos de *NaCl* y la acumulación de iones *Cl*, *Na* y *K* en dos variedades de caña de azúcar: CP66-346 y CP65-357 siendo tolerantes y sensibles a la sal, respectivamente. De esta manera se generó un aumento significativo de concentraciones de *Na* y *Cl* en las hojas jóvenes de CP66-346 junto con la menor reducción en la concentración de *K*, concluyendo además que los iones *K* también pueden desempeñar un papel importante en la tolerancia a la sal de la caña de azúcar.

8.3.4. Riesgo microbiológico

La totalidad de las muestras analizadas fueron positivas para la presencia de huevos de helminto oscilando entre 2 a 115 unidades de huevos/l. En consecuencia, el agua residual tratada en la PTAR no cumple con la normatividad y estaría excediendo lo establecido por la

WHO cuyos estándares corresponden a valores menores de 0,1 unidades de huevos/l. Aunque a nivel nacional el valor máximo permitido es de 1,0 unidades de huevos/l según lo rige la Resolución 1207 (2014) del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible de Colombia, se evidencia que tampoco se cumplen los criterios de calidad y valores máximos permisibles para el reuso en la agricultura.

Lo anterior indica que el efluente representa un riesgo para la salud de los individuos que tienen contacto directo o indirecto, cuyos efectos pueden reflejarse con síntomas leves (urticaria, eritema, disnea, vómitos y mareos) o algunas personas pueden presentar discapacidades temporales o permanentes por contracturas de tendones y artritis crónica. Para el riego agrícola la presencia de huevos de helminto también representa una contaminación en suelos y cultivos establecidos, impactando negativamente su rendimiento (WHO, 2006). Por tanto, se evidencia que la PTAR del municipio no posee un sistema eficiente en la remoción de huevos de helminto por lo cual resulta conveniente deslamar las lagunas para tratar de optimizar el comportamiento hidrodinámico de las mismas. En caso de no obtener resultados, es necesario instalar otra tecnología que se implemente a futuro con procesos de oxidación avanzados para su erradicación como la ozonización, vía ácida, fotocátalisis homogénea, entre otros (Neftalí *et al.*, 2014); aunque existen otras tecnologías igual de eficientes y más asequibles que se pueden ajustar a las condiciones del municipio.

Es habitual encontrar la presencia de huevos de helminto en las aguas residuales. Campos *et al.* (2008) reportaron en su investigación la presencia de huevos de helminto de 0,96 unidades de huevos/l. De igual forma Ortiz (2010) quien realizó su estudio en la PTAR de El Rosal (Cundinamarca) reportó en su tesis de maestría que el 90% de las muestras contenían huevos de helminto con un promedio de 2,8 unidades de huevos/l; concluyendo en su trabajo que se deben implementar estrategias para lograr una adecuada remoción y que el efluente no era apto para irrigación de cultivos. Relacionando las investigaciones al caso particular de estudio, los valores correspondientes a la PTAR de El Cerrito resultaron ser superiores descartando análogamente la implementación del reuso en cultivos de caña de azúcar, a menos que se realice un tratamiento adicional para la remoción de helmintos.

8.3.5. Peligro de obturación de emisores RLAF

Se tuvieron en cuenta los criterios de evaluación constituidos por Bucks & Nakayama (1986); sin embargo, para esta investigación no fue posible considerar la evaluación de Mn y Fe por motivos de solvencia económica.

Los valores de pH evaluados en el efluente de la PTAR no demostraron una diferencia estadísticamente significativa en ninguno de los dos casos. Ambas tendencias de pH reflejaron un índice de peligro bajo y mayoritariamente moderado oscilando entre 6,9 y 7,9; sin embargo, en la muestra 6 obtenida de manera experimental se obtuvo un valor de 8,2 el cual indica un peligro alto en el agua tratada. Caso contrario ocurrió con los parámetros de SST y STD donde existió una variabilidad considerable en los valores obtenidos, reflejando peligros mayoritariamente bajos y medios con rangos de 39,500 a 52,660 meq/L y de 192,000 a 736,398 meq/L, respectivamente. Estos resultados no representarían peligros ante la obturación de emisores si se desea implementar los sistemas de RLAF.

Según la perspectiva de Grajales *et al.* (2012), la alternativa de irrigación de alta tecnología permite el mejoramiento en los métodos de filtración y su eficiencia, ya que logra una mayor uniformidad durante su aplicación e implica tener menores afectaciones en la productividad. Pizarro (1996) planteó diversos parámetros sobre la calidad de agua destinada para riego incidiendo que en diámetros ≤ 0.7 la sensibilidad de obturación es alta y > 1.5 se

considera baja. Con base al material particulado presente en el agua tratada es importante implementar el ensayo de CEMAGREF (Pizarro, 1996).

Si se desea mejorar la remoción de parámetros físicos, químicos y microbiológicos (especialmente Fe, Mg, SST y mesófilos) se recomienda la utilización del sistema convencional que consiste en un filtro grueso de flujo ascendente combinado con filtro de arena, e igualmente se demuestra un mejor comportamiento del coeficiente de uniformidad con los emisores Microjet y Lyn; sin embargo, cuando el periodo de riego supera las 500 horas resultan ser más eficientes los emisores autocompensado y Lyn (Grajales *et al.*, 2012).

8.3.6. Peligro de afectación de infraestructura metálica de sistemas de riego

Los respectivos factores conexos a los parámetros involucrados se determinaron por medio de interpolaciones lineales, con la finalidad de obtener valores más precisos como se muestran en la Tabla 46. Empleando las ecuaciones para estimar el ISL y reemplazando los valores anteriormente expuestos, se obtuvieron los siguientes resultados de la Tabla 47.

Tabla 46. Valores de los factores acordes a los datos históricos

FACTORES DETERMINADOS	HISTORIAL		
	2016	2017	2018
FT	0,455	0,522	0,641
FA	2,221	2,216	2,25
FD	1,684	1,749	1,792

Tabla 47. Resultados obtenidos del ISL para el efluente

Años	IL	Características
2016	-0,462	Corrosivo
2017	-0,139	Corrosivo
2018	0,038	Incrustante

Los resultados obtenidos durante los años 2016, 2017 y 2018 demostraron que el efluente tratado en la PTAR destinado para riego se mantuvo cercano al valor estable o neutro, con ligeras variaciones entre corrosivo e incrustante. Con base a lo propuesto por Carrier (1965), citado por Trayanova *et al.* (2018), los valores correspondientes a -0,462 y -0,139 indican una característica corrosiva leve pero sin ninguna formación de incrustaciones; por el contrario, el 0,038 indican una formación leve de incrustaciones.

En consecuencia, de acuerdo con Trochez (2017) dicha condición no representaría un peligro para elementos de bombeo y el método de riego localizado. De igual manera al tener desequilibrios químicos leves en los sistemas de distribución de agua, no provocará graves problemas económicos ni de salud. De acuerdo con Casey (2009) citado por Bueno (2014), recurrir al ajuste químico del pH es una solución común y de bajo costo para reducir la capacidad corrosiva del agua y evitar las incrustaciones, en comparación con la rehabilitación de los Sistemas de Distribución de Agua (SDA) que mantiene una deposición controlada de la película de carbonato de calcio (CaCO_3) sobre la superficie de las tuberías (De Sousa *et al.* 2010, citado por Bueno 2014).

De acuerdo a los resultados obtenidos con la información considerada para evaluar la calidad agronómica y con base a los lineamientos sugeridos por la literatura, el efluente de la PTAR de El Cerrito no es potencialmente utilizable para reuso agrícola. El punto crítico se suscita por el riesgo microbiológico principalmente, ya que existe una alta presencia de huevos de helmito.

8.4. Resultados del objetivo específico 3

8.4.1. Identificación de actores involucrados

En la Tabla 48 se identificaron y se definieron los respectivos roles de cada uno de los actores involucrados en la evaluación del potencial de comercialización del agua residual tratada destinada para riego agrícola.

Tabla 48. Caracterización de los actores involucrados para el reuso

Actores sociales	Rol
MADS – Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible	Autoridad Ambiental Nacional
CVC – Corporación Autónoma regional del Valle del Cauca	Autoridad ambiental regional
CARDER - Corporación Autónoma regional del Risaralda	Autoridad ambiental regional
CRC - Corporación Autónoma regional del Cauca	Autoridad ambiental regional
Alcaldía de El Cerrito	Administra recursos, dinamiza procesos y ejecuta proyectos
PTAR El Cerrito	Usuario generador del agua residual tratada
Asocaña -Asociación de Cultivadores de Caña de Azúcar de Colombia Procaña - Asociación Colombiana de Productores y Proveedores de Caña de Azúcar Tecnicaña - Asociación Colombiana de Técnicos de Caña de Azúcar	Entidades intermediarias para la aplicación de encuesta
Entes privados: Ingenios y proveedores del valle geográfico del río Cauca	Usuarios receptores: Interesados en la adquisición del agua residual tratada

8.4.2. Sistematización y análisis de respuestas

La aplicación del instrumento se llevó a cabo en dos fases y en fechas estipuladas como se demuestra a continuación.

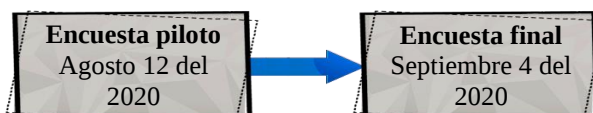


Figura 64. Proceso de aplicación del instrumento

Se pudo confirmar el correcto funcionamiento del instrumento gracias a la realización del piloto a priori. Con base a las sugerencias propuestas por el personal de Asocaña fue necesario efectuar modificaciones a la estructura de las preguntas, intercambiar su orden, y ejecutar algunos cambios de diseño gráfico para obtener la estructura de la encuesta final (ver Anexo 10.1) la cual fue socializada con los cañeros de esta asociación y posteriormente con los de Procaña y Tecnicaña.

8.4.2.1. Análisis de respuestas para la DAP

Llevar a cabo una recolección de información de manera virtual exige una ardua labor; por tanto, las asociaciones de Tecnicaña, Procaña y Tecnicaña enviaron constantemente recordatorios a los respectivos correos de los propietarios. Después de dos meses y dieciocho días de emplear el instrumento (ver Anexo 10.1) se obtuvieron ocho respuestas de los posibles participantes las cuales fueron asignadas mayoritariamente en el mes de septiembre, octubre y noviembre, respectivamente, como se evidencia en la Figura 65. En la Tabla 49 se presentan en forma sintetizada y posteriormente se analizan de manera puntual mediante gráficas.

Con las respuestas obtenidas del sector cañero, se interpreta detalladamente cada una de la información anexada.

