



# UNIVERSIDAD CENTRO PANAMERICANO DE ESTUDIOS SUPERIORES

DIRECCIÓN DE POSGRADO

DOCTORADO EN SOSTENIBILIDAD

CON RECONOCIMIENTO DE VALIDEZ OFICIAL DE ESTUDIOS NO.

No. DOC160402 DE FECHA 16 DE DICIEMBRE DE 2011

**“SISTEMAS IMPLEMENTADOS CON INGENIERÍA VERDE EN EL  
MANEJO DE LAS AGUAS RESIDUALES EN LA REPÚBLICA  
DOMINICANA, CASO: MUNICIPIO DE JARABACOA, AÑO 2018”.**

TESIS

PARA OBTENER EL GRADO DE  
DOCTOR EN SOSTENIBILIDAD

PRESENTA

**JOSÉ SANTIAGO VÁSQUEZ GUERRA**

ASESOR DE TESIS

**DR. EDUARDO MÁRQUEZ CANOSA**

La Vega, República Dominicana.

Julio, 2019



## Declaración de Originalidad

---

A través de la presente José Santiago Vásquez Guerra, certifico mi autoría de la investigación “SISTEMAS IMPLEMENTADOS CON INGENIERÍA VERDE EN EL MANEJO DE LAS AGUAS RESIDUALES EN LA REPÚBLICA DOMINICANA, CASO: MUNICIPIO DE JARABACOA, AÑO 2018” que presento para obtener el grado de Doctor en Sostenibilidad.

Además de ser una investigación única e inédita, cuyos contenidos son producto de 5 módulos de contribución directa, así como dicha investigación no está siendo postulado fue publicada ante otro medio, ni podrá ser divulgada bajo ninguna otra instancia que no tenga el nombre legal de la Universidad Centro Panamericano de Estudios Superiores o bien si autorización previa de la Universidad.

Enfatizo, que todas las referencias bibliográficas ya publicadas se encuentran debidamente incluidas en la bibliografía de la Tesis (en caso necesario, ya se cuenta con las autorizaciones de quienes tienen los derechos de autor).

Finalmente, declaro que todos los materiales que se presentan en la investigación se encuentran libres de autor y, por lo tanto, me hago responsable de cualquier litigio o bien reclamación relacionada con los derechos de propiedad intelectual, exonerando de toda responsabilidad a la Universidad Centro Panamericano de Estudios Superiores.

Firma: 



## DEPARTAMENTO DE SERVICIOS ESCOLARES

### ACTA RESOLUTIVA DE APROBACIÓN DE TESIS DOCTORAL

H. Zitácuaro, Mich 19 de julio de 2019

En la ciudad de H. Zitácuaro, Michoacán, siendo las 12:00 horas del día 19 de julio del 2019, se reunieron los miembros de la Comisión Dictaminadora de Tesis, designada para examinar la tesis de doctorado titulada:

**“SISTEMAS IMPLEMENTADOS CON INGENIERÍA VERDE EN EL MANEJO DE LAS AGUAS RESIDUALES EN LA REPÚBLICA DOMINICANA, CASO: MUNICIPIO DE JARABACOA, AÑO 2018”.**

Presentada por el alumno José Santiago Vásquez Guerra aspirante al Grado de Doctor en Sostenibilidad.

Después de recibir el resolutivo aprobatorio del docente revisor de la tesis, se autoriza su impresión en virtud de que presenta las condiciones metodológicas establecidas en la reglamentación institucional.

Esta acta resolutive deberá incluirse en cada uno de los ejemplares que enviará a la Institución para solicitar fecha de Examen de Grado.

Dra. Rafaela Solís Muñoz

# CENTRO PANAMERICANO DE ESTUDIOS SUPERIORES



## ACTA DE GRADO

En la ciudad de Zitácuaro Michoacán, siendo las 9:00 horas del día 24 del mes de Julio del 2019.  
Se reunieron los miembros del jurado integrado por los Señores;



Presidente Dr. Jorge Florentino Briceño González  
Secretario Dr. Federico Pérez Rangel  
Vocal Dra. Rafaela Solís Muñoz

Para proceder a efectuar la evaluación de



FIRMA

"SISTEMAS IMPLEMENTADOS CON INGENIERÍA VERDE EN EL MANEJO DE LAS AGUAS RESIDUALES EN LA REPÚBLICA DOMINICANA, CASO: MUNICIPIO DE JARABACOA, AÑO 2018".

Como forma de titulación del programa en

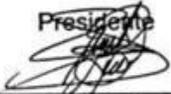
### Doctorado en Sostenibilidad

Con reconocimiento de validez oficial de la Secretaría de Educación en el Estado, según el Reconocimiento de Validez Oficial No. DOC160402 de fecha 5 de abril de 2016.

Que sustenta JOSE SANTIAGO VASQUEZ GUERRA

Los miembros del Jurado examinaron al sustentante y después de deliberar entre sí, resolvieron declararlo(a). Aprobado por unanimidad

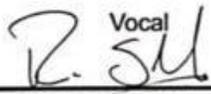
Presidente

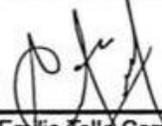
  
Dr. Jorge Florentino Briceño González

Secretario

  
Dr. Federico Pérez Rangel

Vocal

  
Dra. Rafaela Solís Muñoz

  
Mtro. Aldo Emilio Tello Carrillo  
DIRECTOR GENERAL CEPES

## **Dedicatoria**

A mi MADRE querida por todo su amor, apoyo y comprensión. Siempre estarás conmigo mamá. Te amo!

A mi adorada esposa, Elisa Altagracia Abreu de Vásquez por todo su apoyo y amor.

A mis hijos: Hosseini, Nelissa y Óscar José Vásquez Abreu. Los amo.

A mi Padre, por todo su apoyo y amor. Gracias Papá.

## Reconocimientos

A Dios Todopoderoso, por ser el impulsor de esta iniciativa, el dador de paz, salud e inteligencia humana.

A Elisa Altagracia Abreu de Vásquez, por su gran comprensión y apoyo.

A Dr. Eduardo Márquez Canosa (Miami, Florida, USA), por ser más que un director y asesor de tesis un amigo. Gracias por tus sabios consejos.

A Dr. Jorge Florentino Briceño González (México, D.F.), por su aporte y dedicación en este trabajo.

A Dr. Juan Homaldo Veras Díaz, por ser el motivador de esta decisión

A Fondo Verde, por aceptar mi candidatura y proporcionar el 75% de los recursos para este doctorado.

A la Universidad Centro Panamericano de Estudios Superiores (UNICEPES), por su apoyo, cooperación y la educación recibida.

Al Plan Yaque, en la persona de Humberto Checo y Enmanuel Vargas. Gracias por todo su apoyo.

A CORAAVEGA, por su apoyo incondicional. Gracias José Hidalgo Ceballos y Wilson, Cepeda.

A la Cámara de Comercio y Producción de La Vega, en la persona de Claudio Fernández. Gracias por apoyarme en esta tarea.

A la Dra. Irene Altagracia Vásquez, por sus orientaciones y apoyo.

Al Lic. Emiliano Castillo, por el apoyo otorgado.

Al Ing. Miguel Cepeda mi amigo personal. Gracias por su apoyo.

Al Dr. Lisandro Reyes, por todo su apoyo.

A mis compañeros de doctorado, especialmente a Eric Fernando Rodríguez (Panamá) y Juan David Frankiz (R.D.), por permitirme ser amigos.

## Acrónimos

Tabla 1

### *Acrónimos*

Siglas	Definición
IV	Ingeniería verde
DBO5	Demanda Biológica de Oxígeno
DQO	Demanda Química de Oxígeno.
OD	Oxígeno disuelto
SS	Sólidos solubles
NTU	La turbidez se mide en Unidades Nefelométricas de turbidez, o Nephelometric Turbidity Unit (NTU)
PPM	Partes Por Millón
NMP/100ml	Número más probable por 100 milímetro de agua
µg/l	Microgramo por litro
µS/cm	Microsimiens por centímetro
mg/l	Miligramo por litro
EPA	Agencia de Protección del Medio Ambiente de Estados Unidos
PTAR	Planta de tratamiento de agua residual
TAR	Tratamiento de Aguas Residuales
SST	Sólidos Suspendidos Totales
PSI	Presión atmosférica
CORAASAN	Corporación de Acueducto y Alcantarillado de Santiago
CORAAVEGA	Corporación de Acueducto y Alcantarillado de La Vega
CORAAMOCA	Corporación de Acueducto y Alcantarillado de Moca
CORAAPLATA	Corporación de Acueducto y Alcantarillado de Puerta Plata
INAPA	Instituto Nacional de Agua Potable y Alcantarillado
ONE	Oficina Nacional de Estadística
INDRHI	Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos
pH	Potencial de hidrógeno
UTM	Unit Transformer Mercator
CODIA	Colegio Dominicano de Ingenieros Arquitectos y Agrimensores
PCU	Los valores de color medidos por comparación con los estándares de platino-cobalto se pueden expresar como PCU, por sus siglas en inglés.
EDAR	Depuración y Reutilización de Aguas Residuales (Siglas en inglés)
TRH	Tiempo de retención hidráulica
HFS	Humedal artificial de flujo superficial
HS	Humedal artificial de flujo subsuperficial

*Nota.* Elaboración propia, basada en encuesta realizada a especialistas, gerentes y técnicos del área de aguas residuales en la República Dominicana, 2018.

## Resumen

En el presente trabajo evaluó siete sistemas con ingeniería verde implementados en el municipio de Jarabacoa para el tratamiento de las aguas residuales y la viabilidad de su ejecución como alternativa de solución a la problemática existente en el lugar y en otras regiones de la República Dominicana, así como también la situación actual del agua y saneamiento en el Cibao Norte-Sur.

Se utilizó un enfoque cuantitativo, un diseño lógico de investigación, iniciando por el reconocimiento de los sistemas de ingeniería verde, análisis físico, químicos y microbiológicos, evaluación técnica variables operacionales, análisis estadístico y posteriormente, se generó un análisis económico de los costos de inversión y operación, así como aspectos sociales y ambientales de las tecnologías evaluadas. A partir de un estudio de investigación cuantitativa, se obtuvo información de fuentes primarias y secundarias, mediante entrevistas estructuradas y encuestas aplicadas a actores clave.

El estudio revela que existe una problemática con respecto al manejo de las aguas residuales, provocando enfermedades en vías respiratorias, cutáneas y gastrointestinales. Esto se manifiesta en la región Cibao Norte-Sur completa, pues la mayoría de las provincias carecen de plantas de tratamiento. El país cuenta con 104, de estas, solo 14 están funcionamiento. El 81.4% del agua residual no es tratada. El agua potable alcanza el 88.81% de la zona urbana, la semiurbana 48.38% y la rural 28.7%. El p-valor obtenido fue  $< 0.05\%$ , se niega hipótesis ( $H_0$ ). Concluyéndose que, los sistemas ecológicos constituyen una alternativa viable para el manejo de las aguas residuales en República Dominicana.

*Palabras claves:* Ingeniería verde, Aguas residuales, Manejo, Plantas de tratamiento, Sistema subsuperficial

## Summary

In the present article are evaluated seven systems by using Sustainable ecological systems implemented in the municipality of Jarabacoa for the treatment of wastewater and the feasibility of its execution as an alternative solution to the existing problem in the Dominican Republic, as well as well as the current water and sanitation situation in the Cibao North-South region.

A quantitative approach and logical research design were carried out, starting with the recognition of the ecological systems, sampling, physical, chemical and microbiological analysis, technical evaluation of the operational variables, statistical analysis, and subsequently, an economic analysis of the investment and operation costs, as well as social and environmental aspects of the evaluated technologies. From a quantitative research study, information was obtained from primary and secondary sources, through structured interviews and surveys applied to key actors.

The study reveals that there is a serious problem regarding the management of wastewater, causing diseases of the respiratory, skin and gastrointestinal tract. Deficient management of wastewater is manifested in the entire North-South Cibao territory, due to the lack of treatment plants. There are 104 WWTP in the country and only 14 are working. 81.4% of wastewater is not treated. Drinking water reaches 88.81% of the urban area, the semi-urban 48.38% and 28.7% in the rural. The p-value (bilateral asymptotic significance) obtained was  $< 0.05\%$ , work hypothesis ( $H_0$ ) is denied, it means that, the ecological sustainable systems constitute a viable, social, economic and environmentally alternative for the management of wastewater in the Dominican Republic.

*Key words:* Green engineering, Wastewater, Management, Treatment plants, Subsurface system

## Tabla de Contenido

Resumen .....	viii
Summary .....	ix
Introducción .....	xxv
Planteamiento del Problema .....	xxv
Justificación .....	xxvii
Viabilidad de la Investigación .....	xxx
Idea de Investigación .....	xxx
Métodos de la Investigación .....	xxx
Materiales de Investigación .....	xxx
Bibliografía .....	xxxii
Recursos Humanos .....	xxxii
Valor ético .....	xxxii
Motivación de la Investigación .....	xxxii
Tiempo de la Investigación .....	xxxii
Objetivos de la Investigación .....	xxxii
Objetivo General .....	xxxii
Objetivos específicos. Los objetivos específicos que se derivan del general son los siguientes: .....	xxxii
Preguntas de Investigación .....	xxxiii
Pregunta general: .....	xxxiii
Preguntas específicas: .....	xxxiii
Variables .....	xxxiii
1. Capítulo I: Delimitación de la Investigación .....	2
1.1. Antecedentes .....	2
1.2. Proyectos de Sistemas Ecológicos y Convencionales .....	9
1.3. Contexto .....	13
1.3.1. Caracterización de la zona de estudio .....	13
1.3.2. Área de estudio .....	13
1.3.3. Recursos hídricos .....	13
1.3.4. Clima .....	14

1.3.5. Economía.....	14
1.3.6. Población de Jarabacoa.....	15
1.3.7. Principales problemas ambientales en el municipio.....	18
1.3.8. Vulnerabilidad ante desastres naturales.....	21
1.4. Definición de Términos.....	24
2. Capítulo II: Marco Teórico.....	29
2.1. El agua.....	29
2.1.1. Propiedades físicas y químicas del agua.....	29
2.1.2. El agua y los seres vivos.....	30
2.1.3. El agua y la actividad humana.....	31
2.1.4. El agua y la agricultura.....	31
2.1.5. Contaminación del agua.....	32
2.2. Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales.....	33
2.2.1 Depuración de aguas residuales.....	34
2.2.2 Organismos más importantes que intervienen en sistemas de tratamiento biológico.....	34
2.3. La Ingeniería Verde.....	35
2.3.1 Ingeniería ambiental.....	36
2.3.2. Los 12 principios de la Ingeniería Verde.....	36
2.4. Los Humedales Artificiales Como Tecnología de Depuración de Aguas Residuales.....	38
2.4.1. Aplicaciones de los humedales artificiales.....	40
2.4.2. Tipos de humedales artificiales.....	41
2.4.3. Microorganismos (biopelícula).....	41
2.4.4. Lagunas de estabilización u oxidación.....	42
2.4.5. Costos de construcción de lagunas de estabilización, PTAR con IV y PTAR convencional.....	42
2.4.6. Lecho filtrante.....	43
2.5. Fitodepuración de Aguas Residuales.....	43
2.5.1. Especies depuradoras de aguas residuales.....	43
2.6. Plantas Utilizadas en Humedales de Jarabacoa, República Dominicana.....	47
2.6.1. Vetiver ( <i>Vetiveria zizanioides</i> L.).....	47

2.6.2. Enea ( <i>Typha latifoliada</i> L.).....	48
2.6.3. Papiro ( <i>Cyperus papyrus</i> L.).....	49
2.6.4. El Pachulí ( <i>Pogostemon cablin</i> Benth). ....	49
2.6.5. Junco ( <i>Scirpus holoschoenus</i> L.).....	50
2.7. Diseño de Humedales Artificiales de Flujo Subsuperficial Vertical.....	50
2.7.1. Flujo vertical y sistemas combinados. ....	51
2.7.2. Humedales artificiales subsuperficiales de flujo horizontal. ....	52
2.7.3. Proceso de construcción de humedales artificiales subsuperficiales.....	54
2.7.4. Tratamiento preliminar de aguas residuales a través de humedales artificiales. .	55
2.8. Operación, Mantenimiento y Control de Humedales Artificiales FSS.....	59
2.8.1. Densidad de siembra de las macrofita. ....	60
2.8.2. Control de olores, emisiones. ....	61
2.8.3. Consideraciones ambientales y de salud pública. ....	61
2.8.4. El nitrógeno en el humedal.....	62
2.8.5. Caracterización de humedales artificiales por fluorescencia inducida por láser. .	63
2.9. Agua Potable y Saneamiento en la República Dominicana .....	63
2.9.1. Cobertura, calidad del agua potable y saneamiento básico en la República Dominicana.....	67
3. Capítulo III: Marco Metodológico .....	79
3.1. Alcance .....	79
3.2. Hipótesis de Investigación .....	79
3.3. Diseño de la Investigación.....	79
3.4. Ruta o Enfoque de la Investigación .....	80
3.5. Métodos de la Investigación .....	81
3.6. Cálculo de la Muestra.....	81
3.7. Técnicas e Instrumentos de Investigación .....	84
3.8. Colección de Datos .....	92
3.9. Análisis de Datos.....	93
3.9.1. Determinación del grado de eficiencia de las plantas.....	94
3.10. Período de la Investigación .....	94
4. CONCLUSIONES.....	95
4.1. Resultados .....	96

4.2. Resultados de la Encuesta Realizada a Técnicos y/o Especialistas del Área de Agua y Saneamiento.....	96
4.3. Características de los Sistemas de Ingeniería Verde Para el Tratamiento de las Aguas Residuales Implementados en Jarabacoa.....	116
4.3.1. Pregunta general.....	116
4.3.2. Especies vegetales utilizadas en los humedales. ....	117
4.3.3. Tipos de membrana y gravilla utilizada en los humedales. ....	117
4.3.4. Materiales utilizados en los humedales. ....	118
4.4. Caracterización Planta TAR El Dorado, Jarabacoa, R.D. ....	119
4.5. Caracterización de la PTAR Escuela Ambiental #1, Jarabacoa, R.D. ....	120
4.6. Caracterización de la PTAR El Arca, Jarabacoa, R.D.....	122
4.7. Caracterización de la PTAR Buenos Aires #2, Jarabacoa, R.D. ....	123
4.8. Caracterización de la PTAR Escuela Ambiental #2, Jarabacoa, R.D. ....	124
4.9. Caracterización de la PTAR La Trinchera, Jarabacoa, R.D. ....	125
4.10. Caracterización PTAR Villas Poppy, Constanza, La Vega, R.D. ....	126
4.11. Caracterización de la Planta Convencional de Tratamiento de Aguas Residuales de Rafey, Santiago de los Caballeros, República Dominicana.....	127
4.12. Caracterización Detallada de la PTAR Convencional de Rafey, Santiago, R.D.....	128
4.13. Aspecto Económico de los Sistemas Ecológicos y Convencional ....	129
4.14. Características Principales del Sistema de TAR con Ingeniería Verde.....	130
4.14.1. Características principales del sistema convencional de TAR. ....	131
4.14.2. Impacto social del sistema de tratamiento de aguas residuales con Ingeniería Verde. ....	132
4.14.3. Impacto social del sistema convencional de TAR.....	133
4.15. Aspecto ambiental de los sistemas convencionales y con Ingeniería Verde .	134
4.15.1. Ríos con capacidad depuradora en la región Cibao Norte-Sur. ....	135
4.15.2. Cantidad de proyectos implementados con Ingeniería Verde en Jarabacoa y en el País.....	136
4.15.3. Instituciones encargadas del manejo de las aguas residuales en la región Cibao Norte-Sur. ....	137
4.15.4. Impacto ambiental de los sistemas de TAR con ingeniería verde.....	138