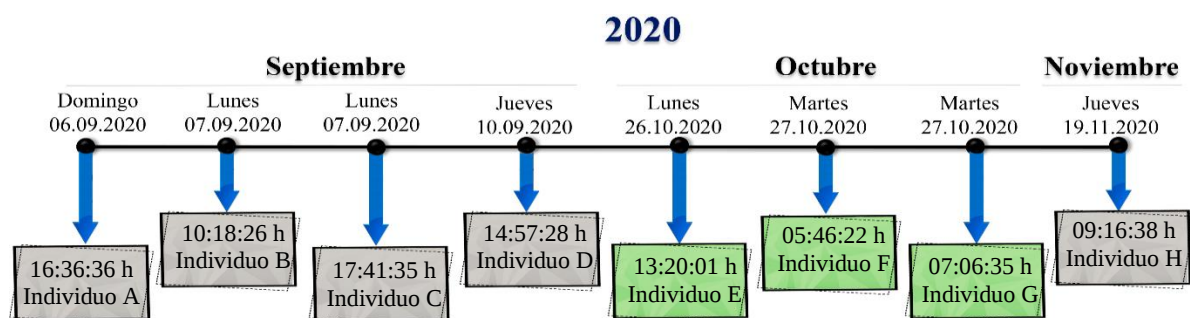


Figura 65. Marca temporal de respuestas

Tabla 49. Resumen del consolidado de respuestas

INDIVIDUO	TOTAL PREGUNTAS						
	1	2	3	4	5	6	7
A	Sí	Agua superficial	Candelaria, Pradera, El Cerrito, Puerto Tejada, Palmira, Caicedonia, Buga, Bugalagrande	Entre 500 a 1.000 ha	Sí	Aportes de materia orgánica, Aportes de nutrientes, Evitar el uso de agua dulce, Evitar el pago de tarifas, Otras	2,00
B	Sí	Agua superficial	Ginebra, Rozo	Menor a 100 ha	Sí	Aportes de materia orgánica, Aportes de nutrientes, Evitar el uso de agua dulce, Evitar el pago de tarifas	4,00
C	Sí	Agua residual	Rozo, El Cerrito	Menor a 100 ha	No	Aportes de materia orgánica, Aportes de nutrientes, Evitar el uso de agua dulce, No aplica	0,00
D	No	Agua subterránea	El Cerrito	Menor a 100 ha	No	No aplica	0,00
E	Sí	Agua superficial	Florida	Entre 100 a 500 ha	No	Otras	0,00
F	Sí	Agua subterránea	Florida	Menor a 100 ha	No	No aplica	0,00
G	Sí	Agua superficial	Palmira	Menor a 100 ha	Sí	Aportes de materia orgánica, Aportes de nutrientes, Evitar el uso de agua dulce, Evitar el pago de tarifas, Otras	3,00
H	No	Agua superficial	Bugalagrande	Menor a 100 ha	Sí	Aportes de materia orgánica, Aportes de nutrientes, Evitar el uso de agua dulce, Evitar el pago de tarifas, Otras	1,00

- Conocimiento en los beneficios del reuso

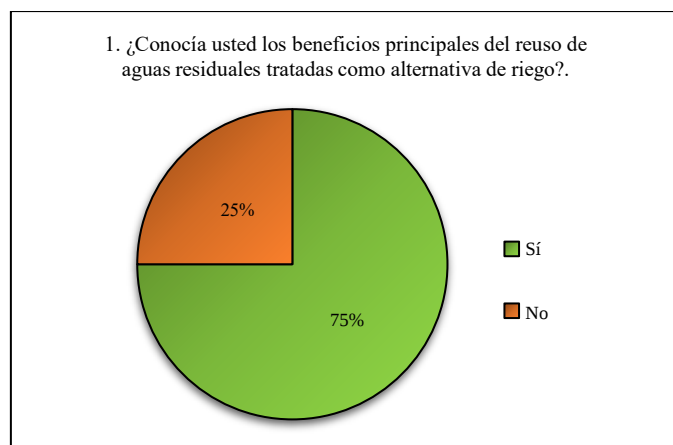


Figura 66. Conocimiento del reuso

De los ocho encuestados según la Figura 66 seis manifestaron tener conocimiento en los principales beneficios del reuso, representando así el 75% de la muestra de estudio. Por otro lado, dos de ellos declararon no tener idea de las ventajas que pueden tener al emplear esta alternativa, adquiriendo un valor del 25%. Lo anterior refleja que se ha adquirido un conocimiento directo o indirecto concerniente a la actividad del reuso, y que no es ajena a la realidad de muchos agricultores a nivel nacional y mundial.

- Alternativas para complementar las necesidades hídricas del cultivo

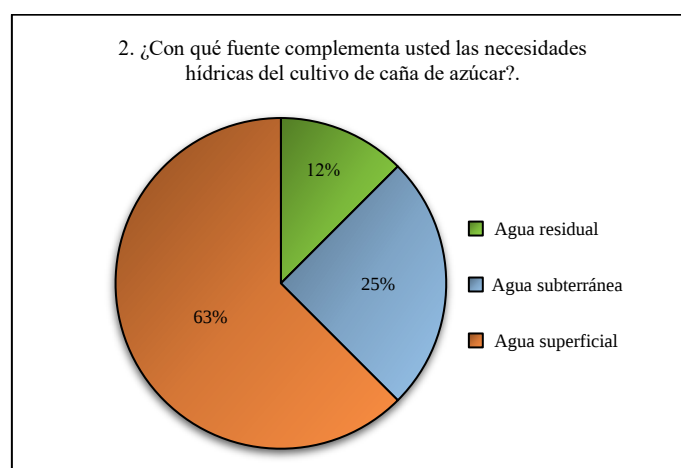


Figura 67. Alternativas para complementar las necesidades hídricas del cultivo

De las alternativas expuestas en la Figura 66 cinco personas emplean el agua superficial para complementar la demanda hídrica del cultivo de la caña de azúcar, representando el 63% de la muestra de estudio; mientras que dos de ellas utilizan el agua subterránea y tan solo una que considera el agua residual, representados por el 25% y 12%, respectivamente. De esta manera se pone en manifiesto que el agua residual está siendo considerada como alternativa y está siendo implementada como riego a nivel municipal, departamental y muy seguramente a nivel nacional en otros tipos de cultivos.

- Localización de predios

En la Tabla 50 se muestran las diecisiete contribuciones generadas por los ocho participantes de la encuesta brindando información sobre la ubicación de sus predios, y de manera gráfica se evidencia en la Figura 68.

Tabla 50. Propietarios agrícolas por municipio o corregimiento

PROPIETARIOS AGRÍCOLAS	MUNICIPIO-CORREGIMIENTO
1	Buga
2	Bugalagrande
1	Caicedonia
1	Candelaria
3	El Cerrito
2	Florida
1	Ginebra
2	Palmira
1	Pradera
1	Puerto Tejada
2	Rozo

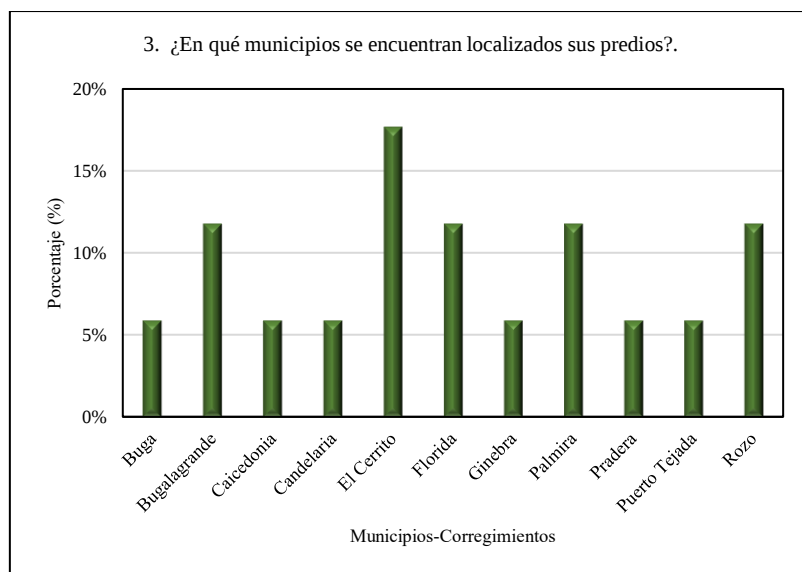


Figura 68. Municipios con predios agrícolas

Aunque los predios están distribuidos en diversos sectores, en la Figura 68 se pudo identificar que la mayoría de los participantes poseen una sola propiedad agrícola por cada municipio; sin embargo, algunos de ellos son dueños de cultivos de caña en distintos lugares como es el caso de los individuos A, B y C.

De la anterior información se menciona que tres de los ocho individuos encuestados poseen propiedades agrícolas en el municipio de El Cerrito, adquiriendo un valor porcentual del 17,65%. Tanto Bugalagrande, Florida, Palmira y Rozo tienen dos propietarios representando el 11,76% por cada municipio o corregimiento. Finalmente Buga, Caicedonia, Candelaria, Ginebra, Pradera, y Puerto Tejada reflejaron el 5,88% por municipalidad al tener solamente un terreno dentro de la jurisdicción.

- Área total de los predios

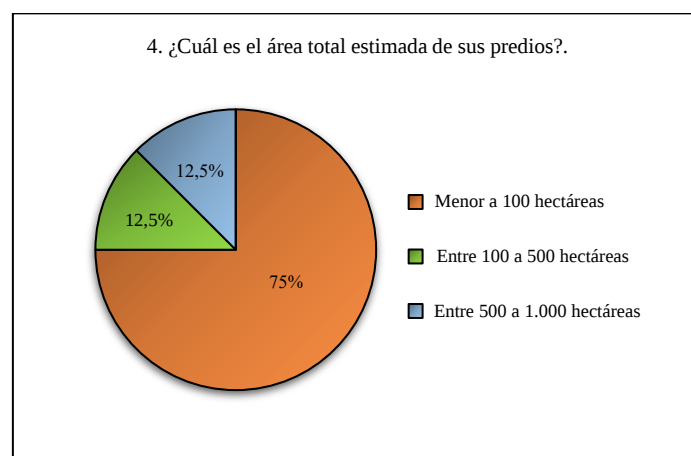


Figura 69. Área total de los predios

La Figura 69 expone tener seis individuos que poseen predios menores a 100 hectáreas reflejando el 75% del total de participantes. Solo una persona maneja predios entre 100 a 500 hectáreas y otra más entre 500 a 1.000 hectáreas, indicando un valor de 12,5% en cada caso. En esta oportunidad ninguno de los colaboradores cuenta con terrenos mayores a 1.000

hectáreas; por consiguiente, adopta una tendencia predominante hacia pequeños y medianos productores.

- Interés en el reuso

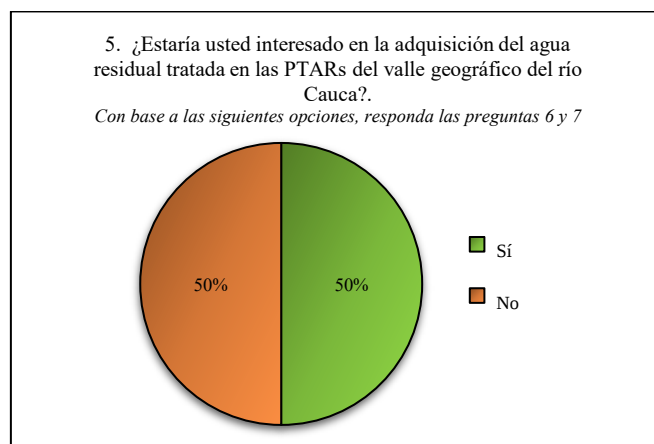


Figura 70. Interés en el reuso agrícola

Respecto al interés en la adquisición del agua residual se obtuvo una parcialidad por parte de los ocho encuestados, como se pudo ver en la Figura 70. El 50% de ellos manifestaron estar interesados en la adquisición del agua residual tratada para reuso agrícola; sin embargo, el otro 50% no demostraron ningún interés para dicha adquisición. Aún se refleja indiferencia o carencia de información por falta de los agricultores; no obstante, dos de ellos suplen la necesidad hídrica con agua subterránea y seguramente cuentan con pozos construidos lo cual representa una inversión, y el otro individuo ya realiza la actividad agrícola con agua residual. Este último manifestó no estar interesado en la adquisición del agua residual a pesar que uno de sus predios se encuentra localizado en el municipio de El Cerrito, lo cual pone en manifiesto que la actividad la realiza de manera irresponsable y la implementación del reuso planeado representaría una inversión adicional por parte del usuario.