4.15.5. Impacto ambiental del sistema convencional en el tratamiento de aguas residuales, partiendo de una correcta operación del sistema y según normas ambientales en República Dominicana. ....	139
4.16. Eficiencia de las plantas de tratamiento de aguas residuales con Ingeniería Verde en Jarabacoa, R.D.....	140
4.16.1. Eficiencia en reducción de contaminates.....	141
4.16.2. Variables estudiadas en el proceso de la investigación. ....	147
4.17. Planta Convencional de Tratamiento de Aguas Residuales Rafey, Santiago, R.D.....	149
4.17.1. Comportamiento de los Coliformes Fecales y Coliformes Totales en Rafey. ...	149
4.18. Factibilidad de Implementación del Sistema de TAR con Ingeniería Verde...	150
4.19. Efectos del Clima al Funcionamiento del Humedal .....	151
4.19.1. Efectos del clima en el funcionamiento de la planta TAR La Trinchera. ....	152
4.19.2. Efectos en la eficiencia de reducción de la DQO con temperatura máxima. ....	154
4.19.3. Efectos en la eficiencia de reducción de la DQO con temperatura mínima.....	155
4.20. Situación Actual del Tratamiento de Aguas Residuales en el Cibao Norte-Sur.....	161
4.21. Tratamiento del Agua Potable que Consume la Población.....	162
4.22. Plantas Convencionales de Tratamiento de Aguas Residuales .....	163
4.22.1. Apoyo del gobierno dominicano al sector agua residuales en la zona. ....	164
4.22.2. Existencia de redes de alcantarillado sanitario en la Región Cibao Norte-Sur.	164
4.22.3. Existencia de oficinas encargadas del manejo de las aguas residuales en la región.....	165
4.22.4. Existencia de personal preparado para el tratamiento de las aguas residuales. ....	166
4.22.5. Manejo de las aguas residuales que no llegan a la planta de tratamiento. ....	166
4.22.6. Solución de la problemática de las aguas residuales con tecnología más económica. ....	167
4.23. Diseño de Alternativas de Tratamiento de Aguas Residuales con IV Para el Municipio de Jarabacoa y Otras Áreas.....	168
4.24. Datos generales requeridos para el diseño de humedales artificiales .....	168

4.24.1. Metodología A y B de la EPA y del texto de Metcalf & Eddy y de diferentes instituciones Europeas.....	175
4.25. Modelo de Diseño Para Remoción de DBO en Humedales SFS.....	176
4.26. Determinación del L y W del Lecho.....	177
4.27. Determinación de la Longitud del Humedal.....	177
4.28. Determinación del Tiempo de Retención Hidráulico (TRH) .....	178
4.29. Cálculo de la temperatura promedio del agua.....	178
4.30. Eliminación de NO <sub>3</sub> en humedales (SFS).....	180
4.31. Área que se necesita para obtener buenos resultados en la nitrificación. ....	181
4.32. Tiempo de retención hidráulico (TRH).....	185
4.33. Cronograma de Trabajo .....	187
4.34. Consideraciones Finales.....	187
4.35. Objetivo 1. Caracterizar los Sistemas Implementados en Jarabacoa.....	188
4.36. Objetivo 2. Comparar Económica, Social y Ambientalmente los Sistemas de Ingeniería Verde Implementados en Jarabacoa Frente a los Sistemas Convencionales en el Cibao Norte-Sur .....	189
4.37. Objetivo 3. Comparar los Sistemas Ecológicos Sostenibles Implementados en Jarabacoa Frente a los Convencionales en el Cibao Norte-Sur. ....	191
4.38. Objetivo 4. Determinar la Situación Actual del Tratamiento de las Aguas Residuales en el Cibao Norte-Sur .....	194
4.39. Objetivo 5. Diseñar Alternativas de Tratamiento de Aguas Residuales con IV para el Municipio de Jarabacoa y Otras Áreas.....	195
4.40. Resultados por Pregunta de Investigación.....	199
4.41. Conclusiones .....	203
4.42. Limitaciones.....	204
4.43. Recomendaciones .....	205
4.44. Alcances .....	205
4.45. Principales Aportaciones de la Investigación .....	206
4.46. Futuras Investigaciones .....	207
4.47. Modelo o Producto o Tecnología Objeto de Estudio .....	207
5. Referencias .....	209
6. Anexos .....	234

## Índice de Figuras

Figura 1. Diagrama causal de la problemática en el Municipio de Jarabacoa .....	xxvi
Figura 2. Esquema de clasificación de los sistemas de depuración con macrofitas, según tipo de planta .....	40
Figura 3. Tanque Imhoff, según Stier (Valter, 1989).....	57
Figura 4. Tanque séptico cuadrado de dos compartimientos .....	58
Figura 5. Operaciones unitarias tratamiento extensivo en humedales de flujo vertical ..	58
Figura 6. Mapa de localización de las PTAR con IV en Jarabacoa, R.D .....	84
Figura 7. PI.1 ¿Existen plantas convencionales de tratamiento de aguas residuales en la zona? .....	96
Figura 8. PI.3 ¿El Municipio o ciudad cuenta con redes de alcantarillado sanitario? .....	97
Figura 9. PI.4 ¿Existen Oficinas Encargadas del Manejo de las Aguas Residuales? ....	97
Figura 10. PI.6 ¿Considera Usted que se les da un manejo adecuado a las aguas residuales en la región y que no llegan a la planta de tratamiento? .....	98
Figura 11. PI.8 ¿Conoce Usted la Ingeniería Verde, blanda o ecológica?.....	98
Figura 12. PI.9 ¿Existen plantas de tratamiento de aguas residuales con Ingeniería Verde en la zona? .....	99
Figura 13. PI.10 ¿Los sistemas de tratamiento con Ingeniería Verde implementados hasta el momento han resuelto algún problema? .....	99
Figura 14. PI.11 ¿Considera Usted eficientes los sistemas de Ingeniería Verde implementados en la región? .....	100
Figura 15. PI.16 ¿Considera Usted que existe diferencia en el funcionamiento del sistema de IV, respecto al clima y/o lugar en donde se implemente? .....	100
Figura 16. PII.1 Indique Tres Instituciones Vinculadas al Tratamiento de Aguas Residuales en la Zona .....	101
Figura 17. PII.3 ¿Qué Porcentaje de la Población Considera Usted Recibe Agua Potable? .....	102
Figura 18. PII.5 ¿Qué tipo de tratamiento conoce usted se les está dando a las aguas servidas en la región? .....	103
Figura 19. PII.6 ¿Podría mencionar los ríos de la zona que tienen capacidad depuradora? .....	104

Figura 20. PII.7 ¿Cómo afecta el vertido de agua no tratada a los seres humanos? ...	104
Figura 21. PII.8 ¿Qué porcentaje de la población cuenta con sistema de alcantarillado sanitario? .....	105
Figura 22. PII.10 Número de plantas convencionales de tratamiento de aguas residuales que existen en la zona. ....	106
Figura 23. PII.12 ¿De qué manera implementaría la Ingeniería Verde en el manejo de las aguas residuales en el país?.....	107
Figura 24. PII.13 ¿Por qué considera usted necesario desarrollar nuevos modelos de Ingeniería Verde adaptables a su medio? .....	107
Figura 25. PII.14 ¿Qué especies vegetales utiliza usted dentro del humedal?.....	108
Figura 26. PII.18 ¿Quiénes están encargados de dar mantenimiento a la planta de tratamiento? .....	110
Figura 27. PII.24 ¿Podría usted referirse a la eficacia de la(s) planta(s) de tratamiento convencional del lugar? .....	113
Figura 28. PII. 25 ¿Podría Usted referirse a la eficacia de la(s) planta(s) de tratamiento con IV del lugar? .....	114
Figura 29. PII.27 ¿Cuál es el impacto ambiental del sistema de IV, según normas ambientales en República Dominicana? .....	115
Figura 30. PII.28 ¿Cuál es el impacto ambiental del sistema convencional en el tratamiento de aguas residuales, partiendo de una correcta operación del sistema y según normas ambientales en República Dominicana?.....	115
Figura 31. PII.31 ¿Qué valor representa para su organización este estudio? .....	116
Figura 32. Impacto social del sistema de tratamiento de aguas residuales con Ingeniería Verde .....	133
Figura 33. Impacto social del sistema convencional de TAR.....	134
Figura 34. Enfermedades de origen hídrico producidas en Jarabacoa (Hospital Octavia B. Gautier de Jarabacoa y Clínica Los Ríos de Jarabacoa, R.D. año 2018).....	135
Figura 35. Eficiencia de las plantas de tratamiento de aguas residuales con Ingeniería Verde (El Autor, a partir de datos obtenidos en el proceso del estudio). ....	141
Figura 36. Potencial de hidrógeno -pH, según análisis realizado en meyo y junio del 2018 .....	142
Figura 37. Resultados en la eficiencia de la reducción en total sólidos disueltos.....	143

Figura 38. Resultados de la eficiencia en reducción DBO <sub>5</sub> .....	144
Figura 39. Resultados de la eficiencia en la reducción de DQO en las plantas de tratamiento de aguas residuales. ....	145
Figura 40. Resultados en la reducción de coliformes fecales. ....	146
Figura 41. Resultados de la eficiencia en la reducción de coliformes totales. ....	147
Figura 42. Resumen año 2017 de efluente planta tratamiento aguas residuales.....	149
Figura 43. Resultados del comportamiento de los coliformes fecales y coliformes totales .....	150
Figura 44. Efectos en la eficiencia de reducción de la DBO <sub>5</sub> con temperatura máxima .....	153
Figura 45. Resultados de los efectos en la eficiencia de reducción de la DBO <sub>5</sub> con temperatura mínima .....	154
Figura 46. Gráfico de caja y bigotes para la DQO vs temperatura mínima .....	158
Figura 47. Gráfico de caja y bigotes para la DQO vs precipitación.....	161
Figura 48. Diseño arquitectónico del humedal propuesto .....	197
Figura 49. Tanque Imhoff -según Stier, adaptado por el autor de la tesis .....	199

## Índice de tablas

Tabla 1. Acrónimos .....	vii
Tabla 2. Operacionalización de las variables .....	xxxiv
Tabla 3. Resumen del desarrollo histórico del tratamiento de las aguas residuales ..	12
Tabla 4. Distribución de las principales fuentes de empleo en Jarabacoa.....	15
Tabla 5. Población de Jarabacoa.....	16
Tabla 6. Uso y cobertura de los suelos en Jarabacoa.....	17
Tabla 7. Clase de suelo de Jarabacoa .....	17
Tabla 8. Unidad de recursos de planificación (URP) y área en Jarabacoa.....	18
Tabla 9. Clima / Datos históricos del tiempo en Jarabacoa.....	18
Tabla 10. Principales causas de hospitalización en el Municipio de Jarabacoa .....	22
Tabla 11. Principales causas de mortalidad en el municipio .....	23
Tabla 12. Profundidad de enraizamiento para diferentes especies de plantas .....	45
Tabla 13. Ecuaciones para el diseño de humedales artificiales de flujo subsuperficial, con base en remoción de DBO <sup>(21,22,23,24,25)</sup> .....	53
Tabla 14. Material y profundidad del lecho filtrante usados en humedales de flujo subsuperficial vertical.....	54
Tabla 15. Material y profundidad del lecho filtrante usados en humedales de flujo subsuperficial vertical.....	59
Tabla 16. Criterios de diseño de humedales .....	62
Tabla 17. Situación de las aguas residuales en la República Dominicana al año 2015 .....	69
Tabla 18. Situación regional de las PTAR.....	69
Tabla 19. Situación operativa de 104 PTAR en la República Dominicana.....	70
Tabla 20. Referencia de descargas en aguas superficiales y costeras. Las Clases D- 1 y D-2 no se incluyen en la presente tabla porque todos sus parámetros deben cumplir condiciones naturales. ....	74
Tabla 21. Descarga de aguas residuales industriales a sistemas de alcantarillado...	74
Tabla 22. Descargas de agua residual municipal en aguas superficiales y el subsuelo .....	75

Tabla 23. Macro-regiones de la República Dominicana .....	83
Tabla 24. Plantas tratamiento de aguas residuales con Ingeniería Verde estudiadas en Jarabacoa .....	93
Tabla 25. PII.2 ¿Cómo consigue su familia el agua potable? .....	102
Tabla 26. PII.4 ¿Qué tipo de tratamiento recibe el agua que consume la población? .....	103
Tabla 27. PII.9 ¿Cuál es el costo actual de una planta convencional de tratamiento de aguas residuales? .....	105
Tabla 28. PII.11 ¿Por qué elegiría Usted un sistema de tratamiento de aguas residuales con ingeniería verde (blanda/ecológica)? .....	106
Tabla 29. PII.15 ¿Qué tipo de membrana (plástico) y gravilla utiliza Usted en su humedal? .....	108
Tabla 30. PII.16 ¿Qué otros materiales emplean dentro de su humedal? .....	109
Tabla 31. PII.17 ¿Cómo controla la entrada de aguas residuales al humedal en casos de lluvias torrenciales (tormentas, huracanes)? .....	109
Tabla 32. PII. 20 Según su conocimiento, ¿cuál es el número de proyectos con Ingeniería Verde (blanda o ecológica) implementados en la zona o región? .....	110
Tabla 33. PII.21 Recursos disponibles para la implementación de los sistemas de Ingeniería Verde en otras áreas del país .....	111
Tabla 34. PII.22 ¿Podría usted expresar las características principales del sistema de IV / blanda o ecológica? .....	112
Tabla 35. PII.23 ¿Podría Usted expresar las características principales del sistema convencional? .....	113
Tabla 36. PII.26 ¿Cómo afecta la variación del clima al funcionamiento del humedal? .....	114
Tabla 37. Resultados de especies vegetales utilizadas en los humedales .....	117
Tabla 38. Resultados de los tipos de materiales utilizados en los humedales .....	118
Tabla 39. Resultados de la encuesta realizada (Otros materiales Utilizados en los Humedales) .....	118
Tabla 40. Resultados de la caracterización Planta TAR El Dorado .....	120
Tabla 41. Resultados de la caracterización de la PTAR Escuela Ambiental #1 .....	121
Tabla 42. Resultado de la caracterización de la PTAR El Arca .....	122

Tabla 43. Resultado de la caracterización de la PTAR Buenos Aires .....	123
Tabla 44. Resultado de la caracterización de la PTAR Escuela Ambiental #2 .....	124
Tabla 45. Resultado de la caracterización de la PTAR La Trinchera.....	125
Tabla 46. Resultado de la caracterización PTAR Villas Poppy, Constanza, La Vega, R.D. ....	126
Tabla 47. Resultado de la caracterización de la PTAR de Rafey, Santiago, R.D. ...	128
Tabla 48. Resultados de la caracterización PTAR Rafey .....	129
Tabla 49. Resultado de encuesta a gerentes, expertos y técnicos especialistas sobre el costo actual de una planta convencional de tratamiento de aguas residuales.....	130
Tabla 50. Resultado de encuesta sobre las características principales del sistema de TAR con Ingeniería Verde.....	131
Tabla 51. Características principales del sistema convencional de TAR .....	132
Tabla 52. Resultados sobre los ríos con capacidad depuradora de la región Cibao Norte-Sur .....	136
Tabla 53. Resultados Cantidad de PTAR con IV en el Cibao Norte-Sur .....	137
Tabla 54. Instituciones Encargadas del Manejo de las Aguas Residuales .....	138
Tabla 55. Impacto ambiental de los sistemas de TAR con IV.....	139
Tabla 56. Impacto ambiental del sistema convencional en el tratamiento de aguas residuales .....	139
Tabla 57. Resultados de Variables Estudiadas a las PTAR de Jarabacoa.....	148
Tabla 58. Resultados de la encuesta aplicada a expertos sobre los recursos disponibles para la implementación de los sistemas de Ingeniería Verde .....	151
Tabla 59. Funcionamiento del Sistema de Ingeniería Verde según el Clima .....	152
Tabla 60. Efectos en la eficiencia de reducción de la DQO con temperatura máxima .....	155
Tabla 61. Efectos en la eficiencia de reducción de la DQO con temperatura mínima .....	155
Tabla 62. Medidas de tendencia central, de variabilidad y de forma para la DQO vs temperatura mínima.....	156
Tabla 63. Temperatura mínima para DQO .....	157
Tabla 64. Resultados de la eficiencia de la DQO vs precipitación.....	158

Tabla 65. Medidas de tendencia central, de variabilidad y de forma para la DQO vs Precipitación. ....	159
Tabla 66. DQO Vs precipitación en humedales artificiales subsuperficial horizontal .....	160
Tabla 67. Resultados de la Población que Recibe Agua Potable en la Región Cibao-Sur .....	162
Tabla 68. Resultado del Tratamiento del Agua Potable .....	163
Tabla 69. Existencia de Plantas Convencionales de Tratamiento de Aguas Residuales en la Zona. ....	164
Tabla 70. Apoyo del gobierno dominicano al sector agua residuales en la zona.....	164
Tabla 71. Existencia de redes de alcantarillado sanitario en la región .....	165
Tabla 72. Existencia de oficinas encargadas del manejo de las aguas residuales en la región.....	166
Tabla 73. Existencia de personal preparado para el tratamiento de las aguas residuales en la región.....	166
Tabla 74. Manejo de las aguas residuales que no llegan a la planta de tratamiento .....	167
Tabla 75. Solución de la problemática de las aguas residuales con tecnología más económica. ....	167
Tabla 76. Datos iniciales requeridos para el diseño .....	169
Tabla 77. Norma de diseño para humedales artificiales .....	169
Tabla 78. Características típicas del medio utilizado en humedales de flujo subsuperficial.....	170
Tabla 79. Información necesaria sobre el medio filtrante y parámetros de diseño de humedales (SFS).....	170
Tabla 80. Conductividad térmica de los componentes de un humedal SFS .....	171
Tabla 81. Datos iniciales requeridos para el diseño (Continuación) .....	172
Tabla 82. Plan de trabajo llevado a cabo durante la investigación .....	187
Tabla 83. Datos hidráulicos a considerar para el diseño del humedal.....	196

## Anexos

Anexo A. Contaminación hídrica en el Municipio de Jarabacoa. ....	234
Anexo B. Contaminación de la Cañada de Los Gatos, Jarabacoa, R.D .....	234
Anexo C. Contaminación en Arroyo Yerba Buena en Jarabacoa, R.D. ....	235
Anexo D. Contaminación Barrio Lindo, Jarabacoa en el centro de la ciudad. ....	235
Anexo E. Normas de calidad de agua y control de descargas de la República Dominicana, Pág. 7, año 2012. ....	236
Anexo F. Planta de tratamiento de aguas residuales con Ingeniería Verde, tipo Baiguate. ....	236
Anexo G. Mapa de localización Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales con IV construidas por la Plan Yaque en Jarabacoa. ....	237
Anexo H. Información de los equipos de análisis laboratorio utilizado en el estudio de campo:.....	237
Anexo I. Presupuesto de la Investigación .....	238
Anexo J. Relación de Encuestados para la Tesis Doctoral .....	239
Anexo K. Análisis de laboratorio .....	241
Anexo L. Hoja de recolección de data.....	257
Anexo M. Recolección de data y muestras de laboratorio.....	258
Anexo N. Planta Tratamiento Aguas Residuales (SFS) El Dorado, Jarabcoa, R.D. Año, 2018. ....	258



# INTRODUCCIÓN

## Introducción

### Planteamiento del Problema

La presente investigación centra la problemática principal del estudio, en el manejo inadecuado de las aguas residuales que se le da en el Municipio de Jarabacoa, República Dominicana, las cuales atraviesan la ciudad a través de canales para luego ser vertidas a las fuentes de aguas superficiales del lugar.

Las causas principales de esta situación son: la ausencia de plantas de tratamiento, insuficiente política de Estado (bajo nivel de priorización, escasez de recursos económicos), ausencia de sistemas de gestión para el manejo adecuado de estas y actores involucrados con baja conciencia ambiental, trayendo como consecuencia en el aspectos socio-ambiental: contaminación ambiental, de los ríos, del subsuelo, suelo, aire, enfermedades de diversas índoles a la población, aumento de la tasa de mortalidad y en el aspecto económico: efectos al turismo por ser Jarabacoa un polo turístico importante en el país, ello conlleva a una disminución de divisas y un efecto negativo al Producto Interno Bruto (PIB).

En el municipio de Jarabacoa nace uno de los principales ríos del país, lo que significa un 65% del agua se produce en la zona, pero no cuentan con servicio de agua adecuado y a pesar de que organizaciones comunitarias se han manifestado para que el gobierno central les construya una planta de tratamiento de aguas residuales, hasta el momento no ha sido atendidos (Mazara, 2017).

La mayoría de los hogares poseen pozos sépticos, filtrantes y una gran parte de la población lanzan sus vertidos hacia el sistema fluvial, llegando estos al río principal, contaminándolo, ocasionando graves problemas ambientales y enfermedades de diferentes índoles. (Plan Estratégico de Desarrollo del Municipio de Jarabacoa, 2006).

En la figura 1, se observa la problemática en el Municipio de Jarabacoa.

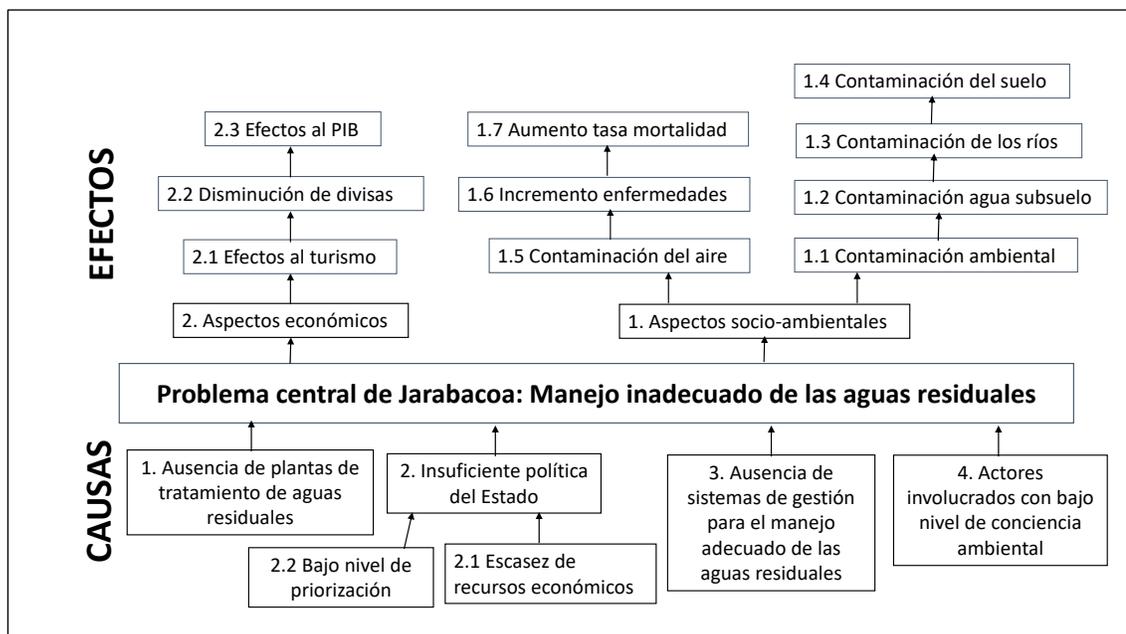


Figura 1. Diagrama causal de la problemática en el Municipio de Jarabacoa. Se observan las cuatro causas principales del deterioro ambiental, los efectos se aprecian en la parte de arriba del problema central (elaboración propia).

La situación antes descrita, motivó realizar este estudio para proponer sistemas ecológicos, económicos y sostenibles en el manejo de las aguas residuales. El estudio realizado es cuantitativo y se utilizó el método prospectivo, deductivo-analítico, partiendo de encuestas y entrevistas realizadas a 29 profesionales entre expertos, especialistas y técnicos del sector agua y saneamiento del Cibao Norte-Sur, quienes ofrecieron informaciones de primera, no tan solo a nivel regional, sino a nivel nacional.

La tesis está compuesta de tres capítulos: I. Delimitación de la investigación, en donde se adaptan y se consideran investigaciones anteriores de gran importancia para el trabajo en cuestión, así como antecedentes y contexto; II. Marco Teórico, en esta parte del trabajo se desarrolla o argumenta sobre las diferentes ideas que dan contraste con los objetivos de trabajo y el capítulo III. Marco Metodológico, donde se describe la ruta, el alcance de la investigación, hipótesis, diseño, métodos, técnicas, instrumentos de la investigación, cálculo de la muestra, colección y análisis de datos. El trabajo cuenta con la Conclusión, sección en donde se presentan los resultados, las conclusiones, limitaciones, recomendaciones, alcances, aportaciones, las nuevas líneas de investigación y el producto objeto del estudio.

Los resultados expresan que la zona de estudio carece de plantas convencionales de tratamiento de aguas residuales (55.17%), el 58.62% de la población piensa que el gobierno ha cooperado para resolver el problema, el 89.66% de los entrevistados opinan que no se le da buen manejo al agua residual. Sobre las plantas de tratamientos con ingeniería verde, el 86.66% de los entrevistados dicen que existen en la zona y que han resuelto el problema de las aguas residuales en sus comunidades y el 96.55% los considera eficientes, pero el 92.86% aciertan que lo aplicarían parcialmente en el país.

En el aspecto ambiental y económico, los entrevistados coincidieron que es bajo para la ingeniería verde, mientras que en la parte social coinciden en que tienen impacto positivo.

El p-valor obtenido fue  $< 0.05\%$ , se niega hipótesis ( $H_0$ ). Concluyéndose que, según los resultados obtenidos del cuestionario aplicado a los expertos en el tratamiento de aguas residuales, a gerentes de instituciones del sector agua y saneamiento, a los conocedores de la ingeniería verde y a los que trabajan el sistema convencional, coinciden que económica, social y ambientalmente los sistemas con ingeniería verde son más adecuados que los sistemas convencionales y que es factible su aplicación en el país.

## **Justificación**

La disponibilidad de agua dulce a nivel mundial es de solo 3%, la cual se encuentra en los polos, y de este el 1% es utilizable para consumo humano la que podemos observar en los ríos, lagos y el subsuelo. La gran mayoría del consumo de agua lo realizan los países desarrollados, mientras que los subdesarrollados utilizan entre 30 y 40 veces menos el preciado líquido. El agua a nivel mundial se encuentra muy contaminada y el manejo inadecuado que le da la población está provocando que esta sea cada día más escasa. Muchas organizaciones presentan informes en donde expresan el grave problema al que se tendrá que enfrentar nuestro planeta tierra, quizás prontamente (Durán, 2012).

Una enorme cantidad de seres humanos fallecen en el globo terráqueo, debido precisamente a la inaccesibilidad al líquido más preciado de la vida (el agua) y a la gran cantidad de enfermedades de origen hídrico. Los gobiernos y naciones poderosas del mundo deben tomar medidas más contundentes y claras en aras de revertir esta realidad dolorosa, que viven muy especialmente en los países pobres (Naciones Unidas, s.f.).

La República Dominicana, ha sido afectada por el Cambio Climático desde hace más de una década y, uno de los cultivos que más ha sufrido es el cafeto, lo que ha llevado al país a ser importador de este, luego de ser exportador (De los Santos, 2018).

No caben dudas de que las inclemencias del tiempo afectan profundamente a todos los sectores de la vida nacional y mundial; por ejemplo, la ganadería en la línea noroeste de la isla (Monción, Mao, Monte Cristi, Dajabón, Santiago Rodríguez, entre otras), que en solo tres meses murieron más de 5000 cabezas de ganado en el año 2018.

Hay una fuerte campaña a nivel nacional llevada a cabo por diferentes organismos como la FAO, BID, instituciones como Ministerio de Medioambiente, universidades, ONG's, a los fines de concientizar a la población sobre el uso sostenible y racional del agua. A esto se agrega, el interés que muestran organizaciones como el Plan Yaque, Rancho Baiguate, que, a través de la cooperación del Banco Popular Dominicano, Embajada de Alemania, The Nature Conservancy, entre otros, contribuyen al tratamiento y conservación del agua residual, para que a nivel de efluente el agua esté lo menos contaminada posible.

Una gran parte del pueblo dominicano carece de sistemas de redes de aguas residuales. 160 mil hogares no tienen lugar seguro de disposición de excretas, esto obliga al gobierno centrarse en el sector agua y saneamiento, pues es de gran importancia la protección del medioambiente a los fines de asegurar un mejor bienestar a los ciudadanos. La contaminación hídrica trae consigo peligrosas enfermedades, lo que también afecta la economía de las naciones (Mazara, 2017).

La región Cibao Norte-Sur, al igual que un gran porcentaje de provincias del país, carece de sistemas de alcantarillado sanitario y las aguas residuales de una gran parte de la población son vertidas al río y/o terrenos cercanos sin un manejo adecuado, contaminando el tanpreciado líquido y al medioambiente.

Debido a lo costoso que resulta implementar una PTAR convencional, el Estado no ha apoyado a Jarabacoa con su reclamo. Por lo que, la mejor opción es desarrollar de sistemas blandos depuradores de estas aguas por secciones. En la actualidad, se desconoce que se haya realizado algún estudio sobre la real eficacia de estos, lo que justifica la realización de este estudio de investigación (Plan Estratégico de Desarrollo del Municipio de Jarabacoa, 2006).

Diversas fuentes han expresado que los sistemas ecológicos en la descontaminación son muy efectivos, alcanzando un nivel de remoción de material orgánico e inorgánico (DBO<sub>5</sub>, DQO) contaminantes, coliformes totales y fecales cerca del 90%. La perfecta combinación entre los organismos vivos en el medio acuático, tanto aeróbicos como anaeróbicos, junto a oxidación de bases, decantación de lodo y el TRH (tiempo de retención hidráulica) hacen de estos sistemas una alternativa viable en el manejo adecuado de las aguas negras.

Los análisis realizados en afluente y efluente de parámetros como turbidez, pH, oxígeno disueltos (OD), sólidos suspendidos (TSS), materia orgánica, nitrógeno amoniacal, nitritos, *Escherichia coli* y ortofosfato, entre otros, hacen que el líquido contaminante se convierta en apto para ser vertida a las fuentes acuíferas como ríos y lagos, así como a los campos agrícolas para el riego de cultivos (Mazara, 2018).

Los profesionales y científicos tienen un gran reto en la actualidad para hacer que las actividades de la generación presente no sigan afectando de manera negativa el planeta y la ingeniería verde tiene las herramientas y las tecnologías que se necesitan para hacer esa transformación (Valdés, 2018).

La República Dominicana tiene grandes dificultades en el sector agua y saneamiento, a esto se suma el alto costo que conlleva la construcción de plantas de tratamiento para aguas residuales, lo que significa que se deben buscar alternativas sostenibles como son los sistemas de fitodepuración que tienen un costo relativamente bajo frente al tratamiento convencional de unos \$45,000 dólares en proyectos modulares para una población de 300 personas y una dotación de 250 lpd (Erazo, 2000).

Por ejemplo, el costo de la red de agua de consumo humano y alcantarillado sanitario de Jarabacoa ronda los USD\$110 millones (Cepeda, 2017).

Lo que se proyecta es, levantar datos que proporcionen alternativas de solución al alto costo de construcción de plantas de tratamientos, utilizando humedales con Ingeniería Verde (ecológica), la cual trabaja con recursos propios de la naturaleza, un uso bajo de recursos económicos, lo que permite atender a los habitantes del municipio de Jarabacoa y del resto del país, protegiendo la salud, el planeta y el medioambiente.

Teóricamente, el estudio procura que haya un reconocimiento de los sistemas de tratamiento de aguas residuales con ingeniería verde como viable (económica, ambiental y socialmente) para ser aplicado en el municipio de Jarabacoa y el país; así como, la

situación de dificultad que hay en el municipio de Jarabacoa, respecto al agua y saneamiento, además de la situación actual de esta en la región Cibao Norte-Sur.

La tesis contribuye indudablemente, a un mejor ambiente en Jarabacoa, disminuyendo significativamente el número de enfermedades importantes de origen hídrico detectadas durante el estudio en el municipio.

La investigación arroja luz a los alcaldes y tomadores de decisiones del país, para que estos puedan desarrollar sistemas económicos con tecnologías limpias.

## **Viabilidad de la Investigación**

### **Idea de Investigación**

En conversación con el director de la Junta Yaque en la oficina, surge la inquietud de que, si las PTAR con ingeniería verde en Jarabacoa son eficaces, eficientes, estarían bien diseñadas y si las mismas se podrían replicar en el resto del país, de donde se deriva la inquietud en investigar su viabilidad.

### **Métodos de la Investigación**

El proyecto se basó en una investigación con enfoque cuantitativo. Se utilizó el método prospectivo, deductivo-analítico, el tipo de estudio es documental con alcance descriptivo/correlacional, partiendo de encuestas y entrevistas realizadas a 29 profesionales entre expertos, especialistas y técnicos del sector agua y saneamiento del Cibao Norte-Sur, quienes ofrecieron informaciones de primera, no tan solo a nivel regional, sino a nivel nacional.

### **Materiales de Investigación**

Para completar el proceso de investigación se realizó entrevistas, encuestas a expertos, técnicos y gerentes de instituciones del sector agua y saneamiento de la República Dominicana, quienes respondieron positivamente a las preguntas realizadas sobre los sistemas convencional, de ingeniería verde y la situación actual del tema en la isla.

El cuestionario que se utilizó fue personal, ya que se tomaron los datos a los entrevistados, nombre, número de teléfono, correo y lugar de residencia. Estas encuestas fueron realizadas con consentimiento de las personas abordadas.

## **Bibliografía**

El tema estudiado contó con suficientes fuentes de información como fueron libros, revistas, páginas de internet, conversaciones y consulta de tesis.

## **Recursos Humanos**

La población y muestra fueron suficientes para los objetivos planteados en el estudio de investigación. 29 (técnicos, gerentes, expertos en el tema agua y saneamiento e ingeniería verde), 6 plantas de tratamiento de aguas negras con ingeniería verde o ecológica.

## **Valor ético**

El estudio no afectó a ningún ciudadano en particular, ni al medio ambiente, organismo o institución.

## **Motivación de la Investigación**

El desarrollo de este trabajo responde a la participación del autor en grupos de estudio y elaboración de proyectos I+D, I+D+i, sociales, ambientales y académicos, lo que crea una motivación que permite el avance hacia los estudios medioambientales y otros temas relevantes para el país, como son: los Objetivos del Desarrollo Sostenible (ODS), que actualmente se trabajan con el Despacho de la Vicepresidenta de la República Dominicana y la FAO, la Estrategia Nacional de Desarrollo (END), en donde la Universidad Católica del Cibao se hace representar por el responsable de este trabajo de investigación.

Entre los antecedentes de investigación y gestión del Desarrollo Sostenible se encuentran las siguientes actividades académicas:

- Seminarios, conferencias y talleres en temas medioambientales.
- Docencia en el área medioambiental a estudiantes de la Universidad.
- Docencia en el área de la responsabilidad social corporativa.
- Experiencia práctica en el área de desarrollo de proyectos de investigación y desarrollo.
- Conocimientos adquiridos en el del doctorado en Sostenibilidad que ofrece actualmente Fondo Verde-CEPES.

El tema del tratamiento de aguas residuales con ingeniería verde es motivador, apasionante, interesante, está en su momento, ya que todas las naciones deben mirar hacia atrás, vivir en tono con la naturaleza, si se quiere dejar un mundo mejor a las generaciones venideras (Díaz, 2013).

### **Tiempo de la Investigación**

El período de la investigación comprende desde el 04 diciembre del 2017 al 4 de marzo del 2019.

### **Objetivos de la Investigación**

#### **Objetivo General**

Analizar los sistemas implementados con Ingeniería Verde en los procesos de tratamiento de aguas residuales en el municipio de Jarabacoa, República Dominicana y la viabilidad de ejecución como alternativa de solución a la problemática existente en otras regiones.