- Razones para la adquisición del agua residual tratada

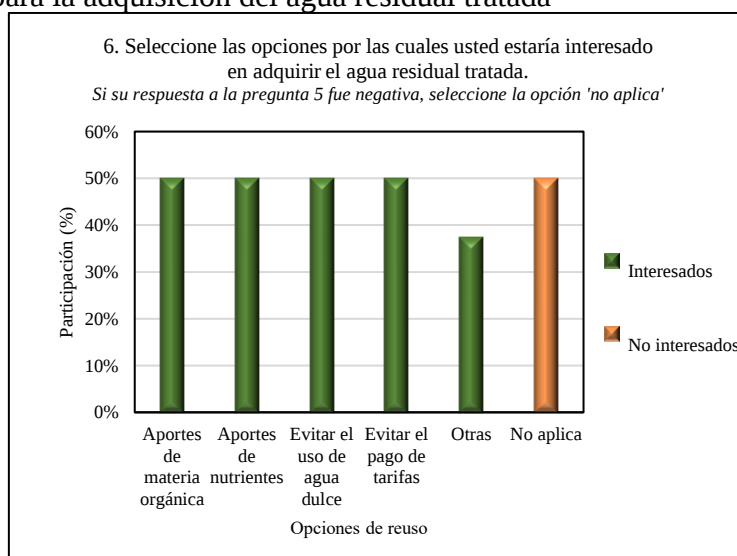


Figura 71. Razones para la adquisición del agua residual tratada

De las cuatro personas interesadas en adquirir el agua residual tratada y representadas por el 50% según la Figura 71, todas coincidieron seleccionando las primeras opciones que

involucran aportes de materia orgánica, nutrientes, evitar uso de agua dulce y pago de tarifas; mientras que el 37,5% de ellas consideraron otras razones adicionales. El 50% restante de las personas seleccionaron la opción ‘no aplica’ debido a que reflejaron una respuesta negativa en la adquisición.

- DAP de los encuestados

La intención con la que se realizó la encuesta en este trabajo investigativo, fue para identificar el monto monetario o la disponibilidad a pagar (DAP) de los encuestados para la adquisición del agua residual tratada con fines de reuso agrícola. En la Figura 72 se demuestran los valores asignados por cada uno de ellos a través de preguntas abiertas.

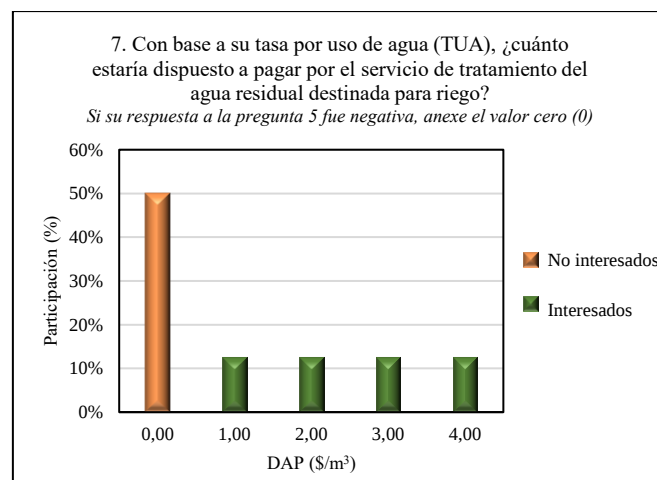


Figura 72. DAP de los participantes

Con base a la Figura 71 el valor anexoado 0,00 corresponde a las personas no interesadas y representadas por el 50% de los participantes; sin embargo, este valor no fue pensado para asumirlo en términos cuantitativos sino cualitativos como requerimiento obligatorio por la herramienta de Google. Los individuos restantes manifestaron una DAP de 1.00 \$/m³, 2.00 \$/m³, 3.00 \$/m³ y 4.00 \$/m³ representando un valor porcentual de 10% cada uno, ya que en ninguno de los casos se reiteraron las asignaciones. A partir de los valores asignados de DAP por cada encuestado interesado en la adquisición del agua residual tratada, se procedió a realizar la comparación con la TUA de acuerdo a los lineamientos de la autoridad ambiental CVC (2019) como se evidencia en la Figura 73.

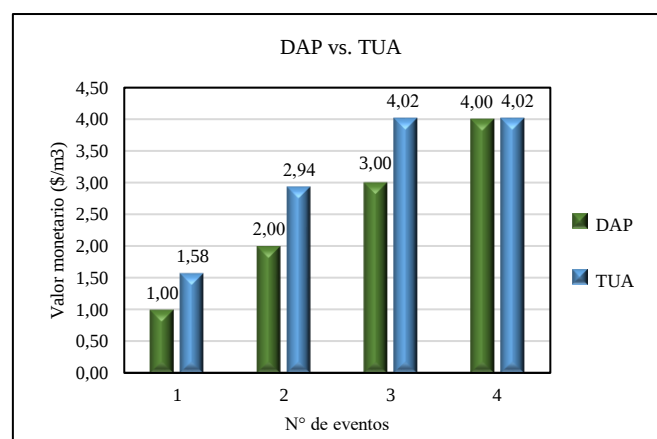


Figura 73. Comparación entre DAP y TUA

El anterior gráfico justifica una tendencia predominante en cada uno de los eventos. Los participantes interesados reflejaron una DAP inferior al valor de la TUA que exige la autoridad ambiental CVC para llevar a cabo la actividad agrícola. En el caso de los eventos 2 y 3 la diferencia entre valores es mayor comparado con los demás sucesos, especialmente con el evento 4 donde dicha diferencia resulta ser sosegada.

- Valor promedio de DAP

Finalmente, se precisó el valor promedio de la DAP con base a los valores asignados por los cañeros que se encuentran interesados en adquirir el agua residual tratada, obteniendo una DAP de 2,50 (\$/m³).

Tabla 51. Valor promedio de DAP

PARÁMETRO	TOTAL DE INDIVIDUOS INTERESADOS				ESTADÍSTICA DESCRIPTIVA			
	1	2	3	4	VAR	DESV	CV	MEDIA
DAP (\$/m ³)	1,00	2,00	3,00	4,00	1,667	1,291	51,640	2,500

Dentro del análisis realizado para evaluar el potencial de comercialización del efluente tratado se evidenció una baja participación por parte de los encuestados durante la empleabilidad del instrumento; sin embargo, la finalidad de la encuesta estuvo muy cerca de cumplirse con respecto a la muestra definida en el presente estudio de investigación (diez individuos). Este tamaño se consideró debido a la complejidad que implica la realización de una encuesta virtual y además teniendo presente la actual crisis sanitaria que se está viviendo a nivel mundial causada por la infección de Coronavirus (Covid-19), lo cual restringe las alternativas de ejecución y afecta indirectamente el proceso.

Con la realización de la encuesta se pudo idealizar el tamaño de los predios, como también se identificó la empleabilidad en los métodos de riego que complementan el requerimiento hídrico de los cultivos. En esta oportunidad se originó el caso de un cañero establecido en El Cerrito que realiza la actividad agrícola con agua residual; no obstante, esta eventualidad genera grandes interrogantes sobre su grado de responsabilidad y planeación, ya que evidentemente en el sector no se realiza una actividad de reuso garante hasta la actualidad.

También se demostró que en el valle geográfico del río Cauca existen personas interesadas en el agua residual de la PTAR de El Cerrito las cuales están dispuestas a pagar por su tratamiento. La DAP de 2,50 \$/m³ refleja un ingreso significativo para la PTAR de El Cerrito que retribuye parcialmente con los egresos que ostenta diariamente debido a su operación y pago de tarifas. A pesar de los beneficios potenciales que puede tener el reuso, usualmente son limitados los fondos públicos para capitalizar los procesos de tratamiento de aguas residuales y no se tienen en cuenta sus necesidades económicas, sociales y financieras. Así lo argumenta Furlong *et al.* (2016), citado por Ruiz, (2020), donde además añade que la industria del agua recurre a generar sus propios modelos financieros para que sean viables y sostenibles. Por este motivo resulta prioritario realizar una verdadera gestión del recurso y de igual manera potencializar su comercialización, para que sectores como el agrícola se beneficie responsablemente con base a los bienes adquiridos.

9. CONCLUSIONES

9.1. Conclusiones del objetivo específico 1

- En las dieciocho propuestas algunos eventos reflejaron que la precipitación suple la demanda y no es necesario implementar el riego artificial, mientras que en otros casos si requiere de su aplicación.
- El riego por goteo indicó ser el sistema con el que se obtiene una mayor área favorecida y menor almacenamiento (si se considera la opción) según las áreas a beneficiarse con el efluente de la PTAR de El Cerrito. Lo anterior representa ahorros económicos y reducción en el consumo de agua corriente.
- Los escenarios 1.3 y 2.3 indicaron volúmenes de agua menores y mayores áreas favorecidas durante todo el año (sin almacenar el agua y realizando la actividad). Se considera conveniente iniciar el proceso de siembra en el mes de octubre.
- Aunque el escenario 1.3 reflejó mayores áreas beneficiadas, se considera optar por el escenario 2.3 para evitar sobreestimaciones en las propuestas realizadas, ya que en este último se tiene en cuenta una probabilidad de ocurrencia de la precipitación del 75%.

9.2. Conclusiones del objetivo específico 2

Bajo los criterios tenidos en cuenta y la metodología empleada, se concluye que:

- La calidad del efluente de la PTAR de El Cerrito manifestó un peligro medio a la salinidad de suelos y un peligro bajo-medio a la sodicidad. Se considera apto para riego agrícola sin mayores afectaciones metabólicas en el cultivo, conservando las concentraciones de K para su óptimo desarrollo según la FAO (1985).
- El agua residual tratada de la PTAR El Cerrito no representa un peligro ante la obturación de emisores RLAF según los criterios de evaluación constituidos por Bucks & Nakayama (1986).
- El peligro de afectación de infraestructura metálica se mantuvo cercano al valor estable o neutro, con ligeras variaciones entre corrosivo e incrustante según el índice de Langelier.
- Con base en los resultados de las evaluaciones de los distintos parámetros, se concluye que existe un potencial en el agua residual para ser implementada como riego agrícola. No obstante, está supeditado a poder mejorar el proceso de remoción de huevos de helminto sujetos a los estándares de la WHO (2006) y MADS (2014).
- El efluente tratado en la PTAR de El Cerrito no se considera apto para riego en cultivos de caña de azúcar ni para ningún otro tipo de cultivo, debido a la alta presencia de huevos de helminto.

9.3. Conclusiones del objetivo específico 3

Con la información que se tuvo acceso, se sugiere que:

- Los pequeños y medianos productores del valle geográfico del río Cauca demostraron un interés del 50% para la adquisición del efluente de la PTAR de El Cerrito con fines de reuso, manifestando una valoración económica ambiental correspondiente a 2,50 \$/m³.
- Los cañeros expresaron estar dispuestos a pagar por el tratamiento del agua residual de la PTAR El Cerrito, con un valor inferior a la tasa estipulada por la autoridad ambiental CVC.
- En promedio la TUA reflejó estar un 20% superior a la DAP. Por tanto, en unidades monetarias representa un ahorro significativo para el usuario.
- Se reflejó un potencial económico al involucrarse con el sector cañero, representando un ahorro para los operadores de la PTAR de El Cerrito al evitar el pago de tarifas por vertimiento.
- Existe una demanda actual y futura para la adquisición del agua residual tratada. La PTAR de El Cerrito debe considerar realizar un tratamiento adicional para la remoción de helmintos.

10. RECOMENDACIONES

Las entidades municipales y departamentales deben liderar gestiones integrales para lograr una mayor regulación sobre la contaminación que subyace en la cabecera municipal de El Cerrito. Es de vital importancia realizar un trabajo interdisciplinario con diversos sectores establecidos, mayoritariamente en lo que confiere a metales pesados por las curtiembres y el uso planeado del reuso agrícola. Lo anterior con la finalidad de contrarrestar y disminuir el impacto que genera esta problemática; sin embargo, es importante que las autoridades ambientales velen y hagan cumplir los requisitos mínimos establecidos por ley.