**Objetivos específicos.** Los objetivos específicos que se derivan del general son los siguientes:

1. Caracterizar los sistemas ecológicos implementados en Jarabacoa y los convencionales en la zona Cibao Norte-Sur.
2. Comparar económica, social y ambientalmente los sistemas de Ingeniería Verde implementados en Jarabacoa frente a los sistemas convencionales en el Cibao Norte-Sur.
3. Comparar los sistemas ecológicos sostenibles implementados en Jarabacoa frente a los convencionales existentes en el Cibao Norte-Sur.
4. Determinar la situación actual del tratamiento de las aguas residuales en el Cibao Norte-Sur.
5. Diseñar alternativas de tratamiento de aguas residuales con Ingeniería Verde para el Municipio de Jarabacoa y otras áreas.

## **Preguntas de Investigación**

### **Pregunta general:**

¿Sería factible analizar los sistemas implementados con Ingeniería Verde en los procesos de tratamiento de aguas residuales en el municipio de Jarabacoa, República Dominicana y determinar la viabilidad de su ejecución como alternativa de solución a la problemática existente en otras regiones?

### **Preguntas específicas:**

1. ¿Cuáles son las características de los sistemas ecológicos implementados en Jarabacoa y los convencionales en la zona Cibao Norte-Sur?
2. ¿Cuál sería la diferencia a nivel económico, social y ambiental de los sistemas de Ingeniería Verde implementados en Jarabacoa frente a los sistemas convencionales en el Cibao Norte-Sur?
3. ¿Cuál ha sido la funcionalidad o eficiencia de los sistemas implementados en Jarabacoa frente a los convencionales existentes en el Cibao Norte-Sur?
4. ¿Cuál es la situación actual de las aguas residuales en la región de desarrollo Norte-Sur de la República Dominicana?
5. ¿Sería conveniente diseñar sistemas ecológicos alternativos a los existentes para el tratamiento de aguas residuales de Jarabacoa y otras áreas?

### **Variables**

La metodología empleada para trabajar cada variable y poderla analizar es la operacionalización, la cual se presenta en la tabla 2.

Tabla 2

*Operacionalización de las variables*

Variable	Definición conceptual	Dimensiones	Indicadores	Escala
Situación actual de las aguas residuales el en Cibao Norte-Sur	La situación del tratamiento de aguas residuales en las provincias seleccionadas	Existencia de alcantarillado, manejo correcto de aguas residuales, tipos de tratamiento	-Dotación de agua potable. -Red de alcantarillado. -Población servida con existencia de alcantarillado. -Existencia de plantas de tratamiento. -Uso de agua tratada.	Nominal
Instituciones encargadas de manejo de aguas residuales en las provincias	Existencia de instituciones de manejo de aguas residuales.	Existencia de alcantarillado, tipo de tratamiento	-Existencia personal encargado del tratamiento -Oficinas habilitadas para tales fines	Nominal
Proyectos implementados de IV	Proyectos implementados con Ingeniería Verde	Cantidad en Jarabacoa y en el país.	Número de proyectos	Ordinal
Caracterización de los sistemas con IV y convencionales	Observar las principales características que presentan los diferentes sistemas construidos con IV.	Características del sistema de IV y las Características del Sistema Convencional de tratamiento de agua residuales.	<i>Característica del IV:</i> Ubicación de la PTAR con IV y convencional, datos de diseño, material utilizado, granulometría, tipo de medio, desplazamiento agua-medio, dimensiones del humedal, población servida, tipos de macrofita utilizada, cantidad cámaras sépticas, carga material orgánico (DBO5), dotación, volumen generado, tiempo en funcionamiento, costo operación y funcionamiento, Impacto ambiental, económicos y social. <i>Característica del sistema Convencional:</i> Costo de operación, eficacia, eficiencia, impacto ambiental, económicos y social.	Nominal

Tabla 2

*Operacionalización de las variables (continuación)*

Funcionabilidad del sistema de IV	Determinar si resultan viables los sistemas en los lugares que fueron construidos	1- Calidad del agua a la salida del sistema (efluente)	1) Elementos químicos y biológicos presentes en el agua de salida (efluente), según normas ambientales de la R.D., temperatura, conductividad eléctrica, turbidez, oxígeno disuelto, pH, amonio, nitrito, sólidos totales disueltos, coliformes totales y fecales, DBO, DQO, ortofosfato.	Ordinal
Factibilidad de implementación del Sistema IV	Se refiere a la disponibilidad de los recursos necesarios para llevar a cabo un proyecto	Recursos disponibles para el sector agua y saneamiento y posibilidad de aceptación de propuestas sobre IV.	Costos, Recursos disponibles, Funcionalidad, a través de análisis de elementos presentes en muestras de agua en el laboratorio	Nominal
Diferencia del funcionamiento del sistema IV según el Clima	Diferentes ambientes de climáticos naturales de la zona que influyen en la eficiencia de los sistemas IV	Eficiencia de los sistemas de IV en Jarabacoa con respecto a proyectos implementados en áreas calientes.	Tiempo de retención hidráulica, oxidación de la materia orgánica, tipo de macrofitas, depuración del agua, eficiencia, eliminación de coliformes.	Ordinal
Costo Económico de los sistemas	Valor total en dólares de los sistemas de Ingeniería Verde y sistema convencional	Infraestructura, terreno	Cantidad de recursos económicos requeridos para su implementación	Razón
Impacto Ambiental	Incidencia de ambos sistemas de tratamiento aguas residuales en el medioambiente	Niveles de contaminación en Atmósfera, Aguas y Suelo. <i>Impacto notable o muy Alto:</i> con efecto importante sobre el medio ambiente o sobre los RR. NN. <i>Impacto medio:</i> afecta mínimamente el medioambiente y los RR. NN. <i>Impacto Medio o alto:</i> afecta considerablemente al medioambiente y los RR. NN.	Los parámetros se determinarán según norma y ley ambiental No.64-00 de la República Dominicana (RD).	Ordinal
Impacto Social	Incidencia de ambos sistemas	Niveles de Satisfacción de la población beneficiaria.	Positivo Negativo	Nominal

*Nota.* Elaboración propia.



# CAPÍTULO I

## 1. Capítulo I: Delimitación de la Investigación

En este capítulo se contextualiza la investigación llevada a cabo, en donde se adaptan y se consideran investigaciones anteriores de gran importancia para el trabajo en cuestión, así como los antecedentes. Se ha considerado citar solo los trabajos, revistas, libros, fuentes y organismos relacionados con los objetivos trazados dentro de la investigación, y que se citan cronológicamente:

### 1.1. Antecedentes

Los trabajos de investigación consultados para conocer sobre el tema del sistema de tratamiento de aguas residuales con plantas macrofita, bajo el sistema artificial subsuperficial, tanto horizontal como vertical resultaron muy apropiados para llevar a cabo esta tesis doctoral.

*Alejandro Montás.* es Ingeniero Civil y vive en la República Dominicana, estudió en la Universidad Autónoma de Santo Domingo (UASD), fue director de la Corporación de Acueducto y Alcantarillado de Santo Domingo (CAASD). Realiza un buen aporte al tema de investigación cuando señala que, el 95% de las aguas residuales que genera el área urbana de Santo Domingo va a parar a los ríos Ozama, Haina y el mar Caribe, ya que solo el 5% de la capital cuenta con alcantarillado.

*Álvaro Mercado.* Investigador en el Centro de Aguas y Saneamiento Ambiental, director en Fundación SODIS, estudió Máster in Water resources management en VUBrussel, estudió Complementary Studies en KU Leuven, estudió Ingeniería Sanitaria y Ambiental en UMSS "Universidad Mayor de San Simón", estudió Ingeniería Civil en Universidad Nacional de Tucumán (UNT), estudió en Colegio San Agustín y Vive en Ciudad Cochabamba, Cochabamba, Bolivia. Realiza un importante aporte a esta tesis, cuando comenta sobre el papel fundamental de la transformación de la M.O. y la disolución de agentes infecciosos, particularmente las bacterias y las algas. También se refiere que los humedales deben diseñarse para exterminar agentes infecciosos, DBO<sub>5</sub> y SST.

La *CEPAL*, Expresa que el agua y saneamiento sigue siendo un desafío para los países de la región América Latina y El Caribe. El 45% de la población que habita en áreas rurales no tiene acceso a instalaciones de saneamiento mejoradas. También indica

que el país no cuenta con una ley sectorial, y el proyecto de Ley General de Agua Potable y Saneamiento presentado en el año 2012, sigue en análisis en el poder legislativo.

La Estrategia Nacional de Desarrollo (END) fija una meta de cobertura universal tanto de agua potable para el año 2020 como de saneamiento para 2030 (Stockins, 2011).

*Diana Durán*, Licenciada y doctora en Geografía. Posgrado en Política, Derecho, Economía, Administración e Instituciones Ambientales, Comunidad Económica Europea, PNUMA, Fundación FARN y Asociación de Derecho Ambiental Español. Postítulo Educación y TIC del Ministerio de Educación de la Nación (2014). Se refiere a los problemas ambientales globales, Módulo 2. Fondo Verde-CEPES, año 2017. Doctorado en Sostenibilidad, enfatiza que los bebes de las naciones poderosas utilizan 3 ó 4 veces más agua los de las naciones tercermundistas, esto puede deberse al consumismo desmedido que se practica en la actualidad y que tiene altas repercusiones para el medioambiente y los pueblos.

Sin lugar a dudas, quienes más sufren esta situación son las naciones vulnerables, ya que son atacadas por las diferentes epidemias y enfermedades de origen hídrico. Estas informaciones son un espejo de la realidad que vive el mundo y que se debe enfrentar con gallardía, fomentando programas para regular su utilización de manera sostenible y equitativa.

*Eduardo Márquez Canosa*. Ingeniero Químico, Maestro en Ingeniería Sanitaria y Ambiental y Doctor en Ciencias Técnicas del Instituto Superior Politécnico "José A. Echevarría" La Habana – Cuba. Especialista en Tecnologías Apropriadas de tratamiento de agua para Pequeñas Comunidades Rurales y Periurbanas; Contaminantes Orgánicos. Origen, Evolución y sus efectos sobre las aguas de consumo; Tecnologías del Tratamiento de Agua en las Empresas Productoras de Cervezas y Maltas; Tecnologías de Tratamiento del Agua para Piscinas. Miembro del Grupo Consultor de Ingeniería de la Calidad Higiénico-Sanitaria para Instalaciones, Asesor de la Empresa mixta Española Cubana "Aguas de La Habana".

Ha brindado, además, asesoría técnica sobre tecnologías de tratamiento de aguas a: Plantas Potabilizadoras en diferentes provincias de Cuba, como el Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos (INRH); Escuela de Hotelería y Turismo de La Habana, División Servicios Técnicos; Hoteles; Centro de Ingeniería Genética y Biotecnología (CIGB);

Instituto Nacional de Nefrología; Laboratorios farmacéuticos MEDSOL, Profesor del Centro Panamericano de Estudios Superiores (CEPES).

El primer trabajo que se realizó a propósito del tratamiento de aguas residuales con tecnologías alternativas o sistemas naturales fue conducido por K. Seidel en el Max Planck Institute en Plon Alemania. En 1952 ella estudió la remoción de fenoles de estas con *Scirpus Lacustris* y en 1956 comenzó a probar con residuales lácteos con esta misma especie. Desde 1955 hasta los recientes años 70 K.

Seidel publicó numerosos estudios sobre este tema. Un estudiante, H. Kickuth, continuó el trabajo experimental y en 1975 inició el monitoreo de un sistema de aguas municipales que se descargaban a un pantano natural. Aunque los resultados de esta experiencia fueron cuestionados, Kickuth y sus colaboradores popularizaron el concepto en Europa, que dio como resultado un aproximado de 200 sistemas para el manejo de aguas negras a nivel municipal e industrial.

Actualmente, son bastante usados en otros países como Inglaterra, Estados Unidos y Canadá. Su existencia relativamente corta es la principal causante de que en la literatura existan diferencias de criterio entre especialistas en cuanto a su diseño y eficiencia. No obstante, las normas europeas y las de la EPA plantean un conjunto de regulaciones basadas en la experiencia de cerca de 20 años de explotación bajo monitoreo.

Estos aspectos caracterizan el alcance de la investigación, al hacer también un análisis comparativo de las variantes tecnológicas aplicadas y establecer criterios básicos a los fines de estructurar modelos de esta tecnología adaptados a las diferentes condiciones climáticas que reinan en las regiones.

*Fundación Global Democracia y Desarrollo (FUNGLODE)*, cuyo propietario lo es el exmandatario de la República Dominicana, Dr. Leonel Fernández Reyna la cual se refiere a las condiciones climatológicas de la isla, precipitación, suelo, aguas, áreas montañosas y demás atributos de Quisqueya. Esta entidad tiene como rol trabajar temas de impacto e innovadores que contribuyan al desarrollo de la Nación.

*Horacio Alfredo Gil*, labora para la Universidad Nacional de Rio Cuarto - Córdoba, Argentina, en el Departamento de Producción Vegetal de la Facultad de Agronomía y Veterinaria. Escribe para el área Científica y la Red de Revistas Científicas de América Latina y el Caribe, España y Portugal. Aborda temas como el de las aguas residuales urbanas, donde expresa que es la mayor fuente contaminante del recurso hídrico. Para

su tratamiento, lo usual son las tecnologías convencionales basadas en la ingeniería civil e hidráulica (TC); más recientemente, se ha comenzado a valorizar las llamadas tecnologías verdes (TV) basadas en la biología y la ecología.

En un estudio realizado para evaluar el comportamiento económico de estas tecnologías utilizando el análisis beneficio-costos para tres situaciones contrastantes. Los beneficios económicos se derivan de la venta de los productos vegetales y los beneficios ambientales de la descontaminación del agua, valorada por el método del costo evitado. Se pudo observar que las TV tienen mejor desempeño comercial y económico que las TC y que la inclusión del beneficio ambiental, mejora significativamente los resultados obtenidos.

*Horacio Alfredo Gil* expresa que, además de los tratamientos convencionales, los ingenieros y profesionales están pensando en el desarrollo de tecnologías limpias para el manejo de aguas especiales, a través de la sustitución de las grandes construcciones (Bertoncini, 2008). Hay una tendencia marcada e interesante internacionalmente para utilizar estas aguas en los campos agrícolas y ganaderos.

*Instituto Nacional de Agua Potable y Alcantarillado (INAPA)*, es el organismo rector que trabaja en pos del manejo adecuado y eficiente del recurso agua en todas sus formas en la capital de la República Dominicana y en muchas otras regiones del país, refiere que se desarrollan algunos proyectos convencionales en el país, en donde organismos como Sur Futuro (ONG) apoyan económicamente dichas iniciativas.

*Javier Mena Sanz*, con doctorado en Ingeniería Química en la Universidad Castilla La Mancha (UCLM) en el año 2008, en donde también realizó los estudios de ingeniería química, es coordinador científico de la biorefinería CLAMBER R&D de España, coordinador de proyectos R+D, es profesor de UCLM. Es un profesional muy exitoso en el área de la hidrología. Ha diseñado plantas solar para depuración. Afirma que muchas transformaciones de los nutrientes y del carbono orgánico en humedales son debidas al metabolismo microbiano y están directamente relacionadas al desarrollo de los microorganismos. Estos incluyen, principalmente, bacterias, hongos, y protozoarios. Esta biomasa se encuentra formando una biopelícula alrededor de las partículas del lecho.

Como alternativa a las costosas técnicas convencionales, los ingenieros han buscado otros caminos y se han desarrollado variadas metodologías basadas en los mecanismos de depuración existentes en la naturaleza, denominados por esta causa "sistemas de

tratamiento naturales”. Estos sistemas requieren la misma cantidad de energía por cada kilogramo de contaminante degradado que las tecnologías convencionales, sin embargo, esta fuente es tomada de la naturaleza como energía solar, energía cinética del viento, la energía química acumulada en la biomasa y en la tierra misma, etc.

*Leonardo Mercedes*, quien es profesor adjunto de la Universidad Iberoamericana-UNIBE, es asesor en el tema de hidrología de la Presidencia de la República Dominicana, fue asesor y director de la Unidad de proyectos de INAPA (Instituto Nacional de Agua Potable y Alcantarillado) en su informe sobre la situación del tema de esta tesis, hace un gran aporte y el mismo se relaciona con los antecedentes y con la problemática de esta.

*National Instrument* en el año 2008, (NI) es una empresa fundada en 1976 por James Truchard, Bill Nowlin y Jeff Kodosky en Austin, Texas. La empresa se dedica al desarrollo y venta de productos de software, hardware y servicios. Sus mercados tradicionales son los campos de obtención de data, control de instrumentos (virtual). En los últimos años también ha extendido su negocio a sistemas de comunicaciones y sistemas embebidos, en buena parte apoyándose en las arquitecturas PXI y CompactRIO.

NI en su titulado la Ingeniería Verde- Mejorando el Ambiente y la Rentabilidad, refiere a que los ingenieros y científicos alrededor del mundo están encabezando la conducción de uno de los retos mayores que encara la sociedad, y tienen la oportunidad única de hacer un gran impacto en el ambiente del que ninguna política gubernamental ha hecho. La ingeniería verde provee herramientas, técnicas y tecnologías para fomentar esta innovación.

*Marcos Pérez-Olmedilla*, es profesor de la Universitat de Valencia y alrededores, España, es gestor I+D+i y trabaja en el Instituto Cavanilles de Biodiversidad y Biología evolutiva. Ha realizado trabajos importantes sobre humedales; como, por ejemplo, en el área de la fitodepuración y las funciones vitales de los macrofitos en la descontaminación y/o eliminación de agentes patógenos y otros elementos presentes en aguas negras.

Debido, quizás a la problemática de índole económico y de conciencia ambiental, los países del Caribe brindan un inadecuado tratamiento a líquido más importante para la vida de los seres humanos (el agua), especialmente, esto se puede confirmar además por lo expresado por algunos organismos internacionales, quienes opinan que este fenómeno se da más en comunidades vulnerables con pocos ingresos económicos,

proliferando muchas enfermedades relacionadas al agua y a los alimentos, por ejemplo (ONU, 2015).

A pesar de los importantes avances logrados en la isla sobre el manejo de aguas especiales, estos no se han sentido en el sector saneamiento y el gobierno ha preferido realizar esas inversiones en obras no prioritarias para los dominicanos, provocando contaminación que luego se traduce en enfermedades y gastos de recursos económicos (OPS, OMS, UNICEF y Ministerio Salud Pública, 2012).

El *Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA)*, *ONU Hábitat* y la *OMS*, señalan en su informe que el daño que provoca las aguas contaminadas a los ecosistemas y la biodiversidad es «grave» y alertan a la comunidad internacional de los peligros que representan este tipo de agua y aún más en estos momentos en que las poblaciones se multiplican exageradamente (ONU, 2015).

*Rafael Díaz Ruiz*, expresa en su tesis "Causas y Soluciones del Problema de Olores en Planta de Tratamiento de Aguas Residuales", para optar por el título de Ingeniero Civil en la Universidad Nacional de México (UNAM), año 2013, en donde enfatiza la importancia de que se desarrolle a nivel internacional la técnica de la Ingeniería Verde refiriéndose al tema que se presenta. También aporta importantes conclusiones a ser consideradas.

*Ricardo Rojas*, se expresó sobre la manera en que en los años 1800 se manejaba el proceso de descontaminación de las aguas, pues se utilizaba el suelo como ente natural para el tratado de estas, ya que esta tecnología no era efectiva y traía consecuencias nefastas al medioambiente y los recursos naturales, se utilizaron medios químicos y biológicos más tarde a los fines de buscar solución a esta problemática. Todo ello, conllevó estudios profundos en busca del mejor método de descontaminación.

*Kelly A. Reynolds, MSPH, Ph.D.* Profesora asociada de la Universidad de Arizona, Estados Unidos. Desde 1990, Kelly Reynolds, ha trabajado como investigadora y educadora de salud pública en ciencias ambientales, especializándose en calidad del agua, seguridad alimentaria y transmisión de enfermedades. Su amplia experiencia en esas áreas de investigación incluye su papel como investigadora principal de numerosos proyectos y la publicación de cientos de artículos de revistas, capítulos de libros e informes profesionales.

La Dra. Reynolds está trabajando en varios proyectos, incluido uno en el que se une a los ingenieros de UA para aplicar láseres con el fin de detectar virus humanos en el agua potable. Este tipo de tecnología no solo aceleraría los pasos concernientes al descubrimiento de virus transmitidos por el agua, sino que podría detectar virus que antes eran imposible. Realiza excelentes aportes a este trabajo de investigación en la parte del *Manejo de Aguas Residuales en Latinoamérica*.

*Rubens Sette Ramalho* de la Universidad Laval, Quebec, Canadá. Professor B.S., 1946, University of Brazil; M.S., 1949. Ph.D., 1954, Vanderbilt University. Es autor de varios libros; entre los cuales, se pueden citar: Solutions Manual for Introduction to Wastewater Treatment Processes, Tratamiento de aguas residuales, A New Method for Obtaining Vapor-liquid Equilibrium Data, Introduction to Wastewater Treatment Processes y Measurement of Enthalpies of Mixing in Gaseous Phase for the Binary System Carbon Dioxide: Hydrogen Sulphide by an Isothermal Flow Calorimeter: Supplementary Unpublished Material.

Se refiere en su libro a los costes de inversión de un humedal son de 10 millones de dólares para tratar 3000 m<sup>3</sup>/hora de líquido contaminante, con una DBO de 2 200 kilos/hora.

La planta incluye proceso de lodos activos para eliminar hasta un 90% de carga orgánica evaluada como DBO. Incluye filtro de vacío e incineración de lodos, así como cloración del efluente total final. La metodología consiste en la acción biológica que hacen ciertas bacterias en condiciones de ausencia de O<sub>2</sub> y que convierte la materia orgánica residual en una mezcla de gases combustibles (monóxido de carbono, hidrógeno y metano).

*El Servicio de Información y Noticias Científicas (SiNC)*. Organismo estatal español que se especializa en ofrecer importantes informaciones del orden científico, tecnológico e innovaciones. Fue puesta en marcha por la Fundación Española para la Ciencia y la Tecnología en el año 2008. Una agencia que trabaja la Ingeniería Verde para la gestión de residuos. Su desarrollo más reciente, una planta piloto de digestión anaerobia de residuos orgánicos encargada por una institución de educación superior de Cádiz, Colombia, y se empleará para una investigación en el campo de la producción energía, a través de líquidos contaminantes de origen doméstico (SiNC, 2014).

No hay una técnica más eficaz y eficiente que aquella que hace su trabajo sin afectar a terceros, o sea, ni el bienestar de las presentes ni de las futuras generaciones. Esto se consigue con este tipo de tecnología.

## **1.2. Proyectos de Sistemas Ecológicos y Convencionales**

En el año 2017, se realizó un proyecto piloto de saneamiento en la provincia de San Cristóbal para el manejo de aguas residuales domésticas y gestionado por la fundación Sur Futuro (INAPA, 2017).

Con respecto a la reutilización de aguas especiales en La Vega, República Dominicana, se incluyen casos de reúso de aguas residuales con tratamiento, pero la población desconoce la peligrosidad de estas en cultivos agrícolas, aunque las mismas se han utilizado en pasto, forrajes y cultivos industriales. A nivel nacional se le ha prestado más atención a la cobertura de alcantarillado que al tratamiento de aguas residuales (Moscoso, 2002).

A nivel regional, el reúso de aguas residuales en la agricultura no está legislado, pero hay organismos e instituciones que han estado trabajado en este campo, para ofrecer a los pueblos ideas y esperanza a los fines de poder utilizar estas aguas en sus campos agrícolas. Dentro de las instituciones que realizan esfuerzos en este sentido, se encuentra el Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente.

La reutilización de aguas residuales, luego de ser tratadas, son una alternativa viable para los periodos secos, comunidades desfavorecidas y en campos agrícolas (Rico, Arahetes & Morote, 2016).

A pesar de saber que las aguas especiales tratadas deficientemente, no se pueden utilizar en riego agrícola, los granjeros la usan sin importar las consecuencias a la salud que estas puedan ocasionar (Estrada, López, Vázquez, Sánchez & Ruvalcaba, 2016).

Las entrevistas dejaron entrever que los ciudadanos tienen conocimiento acerca del uso de las aguas residuales para el riego de cultivos, y que, a pesar de tener repercusiones en su salud los siguen consumiendo, pues para los agricultores las ganancias económicas y la maduración de los alimentos a corto plazo son más importantes, que las consecuencias del uso de estas en su salud.

(Moscoso, 2002) enfatiza que se ha logrado identificar aspectos importantes que se pueden utilizar en el manejo, diseño e implementación de plantas de tratamiento de aguas residuales ecológicas eficientes para la descontaminación de estas.

La Ingeniería verde para el manejo de aguas residuales no es muy conocida en la República Dominicana, sin embargo, internacionalmente, hay buenas experiencias en fitodepuración, de aguas residuales, es el caso del proyecto de investigación realizado para el estudio de una PTAR subsuperficial (HS) como tratamiento de agua residual doméstica en la vereda Bajos de Yerbabuena en el municipio de Chía, Cundinamarca, Colombia, en donde la utilización de macrofitas en este proyecto fue de suma importancia para la reutilización del agua residual doméstica tratada en actividades diarias del hogares de dicha área (López, 2016).

Las macrofitas realizan una importante función depuradora al entrar sus raíces en contacto con el agua residual doméstica, y así retener los contaminantes. El junco fue seleccionado para el humedal artificial de flujo horizontal, en donde luego de la determinación de los cálculos hidráulicos y de diseño se precedió con el análisis fisicoquímico para compararlos con los controles resultantes de los afluentes y efluentes, en donde fueron estudiados diferentes parámetros, tales como, material orgánico e inorgánico, DBO, DQO, SST, fósforo, nitrógeno, grasas, entre otros. Los resultados emanados del estudio fueron muy satisfactorios, con alta remoción de contaminantes, certificado por el laboratorio Químicocontrol, Ltda y certificado por el IDEAM (López, 2016).

Otros estudios fueron realizados en el Cantón Ambato, Provincia Tungurahua, Ecuador en el año 2014, sobre especies flotantes para la descontaminación de aguas residuales, con el propósito de reutilizarlas en la agricultura, tales como: Azolla (*Azolla* spp.), Lenteja de agua (*Lemna* spp.), Salvinia (*Salvinia* spp.), Jacinto de agua (*Eichhornia crassipes*) y el Trébol de agua (*Limnobium laevigatum*). Los resultados finales favorecieron al Jacinto de agua (*Eichhornia crassipes*) y la lenteja de agua (*Lemna* spp.), como las más promisorias para la fitorremediación. (Poveda, 2014).

Un estudio similar y de mucha importancia, se realizó en México para determinar las características fisicoquímicas de agua residual tratada con Jacinto de Agua (*Eichhornia crassipes*). La utilización de especies para reducir la contaminación por productos peligrosos dio lugar a lo que se conoce desde hace mucho tiempo como Fitorremediación, que se usa con muchos éxitos en Europa, Canadá y Estados Unidos, (Carrillo, 2010).

La tabla 2, a continuación, muestra el desarrollo histórico de las aguas residuales en el mundo, se puede observar que la misma es tratada desde tiempos antes de Jesús

Cristo y que Alemania fue el primer país Después de Cristo que empezó a tratar dicho líquido.

Tabla 3

*Resumen del desarrollo histórico del tratamiento de las aguas residuales*

Fecha	Desarrollo
A.C.	Irrigación con Aguas residuales – Atenas
1550	Uso de aguas residuales en agriculturas – Alemania
1700	Uso de aguas residuales en agriculturas – Reino Unido
1762	Precipitación química de aguas residuales – Reino Unido
1860	Dispositivo de Mouras. Tratamiento anaerobio de sólidos de aguas residuales
1865	Experimento sobre microbiología de digestión de lodos – Reino Unido
1868	Investigaciones sobre filtración intermitente de aguas residuales – Reino Unido
1870	Filtración en arena de aguas residuales – Reino Unido
1876	Primeras fosas sépticas – USA
1882	Experimentos sobre aeración de alcantarillas – Reino Unido
1884	Introducción de las rejillas de desbaste – USA
1887	Estación experimental de Lawrence para estudio de agua y aguas residuales. Massachusetts – USA
1887	Primera planta de precipitación química – USA
1889	Filtración en lechos de contacto Massachusetts, USA
1891	Digestión de lodos – Alemania
1895	Recolección de metano de fosas sépticas y su empleo en alumbrado – Reino Unido
1898	Molinete hidráulico para filtros percoladores – Reino Unido
1904	Empleo de desarenadores – USA
1904	Fosa séptica Través de dos pisos – Reino Unido
1904	Tanque Imhoff- Alemania
1906	Cloración de agua residuales - USA
1908	Ley de Chick - USA
1911	Aplicación de tanques Imhoff – USA
1911	Digestión separada de lodos –USA
1914	Tratamientos de aguas residuales por lodos activados – Reino Unido
1916	Primera planta municipal de lodos activados – USA
1925	Aeración por contacto – USA

*Nota.* Se aprecia la evolución del tratamiento del agua residual a través del tiempo en diferentes continentes (INAPA 2010).

Con el objetivo de lograr mejores resultados y éxitos en esta iniciativa, se contó con académicos destacados con nivel PhD. de universidades como Universidad Católica del Cibao (UCATECI), Universidad ISA, Instituciones del sector agua y saneamiento como Corporación de Acueducto y Alcantarillado de Santo Domingo (CAASD), Corporación de Acueducto y Alcantarillado de Santiago (CORAASAN), Corporación de Acueducto y Alcantarillado de La Vega (CORAAVEGA), Instituto Nacional de Agua Potable y Alcantarillado (INAPA) de las ocho regiones que se eligieron para desarrollar el estudio.

También, instituciones como el Ministerio de Medioambiente y Recursos Naturales (MARENA), el Ministerio de Economía, Planificación y Desarrollo (MEPyD), Junta Yaque, Cámara de Comercio y Producción de La Vega, Oficina Nacional de Estadística en La Vega, a nivel internacional la experiencia de la empresa Tetra Tech, National Instrument y el Centro Panamericano de Estudios superiores (CEPES), a través del Director de esta tesis, Dr. Eduardo Márquez Canosa, especialista en aguas especiales.

### **1.3. Contexto**

**1.3.1. Caracterización de la zona de estudio.** República Dominicana, también llamada Quisqueya, es un poco más que música y sol. La nación, comparte la isla de La Española con Haití, con 48,442 km<sup>2</sup>, ubicada en la long. Oeste 68°17' y 71°40'12" y latitud norte 17°36' y 19°57'38", posee una rica diversidad biológica, grandes montañas, hermosas playas y una gran producción agropecuaria durante todo el año (Moreno, Celis & Aguiar, 2002).

La variabilidad en el comportamiento de las temperaturas en la República Dominicana está íntimamente asociada a dos factores básicos que son: la localización geográfica y los sistemas montañosos existentes en toda la geografía nacional. La República Dominicana cuenta con un clima variado, debido a su sistema montañoso y su localización geográfica (FUNGLODE, 2018).

**1.3.2. Área de estudio.** El área de estudio es el Municipio de Jarabacoa, perteneciente a la Provincia de La Vega y cuenta con un clima tropical húmedo, determinada por el gradiente termométrico vertical, siendo altitudinal o de montaña con una pluviometría media de 1500 mm. Ubicado en el mismo centro de la cordillera central, Jarabacoa se encuentra localizada a una altura de 535 a 650 msnm (Rueda, Rodríguez, Vásquez, Guerrero & Alarcón, 2018).

**1.3.3. Recursos hídricos.** Jarabacoa cuenta con tres ríos principales que son: El Yaque del Norte, el Jimenoa y el Baiguate. Los mismos dan una peculiaridad especial al municipio, ya que, a causa de estos, miles de turistas visitan el lugar mensualmente. Sus aguas son muy frescas lo que los hace muy atractivos. Jarabacoa posee además otras bellezas naturales como son los Saltos de Jimenoa y Baiguate, así como elevaciones montañosas (Pico Duarte) el más alto de las Antillas con una elevación de 3 175 msnm.

La pluviometría del municipio de Jarabacoa, registrada en el año 2014, es entre 1000 a 1500 mm. Es un municipio que llueve mucho durante todo el año, con excepción de algunos meses (López, Almonte, Pérez, Sotomayor, & Núñez, 2014).

Se diseñó un vasto e importante proyecto de inventario forestal, el cual incluyó la cuenca hidrográfica más importante del país, la del Río Yaque del Norte, que nace en Jarabacoa con varios afluentes de la misma, para proteger los recursos hídricos y la zona boscosa del municipio (GIZ, Cooperación Alemana, CCAD, Ministerio Ambiente, 2014).

**1.3.4. Clima.** El municipio de Jarabacoa presenta un clima fresco durante las noches, pero caluroso durante el día, con temperaturas oscilando entre 21 y 23 °C como promedio durante el año y muy especialmente en meses de invierno como diciembre y enero.

La flora del paradisíaco lugar se encuentra amenazada por los poderosos y políticos que se mudan a las montañas y construyen lujosas viviendas. Jarabacoa goza de un agradable clima, de sus impresionantes vistas paisajísticas y sus pinares (Ulloa, 2016).

**1.3.5. Economía.** La economía de Jarabacoa depende prácticamente del turismo, tanto ecológico como de aventura y de las labores agrícolas. Hay una amplia variedad de trabajos en los campos en donde se cultivan las hortalizas, vegetales y flores bajo ambiente controlado y libre, tanto para exportación como para consumo local. Cifras del año 2015, muestran la importancia del turismo en el municipio. El país trabaja con una tasa de turismo de un 75 por ciento, del cual el 14.35% correspondió a La Vega, gracias a Jarabacoa (Ulloa, 2016).

La empresa del turismo se considera como una gran fuente económica de recursos que proporciona gran oportunidad para los pueblos poder modernizarse y despegar, sobre todo aquellos de desarrollo limitado (Orgaz, 2014).

Jarabacoa, conjuntamente con Constanza ocupa, el 5<sup>to</sup> lugar como polo turístico de importancia en la República Dominicana, debido a sus atractivas montañas, ríos, cascadas, entre otros (Acosta, Acosta & Santana, 2018).

Un estudio sobre evolución y relevancia del turismo en la R.D., reveló que este aporta a PIB del país un 16.7% en el año 2014 y a nivel mundial un 10% (Real, 2014).

Los comunitarios de la zona de estudio son económicamente activos. El Municipio posee 25,781 habitantes en todo el territorio, representando el 45.38% de la población, y

7,826 personas económicamente activas se encuentran desocupadas, representando el 13.77%.

Con relación al segmento de personas económicamente activa ocupadas, 11,869 se encuentran empleadas a sueldo o salario, siendo las principales ocupaciones la agropecuaria, el comercio, la construcción y el turismo. Por otra parte, 3,495 trabajan por su cuenta. Con relación a este aspecto, la tabla 3, presenta las principales ocupaciones del municipio.

Tabla 4

*Distribución de las principales fuentes de empleo en Jarabacoa*

Actividades generales de empleo	Población
Agricultura, ganadería, extracción de la madera y actividades relacionadas.	3,460
Comercio al por mayor y menor	2,847
Construcción	1,925
Hoteles, restaurantes, transporte turístico, actividades de esparcimiento, culturales y deportivas.	1,370
Administración pública, enseñanza, servicios sociales, y de salud, defensa y seguridad social	1,026
Intermediación financiera, actividades auxiliares de la actividad financiera, inmobiliarias, telecomunicaciones	758
Actividades manufactureras, elaboración de alimentos y bebidas, fabricación de productos metálicos no pesados	568

*Nota.* Oficina Nacional de Estadística. IX Censo Nacional de Población y Vivienda, 2010.

**1.3.6. Población de Jarabacoa.** El municipio de Jarabacoa cuenta una población de 56, 803 habitantes distribuidos entre el municipio de Jarabacoa y los distritos municipales de Buena Vista y Manabao, como se manifiesta en la table 4, según el censo de población y viviendas del 2010.

Tabla 5

*Población de Jarabacoa*

Municipio	Total	Urbana	%	Rural	%	Superficie (km <sup>2</sup> )	Densidad (hab/km <sup>2</sup> )
Jarabacoa	56,803	28,769	50.6	28,034	49.4	673.9	84
Jarabacoa	40,556	26,996	66.6	13,560	33.4	313.6	129
Buena Vista (D.M.)	12,232	1,096	9.0	11,136	91.0	98	125
Manabao (D.M.)	4,015	677	16.9	3,338	83.1	262.4	15

*Nota.* Se aprecia la población de Jarabacoa como municipio, ciudad y los dos distritos municipales (Oficina Nacional de Estadística. IX Censo Nacional de Población y Vivienda 2010).

De manera restringida, Jarabacoa, como municipio cabecera tiene 40,556 habitantes, de los cuales el 50.2% son hombres y 49.8% mujeres, el 66.6% vive en la ciudad y el 33.4% en el área rural (Oficina Nacional de Estadística, 2010).

Las tablas 5, 6 y 7 representan el uso, cobertura, clase y el URP para los terrenos del municipio de Jarabacoa, Provincia La Vega, República Dominicana.