Debido a las problemáticas actuales por las que atraviesa el mundo, es importante que las curtiembres cerriteñas que operan en el sector consideren la implementación de nuevas estrategias que mitiguen los impactos ocasionados al desempeñar la actividad agrícola. Evidentemente la opción de las aguas residuales con un previo tratamiento adecuado se considera una estrategia alternativa eficiente que puede subsanar diversas situaciones.

Se recomienda profundizar en la recuperación de experiencias nacionales e internacionales relacionadas con la aplicación de aguas residuales tratadas, cuya finalidad resulte en ser aplicadas como riego para cultivos establecidos en el sector agrícola. Con estas experiencias se permite mejorar la confiabilidad de los procesos requeridos en su tratamiento, conllevando a realizar un análisis mas exhaustivo y obtener valores cuantitativos en los ahorros que competen al aplicar esta estrategia. La Universidad del Valle con acreditación de alta calidad académica y profesional debe continuar los procesos de investigación acordes a este tipo de estrategias, ya que el reuso agrícola en el departamento del Valle del Cauca puede resultar factible si se emplea de manera responsablemente.

Resulta necesario aumentar los recursos de los sistemas destinados al saneamiento de aguas residuales en el territorio nacional. En el caso puntual de la PTAR de El Cerrito se sugiere mejorar las falencias en sus procesos para la remoción de helmintos con la intención de conservar la calidad de los recursos naturales, salvaguardar la seguridad del personal que allí labora, y emplear el reuso agrícola de manera garante. Así mismo se debe garantizar la rentabilidad mínima del 20% de la TUA con base a la DAP, teniendo en cuenta los cálculos de ingeniería de diseño: costos de transporte y tratamientos adicionales.

Para futuras investigaciones se aconseja la evaluación de nitratos presentes en el agua para evitar impactos negativos en las comunidades como el síndrome del niño azul, como también desde la ventana agronómica la consideración de nutrientes presentes en el efluente tratado y otros parámetros microbiológicos con la finalidad de brindar una mayor rigurosidad y potencializar el reuso agrícola. Por último pero no menos importante, se sugiere llevar a cabo una investigación a través de un plan piloto para evaluar la implementación de reuso, considerando medidas de protección para salvaguardar la integridad de los trabajadores de campo. Lo anterior debido a que los subproductos alimenticios y derivados de la caña requieren pasar por procesos adicionales para su obtención final.

11. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abdosalehi, E., Banejad, H., & Zare Abyaneh, H. (2009). Conceptual Considerations Concerning water quality of Gezel-Ozan Riven in Iran. Thirteenth International Water Technology Conference (IWTC), Hurghada, 1–11. <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.302.8079&rep=rep1&type=pdf>
- Abundis, V. (2016). Beneficios De Las Encuestas Electrónicas Como Apoyo Para La Investigación. Tlatemoani: Revista Académica de Investigación, ISSN-e 1989-9300, Vol. 7, N°. 22, 2016, Págs. 168-186, 22(22), 168–186. <https://www.eumed.net/rev/tlatemoani/22/encuestas.pdf>
- Alvarado, F. (2011). Identificación de suelos con problemas de sodicidad en Villa de Ramos, San Luis Potosí. Universidad Autónoma de San Luis Potosí, 1–49. <http://ninive.uaslp.mx/xmlui/bitstream/handle/i/3399/MPA1IDE01101.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Aristizabal, A. (2009). Efecto de altas saturaciones de Mg y Ca en las propiedades físicas de un suelo del Valle del Cauca. Universidad Nacional de Colombia, Palmira. <http://www.bdigital.unal.edu.co/1794/1/7005002.2009.pdf>
- Asocaña, S. A. de la caña. (2020). Informe de sostebinilidad 2019 - 2020. <https://www.asocana.org/documentos/2972020-1255B6DD-00FF00,000A000,878787,C3C3C3,0F0F0F,B4B4B4,FF00FF,2D2D2D,A3C4B5.pdf>
- Asocaña, S. agroindustrial de la caña. (2018). Informe de sostenibilidad 2017-2018 Sector Agroindustrial de la Caña. <http://www.asocana.org/documentos/2162018-C1FAA831-00FF00,000A000,878787,C3C3C3,0F0F0F,B4B4B4,FF00FF,2D2D2D,A3C4B5.pdf>
- Barros, H. M. M., Veriato, M. K. L., Souza, L. P., Chicó, L. R., & Barosi, K. X. L. (2015). Reuso de água na agricultura. Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável, 10(2), 11. <https://doi.org/10.18378/rvads.v10i5.3868>
- Bhattacharya, T., Chakraborty, S., & Neha, T. (2012). Physico chemical Characterization of ground water of Anand district , Gujarat , India. 1(1), 1–6. <http://www.isca.in/IJENS/Archive/v1/i1/5.ISCA-IRJEvsS-2012-011.pdf>
- Brand, E. (2017). Disponibilidad a pagar por servicios de agua de uso múltiple. Caso de estudio acueducto Las Palmas Tres Puertas (Restrepo - Valle del Cauca), Universidad del Valle. <http://hdl.handle.net/10893/11001>
- Bucks, D. & Nakayama, F. (1986). Emitter Clogging In Trickle Irrigation for Crop Production: Design, Operation and Management.
- Bueno Zabala, K. A., Torres Lozada, P., & Delgado Cabrera, L. G. (2014). Monitoreo y medición del ajuste del pH del agua tratada del Río Cauca mediante índices de estabilización. *Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica*, 17(2). <https://doi.org/10.31910/rudca.v17.n2.2014.422>
- Campos, C., Cárdenas, M., & Guerrero, A. (2008). Comportamiento de los indicadores de contaminación fecal en diferente tipo de aguas de Lla Sabana De Bogotá (Colombia). *Universitas Scientiarum*, 13(2), 103–108. <https://revistas.javeriana.edu.co/index.php/scientarium/article/view/1414>
- CENICAÑA, Centro de investigación de la Caña de Azúcar de Colombia. (2015). Manejo eficiente del riego en el cultivo de la caña de azúcar en el valle geográfico del río Cauca. Primera edición. https://www.cenicana.org/pdf_privado/documentos_no_seridados/libro_riego/Libro_riego_2015.pdf
- CENICAÑA, Centro de investigación de la Caña de Azúcar de Colombia. (2018). Meteoport

- por Cenicaña. <https://www.cenicana.org/apps/meteoportal/public/condicionHidrica>
- CINARA, Instituto de Investigación y Desarrollo en Abastecimiento de Agua, Saneamiento Ambiental y Conservación del Recurso Hídrico. (2012). Informe caracterización. Arranque y puesta en marcha de la PTAR El Cerrito. Universidad Del Valle.
- CONADESUCA. (2015). Nutrición del cultivo de caña de azúcar y uso eficiente de fertilizantes. *Boletín Técnico Informativo*, (55), 38–71. Retrieved from https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/114366/Boletin_Tecnico_Informativo_Octubre_2015.pdf
- Corcoran, E., Nellemann, C., Baker, E., Bos, R., Osborn, D., & Savelli, H. (2010). *Sick Water? The Central Role of Wastewater Management in Sustainable Development: A Rapid Response Assessment*. *UN Habitat* (Vol. 30, pp. 169–174). Retrieved from www.grida.no
- Cuellar Carrasco, E., Ortega Escobar, M., Ramírez Ayala, C., & Sánchez Bernal, E. I. (2017). Evaluación de la relación de adsorción de sodio de las aguas de la red hidrográfica del Valle del Mezquital, Hidalgo. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 6(5), 977. <https://doi.org/10.29312/remexca.v6i5.592>
- CVC, Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca. (n.d.). Salinidad del suelo. Grupo Sistema de Información Ambiental. Guía rápida temática para el usuario SIG. 1–7. www.geo.cvc.gov.co/pdf/Salinidad
- CVC, Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca. (2019). Acuerdo CD N° 022 de 2019 (p. 5). https://www.cvc.gov.co/sites/default/files/2019-05/Acuerdo_022_de_2019.pdf
- Echeverri, A. (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 CC85-95. Universidad del Valle.
- Echeverri, A., Pérez, C., Ángulo, P., Urrutia, N. (2016). A Methodological Approach for Assessing Soil Salinity Hazard in Irrigated Areas. Case Study: The RUT Irrigation District, Colombia. *Revista Ingenierías Universidad de Medellín*, 15(29).
- Echeverri, A. (2018). Modelo metodológico para la identificación del riesgo de salinización de suelos en distritos de riego de Colombia. Caso de estudio: Distrito RUT. Universidad del Valle.
- EPA, Environmental Protection Agency & USAID, U. S. A. for I. D. (2012). Guidelines for Water Reuse. Office of Wastewater Management, ed., Washington, D.C, USA. 95.
- FAO, Food Agricultural Organization. (1985). Water quality for agriculture. California, United States, 17–72.
- FAO, Food Agricultural Organization. (2012). Estado de los recursos de tierras y aguas del mundo para la alimentación de la agricultura. La gestión de los sistemas en situación de riesgo. Ediciones Mundi-Prensa, 54.
- FAO, Food Agricultural Organization. (2017). Reutilización de aguas para agricultura en América Latina y el Caribe, 30, 62.
- FAO, Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura., OCDE, Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos. (2018).. Special focus: Middle east and north Africa. Roma, Italia, 143-146.
- FONAM, F. N. del A. (2010). Oportunidades de mejoras ambientales por el tratamiento de aguas residuales en el Perú. 3, 5, 8.
- Fundación Chile. (2016). Diagnóstico del potencial de reúso de aguas residuales en la Región de Valparaíso. In Fundación Chile - Gobierno Regional de Valparaíso (Vol. 3). http://cidta.usal.es/cursos/EDAR/modulos/Edar/unidades/LIBROS/logo/pdf/Aguas_Residuales_composicion.pdf
- Galvis, A., Jaramillo, M.F., Van der Steen, N.P. y Gijzen, H. J. (2018). Financial aspects of reclaimed wastewater irrigation in three sugarcane production areas in the Upper Cauca river Basin, Colombia. *Agricultural Water Management* 209, 102–110. Doi: 10.1016/j.agwat.2018.07.019.