Tabla 6

*Uso y cobertura de los suelos en Jarabacoa*

Uso	Hectárea
Bosque de coníferas	20,675
Bosque latifoliado	24,110
Bosque seco	291
Matorrales	287
Cultivos intensivos	2540
Café	490
Agricultura de subsistencia	19,940
Área poblada	125
Totales	68,457

*Nota.* Se puede apreciar los usos de los suelos del municipio y la cantidad en hectárea (SEMARENA, 2005).

Tabla 7

*Clase de suelo de Jarabacoa*

Clase	Área (hectárea)
Clase II	740
Clase IV	22.27
Clase V	3,709
Clase VI	939
Clase VII	63,070
Total, Área (hectárea)	68,457

*Nota.* Clase de suelo del municipio y el número de hectárea (SEMARENA, 2005).

Tabla 8

*Unidad de recursos de planificación (URP) y área en Jarabacoa*

URP	Área (hectárea)
2	38,964
21	8,421
40	21,073
Total	68,457

Nota. SEMARENA, 2005.

En la tabla 8, se observa el comportamiento de la precipitación (121 mm). La variación en las temperaturas (4.4 °C), siendo la media de 22.89 °C (Clima-Data.org, parr. 6).

Tabla 9

*Clima / Datos históricos del tiempo en Jarabacoa*

	Enero	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sept	Oct	Nov	Dic
Temperatura media (°C)	20.4	20.8	21.9	23	23.5	24.3	24.4	24.8	24.4	23.4	22.4	21.1
Temperatura min. (°C)	14.7	14.9	15.7	17.2	18.1	18.5	18.7	19.0	18.6	18.0	17.1	15.7
Temperatura max. (°C)	26.2	26.8	28.1	28.8	29.0	30.1	30.1	30.7	30.3	29.4	27.8	26.5
Temperatura media (°F)	68.7	69.4	71.4	73.4	74.3	75.7	75.9	76.6	75.9	74.7	72.3	70.0
Temperatura min. (°F)	58.5	58.8	60.3	63.0	64.6	65.3	65.7	66.2	65.5	64.4	62.8	60.3
Temperatura max. (°F)	79.2	80.2	82.6	83.8	84.2	86.2	86.2	87.3	86.5	84.9	82.0	79.7
Precipitación (mm)	68	69	102	131	189	75	85	80	98	154	161	128

Nota. La temperatura y precipitación en los diferentes meses del año 2017 (Climate-data.org, s.f.).

**1.3.7. Principales problemas ambientales en el municipio.** En Jarabacoa, el Ministerio de Medioambiente y Recursos Naturales ha identificado ocho áreas protegidas que hacen del municipio un lugar paradisíaco: Reserva Científica Ébano Verde, Parque Nacional Armando Bermúdez, Parque Nacional Baiguate, vía panorámica

Carretera Bayacanes-Jarabacoa, Monumento Natural Jimenoa, Parque Nacional José del Carmen Ramírez, y la Reserva Científica Las Neblinas. Los recursos naturales del municipio se encuentran afectados por diversas acciones de los seres humanos, como son incendios, tala, contrabandos de madera, incidiendo negativamente en la calidad ambiental.

Por tal razón, ríos y arroyos se encuentran contaminados principalmente por la descarga de aguas residuales no tratadas de viviendas y diferentes tipos de comercios y en menor proporción por el vertido de residuos sólidos, sumando a esto la ausencia de alcantarillado (Ver apéndices A, B, C y D).

Un estudio realizado en el municipio de Jarabacoa en el año 2018, sobre la influencia del mosquito en la salud de las personas y se determinó que existen varias especies de mucha importancia que se desarrollan en diferentes áreas en donde se amontonan basura, por lo que se recomienda tomar en serio y realizar acciones a los fines de exterminar estas zonas contaminantes ( Rueda, et al., 2018).

**1.3.7.1 Red de agua potable y alcantarillado.** La red de alcantarillado sanitario es responsabilidad del Instituto Nacional de Agua Potable y Alcantarillado (INAPA) y del Ayuntamiento de Jarabacoa. El municipio no cuenta con esta necesaria instalación. En el año 2014, se inició la construcción de una red de alcantarillado sanitario y planta de tratamiento, pero la obra fue paralizada por falta de voluntad política y recursos económicos que en ese momento el gobierno no disponía.

En los actuales momentos, los hogares de Jarabacoa cuentan con pozos sépticos y filtrantes, mientras que muchas viviendas carecen de los mismos y las aguas son vertidas a los ríos y arroyos del pueblo causando todo tipo de contaminación y enfermedades (Plan Estratégico de Desarrollo del Municipio de Jarabacoa, 2006).

Según el (Ministerio de Economía, 2010), el 9% de los moradores del casco urbano en Jarabacoa carecen de servicio sanitario, 7.3% del Municipio de Buena Vista y el 17.6% de Manabao, esto ofrece un dato importante sobre la realidad actual del área de estudio, que si bien son datos de ocho años atrás, en la actualidad la situación es peor.

En cuanto al sistema de provisión de agua potable, en todo el municipio de Jarabacoa el servicio es deficiente. En algunos sectores como Cristo Rey, Rincón, Barrio Blanco y la Colonia, entre otros, tienen serias dificultades para acceder al servicio. En el municipio cerca del 40% de los lugareños no pagan el servicio de agua, pero tampoco esta recibe

tratamiento para consumo humano, por lo que se ha contemplado ampliar la actual estructura del acueducto y promover un uso más sostenible del líquido, así como insistir en un ordenamiento territorial, ya que muchos poderosos económicamente y pobladores locales han cambiado el uso de la tierra por viviendas para el disfrute de sus vacaciones (Corral y Collombon, 2006).

El 36.1 por ciento de los habitantes en el casco urbano no cuenta con agua potable, el 17.6% de los habitantes de Manabao carecen del servicio y así como el 47.8% de los moradores de Buena Vista, Jarabacoa (Ministerio de Economía, 2010).

**1.3.7.2. Fuentes de contaminación.** Los principales sectores contaminantes son: Pinar Quemado arriba y abajo, Las Guázaras, Pedregal, La Joya, La Rueda, la 3,500, La Colonia, María Auxiliadora, Pinar Dorado, La Javilla, La Colina de Los Pomos, Palo Blanco, El Mirador, Medina 2, El Resbalón, Ercilia Pepín, Hidaka, Venecia, La Piedra, el Sector de la 16 de agosto, Pueblo Nuevo, Yerba Buena, Barrio Negro y El Bolsillo, así como áreas del Distrito Municipal de Buena Vista. (Ver apéndices A-D).

**1.3.7.2.1 La contaminación acústica en el municipio de Jarabacoa.** En los últimos años se ha producido un considerable incremento de la concienciación sobre los efectos que la calidad del agua, aire, el suelo y los alimentos tienen en la salud de los ciudadanos.

Los efectos que provoca la contaminación sónica sobre los seres humanos y al medioambiente, en muchos casos son irreparables, los cuales se manifiestan mayormente a largo plazo y otros son detectados tempranamente. Esta contaminación no solo afecta nuestra calidad de vida sino también nuestra salud. A pesar de que las discotecas, por ejemplo, son reguladas por el ministerio de medioambiente, los niveles de sonido/ruido sobrepasan los 200 dB. (Consejería de medioambiente, 2003).

Los vehículos, motocicletas, equipos de música en colmados, car wash, cafeterías y otros establecimientos comerciales son muy común en Jarabacoa. Investigaciones recientes han demostrado efectos negativos en la vida nocturna de los pueblos (Alcaldía del Municipio de Jarabacoa, 2013).

**1.3.7.2.2. Vertedero municipal.** El municipio cuenta con un vertedero, localizado en la comunidad de Las Cenizas, D.M. de Buena Vista con un área de 44,334 m<sup>2</sup>, de los cuales 9,336 m<sup>2</sup> están en uso. En la actualidad, se vierten diariamente en el 35.6

toneladas procedentes de Jarabacoa y 10.19 del D.M. de Buena Vista. Según las características que presenta, este se clasifica como vertedero a cielo abierto incontrolado, es decir, sin medidas necesarias de protección ambiental.

Así se puede observar que, en un estudio realizado en año 2007 en toda la cuenca hidrográfica objeto de estudio, en parámetro como coliformes totales, los resultados obtenidos fueron superiores a los que establecen las normas ambientales en el país. Los valores obtenidos de material fecal oscilaron entre 4,000 NMP/100mL y 60, 000 NMP/100mL, para la Ciénaga de Manabao , 25,000 NMP/100mL estación de Jarabacoa y Jimenoa en Hato Viejo de 100,000 NMP/100mL (Acosta, 2017).

**1.3.8. Vulnerabilidad ante desastres naturales.** El municipio de Jarabacoa se encuentra dentro del área del Cibao Norte-Sur que posee fallas geológicas, como los es toda la Isla Hispaniola; por lo que, las montañas y laderas están expuestas a escorrentías y deslizamientos de tierra que se tornan muy peligrosos, sobre todo en las carreteras que conducen al municipio y en varios lugares más. Por otro lado, el área sur de la zona urbana estaba compuesta por humedales y niveles freáticos muy altos, que urbanizada se convirtió en área vulnerable en tiempo de lluvias.

Esporádicamente se verifican sequías estacionarias, propiciando incendios de vegetación y algunos forestales. En el municipio está funcionando el Centro de Operaciones de emergencias (COE), el cual no cuenta aún con un programa de mitigación ante desastres naturales ni tampoco se ha definido un plan de emergencia para la zona (Alcaldía del Municipio de Jarabacoa, 2013).

**1.3.8.1 Gestión ambiental del municipio.** En el transcurso del año 2002, se creó la Unidad de Gestión Ambiental Municipal que, en el 2011, en coordinación con la Agencia de Cooperación Alemana, formuló el plan de gestión ambiental hasta el año 2016, definiendo como ejes estratégicos los siguientes puntos:

- Implementación y seguimiento a normativas ambientales.
- Definición, aplicación y seguimiento de los procedimientos para los permisos ambientales y denuncias ambientales.
- Gestión ambientalmente adecuada de servicios e instalaciones municipales.
- Fortalecimiento de la coordinación, la gestión y el financiamiento de iniciativas ambientales.

El programa desarrollado consistió, primeramente, en el inicio del proceso de educación ambiental en todo la zona, comunidades y centros educativos demostrando todos, un gran interés por desarrollar el programa de reciclado en sus casas y en las áreas en donde viven. (Alcaldía del Municipio de Jarabacoa, 2013).

En varias visitas realizadas a los principales centros de salud del municipio, las autoridades municipio de Jarabacoa, mostraron a través de un informe solicitado por el doctorando 2,302 casos de enfermedades relacionadas con el agua, como se puede observar en la tabla 9 y 10.

Tabla 10

*Principales causas de hospitalización en el Municipio de Jarabacoa*

Causas de hospitalización	No. casos 2012
Infecciones respiratorias	844
Enfermedad diarreica aguda	703
Hipertensión arterial	595
Dengue	100
Otros	60
Total	2,302

*Nota.* Registro del año 2012 de varias enfermedades relacionada con el agua (Hospital Municipal Octavia Gautier de Vidal).

Tabla 11

*Principales causas de mortalidad en el municipio*

Causas de mortalidad	No. de casos
Infarto agudo al miocardio	60
Diversos tipos de cáncer	25
Diabetes mellitus descompensada	21
Trastornos vasculares cerebrales	20
Insuficiencia cardíaca congestiva	15
Insuficiencia respiratoria de diferente naturaleza	14
Cirrosis hepática	2
Otros	15
Total	172

*Nota.* Hospital Municipal Octavia Gautier de Vidal. Registro del año 2012.

**1.3.8.1.1. Sistema de alcantarillado sanitario en el municipio de Jarabacoa.** Al igual que muchas áreas del país este municipio carece de alcantarillado sanitario, debido precisamente al alto costo de las técnicas convencionales, el gobierno no ha podido asistir a esta zona, por lo que se ha empezado a implementar algunas técnicas para el manejo de aguas residuales con ingeniería verde, de los cuales se desconoce que se haya realizado algún estudio en el país sobre la real eficiencia de estos.

La tesis evaluó los sistemas implementados con Ingeniería Verde para el tratamiento de aguas residuales, aprovechando las experiencias de organismos e instituciones que trabajan y/o utilizan la misma como alternativa para lograr mayor economía de recursos financieros y menor impacto al medioambiente, basándose en casos de estudio en el Municipio de Jarabacoa, Provincia La Concepción de La Vega, República Dominicana y además de las experiencias de países que utilizan la misma.

Para tal propósito, se contó con el apoyo de las autoridades del INAPA, CORAASAN y CORAAVEGA, que son organismos autorizados en el país en la distribución y saneamiento de aguas residuales. Así como las experiencias del Dr. Eduardo Márquez Canosa, Especialista en temas de agua y saneamiento, *National Instrument* en el año 2008, La *Dra. Diana Durán*, Ing. Alejandro Montás (director CAASD), TETRATECH, *El*

*Servicio de Información y Noticias Científicas (SiNC)*, CEPAL, OMS, ONU, PNUMA, U.S. Environmental Protection Agency (EPA), Junta Yaque, entre otros expertos en el tema.

#### **1.4. Definición de Términos**

**Ingeniería Verde:** Ingeniería verde es el diseño, comercialización, uso de procesos, productos y técnicas económicamente viables, que conllevan a uso racional de los recursos evitando la contaminación y la afectación a los seres humanos y el medio que le rodea. Esta técnica se desarrolla llevando a cabo 12 principios que vienen siendo un código de conducta para cada actividad que se realiza, convirtiéndose en directrices de buenas prácticas (Caledoscopio Químico, s.f.).

**Bioindicador:** Son indicadores que se utilizan para determinar factores del ambiente biológico (Puig, s.f.).

**Calidad de Agua:** Es definida como las características propias que posee el agua frente a las condiciones que exigen como requisito los seres vivos, incluyendo los humanos un determinado propósito (Diersing, 2009).

**Contaminación del agua:** es una alteración del líquido, debido a la acción humana o a la naturaleza que la hace no apta para consumo ni para las actividades como la pesca, ganadería, agricultura, deporte acuático y la industria ni tampoco para los animales en general (OPS, s.f.).

**Aguas Residuales Domésticas:** son una mezcla de agua resultante de las actividades domésticas e industriales respectivamente, recolectadas en un conjunto o complejo urbano y que les da un tratamiento para ser vertidas a un sistema público (Collazos, 2008).

**Carga contaminante:** Es la magnitud en que los elementos contaminantes se encuentran en un medio convirtiéndolo hasta cierto punto peligroso (Biblioteca Agrícola Nacional de los Estados Unidos, 2013).

**Fitodepuración:** es una acción realizada por varios tipos plantas macrofitas especialmente, que depuran el agua residual, por el contacto de sus raíces que transfieren oxígeno al medio acuático (Urbanoaereolismo, s.f.).

**Tiempo de retención hidráulica (TRH):** es la razón del tiempo en que tarda un elemento o partícula en salir (efluente) luego de su entrada (afluente) al humedal. (Ministerio de Desarrollo Económico, 2000).

Tanque séptico: Estructura para realizar la separación de sólidos procedentes de aguas especiales, favoreciendo la infiltración y estabilizando está en los humedales artificiales subsuperficiales, ya sean de flujo vertical u horizontal (Julca & Rodríguez, 2018).

Se define también, como medio utilizado para pretratamiento de aguas residuales, que suele ser empleado también como tratamiento primario o secundario. Es un tanque en donde se da en muchos casos la sedimentación o decantación de sólidos del agua (Ministerio de Desarrollo Económico, 2000).

Efluente: que viene de un lugar; por ejemplo, de una estación de agua (RAE, 2018).

Fitorremediación: es curado y recuperación del suelo por acción de especies vegetales que actúan depurando las aguas negras presentes en el mismo, propiciando la normal aireación dentro del terreno (Quintana & Verbel, 2008).

Humedal: son espacios de marismas, pantanos o áreas ocupadas por agua natural o no, constantes o esporádicas, estancadas o en movimiento, dulces, saladas en las que se incluyen aquellas áreas marinas menores de 6 m de profundidad (Ramsar 2007, citador por Guizada, 2018).

Impacto ambiental: es la modificación o alteración de un determinado lugar por la acción a veces no planificada de un determinado proyecto, afectando sobre todo al medioambiente y las personas (SGS Academy, 2012).

Vegetación (macrofitas): Las macrofitas no son más que plantas acuáticas macroscópicas, las cuales son utilizadas como fitodepuradoras de aguas residuales. (Martelo & Lara, 2012).

Tratamiento de aguas residuales: son aguas tratadas, a través de procesos biológicos, físicos o químicos para cumplir con las normas calidad de aguas y control de descarga, ya que estas pueden ser vertidas a diferentes cuerpos receptores (Calisaya, Milagros, Cáceres & Deybi, 2018).

Planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR): Construcción diseñada para tratar el agua residual, a los fines de extinguir o reducir los elementos contaminantes al mínimo y de esta manera ser vertida a ríos, campos agrícolas y/o terrenos abandonados (Jure & Aguirre, 2018).

Sustrato: según Pastor (1999) expresa que, es cualquier material o medio sólido natural o artificial y que no es tierra, empleado para desarrollar plántulas o material de siembra (Espinosa, 2018).

Granulometría: es el tamaño en que se encuentran las partículas formando rocas o peñascos, por lo enunciado Boudier y que se miden en mm (Dorador, De la Hoz, Salazar & Urbina, 2018).

Laguna facultativa o estabilización: es una excavación en la tierra o construcción, donde se deposita el agua residual. Aquí tienen lugar ciertos microorganismos como bacterias que experimentan una reducción de su población y finalmente se produce una estabilización de la M.O. (NORMA OS.090 2006), citado por (Gabriel, 2018).

Lecho: Capa o porción de algunas cosas que se ponen extendidas horizontalmente sobre otras, como capa de tierra o piedra (Espasa-Calpe, 2005). Humedal subsuperficial de flujo vertical: Son los conocidos filtros intermitentes, ya que el agua contaminada entra al lecho desde arriba hacia abajo, a través de tubos de PVC de 4", perforados totalmente (Chimbo & Montero, 2018).

DBO<sub>5</sub>: hace inferencia a la totalidad de O<sub>2</sub> requerido por un conjunto de organismos microscópicos heterótrofos para descomponer la M.O. en un medio oscuro a una temperatura de 20 grados Celsius durante cinco días (Déniz, 2010).

DQO: Se refiere a la cantidad de O<sub>2</sub> que se necesita para oxidar por completo y químicamente los compuestos orgánicos a dióxido de carbono y agua (Cisterna & Peña, p. 6).

Coliformes fecales: se habla de un subgrupo de bacterias coliformes totales que viven en la flora intestinal de muchos animales y de los seres humanos, procedentes de las aguas contaminadas y causando en enfermedades gastrointestinales como diarrea, Echerichia coli, entre otros malestares (North Caroline Public Health, 2019).

Coliformes totales: Aquí se incluyen las bacterias gram negativas (no forman esporas) y que fermentan la lactosa a 35 grados Celsius en 48 horas. Las mismas se encuentran distribuidas en la naturaleza y el mismo suelo. No son tan dañinas a la salud como lo son los coliformes fecales, aunque su presencia en el agua indica contaminación (Rodríguez, Asmundis, Ayala & Arzú, 2018).

Oxígeno disuelto (OD): este indicador es de suma importancia para la vida acuática y su ausencia indica contaminación, las bacterias; por ejemplo, lo prefieren bajo, pero los

peces alto (Orozco, Ernesto, Chávez & Benavides, 2014; citado por Salazar & Pastor, 2019).

Sólidos Suspendidos (SS): estos los conforman la M.O. e inorgánica procedente de los SST. Su sedimentación es difícil y, por lo tanto, son responsables del color y la turbidez del agua (Barrera, et al., 2018).

Turbidez: Grado en el que el líquido más preciado de la naturaleza (el agua) pierde su cristalinidad, por efecto de sedimentos presentes en ella. La turbidez se mide en NTU (González, 2011).

Depredación: es cuando los organismos microscópicos aprovechan para alimentarse de los patógenos (Padrón, 2018).

Oxidación: se refiere al proceso por el cual un átomo pierde electrones o moléculas (Albarrán, 2008).

Biodegradación: es la descomposición o transformación de la M.O. mediante la actividad bacteriana o procesos biológicos que podría ser aeróbica o anaeróbicamente (Paredes, 2014; citado por Pazán & Trelles, 2018).



# CAPÍTULO II

## 2. Capítulo II: Marco Teórico

En este acápite se revisan cuidadosamente las principales teorías y modelos existentes para buscar respuestas al problema de investigación. Se abordan temas referentes al agua y saneamiento, así como los principales conceptos que dan contraste con las plantas de tratamiento de aguas residuales, tanto convencionales como ecológicas. Se hace un esbozo de las cualidades de los sistemas con ingeniería verde para el tratamiento de las aguas residuales, incluyendo los componentes de estas.

### 2.1. El agua

El agua es el elemento más abundante en la naturaleza en sus tres estados, líquido, sólido y gaseoso, formada por dos iones de hidrógeno un uno de oxígeno. Su fórmula química es  $H_2O$ . La mayor reserva de agua se encuentra en los océanos y barca el 97% que es salada y el 3% es agua dulce, distribuida en los casquetes polares (hielo) y otra parte en los ríos, arroyos, lagos (Lanly, 1996).

Con respecto al trabajo que se ha revisado hasta el momento, es de gratitud señalar que los autores han sido atinados con sus aportes a este proyecto de tesis, en cuanto al tratamiento de aguas residuales, pero con limitaciones en la parte de los costos. Pocos autores de los citados se han referido al aspecto económico de los sistemas, su viabilidad y bondades ambientales.

Más, sin embargo; la FAO, el PNUMA, CEPAL, Naciones Unidas, National Instruments, SiNC, Demede Engineering & Technology ofrecen informaciones importantes para trabajar la problemática del tema elegido, aunque es bueno enfatizar que los demás autores se refieren al método tradicional de tratamiento de aguas residuales y es parte importante comparar ambas tecnologías para dilucidar la mejor y más conveniente a países en desarrollo como lo es la República Dominicana.

**2.1.1. Propiedades físicas y químicas del agua.** El agua posee características físico-químicas de capital importancia para el medioambiente y los seres humanos.

El estado sólido de la misma es más liviano que el peso específico del agua en estado líquido, por estas circunstancias se queda encima del medio. En tiempos muy fríos se forman enormes superficies de hielo dando lugar a ecosistemas congelados, en donde solo podrían sobrevivir algunas especies (Duke, 1983).

El agua tiene propiedades disolventes, pues disuelve los nutrientes que los vegetales utilizan para su alimentación, además de disolver otras sustancias no importando la variación climática, lo que permite la vida y la estabilidad a muchos organismos. El agua es un ente regulador de temperatura para las plantas y los animales, además de que es puente para la liberación de toxinas presentes en los organismos de los seres vivos (Duke, 1983).

**2.1.2. El agua y los seres vivos.** El elemento de la naturaleza más indispensable en la humanidad. Su fórmula química es  $H_2O$  y tiene lugar en todas las funciones vitales. El cuerpo humano; ejemplo, posee un 87% de agua y muchos seres marinos están compuestos en un 94% de agua y ni una sola semilla es capaz de germinar si no posee agua en su interior. Esta interviene en todos los procesos vitales que van desde las células hasta los seres vivos e incluyendo las actividades que se desarrollan en la industria, la agricultura y todo lo que existe en la naturaleza. Nada sobrevive en el planeta sin agua (Duke, 1983).

Los bosques en todas sus formas, tanto tropicales como subtropicales, templados, etc. contribuyen grandemente con la humedad atmosférica, esta que a su vez se mantiene en los bosques resultan finalmente en precipitación, complementando el ciclo hidrológico (Duke, 1983).

Es obvio, que el mundo está en apuros, pues hay casos concretos de degradación ambiental, muerte de ganado vacuno, por ejemplo, en la República Dominicana, debido a la sequía y la falta de agua, lo que implica que habrá que realizar una valoración económica de los usos del recurso (Calatrava & Martínez, 2012).

Estudios indican que para el año 2050, habrá empeoramiento del comportamiento del clima, la temperatura, lluvias y aumento de plagas y enfermedades (Lau, Jarvis & Ramírez, 2013).

Se demanda de un sistema de riego competitivo para el campo agrícola, no tan solo a nivel local, sino a nivel mundial. El agua es el motor de toda vida en el planeta y por tal motivo, se deben desarrollar políticas ambiciosas para su conservación y protección (Pérez, Gómez & Del Villar, 2011).

Por otro lado, el agua de riego trae consigo graves implicaciones para las fuentes acuíferas, tales como son: las sales, fertilizantes y plaguicidas provenientes de las casas de cultivo (Cámara, 2015).

**2.1.3. El agua y la actividad humana.** El máspreciado líquido de la naturaleza es indispensable para toda forma de vida en la tierra, aunque se dispone de una cantidad reducida de agua al alcance humano (1%) y que de este el 0.25% está disponible para uso doméstico y para satisfacer las necesidades de la población, el líquido tiene un uso insostenible e irracional y distribuido desigualmente entre las naciones. Está siendo utilizado para car wash, la agricultura, la industria y todas aquellas actividades que la requieren. El pueblo no tiene el real conocimiento de que el agua es ya un recurso escaso y que podría transformarse o convertirse en agotable.

Se nota ya que en los últimos tiempos se han cuadruplicado las áreas agrícolas que requieren riego, las actividades industriales y mineras. Los ríos que son una fuente importante de agua están siendo contaminados inmisericordemente y los organismos nacionales e internacionales preocupados por la situación del agua, quienes realizan o invierten recursos económicos para promover su preservación, conservación y uso sostenible.

Estudio realizado muestran que el impacto que causa las actividades antropogénicas al recurso agua, especialmente en los ríos es de moderada a severa (Custodio & Pantoja, 2012).

**2.1.4. El agua y la agricultura.** La agricultura sin agua es simplemente imposible o muy difícil obtener buena producción, por lo que requiere este importante líquido para las funciones vitales de las plantas, como el caso de la fotosíntesis y el papel de los microorganismos vivos del suelo, así como la disolución de los nutrientes que los vegetales necesitan para su normal desarrollo.

Las lluvias no están distribuidas de manera uniforme en todas las regiones, o sea, depende del tipo de clima y esto para los cultivos podría resultar suficiente o excesiva, insuficiente o adecuada (Duke, 1983).

En agricultura, el ahorro del recurso agua es esencial, puesto que cada vez, este se hace más escaso. El cambio de tecnología de producción de campo abierto a invernadero es fundamental para economizar elpreciado líquido, ya que dicho ahorro es de hasta el 30% según FAO, 1991. Lo que implica, que la sociedad tendrá que adaptarse a las técnicas vigentes de producción (Salazar, Rojano & López, 2014).

**2.1.5. Contaminación del agua.** La contaminación es definida como la entrada de un elemento extraño a un determinado medio. Esta acción se produce al momento de que el medio recibe una cantidad desconsiderada de M.O. e inorgánica u otros elementos contaminantes, como son SST, coliformes totales, fecales, ortofosfatos, nitritos, entre otros; que, como resultado, se tendrán enfermedades gastrointestinales importantes en la humanidad. La mera presencia de material orgánico. en el agua implica que las bacterias deben trabajar, y para esto, necesitan oxígeno. Se entiende de que la no presencia de este elemento en el agua, los seres vivientes podrían morir (Duke, 1983).

El aumento poblacional a provocado una contaminación desenfrenada en los últimos años, que pone el peligro el recurso agua. Esta, hoy día se ve amenazada por el hombre, quien vierte desechos fecales, metales pesados y agentes patógenos en ella (Arcos, Ávila, Estupiñán & Gómez, 2005).

Es muy común además el vertimiento de aceites derivados del petróleo, lo que podría provocar la mineralización de estos por parte de los organismos microscópicos, agravando la situación del agua, que proceden de los hogares y la industrias. Un estudio realizado en la Universidad de los Hidalgos, en México recomendó que en este caso se realice una bioestimulación de los microorganismos que aumente el dióxido de carbono presente en el humedal (García, Sosa & Sánchez, 2007).

Uno de los elementos principales de la contaminación es el nitrógeno inorgánico en los medios acuíferos, provocado principalmente por la acidificación del agua en lagos y rios, eutroficación de aguas, tanto del mar como de las fuentes dulces y toxicidad en la vida acuática, resultando en inconvenientes para la salud de las personas (Camargo & Alonso, 2007)

La contaminación por Pb, Cd, Ni y Mn. presente en el agua residual proveniente de los humedales artificiales u otras fuentes, afectan a los campos agrícolas y pueden tornarse peligrosos para los cultivos y la salud humana. De aquí deriva la importancia de analizar el agua del efluente de las PTAR utilizada para riego (Méndez, González, Román, & Prieto, 2009).

El agua también cuenta con los contaminantes emergentes, los cuales no han sido considerado por las autoridades de las diferentes naciones ni por los ciudadanos y que pueden producir grandes complicaciones a la salud, entre ellos se pueden citar:

metabolitos y/o productos de degradación, plaguicidas polares, cloroalcanos, compuestos perfluorados, retardantes de llama bromados (BFRs), fármacos y productos de higiene, drogas de abuso (Bondía, 2014).

También existen las drogas de procedencia distinta y que es difícil de eliminar a través de las PTARs (Andrés, 2017).

En otro orden, existen métodos para medir la calidad del agua en los ríos (zonas de montaña tropicales), a través de bioindicadores, como es el caso de los macroinvertebrados. Obviamente, en medios contaminados las diferentes especies de estos se encontrarán reducidas (Roldán, 1999).

## **2.2. Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales.**

Las plantas de tratamiento de aguas residuales o las estaciones de depuración de aguas residuales son construcciones dedicadas a la eliminación de los agentes patógenos y contaminantes variados que afectan a estas y que por lo general suelen ser químicos o biológicos. Para ello, se utilizan técnicas, que pueden ser PTAR con el método convencional y/o las que utilizan los medios naturales para depurar el agua contaminada.

El agua pasa por varias etapas como son, tratamiento preliminar, primario, secundario, terciario y el de la eliminación total de microorganismos, a los fines de que el agua sea descontaminada casi completamente (Ayala & González, 2008; citado por Paricahua, 2018).

Según Barla (2006), el agua servida es aquella procedente de los hogares (doméstica) y la residual procede de las industrias. Estas aguas van acompañadas de numerosos agentes contaminantes, como partículas coloidales, nutrientes, microorganismos, sólidos en suspensión (De la O, López, Rodríguez, 2017).

Una Reutilización y Depuración de Aguas Residuales (EDAR) puede llegar a tener tres líneas de tratamiento:

1. Línea de aguas: Eliminación de la mayor cantidad de contaminante en el agua, mediante el tratamiento físico, químico y biológico para que el líquido salga lo más depurado posible.

2. Línea de fangos: Tratamiento de lodos procedentes de las aguas residuales a los fines de dar un destino final que contamine lo menos posible al medioambiente y que tenga una alternativa de uso en otras actividades.
3. Línea de gas: a partir de los lodos resultantes de la línea de fangos, se puede obtener un biogás rico en metano ( $\text{CH}_4$ ), susceptible de ser utilizado en la producción de calor y/o electricidad.

**2.2.1 Depuración de aguas residuales.** El tratamiento de las aguas residuales no es reciente. Se habla desde la época Antes de Cristo (A.C.) en Atenas, donde se utilizó aguas residuales para riego, luego en 1550 en Alemania y posteriormente en 1700 en Reino Unido, en donde ya para el año 1865 se habían realizados experimentos sobre microbiología de digestión de lodos (ver tabla 2).

En un principio, el tratamiento de aguas residuales se realizaba vertiéndola al suelo, pero esta práctica pronto hubo que reemplazarla, debido a que los volúmenes de agua eran muy grandes y los terrenos se anegaban, ya no soportaban más aguas (Rojas, 2002).

Luego de la epidemia del cólera a mitad del siglo XIX en Inglaterra, empezó a desarrollarse el sistema de alcantarillado sanitario, pero no alcanzó muchos éxitos, puesto que se le dio más importancia a evitar problemas con la industria y la agricultura que a los problemas de salud.

Con el objetivo de evitar todos estos inconvenientes se iniciaron nuevos sistemas de tratamiento para las aguas residuales, que consistieron en la gestión de lodos, precipitación química, utilización de arena, la filtración intermitente, aireación y ya para el 1912 el método de lodos activados. Estos sistemas están siendo utilizados en varios países, incluyendo los llamados desarrollados (Rojas, 2002).

**2.2.2 Organismos más importantes que intervienen en sistemas de tratamiento biológico.** Dentro de los organismos más importantes que toman acción en la descontaminación de las aguas negras dentro de los humedales artificiales subsuperficiales de flujo horizontal, vertical o sistemas de lagunaje son: las Bacterias, protozoos, hongos, algas, rotíferos y nemátodos. Su clasificación puede ser diversa. Desde el punto de vista de la depuración de aguas, clasificación de la cadena alimenticia es de gran importancia.

Los microorganismos utilizan para crecer: carbono, nutrientes inorgánicos, energía y poder reductor. Los microorganismos obtienen la energía y el poder de reducir las reacciones de oxidación del sustrato. Así, cuanto mayor es la DQO del sustrato, mayor es la energía y el poder reductor (electrones) que es capaz de suministrar un sustrato.

Ciertas oxidaciones del sustrato son dadas por reacciones, las cuales suministran electrones a los "Transportadores de electrones" convirtiendo las formas oxidadas (NAD, nicotinamín-adenín-dinucleótido) en las correspondientes formas reducidas (NADH<sub>2</sub>). Así se aportan electrones necesarios en el proceso de síntesis celular. Cuando los electrones suministrados en las reacciones de oxidación del sustrato pasan, por medio de la cadena de transporte de electrones, al receptor final de electrones, se genera una gran cantidad de energía en forma de ATP (adenosín-trifosfato) que es utilizada en las reacciones de biosíntesis (Torrecillas, 2018).

### **2.3. La Ingeniería Verde**

Referirse a los sistemas verdes o ecológicos que hoy se hacen sensibles a tantas personas y sobre todo en tratamiento de aguas residuales, por ser estas tecnologías económicas y factibles al medio, ideales para proyectos nuevos y zonas rurales.

Se entiende por ingeniería verde el diseño, comercialización y uso de procesos y productos, técnica y económicamente viables, a la vez que se minimiza la generación de contaminación en origen y el riesgo para la salud y el medio ambiente. Desarrollada como extensión del movimiento denominado química verde, se expresa en doce principios dirigidos a constituir un criterio utilizable como guía de buenas prácticas. (Químico, 2015, p.1)

La ingeniería verde es la esperanza de los pueblos ante la ola indiscriminada de descuido e irresponsabilidad, tanto de autoridades como de personas individuales frente a los problemas medioambientales que hoy están cambiando el rumbo del planeta. El desarrollo sostenible debe ser como la oración que todo ser humano tenga que meditar al amanecer de cada día. Las técnicas de la ingeniería verde vienen a proponer a la humanidad un código de buena conducta que todos deben cumplir. A continuación, podrán diluir el enunciado de los principios de la Ingeniería verde.

**2.3.1 Ingeniería ambiental.** El desarrollo sostenible cuenta de tres herramientas conocidas desde antaño, las cuales son: ambiente-economía-sociedad; sin embargo, en los últimos años se ha considerado agregar a esta lista la parte cultural. Los problemas más agobiantes e importantes que afecta la sostenibilidad son aquellos en los que la economía, básicamente requiere de recursos que envuelven elementos como el aire, agua, residuos sólidos, salud, química, alimentos, materiales, entre otros. La solución de estos inconvenientes requiere políticas integrales que mezclen la gobernanza con lo económico y lo tecnológico (Mihelcic & Zimmerman, 2011).

También se habla de Química verde. La educación basada en esta forma de trabajar en este siglo, que, sin lugar a duda, es la era de las tecnologías que vienen a transformar el mundo, pero de una manera sostenible, con técnicas verdes, en donde el impacto al medio ambiente es mínimo. Muchos llegan a pensar que se trata de una terminología de moda, que se emplea únicamente para llamar la atención del pueblo (Belén, Burguete & Santiago, 2013).

Existen diversas maneras en las que los hogares y las industrias pueden realizar acciones ambientalmente sostenibles, y esto, lo explica el concepto de producción más Limpia (PmL), en donde se aplican transformaciones y/o mejoras a los productos, procesos y servicios, de manera que estos disminuyan su impacto al medioambiente y a la salud de la población (Luque, et al., 2018).

**2.3.2. Los 12 principios de la Ingeniería Verde.** Como tales, los doce principios pueden tomarse como un “código de buenas prácticas” que, desde un simple profesional hasta una institución u organización pueden llevar a la práctica en su trabajo y ser aplicado a productos o procesos (Químico, 2015).

1. Ingenieros y estructuristas tendrán que rediseñar sus ideas a los fines de lograr que sus productos al llegar o salir de los procesos sean inofensivos; en la medida de lo posible, tanto al medioambiente como a los humanos.
2. La prevención es la mayor arma para evitar costes al final.
3. Llevar al mínimo el consumo de energía y de materiales.
4. El resultado final de la producción deberá ser eficiente en el uso de materia, energía y espacio.
5. Toda la producción tiene que estar sujeta a la demanda del producto.