- Gandonou, C. B., Bada, F., Gnancadja, S. L., Abrini, J., & Skali-Senhaji, N. (2011). Effects of NaCl on Na⁺, Cl⁻ and K⁺ ions accumulation in two sugarcane (*Saccharum* sp.) cultivars differing in their salt tolerance. *International Journal of Plant Physiology and Biochemistry*, 3(10), 155–162. Retrieved from <http://www.academicjournals.org/IJPPB>
- García, Á. (2012). Criterios modernos para evaluación de la calidad del agua para riego (Segunda parte). *International Union of Soil Sciences*, 7 Setiembre, 26–34. Retrieved from [http://www.ipni.net/publication/ia-lahp.nsf/0/B3BD6ED103283DDD85257A2F005EF91B/\\$FILE/6 Art.pdf](http://www.ipni.net/publication/ia-lahp.nsf/0/B3BD6ED103283DDD85257A2F005EF91B/$FILE/6%20Art.pdf)
- García, A., & Verón, S. (2017). Evaluación de la calidad de agua para riego mediante el empleo de criterios actualizados. Trabajo de grado. Universidad Nacional de la Pampa. La Pampa, Argentina, 11-15.
- Gobierno de España, Ministerio de Economía y Competitividad., Consolider Tragua., & Programa Ingenio 2010. (2012). Ejemplos practicos de reutilizacion de agua residual tratada y regenerada para el riego de cultivos. Evaluación de riesgo. Gobierno de España. Ministerio de Economia y Competitividad. Programa Ingenio 2010, 9.
- Gómez, D., Ania, J., Silva, L., Bueno, C., Cara, J., Puertas, E., Luna, J., García, M., Junquera, C., Moreno, M., Olivencia, M., González, A., Alés, M., Silva, M., Pérez, J., Piña, D., Puertas, E., Romero, C., Romero, A., Montero, E., Martínez, M., Ochoa, O., & Ríos, C. (2002). Auxiliares Sanitarios de la comunidad Autónoma de las Illes Balears. Editorial MAD, S.L. Alcalá de Guadaira, Sevilla, 535.
- Gorete, M., Aéda da Silva, D., Onofre de Andrade Neto, C., & Normando de Souza, H. (2005). Fertilização de milho com águas residuárias, no semiárido nordestino. ABES, Rio Grande, Brasil, 5-7.
- Grajales, L., Mejía, M., & Díaz, J. (2012). Evaluación de la sensibilidad a la obstrucción de emisores de riego. *Revista Educación en Ingeniería*. Cali, Colombia, 44-54.
- Grattan, S. R. (2018). *Consejos sobre la sequía: La tolerancia del cultivo a la sal. Consejos sobre la sequía: La tolerancia del cultivo a la sal*. University of California, Agriculture and Natural Resources. <https://doi.org/10.3733/ucanr.8630>
- Guzmán Cabrera, A. C., & Flórez Herrera, J. F. (2019). Evaluación de la efectividad de la Tasa Retributiva (TR) como instrumento económico para la protección del recurso hídrico en Colombia. *Ensayos de Economía*, 29(55), 129–151. <https://doi.org/10.15446/ede.v29n55.79561>
- Hettiarachchi, H. & Ardakanian, R. (2017). Uso seguro de aguas residuales en la agricultura: ejemplos de buenas prácticas. Universidad de las Naciones Unidas (UNU-Flores). Instituto para la Gestión Integral de Flujos de Materiales y Recursos, 127-139.
- IICA, Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura. (2018). El mercado y la comercialización. Programa de fortalecimiento de capacidades agroempresariales y asociativas. San José, Costa Rica, 4-7.
- Jiménez, B. (2001). La contaminación ambiental en México: Causas, efectos y tecnología apropiada. Colegio de Ingenieros Ambientales en México, Instituto de Ingeniería de la UNAM, FEMISCA, 134, 135.
- Martínez, M., Ferro, E. & De Pablos, F. (2016). Evaluación de cianuro libre en aguas superficiales del río Paraguay cercanas a una industria del acero. *Revista Boliviana de Química*. Vol. 33. La Paz, Bolivia, 89.
- Medeiros, S. de S., Soares, A. A., Ferreira, P. A., Neves, J. C. L., Matos, A. T. de, & Souza, J. A. A. de. (2005). Utilização de água residuária de origem doméstica na agricultura: estudo das alterações químicas do solo. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 9(4), 603–612. <https://doi.org/10.1590/s1415-43662005000400026>
- Medina Valdovinos, E. K., Mancilla Villa, O. R., Larios, M. M., Guevara Gutiérrez, R. D., Olguín López, J. L., & Barreto García, O. A. (2016). Calidad del agua para riego y suelos agrícolas en Tuxcacuesco, Jalisco. *Idesia (Arica)*, (ahead), 0–0.

- <https://doi.org/10.4067/s0718-34292016005000035>
- Méndez, R., Vidal, G., & Lorber, K. (2007). Producción limpia en la industria de curtiembre. Universidad de Santiago de Compostela. España, 24-28.
- Metcalf & Eddy. (2003). Wastewater engineering: treatment and reuse. Cuarta edición. McGraw-Hill's, 31, 98, 116.
- MINAGRI, Ministerio de Agricultura y Riego., & DGIAR, Dirección General de Infraestructura Agraria y Riego. (2015). Manual del cálculo de eficiencia para sistemas de riego. Lima, Perú, 7-21.
- MADS, Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2014). Resolución 1207 de 2014. Regimen Legal de Bogotá D.C. Colombia, 4, 5.
- MAVDT, Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. (2010). Política Nacional para la Gestión Integral del Recurso Hídrico. Bogotá, Colombia, 51.
- Ministerio de la Protección Social. (2010). Resolución número 00001618 de 2010. República de Colombia. Bogotá, Colombia, 5-6.
- Neftalí, M., Gutiérrez, J., Escobar, S., Sánchez, L., Nájera, H. (2014). Destrucción de huevos de helminto mediante procesos no convencionales. Ciencia y Desarrollo. México, 4-8.
- OEFA, Organización de Evaluación y Fiscalización Ambiental. (2014). Fiscalización Ambiental en Aguas Residuales. Perú, 6 y 7.
- OEFA, Organización de Evaluación y Fiscalización Ambiental. (2014). Fiscalización ambiental en aguas residuales. *Organismo de Evaluacion y Fiscalizacion Ambiental*, 36. Retrieved from https://www.oefa.gob.pe/?wpfb_dl=7827
- Ortiz, C. (2010). Prevalencia de huevos de helmintos en lodos, agua residual cruda y tratada, provenientes de un sistema de tratamiento de aguas residuales del municipio el Rosal, Cundinamarca. Universidad Nacional De Colombia. Facultad De Ciencias. Bogotá, D.C. Colombia, 94-106.
- Parra, A., Vargas, V., & Castellar, R. (2005). Metodología estadística para estudios de disponibilidad a pagar (DAP) aplicada a un proyecto de abastecimiento de agua. EconWPA, Econometrics.
- Pérez, C., León, F., & Delgadillo, G. (2013). Tratamiento de aguas. Manual de laboratorios. Universidad Nacional Autónoma de México. México, 36, 57.
- Pérez, C. F., Madera-Parra, C. A., Echeverri- Sánchez, A. F., & Urrutia-Cobo, N. (2015). Reuso de aguas residuales: impacto en los atributos químicos y macronutricionales en un suelo inceptisol irrigado con aguas residuales domésticas tratadas. Ingeniería Y Competitividad, 17(2), 19–28. <https://doi.org/10.25100/iyc.v17i2.2185>
- Pérez-Díaz, J. P., Ortega-Escobar, H. M., Ramírez-Ayala, C., Flores-Magdaleno, H., Sánchez-Bernal, E. I., Can-Chulim, Á., & Mancilla-Villa, O. R. (2019). Concentración de nitrato, fosfato, boro y cloruro en el agua del río Lerma. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios*, 6(16), 175. <https://doi.org/10.19136/era.a6n16.1829>
- Pizarro, F. (1996). Riegos localizados de alta frecuencia (RLAF) goteo, microaspersión, exudación. Ediciones Mundi-Prensa. 3ra edición. Bilbao, España, 239, 240, 286.
- Rebolledo, G. & Torres, J. (2018). Evaluación ambiental del sistema de tratamiento de aguas residuales del municipio de El Cerrito. Universidad del Valle, Cali, Colombia: CINARA, 1, 12, 13.
- Regmi, P., Lackner, S., Vlaeminck, S., Makinia, J., & Murthy, S. (2016). Nutrient Removal and Recovery: Trends and Challenges. In *Global Trends & Challenges in Water Science, Research and Management. A compendium of hot topics and features from IWA Specialist Groups Second Edition*. International Water Association (IWA) Alliance House, London, UK. ISBN 9781780408378, 91-94.
- Rendón, M., Villasís, M., & Miranda, M. G. (2016). Estadística descriptiva. *Revista Alergia México*, 63(4), 397–407. <https://doi.org/10.29262/ram.v63i4.230>
- Ríos, F. (2014). Comportamiento ambiental de tensioactivos comerciales: biodegradabilidad,

- toxicidad y ozonización. Universidad de Granada. España, 37.
- Rivera, L. (2019). Valoración económica ambiental para el tratamiento de las aguas residuales en el río Ichu – Huancavelica. <https://hdl.handle.net/20.500.12640/1479>
- Rodríguez, J., & Marín, R. (1999). Físicoquímica de aguas. Ediciones Díaz de Santos S.A. Madrid, España, 258.
- Ruiz-Rosa, I., García-Rodríguez, F. J., & Antonova, N. (2020). Developing a methodology to recover the cost of wastewater reuse: A proposal based on the polluter pays principle. *Utilities Policy*, 65. <https://doi.org/10.1016/j.jup.2020.101067>
- Seguí Amórtegui, L. A. (2004). Sistemas de Regeneración y Reutilización de Aguas Residuales. Metodología para el Análisis Técnico-Económico y Casos. *TDX (Tesis Doctorals En Xarxa)*, 1–3. Retrieved from <https://upcommons.upc.edu/handle/2117/94371>
- Silva, J., Torres, P., & Madera, C. (2014). Reutilización de aguas residuales tratadas en la agricultura: una oportunidad para el sector cañero. Facultad de Ciencias e Ingeniería. <https://doi.org/10.24267/23462329.62>
- Sierra, C., Céspedes, R. & Osorio, A. (2001). Caracterización de la salinidad de los suelos y aguas del Valle del Río Copiapó. Instituto de Investigaciones Agropecuarias. Gobierno de Chile. Ministerio de Agricultura INIA. Boletín N° 70. Copiapó, Chile, 9,11.
- Simões, W. L., Calgaro, M., Coelho, D. S., dos Santos, D. B., & de Souza, M. A. (2016). Growth of sugar cane varieties under salinity. *Revista Ceres*, 63(2), 265–271. <https://doi.org/10.1590/0034-737X201663020019>
- Suárez, D. (1981). Relation Between pHc and Sodium Adsorption Ratio (SAR) and an Alternative Method of Estimating SAR of Soil or Drainage Waters. *Soil Science Society of America Journal*, 45(3), 469–475. <https://doi.org/10.2136/sssaj1981.03615995004500030005x>
- Torres, J. (2019). Diagnóstico de la infraestructura de los sistemas de abastecimiento de agua potable en zonas rurales de cinco municipios del departamento de Cundinamarca. Retrieved from https://ciencia.lasalle.edu.co/ing_civil/523
- Torres, M., Paz, K., & Salazar, F. (2019). Método de recolección de datos para una investigación. *Boletín Electrónico de La Facultad de Ingeniería - Universidad Rafael Landívar*, 1(3), 283–287.
- Trayanova1, M., Hristov1, V., Atanassova1, R., Haslinger, E., Plank, O., Wyhlidal, S., & Benderev, A. (2018). Potential of corrosion and/or deposition of solid phases in the thermal waters in the region of Sofia Valley, Bulgaria, depending on their chemical composition. *Bulgarian Chemical Communications*. Volume 50. Special Issue, 28-33.
- Trochez, (2017). Evaluación del potencial uso para riego del efluente de la planta de tratamiento de aguas residuales de Ginebra Valle del Cauca. Universidad Del Valle, Cali, Colombia, 19, 41.
- Trujillo, A., Cárdenas, C., Valbuena, M., Herrera, L., Araújo, I. y Saules, L. (2000). Tratamiento de aguas residuales en el trópico mediante lagunas de estabilización y su reuso para riego agrícola. XXVII Congresso Interamericano de Engenharia Sanitária e Ambiental. Maracaibo, Venezuela, 3, 5.
- Tudela-Mamani, J. W. (2017). Estimación de beneficios económicos por el mejoramiento del sistema de tratamiento de aguas residuales en la ciudad de puno (Perú). *Desarrollo y Sociedad*, 2017(79), 189–237. <https://doi.org/10.13043/DYS.79.6>
- USDA, United State Department of Agricultural. (1954). Diagnosis and improvements of saline and alkali soils. Agriculture handbook No 60. Department of Agriculture, Washington, United States, 80
- Velásquez, J. (2017). Contaminación de suelos y aguas por hidrocarburos en Colombia. Análisis de la fitorremediación como estrategia biotecnológica de recuperación. Artículo. Universidad Nacional Abierta y a Distancia - UNAD. Yopal, Casanare, Colombia, 1.

- Victoria, J., Viveros, C., Salazar, F., Ángel, J., Bustillo, A., Castro, U., López, J., & Moreno, C. (2013). Catálogo de variedades de caña de azúcar. Cenicaña, 1–15.
- Villalobos, F., Mateos, L., Orgaz, F., Fereres, E. (2009). Fitotecnia: Bases y tecnologías de la producción agrícola. Ediciones Mundi-Prensa. México, 101, 105.
- Villafañe, R. (2011). Sosalriego: Un procedimiento para diagnosticar los riesgos de sodificación y salinización del suelo con el agua de riego. *Bioagro*.
- WHO, World Health Organization. (2006). WHO Guidelines for the Safe Use of Wastewater, Excreta and Greywater: Volume I - Policy and Regulatory Aspects. *World Health*, 1, 24-39.
- Zamora, F., Rodríguez, N., Torres, D. y Yendis, H. (2008). Efecto del riego con aguas residuales sobre propiedades químicas de suelos de la Planicie de Coro, Estado Falcón. *Bioagro*. Universidad Nacional Experimental Francisco de Miranda, Venezuela, 3 y 4.

12. ANEXOS

12.1. Anexos de la encuesta virtual



ENCUESTA PARA EVALUAR EL POTENCIAL DE COMERCIALIZACIÓN DEL AGUA RESIDUAL TRATADA PARA RIEGO AGRÍCOLA

La reutilización de las aguas residuales tratadas es una práctica común alrededor del mundo, principalmente por el suministro de nutrientes y materia orgánica a las plantas, evitando la implementación de agua dulce y el pago de algunas tarifas.

Considerar esta alternativa en una zona como el valle geográfico del río Cauca, brindará grandes beneficios. Los valiosos componentes nutricionales presentes en el efluente tratado pueden reemplazar fertilizantes químicos, representando un ahorro económico y beneficiando la alta producción del cultivo extensivo de la caña de azúcar.

Por tal motivo, la Universidad del Valle está llevando a cabo un proyecto de investigación con la finalidad de evaluar el potencial de comercialización del agua residual tratada en la PTAR del municipio de El Cerrito (Valle del Cauca).

NOTA: Por favor contestar el siguiente formulario antes del 26 de agosto del 2020. Agradecemos su valioso tiempo y participación.

***Obligatorio**

1. ¿Conocía usted los beneficios principales del reuso de aguas residuales tratadas como alternativa de riego? *

☐ Sí

☐ No

2. ¿Con qué fuente complementa usted las necesidades hídricas del cultivo de caña de azúcar? *

☐ Agua subterránea

☐ Agua superficial

☐ Agua residual

3. ¿En qué municipios se encuentran localizados sus predios? *

Tu respuesta _____

4. ¿Cuál es el área total estimada de sus predios? *

☐ Menor a 100 hectáreas

☐ Entre 100 a 500 hectáreas

☐ Entre 500 a 1.000 hectáreas

☐ Mayor a 1.000 hectáreas

5. ¿Estaría usted interesado en la adquisición del agua residual tratada en las PTARs del valle geográfico del río Cauca? *

Con base a las siguientes opciones, responda las preguntas 6 y 7

☐ Sí

☐ No

6. Seleccione las opciones por las cuales usted estaría interesado en adquirir el agua residual tratada *

Si su respuesta a la pregunta 5 fue negativa, seleccione la opción 'no aplica'

☐ Aportes de materia orgánica

☐ Aportes de nutrientes

☐ Evitar el uso de agua dulce

☐ Evitar el pago de tarifas

☐ Otras

☐ No aplica

7. Con base a su tasa por uso de agua (TUA), ¿cuánto estaría dispuesto a pagar por el servicio de tratamiento del agua residual destinada para riego? (\$/m³) *

Si su respuesta a la pregunta 5 fue negativa, anexe aquí el valor cero (0)

Tu respuesta _____

Enviar Página 1 de 1

12.2. Anexos del laboratorio Análisis Ambiental

CERTIFICADO DE ANALISIS
VERSION No. 00

No. O.T. 0000813

Cliente: 8903990106 UNIVERSIDAD DEL VALLE

Dirección: CALLE 13 No. 100-00 SEDE MELENDEZ

Ordenador: DIANA TOLORZA

Teléfonos: 3212266 - 3212100

E-mail: laboratorioservicios.eidenar@correounivalle.edu.co



Página 1 de 1

Lugar Muestreo:	MUESTRA 1				
Muestra:	VERTIMIENTOS LÍQUIDOS				
Datos de la Muestra:	AGUA RESIDUAL				
Muestreador:	EL CLIENTE				
Empaque:	PLASTICO				
Fecha Recepción:	Lunes 10 de Febrero del 2020		Hasta: Martes 25 de Febrero del 2020		
Fecha Ensayo desde:	Lunes 10 de Febrero del 2020				
Norma	RES. 0631/2015		Para Muestra Codificada		VERTIMIENTOS LÍQUIDOS

Análisis	Método	Resultado	Expresado En	Parametro comparación
Δ CALCIO	SM3111D	72,70	mg/L	
Δ MAGNESIO	SM3111B	20.07	mg/L	
Δ SODIO	SM3111B	154.59	mg/L	
Δ POTASIO	SM3111B	10.73	mg/L	
PH	SM4500H+ -B	7.5	UNIDADES	
Δ ALCALINIDAD TOTAL	SM2320 B	347,34	mg CaCO3/L	
Δ ALCALINIDAD AL BICARBONATO	SM2320 B	347.34	mg CaCO3/L	
Δ ALCALINIDAD AL CARBONATO	SM2320 B	0.00	mg CaCO3/L	

(●) Análisis Subcontratado (Δ) Análisis Acreditado

Personal que intervino en la realización de los análisis:
Analista Stephanie Mosquera, Analista Nathalia Angulo

LOS ANTERIORES RESULTADOS SON VALIDOS UNICAMENTE PARA LA MUESTRA ANALIZADA.
Este Informe no puede reproducirse parcialmente sin la aprobación por escrito de ANALISIS AMBIENTAL.


DIEGO FERNANDO FRANCO M.
 QUIMICO MT PQ 1960
 DIRECTOR TÉCNICO LABORATORIO

CERTIFICADO DE ANALISIS

VERSION No. 00

No. O.T. 0000912
Cliente: 8903990106 UNIVERSIDAD DEL VALLE
Dirección: CALLE 13 No. 100-00 SEDE MELENDEZ
Ordenador: DIANA TOLORZA
Teléfonos: 3212266 - 3212100
E-mail: laboratorioservicios.eidenar@correounivalle.edu.co



Página 1 de 1

Lugar Muestreo:	PTAR
Muestra:	VERTIMIENTOS LÍQUIDOS
Datos de la Muestra:	AGUA RESIDUAL
Muestreador:	EL CLIENTE
Empaque:	PLASTICO
Fecha Recepción:	Lunes 17 de Febrero del 2020
Fecha Ensayo desde:	Lunes 17 de Febrero del 2020
Hasta:	Martes 3 de Marzo del 2020
Norma	RES. 0631/2015
Para Muestra Codificada	VERTIMIENTOS LÍQUIDOS

Análisis	Método	Resultado	Expresado En	Parametro comparación
Δ CALCIO	SM3111D	81,00	mg/L	
Δ MAGNESIO	SM3111B	14.89	mg/L	
Δ SODIO	SM3111B	157.14	mg/L	
Δ POTASIO	SM3111B	9.90	mg/L	
PH	SM4500H+ -B	6.9	UNIDADES	
Δ ALCALINIDAD TOTAL	SM2320 B	427,98	mg CaCO3/L	
Δ ALCALINIDAD AL BICARBONATO	SM2320 B	427,98	mg CaCO3/L	
Δ ALCALINIDAD AL CARBONATO	SM2320 B	0.0	mg CaCO3/L	

(●) Análisis Subcontratado (Δ) Análisis Acreditado

Personal que intervino en la realización de los análisis:
Analista Stephanie Mosquera, Analista Nathalia Angulo

LOS ANTERIORES RESULTADOS SON VALIDOS UNICAMENTE PARA LA MUESTRA ANALIZADA.
Este Informe no puede reproducirse parcialmente sin la aprobación por escrito de ANALISIS AMBIENTAL.



DIEGO FERNANDO FRANCO M.
QUIMICO-MT-PQ 1960
DIRECTOR TÉCNICO LABORATORIO

CERTIFICADO DE ANALISIS

VERSION No. 00

No. O.T. 0001061
Cliente: 8903990106 UNIVERSIDAD DEL VALLE
Dirección: CALLE 13 No. 100-00 SEDE MELENDEZ
Ordenador: DIANA TOLORZA
Teléfonos: 3212266 - 3212100
E-mail: laboratorioservicios.eidenar@correounivalle.edu.co



Página 1 de 1

Lugar Muestreo:	PTAR SALIDA
Muestra:	VERTIMIENTOS LÍQUIDOS
Datos de la Muestra:	AGUA RESIDUAL
Muestreador:	EL CLIENTE
Empaque:	PLASTICO
Fecha Recepción:	Lunes 24 de Febrero del 2020
Fecha Ensayo desde:	Lunes 24 de Febrero del 2020
Hasta:	Martes 10 de Marzo del 2020
Norma	RES. 0631/2015
Para Muestra Codificada	VERTIMIENTOS LÍQUIDOS

Análisis	Método	Resultado	Expresado En	Parametro comparación
Δ CALCIO	SM3111D	79.33	mg/L	
Δ MAGNESIO	SM3111B	21.39	mg/L	
Δ SODIO	SM3111B	198.46	mg/L	
Δ POTASIO	SM3111B	22.84	mg/L	
PH	SM4500H+ -B	7.07	UNIDADES	
Δ ALCALINIDAD TOTAL	SM2320 B	367,60	mg CaCO3/L	
Δ ALCALINIDAD AL BICARBONATO	SM2320 B	367,60	mg CaCO3/L	
Δ ALCALINIDAD AL CARBONATO	SM2320 B	0.0	mg CaCO3/L	

(●) Análisis Subcontratado (Δ) Análisis Acreditado

Personal que intervino en la realización de los análisis:
Analista Nathalia Angulo

LOS ANTERIORES RESULTADOS SON VALIDOS UNICAMENTE PARA LA MUESTRA ANALIZADA.
Este Informe no puede reproducirse parcialmente sin la aprobación por escrito de ANALISIS AMBIENTAL.



DIEGO FERNANDO FRANCO M.
QUIMICO-MT-PQ 1960
DIRECTOR TÉCNICO LABORATORIO

CERTIFICADO DE ANALISIS

VERSION No. 00

No. O.T. 0001212
 Cliente: 8903990106 UNIVERSIDAD DEL VALLE
 Dirección: CALLE 13 No. 100-00 SEDE MELENDEZ
 Ordenador: DIANA TOLORZA
 Teléfonos: 3212266 - 3212100
 E-mail: laboratorioservicios.eidenar@correounivalle.edu.co



Página 1 de 1

Lugar Muestreo:	SALIDA PTAR MUESTRA #4
Muestra:	VERTIMIENTOS LÍQUIDOS
Datos de la Muestra:	AGUA RESIDUAL
Muestreador:	EL CLIENTE
Empaque:	PLASTICO
Fecha Recepción:	Lunes 2 de Marzo del 2020
Fecha Ensayo desde:	Lunes 2 de Marzo del 2020
Hasta:	Martes 17 de Marzo del 2020
Norma	RES. 0631/2015
Para Muestra Codificada	VERTIMIENTOS LÍQUIDOS

Análisis	Método	Resultado	Expresado En	Parametro comparación
Δ CALCIO	SM3111B	80.94	mg/L	
Δ MAGNESIO	SM3111B	20.72	mg/L	
Δ SODIO	SM3111B	160.89	mg/L	
Δ POTASIO	SM3111B	18.28	mg/L	
PH	SM4500H+ -B	7.4	UNIDADES	
Δ ALCALINIDAD TOTAL	SM2320 B	392,50	mg CaCO3/L	
Δ ALCALINIDAD AL BICARBONATO	SM2320 B	392,50	mg CaCO3/L	
Δ ALCALINIDAD AL CARBONATO	SM2320 B	0,0	mg CaCO3/L	

(●) Análisis Subcontratado (Δ) Análisis Acreditado

Personal que intervino en la realización de los análisis:
 Analista Nathalia Angulo

LOS ANTERIORES RESULTADOS SON VALIDOS UNICAMENTE PARA LA MUESTRA ANALIZADA.
 Este Informe no puede reproducirse parcialmente sin la aprobación por escrito de ANALISIS AMBIENTAL.



DIEGO FERNANDO FRANCO M.
 QUIMICO-MT-PQ 1960
 DIRECTOR TÉCNICO LABORATORIO

CERTIFICADO DE ANALISIS

VERSION No. 00

No. O.T. 0001372
 Cliente: 8903990106 UNIVERSIDAD DEL VALLE
 Dirección: CALLE 13 No. 100-00 SEDE MELENDEZ
 Ordenador: DIANA TOLORZA
 Teléfonos: 3212266 - 3212100
 E-mail: laboratorioservicios.eidenar@correounivalle.edu.co



Página 1 de 1

Lugar Muestreo:	SALIDA PTAR
Muestra:	VERTIMIENTOS LÍQUIDOS
Datos de la Muestra:	AGUA RESIDUAL
Muestreador:	EL CLIENTE
Empaque:	PLASTICO
Fecha Recepción:	Viernes 6 de Marzo del 2020
Fecha Ensayo desde:	Viernes 6 de Marzo del 2020
Hasta:	Lunes 23 de Marzo del 2020
Norma	RES. 0631/2015
Para Muestra Codificada	VERTIMIENTOS LÍQUIDOS

Análisis	Método	Resultado	Expresado En	Parametro comparación
Δ CALCIO	SM3111D	103.02	mg/L	
Δ MAGNESIO	SM3111B	15.68	mg/L	
Δ SODIO	SM3111B	132.57	mg/L	
Δ POTASIO	SM3111B	14.90	mg/L	
PH	SM4500H+ -B	8.2	UNIDADES	
Δ ALCALINIDAD TOTAL	SM2320 B	289,00	mg CaCO3/L	
Δ ALCALINIDAD AL BICARBONATO	SM2320 B	289,00	mg CaCO3/L	
Δ ALCALINIDAD AL CARBONATO	SM2320 B	0,0	mg CaCO3/L	

(●) Análisis Subcontratado (Δ) Análisis Acreditado

Personal que intervino en la realización de los análisis:
 Analista Nathalia Angulo

LOS ANTERIORES RESULTADOS SON VALIDOS UNICAMENTE PARA LA MUESTRA ANALIZADA.
 Este Informe no puede reproducirse parcialmente sin la aprobación por escrito de ANALISIS AMBIENTAL.



DIEGO FERNANDO FRANCO M.
 QUIMICO-MT-PQ 1960
 DIRECTOR TÉCNICO LABORATORIO

CERTIFICADO DE ANALISIS

VERSION No. 00

No. O.T. 0001354
 Cliente: 8903990106 UNIVERSIDAD DEL VALLE
 Dirección: CALLE 13 No. 100-00 SEDE MELENDEZ
 Ordenador: DIANA TOLORZA
 Teléfonos: 3212266 - 3212100
 E-mail: laboratorioservicios.eidenar@correounivalle.edu.co



Página 1 de 1

Lugar Muestreo:	SALIDA PTAR MUESTRA #5
Muestra:	VERTIMIENTOS LÍQUIDOS
Datos de la Muestra:	AGUA RESIDUAL
Muestreador:	EL CLIENTE
Empaque:	PLASTICO
Fecha Recepción:	Jueves 5 de Marzo del 2020
Fecha Ensayo desde:	Jueves 5 de Marzo del 2020
Hasta:	Lunes 23 de Marzo del 2020
Norma	RES. 0631/2015
Para Muestra Codificada	VERTIMIENTOS LÍQUIDOS

Análisis	Método	Resultado	Expresado En	Parametro comparación
Δ CALCIO	SM3111D	90.25	mg/L	
Δ MAGNESIO	SM3111B	16.29	mg/L	
Δ SODIO	SM3111B	126.16	mg/L	
Δ POTASIO	SM3111B	16.24	mg/L	
PH	SM4500H+ -B	7.1	UNIDADES	
Δ ALCALINIDAD TOTAL	SM2320 B	295,00	mg CaCO3/L	
Δ ALCALINIDAD AL BICARBONATO	SM2320 B	295,00	mg CaCO3/L	
Δ ALCALINIDAD AL CARBONATO	SM2320 B	0,0	mg CaCO3/L	

(●) Análisis Subcontratado (Δ) Análisis Acreditado

Personal que intervino en la realización de los análisis:
 Analista Nathalia Angulo

LOS ANTERIORES RESULTADOS SON VALIDOS UNICAMENTE PARA LA MUESTRA ANALIZADA.
 Este Informe no puede reproducirse parcialmente sin la aprobación por escrito de ANALISIS AMBIENTAL.



DIEGO FERNANDO FRANCO M.
 QUIMICO-MT-PQ 1960
 DIRECTOR TÉCNICO LABORATORIO

CERTIFICADO DE ANALISIS

VERSION No. 00

No. O.T. 0001448
 Cliente: 8903990106 UNIVERSIDAD DEL VALLE
 Dirección: CALLE 13 No. 100-00 SEDE MELENDEZ
 Ordenador: DIANA TOLORZA
 Teléfonos: 3212266 - 3212100
 E-mail: laboratorioservicios.eidenar@correounivalle.edu.co



Página 1 de 1

Lugar Muestreo:	SALIDA PTAR
Muestra:	VERTIMIENTOS LÍQUIDOS
Datos de la Muestra:	AGUA RESIDUAL
Muestreador:	EL CLIENTE
Empaque:	PLASTICO
Fecha Recepción:	Jueves 12 de Marzo del 2020
Fecha Ensayo desde:	Jueves 12 de Marzo del 2020
Hasta:	Viernes 27 de Marzo del 2020
Norma	RES. 0631/2015
Para Muestra Codificada	VERTIMIENTOS LÍQUIDOS

Análisis	Método	Resultado	Expresado En	Parametro comparación
Δ CALCIO	SM3111D	462.68	mg/L	
Δ MAGNESIO	SM3111B	14.15	mg/L	
Δ SODIO	SM3111B	93.09	mg/L	
Δ POTASIO	SM3111B	10.60	mg/L	
PH	SM4500H+ -B	7.5	UNIDADES	
Δ ALCALINIDAD TOTAL	SM2320 B	403,00	mg CaCO3/L	
Δ ALCALINIDAD AL BICARBONATO	SM2320 B	403,00	mg CaCO3/L	
Δ ALCALINIDAD AL CARBONATO	SM2320 B	0,0	mg CaCO3/L	

(●) Análisis Subcontratado (Δ) Análisis Acreditado

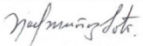
Personal que intervino en la realización de los análisis:
 Analista Nathalia Angulo

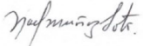
LOS ANTERIORES RESULTADOS SON VALIDOS UNICAMENTE PARA LA MUESTRA ANALIZADA.
 Este Informe no puede reproducirse parcialmente sin la aprobación por escrito de ANALISIS AMBIENTAL.

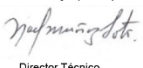


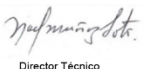
DIEGO FERNANDO FRANCO M.
 QUIMICO-MT-PQ 1960
 DIRECTOR TÉCNICO LABORATORIO

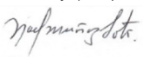
12.3. Anexos del laboratorio Aguas del Instituto Cinara

		INFORME DE RESULTADOS DE ENSAYOS		
LABORATORIO DE AGUAS DEL INSTITUTO CINARA FACULTAD DE INGENIERIA UNIVALLE		Informe N° 0295-20	Fecha de emisión: 2020-03-19	Página 1 de 1
Código interno de la muestra:	0295-20	Fecha de recepción: 2020-02-10	Plan de muestreo: FM-03	
Código externo de la muestra:	N/A			
Empresa: Instituto CINARA		Servicio solicitado por: Christian Polania y Diana Tolorza		
Dirección: Universidad del Valle, Edificio 341		Ciudad: Cali		
Email: christian.polania@correounivalle.edu.co diana.tolorza@correounivalle.edu.co		Telefono: 3177954742		
Fecha de muestreo: 2020-02-10		Hora en que inicia: 08:30	Hora en que termina: 09:00	
Lugar de muestreo: PTAR de Cerrito		Muestreador: Christian Polania y Diana Tolorza		
Condiciones ambientales:		Seco	Si	Lluvioso
RESULTADOS DE LOS ENSAYOS MICROBIOLOGICOS				
Periodo de análisis: 2020-02-10		Clase de muestra: Agua Residual (AR)		
PARÁMETRO	MÉTODO*	EXPRESADO COMO	RESULTADO	INCERTIDUMBRE
Huevos de Helmintos	Baillenger	Unidades de Huevos/L	115	-
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. 3. El muestreo se realiza de acuerdo al artículo 27 del decreto 1575 del 2007, Procedimiento de muestreo 2.03.01 4. El laboratorio de aguas del Instituto Cinara no se encuentra acreditado ante la ONAC y/o IDEAM. *Standard Methods for the examination of water and wastewater: 22 Edition; 2012. APHA, AWWA, WEF, Joint Editorial Board (JEB): Washington. ® Reglamento técnico del sector de agua potable y Saneamiento Básico- RAS, Título B sistemas de acueducto				
 Director Técnico		LABORATORIO DE AGUAS DEL INSTITUTO CINARA Cra 15 con Calle 72 Esquina, Puerto Mallarino Teléfono: 652 9105 - Teléfono: 652 9458 E-mail: laboratorio.aguas@cinara@correounivalle.edu.co		

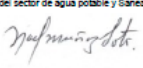
		INFORME DE RESULTADOS DE ENSAYOS		
LABORATORIO DE AGUAS DEL INSTITUTO CINARA FACULTAD DE INGENIERIA UNIVALLE		Informe N° 0358-20	Fecha de emisión: 2020-03-19	Página 1 de 1
Código interno de la muestra:	0358-20	Fecha de recepción: 2020-02-17	Plan de muestreo: FM-03	
Código externo de la muestra:	N/A			
Empresa: Instituto CINARA		Servicio solicitado por: Christian Polania y Diana Tolorza		
Dirección: Universidad del Valle, Edificio 341		Ciudad: Cali		
Email: christian.polania@correounivalle.edu.co diana.tolorza@correounivalle.edu.co		Telefono: 3177954742		
Fecha de muestreo: 2020-02-17		Hora en que inicia: 08:30	Hora en que termina: 09:00	
Lugar de muestreo: PTAR de Cerrito		Muestreador: Christian Polania y Diana Tolorza		
Condiciones ambientales:		Seco	Si	Lluvioso
RESULTADOS DE LOS ENSAYOS MICROBIOLOGICOS				
Periodo de análisis: 2020-02-17		Clase de muestra: Agua Residual (AR)		
PARÁMETRO	MÉTODO*	EXPRESADO COMO	RESULTADO	INCERTIDUMBRE
Huevos de Helmintos	Baillenger	Unidades de Huevos/L	56	-
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. 3. El muestreo se realiza de acuerdo al artículo 27 del decreto 1575 del 2007, Procedimiento de muestreo 2.03.01 4. El laboratorio de aguas del Instituto Cinara no se encuentra acreditado ante la ONAC y/o IDEAM. *Standard Methods for the examination of water and wastewater: 22 Edition; 2012. APHA, AWWA, WEF, Joint Editorial Board (JEB): Washington. ® Reglamento técnico del sector de agua potable y Saneamiento Básico- RAS, Título B sistemas de acueducto				
 Director Técnico		LABORATORIO DE AGUAS DEL INSTITUTO CINARA Cra 15 con Calle 72 Esquina, Puerto Mallarino Teléfono: 652 9105 - Teléfono: 652 9458 E-mail: laboratorio.aguas@cinara@correounivalle.edu.co		

		INFORME DE RESULTADOS DE ENSAYOS		
LABORATORIO DE AGUAS DEL INSTITUTO CINARA FACULTAD DE INGENIERIA UNIVALLE		Informe N° 0418-20	Fecha de emisión: 2020-03-19	Página 1 de 1
Código interno de la muestra:	0418-20	Fecha de recepción: 2020-02-24	Plan de muestreo: FM-03	
Código externo de la muestra: N/A				
Empresa: Instituto CINARA		Servicio solicitado por: Christian Polania y Diana Tolorza		
Dirección: Universidad del Valle, Edificio 341		Ciudad: Cali		
Email: christian.polania@correounivalle.edu.co diana.tolorza@correounivalle.edu.co		Telefono: 3177954742		
Fecha de muestreo: 2020-02-24		Hora en que inicia: 08:30	Hora en que termina: 09:00	
Lugar de muestreo: PTAR de Cerrito				
Muestreador: Christian Polania y Diana Tolorza				
Condiciones ambientales: Seco Si Lluvioso				
RESULTADOS DE LOS ENSAYOS MICROBIOLÓGICOS				
Periodo de análisis: 2020-02-24		Clase de muestra: Agua Residual (AR)		
PARÁMETRO	MÉTODO*	EXPRESADO COMO	RESULTADO	INCERTIDUMBRE
Huevos de Helmintos	Bailenger	Unidades de Huevos/L	30	-
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. 3. El muestreo se realiza de acuerdo al artículo 27 del decreto 1575 del 2007, Procedimiento de muestreo 2.03.01 4. El laboratorio de aguas del Instituto Cinara no se encuentra acreditado ante la ONAC y/o IDEAM. *Standard Methods for the examination of water and wastewater: 22 Edition:2012, APHA, AWWA, WEF, Joint Editorial Board (JEB): Washington. *Reglamento técnico del sector de agua potable y Saneamiento Básico- RAS, Título B sistemas de acueducto				
 Director Técnico		LABORATORIO DE AGUAS DEL INSTITUTO CINARA Cra 15 con Calle 75 Esquina, Puerto Mallarino Teléfono: 662 9505 - Telefax: 662 9488 E-mail: laboratorio.aguascinara@correounivalle.edu.co		

		INFORME DE RESULTADOS DE ENSAYOS		
LABORATORIO DE AGUAS DEL INSTITUTO CINARA FACULTAD DE INGENIERIA UNIVALLE		Informe N° 0473-20	Fecha de emisión: 2020-03-19	Página 1 de 1
Código interno de la muestra:	0473-20	Fecha de recepción: 2020-03-02	Plan de muestreo: FM-03	
Código externo de la muestra: N/A				
Empresa: Instituto CINARA		Servicio solicitado por: Christian Polania y Diana Tolorza		
Dirección: Universidad del Valle, Edificio 341		Ciudad: Cali		
Email: christian.polania@correounivalle.edu.co diana.tolorza@correounivalle.edu.co		Telefono: 3177954742		
Fecha de muestreo: 2020-03-02		Hora en que inicia: 08:30	Hora en que termina: 09:00	
Lugar de muestreo: PTAR de Cerrito				
Muestreador: Christian Polania y Diana Tolorza				
Condiciones ambientales: Seco Si Lluvioso				
RESULTADOS DE LOS ENSAYOS MICROBIOLÓGICOS				
Periodo de análisis: 2020-03-02		Clase de muestra: Agua Residual (AR)		
PARÁMETRO	MÉTODO*	EXPRESADO COMO	RESULTADO	INCERTIDUMBRE
Huevos de Helmintos	Bailenger	Unidades de Huevos/L	105	-
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. 3. El muestreo se realiza de acuerdo al artículo 27 del decreto 1575 del 2007, Procedimiento de muestreo 2.03.01 4. El laboratorio de aguas del Instituto Cinara no se encuentra acreditado ante la ONAC y/o IDEAM. *Standard Methods for the examination of water and wastewater: 22 Edition:2012, APHA, AWWA, WEF, Joint Editorial Board (JEB): Washington. *Reglamento técnico del sector de agua potable y Saneamiento Básico- RAS, Título B sistemas de acueducto				
 Director Técnico		LABORATORIO DE AGUAS DEL INSTITUTO CINARA Cra 15 con Calle 75 Esquina, Puerto Mallarino Teléfono: 662 9505 - Telefax: 662 9488 E-mail: laboratorio.aguascinara@correounivalle.edu.co		

		INFORME DE RESULTADOS DE ENSAYOS		
LABORATORIO DE AGUAS DEL INSTITUTO CINARA FACULTAD DE INGENIERIA UNIVALLE		Informe N° 0529-20	Fecha de emisión: 2020-03-19	Página 1 de 1
Código interno de la muestra:	0529-20	Fecha de recepción: 2020-03-05	Plan de muestreo: FM-03	
Código externo de la muestra: N/A				
Empresa: Instituto CINARA		Servicio solicitado por: Christian Polania y Diana Tolorza		
Dirección: Universidad del Valle, Edificio 341		Ciudad: Cali		
Email: christian.polania@correounivalle.edu.co diana.tolorza@correounivalle.edu.co		Telefono: 3177954742		
Fecha de muestreo: 2020-03-05		Hora en que inicia: 08:30	Hora en que termina: 09:00	
Lugar de muestreo: PTAR de Cerrito				
Muestreador: Christian Polania y Diana Tolorza				
Condiciones ambientales: Seco Si Lluvioso				
RESULTADOS DE LOS ENSAYOS MICROBIOLOGICOS				
Periodo de análisis: 2020-03-05		Clase de muestra: Agua Residual (AR)		
PARÁMETRO	MÉTODO*	EXPRESADO COMO	RESULTADO	INCERTIDUMBRE
Huevos de Helmintos	Bailenger	Unidades de Huevos/L	2	-
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. 3. El muestreo se realiza de acuerdo al artículo 27 del decreto 1575 del 2007, Procedimiento de muestreo 2.03.01 4. El laboratorio de aguas del Instituto Cinara no se encuentra acreditado ante la ONAC y/o IDEAM. *Standard Methods for the examination of water and wastewater: 22 Edition: 2012, APHA, AWWA, WEF, Joint Editorial Board (JEB): Washington. ° Reglamento técnico del sector de agua potable y Saneamiento Básico- RAS, Título B sistemas de acueducto				
 Director Técnico		LABORATORIO DE AGUAS DEL INSTITUTO CINARA Cra 15 con Calle 75 Esquina, Puerto Mallarino Teléfono: 662 9505 - Telefax: 662 9488 E-mail: laboratorio.aguascinara@correounivalle.edu.co		

		INFORME DE RESULTADOS DE ENSAYOS		
LABORATORIO DE AGUAS DEL INSTITUTO CINARA FACULTAD DE INGENIERIA UNIVALLE		Informe N° 0533-20	Fecha de emisión: 2020-03-19	Página 1 de 1
Código interno de la muestra:	0533-20	Fecha de recepción: 2020-03-06	Plan de muestreo: FM-03	
Código externo de la muestra: N/A				
Empresa: Instituto CINARA		Servicio solicitado por: Christian Polania y Diana Tolorza		
Dirección: Universidad del Valle, Edificio 341		Ciudad: Cali		
Email: christian.polania@correounivalle.edu.co diana.tolorza@correounivalle.edu.co		Telefono: 3177954742		
Fecha de muestreo: 2020-03-06		Hora en que inicia: 08:30	Hora en que termina: 09:00	
Lugar de muestreo: PTAR de Cerrito				
Muestreador: Christian Polania y Diana Tolorza				
Condiciones ambientales: Seco Si Lluvioso				
RESULTADOS DE LOS ENSAYOS MICROBIOLOGICOS				
Periodo de análisis: 2020-03-06		Clase de muestra: Agua Residual (AR)		
PARÁMETRO	MÉTODO*	EXPRESADO COMO	RESULTADO	INCERTIDUMBRE
Huevos de Helmintos	Bailenger	Unidades de Huevos/L	90	-
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. 3. El muestreo se realiza de acuerdo al artículo 27 del decreto 1575 del 2007, Procedimiento de muestreo 2.03.01 4. El laboratorio de aguas del Instituto Cinara no se encuentra acreditado ante la ONAC y/o IDEAM. *Standard Methods for the examination of water and wastewater: 22 Edition: 2012, APHA, AWWA, WEF, Joint Editorial Board (JEB): Washington. ° Reglamento técnico del sector de agua potable y Saneamiento Básico- RAS, Título B sistemas de acueducto				
 Director Técnico		LABORATORIO DE AGUAS DEL INSTITUTO CINARA Cra 15 con Calle 75 Esquina, Puerto Mallarino Teléfono: 662 9505 - Telefax: 662 9488 E-mail: laboratorio.aguascinara@correounivalle.edu.co		

		INFORME DE RESULTADOS DE ENSAYOS		
LABORATORIO DE AGUAS DEL INSTITUTO CINARA FACULTAD DE INGENIERIA UNIVALLE		Informe N° 0589-20	Fecha de emisión: 2020-02-03	Página 1 de 1
Código interno de la muestra: 0589-20		Fecha de recepción: 2020-03-12 Plan de muestreo: FM-03		
Código externo de la muestra: N/A				
Empresa: Instituto CINARA		Servicio solicitado por: Christian Polania y Diana Tolorza		
Dirección: Universidad del Valle, Edificio 341		Ciudad: Cali		
Email: christian.polania@correounivalle.edu.co diana.tolorza@correounivalle.edu.co		Telefono: 3177954742		
Fecha de muestreo: 2020-03-12 Hora en que inicia: 08:30 Hora en que termina: 09:00				
Lugar de muestreo: PTAR de Cerrito				
Muestreador: Christian Polania y Diana Tolorza				
Condiciones ambientales: Seco Si Lluvioso				
RESULTADOS DE LOS ENSAYOS MICROBIOLOGICOS				
Periodo de análisis: 2020-03-12		Clase de muestra: Agua Residual (AR)		
PARÁMETRO	MÉTODO*	EXPRESADO COMO	RESULTADO	INCERTIDUMBRE
Huevos de Helminetos	Baillenger	Unidades de Huevos/L	8	-
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. 3. El muestreo se realiza de acuerdo al artículo 27 del decreto 1575 del 2007, Procedimiento de muestreo 2.03.01 4. El laboratorio de aguas del Instituto Cinara no se encuentra acreditado ante la ONAC y/o IDEAM. *Standard Methods for the examination of water and wastewater; 22 Edition; 2012, APHA, AWWA/WEF, Joint Editorial Board (JEB); Washington. * Reglamento técnico del sector de agua potable y Saneamiento Básico- RAS, Título II sistemas de acueducto				
 Director Técnico		LABORATORIO DE AGUAS DEL INSTITUTO CINARA Cra 15 con Calle 75 Esquina, Puerto Mallarino Teléfono: 862 9505 • Telefax: 862 9488 E-mail: laboratorio.aguas@correounivalle.edu.co		