6. Se debe fomentar el empleo de las 4Rs como una práctica económica que garantiza bienestar.
7. Se deben ingeniar productos durables no inmortales.
8. Hay que tratar de remediar la escasez y disminuir la extravagancia.
9. Disminuir la variedad de materiales o componentes de los procesos productivos.
10. Cerrar los ciclos de materia y energía del proceso tanto como sea posible.
11. Programar el diseño del producto cuando este termine su vida útil con el objetivo de volverlo a utilizar.
12. Las entradas de materia y energía deberán ser renovables (Químico, 2015).

*Algunas ventajas y desventajas de la Ingeniería Verde.* Dentro de las principales ventajas del sistema están:

- Sistema más económico financieramente que el convencional, con bajos costos de instalación y mantenimiento.
- Sistema 100% amigable con el medioambiente.
- Algunos micrófitos son aprovechados económicamente (en algunos países), también se pueden utilizar como forraje.
- Remoción considerable (hasta un 90%) de contaminantes del agua residual. especialmente DBO, DQO, SST, coliformes totales y coliformes fecales.
- Remoción de agentes infecciosos relativamente alta, superando otras tecnologías.
- En lagunaje se logra estabilizar la M.O. con muy buenos resultados.
- No necesita de materiales importados.
- Son efectivos en la descontaminación de aguas residuales con mucho contenido de M.O. procedentes del sector industrial.
- El gasto de energía eléctrica es cero (Martelo & Lara, 2012).

Los humedales, además de depurar agua, mejora la calidad ambiental, facilitan la creación y restauración de ecosistemas, el paisaje y contribuyen en la formación de áreas de amortiguamiento para crecidas de ríos y espacios de circulación vehicular (Arias, Carlos & Brix, 2003).

***Desventajas.***

- Poco espacio para la acumulación de material vegetal (macrofitas).
- Requiere área extensa de terreno, según el elemento dominante a remover.

- Hay que retirar las plantitas muy a menudo a los fines de facilitar el desarrollo de otras.
- Descuido en el mantenimiento del humedal puede acarrear grandes dificultades como el caso de un cierre de este.
- A pesar de la alta capacidad de remoción de contaminantes, especialmente en el caso de los coliformes, no logran eliminarlos hasta alcanzar el nivel permitido; al menos, por las normas ambientales.
- La colmatación o atascamiento suele suceder en cualquier descuido.
- Fuga alta de agua por evaporación (FWS), especialmente en los meses calurosos del año, por ejemplo (Romero, 1999).

## **2.4. Los Humedales Artificiales Como Tecnología de Depuración de Aguas Residuales**

Los profesionales y científicos han buscado diferentes alternativas a los métodos convencionales de manejo de aguas residuales, debido a su alto costo de construcción, que van desde la utilización de la energía solar, del viento, cinética, química acumulada en la biomasa y el suelo hasta sistemas naturales simples y eficientes como es la ingeniería verde o ecológica, ya que estos requieren la misma cantidad de energía por cada kilogramo de contaminante que las técnicas convencionales (Blázquez, 2016).

Entre los sistemas antes mencionados se destacan las lagunas de oxidación, humedales naturales y artificiales, los filtros verdes, entre otros. Todos estos son ecosistemas que juegan un papel importantísimo en la remoción de contaminantes en el agua residual, a través plantas macrofita que realizan la oxidación de la materia orgánica, procesos de decantación, a través de sus raíces que oxigenan el medio, cuya acción biológica y eficiente simbiosis permiten la eliminación de las cantidades excesivas de nutrientes esenciales, trazas de metales pesados y agentes patógenos presentes en las aguas residuales (Blázquez, 2016).

Hay experiencias de que el agua tratada ha sido utilizada sin inconvenientes en la agricultura y zonas verdes, lo que deja entender que no tan solo debe pensarse única y exclusivamente en su función depuradora, sino también en los beneficios que se obtienen al ser utilizadas en los campos agrícolas como son el agua para riego y los nutrientes para las plantas, aunque su uso es limitado en la República Dominicana.

No se niega que estas aguas son muy importantes para satisfacer las necesidades, tanto en la población como en la agricultura, pero el riesgo existe, si se utilizan totalmente crudas en cultivos que no requieren cocción (Silva, 2008).

Más, sin embargo, el fango procedente de las estaciones de depuración de aguas residuales de sistemas tradicionales (Plantas de tratamiento), son ricos en nutrientes, M.O. y son utilizables en los campos agrícolas; aunque, tanto estos como las aguas residuales deben apegarse a las normas ambientales de cada país para ser empleado en la agricultura, ya que contiene numerosos contaminantes (López, 2018).

Las PTAR son de capital importancia para ser desarrolladas en países en vías de desarrollo, esto se puede apreciar en lo que se expresa a continuación:

- Importancia de los humedales para descontaminación y detención de nutrientes.
- Sobre los sistemas naturales, se pueden observar en estos sus beneficios medioambientales, tanto por la aportación de vida salvaje, como por su belleza paisajística
- Bajos costos de inversión comparados con los sistemas convencionales.

Por esta razón, en los años 60 y 70 crece el interés por estos sistemas en Europa y Norte América (Blázquez, 2016).

Los humedales artificiales funcionan en condiciones anaerobias, facultativas y/o aerobias en donde el oxígeno llega desde la atmósfera, lo que representa ahorro de energía, por no requerirse aireación mecánica. Estos sistemas precisan de más terreno que los convencionales, debido a la lentitud de la degradación de la materia orgánica (TRH).

El tratamiento de aguas especiales domésticas implica la puesta en marcha de procesos ideales para descontaminarla, no olvidando las normas ambientales de cada país y así no causar daños al entorno; ya que, lo que se persigue es desaparecer los agentes infecciosos y utilizar esta agua de nuevo, ya sea en la agricultura como en otros oficios (Russell, 2012), citado por (Moreira & Macías, 2018).

En un estudio de tesis doctoral realizado en Murcia en el año 2018, las aguas especiales domésticas tratadas que fueron utilizadas en riego de cultivos de hortalizas, en el caso de las hojas de lechuga, solo presentaron un nivel bajo de ibuprofeno,

resultando poco peligro para el consumo. Lo que significa, que se puede aprovechar el agua de las estaciones depuradoras de agua residuales (González, 2018).

La vida de los humedales se prolonga a mucho más de cinco años, funcionando sin inconveniente alguno, con muy buena eficiencia en cuanto a remoción de contaminantes (Caballero, 2013).

**2.4.1. Aplicaciones de los humedales artificiales.** Los humedales artificiales tienen aplicaciones múltiples y son idóneos en zonas rurales y sin conexión a alcantarillado sanitario, excelentes para proyectos nuevos.

Estos tienen varias aplicaciones, más, sin embargo, la más importante es la de eliminar los contaminantes de las aguas residuales y así evitar la proliferación de numerosas enfermedades. Dicha acción se realiza con la remoción y/o reducción de la Demanda Bioquímica de Oxígeno,  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{NO}_2^-$  y el  $\text{PO}_4$  (Cooper et al., 1996) citado por (Delgadillo, Camacho, Pérez & Andrade, 2010).

Las PTAR son también empleadas para la lixiviación de sustancias provenientes del cultivo de flores producidas en contenedores y/o en campos agrícolas, como son nitritos y fosfatos (Narváez, Cáceres & Marfà, s.f.).

La figura 2, representa un sistema de depuración con macrofitas.

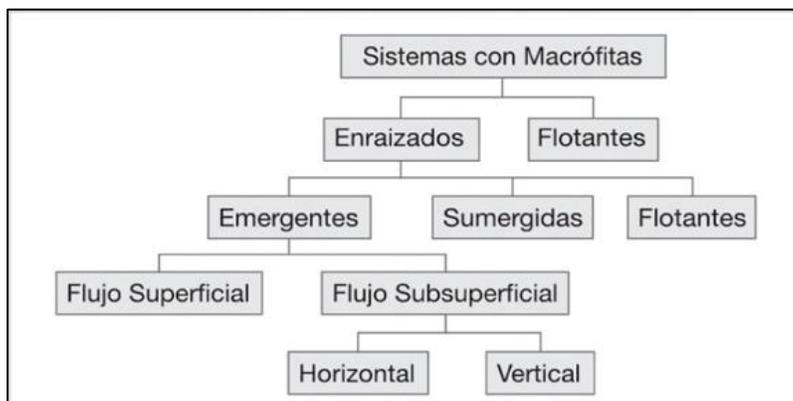


Figura 2. Esquema de clasificación de los sistemas de depuración con macrofitas, según tipo de planta (Delgadillo et al., 2010).

**2.4.1.1. Función depuradora de los humedales.** Está creciendo cada más la utilización de humedales para la depuración de aguas residuales en el mundo y muy especialmente en países de clima templado, cálido y semiáridos, así podríamos

mencionar, las costas del mediterráneo, Inglaterra, Estados Unidos y varios países de Europa, ya que las aguas residuales son un problema mundial, y sobre todo en aquellas áreas muy pobladas, agrícolas e industriales, las cuales generan grandes volúmenes de aguas contaminadas.

Los humedales, debido a su naturaleza tienen una función muy importante en la descontaminación del agua residual, ya que a través de las raíces de las plantas macrofitas proporcionan oxígeno al medio acuático, atrapando los contaminantes y degradando la materia orgánica presente con efectividad de remoción de la DBO<sub>5</sub>, DQO y SS que va desde un 87% a 90% (Pérez & Rojo, 2000).

Los humedales son capaces de remover colorantes provenientes de las aguas residuales industriales, como el caso del estudio que presentó la Revista Cubana de Química, en donde la eficiencia en la eliminación del azul de metileno superó el 80 por ciento (Domínguez, Pérez, Zorrilla, González & Pedrozo, 2019).

**2.4.2. Tipos de humedales artificiales.** Existen dos tipos de sistemas de humedales artificiales para el tratamiento de las aguas residuales: 1) Humedal artificial de flujo libre (FWS) y 2) Humedal de flujo subsuperficial (SFS), donde se puede encontrar los de flujo horizontal y flujo vertical o una combinación de ellos (Sofía, Zamora & Hernán, 2011).

**2.4.3. Microorganismos (biopelícula).** Se puede decir que muchas de las transformaciones de los nutrientes y del carbono orgánico dentro de los humedales son debidas al metabolismo microbiano y están relacionadas directamente con el crecimiento de los microorganismos que allí conviven. Estos incluyen, principalmente, bacterias, hongos, y protozoarios. La biomasa presente en el humedal se encuentra formando una biopelícula en los alrededores de las partículas del lecho (Mena, s.f.).

La reproducción bacteriana es por fisión binaria y el tiempo para que ocurra es desde 20 minutos hasta un día (Mecalf & Eddy, 2003). Debido al estado en que se encuentran los sustratos, condiciones ambientales y carga de nutrientes, por lo general, esta división no continúa permanentemente.

El proceso de crecimiento de las bacterias para un estado ininterrumpido, donde se habilita una concentración de bacterias para un humedal, es como sigue: Fase de latencia, crecimiento exponencial, fase estacionaria, fase de muerte o inactivación (Ferrer y Seco, 2007; citado por Riancho, 2018).

**2.4.4. Lagunas de estabilización u oxidación.** La laguna de oxidación es una excavación que se realiza sobre el suelo llano, en donde se deposita el agua contaminado procedente de los hogares y las industrias u otras fuentes, la cual va a ser tratada por organismos aeróbicos y anaeróbicos (bacterias, algas, hongos, etc.), a través de actividades de origen simbiótico (Febles & Hoogesteijn, 2010).

Las lagunas de oxidación que tienen como función estabilizar la materia orgánica y eliminar los agentes patógenos de las aguas contaminadas (bacterias y algas), por la descomposición biológica natural. La remoción de los parásitos y elementos contaminantes como sólidos suspendidos, DBO y DQO. Los tipos de lagunas son: lagunas de maduración, anaeróbicas y Facultativas (Mercado, 2013).

Por lo que, en un proceso de lagunaje se dan las siguientes reacciones: Oxidación de la M.O, nitrificación de las proteínas, así como, la reducción de M.O. por bacterias anaeróbicas y la eliminación de microorganismos infecciosos, dañinos por efecto del TRH (Massa, s.f.).

Se puede distinguir que, al inicio de esta tecnología expandirse de nuevo en algunas naciones por primera vez, la parte biológica sólo se utilizaba para eliminar la M.O. de las aguas especiales. Luego, se ha continuado utilizándola para la nitrificación, abolición del ( $\text{NO}_3^-$ ) del agua, a través de la desnitrificación o la eliminación del ( $\text{PO}_4$ ). Así pues, pasan los agentes o microorganismos utilizando el carbono para desarrollarse transformándolo en biomasa, ( $\text{CO}_2$ ) y otras sustancias inocuas (Ferrer, Seco, & Robles, 2018).

**2.4.5. Costos de construcción de lagunas de estabilización, PTAR con IV y PTAR convencional.** Los costos de las lagunas de estabilización son muy variados y muy relativos, no importa si posee tierra disponible o no. Además, se debe tener en cuenta el tipo de diseño, el tipo de laguna y las tasas de interés. También los costos de operación y mantenimiento varían de un lugar a otro, pero sí es de conocer que estas tecnologías son bastantes económicas frente a los sistemas convencionales de depuración de aguas residuales (Romero, 1999).

El costo de una PTR con ingeniería verde para una población de 300 habitantes es de aproximadamente USD\$45,000 (Checo, 2018).

En el caso de plantas convencionales de tratamiento de aguas residuales, el costo aproximado ronda los 10 millones de dólares para tratar  $3000 \text{ m}^3/\text{hora}$  de aguas

residuales, con una DBO de 2 200 kilos/hora. una planta que incluye proceso de lodos activos para eliminar hasta un 90% de carga orgánica evaluada como DBO. Incluye filtro de vacío e incineración de lodos, así como cloración del efluente total final (Ramalho, 2003).

**2.4.6. Lecho filtrante.** Es el área más fundamental del humedal. Es donde se realiza la descontaminación de las aguas especiales o contaminada por medio a las bacterias u organismos presentes. Esta zona es compuesta de piedra, grava, arena, material oxidado que sirven como soporte a la vegetación. La granulometría de estos materiales se debe tomar en cuenta para un correcto funcionamiento del humedal (Sarango & Sánchez, 2016).

Según un estudio realizado en la Universidad Laica Vicente Rocafuerte del Ecuador, sobre las propiedades de la Zeolita para la reducción de la DBO y DQO en aguas caseras, se obtuvo una eficiencia de remoción en DBO de 93.7% y de 95.54% en DQO, concluyéndose que es viable la utilización de este material como lecho filtrante, ya que su eficiencia sobre pasa el 80% (Cercado & Zande, 2019).

Es bueno señalar que el diseño del humedal debe considerar que el agua se mueva lentamente, haciendo efectivo el tiempo de residencia y posibilitando la entrada de oxígeno al sistema (Pérez, Enciso, Del Prado & Castañón, s.f.).

## **2.5. Fitodepuración de Aguas Residuales**

La fitodepuración de las aguas residuales, son las tecnologías ecológicas más utilizadas en los últimos tiempos. Estos son espacios de tierra con profundidad comprendidas entre 0.40 a 1.5 m., donde se introduce agua residual y se siembran plantas macrofita, pueden ser especies flotantes o no. El Jacinto de agua ha sido una especie muy estudiada por sus características depuradoras y su adaptación a climas tropicales y subtropicales, por ejemplo, San Francisco, EE.UU., Lebu y Chile (Metcalf & Eddy, 1995).

**2.5.1. Especies depuradoras de aguas residuales.** Las plantas utilizadas para la depuración realizan un trabajo importante, ya que oxigenan las raíces de las macrofitas, facilitando  $O_2$  a los agentes microscópicos que habitan en la zona radicular; también absorben  $NO_2$ ,  $PO_4$ ; remueven la polución del agua asumiéndola en su interior, y filtran los sólidos suspendidos o disueltos (Fernández, 2006).

Varias especies vegetales son utilizadas en la fitodepuración de aguas residuales, tales como son:

**2.5.1.1. *Pennisetum purpureum*.** Estas especies tienen su origen en África y son de hojas lineales, acintadas y de atractivas inflorescencias, así se pueden observar en diferentes tamaños y tonalidades según el tipo de planta (purpúreas, verdosas, rosa liliáceas), además son muy utilizadas en jardinería y paisajismo, borduras, alineaciones, etc. Pertenecen a la familia Poaceae y la subfamilia Panicoideae (Hermida & Galli, 2014).

La misma puede alcanzar unos 7.5 metros de altura, aunque lo más común es de 2-4.5 m (Heike, 2009).

**2.5.1.2. *Panicum maximun Jacq.*** Conocido como el pasto guinea. Los pastos en general ocupan alrededor del 30% de la superficie terrestre y juegan un papel interesante capturando el CO<sub>2</sub> atmosférico (Boval y Dixon 2012; Ramankutty, et al., 2008). Es una hierba perenne del tipo C4, que tiene su origen en África y es empleada en Brasil y todo Latinoamérica para alimento del ganado, por lo que es de gran importancia económica (Wedow, et al., 2019).

Esta planta (pasto guineo) se utiliza en humedales artificiales, aunque su porte de 3 metros de altura implica tener cuidado, ya que podría colmatar el lecho, el cual generalmente es de 0.60 m. de altura y la profundidad mayor a la que se construyen es 1.5 m, esto significa que se debe tener un programa de mantenimiento (poda) responsable.

Nombre científico: *Megathyrus maximus*

Clase: Liliopsida

Género: *Megathyrus*

Orden: Poales

Clasificación superior: *Panicum*

Categoría: Especie

En estudios realizados por Burka and Laurence, se obtuvieron resultados de rangos óptimos de profundidad para plantas acuáticas emergentes, estos resultados se muestran en la tabla 12.

Tabla 12

*Profundidad de enraizamiento para diferentes especies de plantas*

Plantas	Profundidad de la raíz dentro del agua.
Elcocharis ovata	5 cm
Juncus effusus y Scirpus microcarpus	5 - 15 cm
Iris pseudocorus	10 - 20 cm
Typha latifolia	15 - 60 cm
Sparganium spp	60 - 120 cm
Scirpus acutus	60 - 200 cm

*Nota.* Diferentes macrofitas y la profundidad de sus raíces (Burka and Laurence, citado por Márquez, 2009).

**2.5.1.3. *Lemna minor L.*** Es conocida como lenteja de agua y posee una gran capacidad fitodepuradora. Es también utilizada como forraje para el ganado y es bastante promisorio para la realización de estudios. Posee frutos pequeños con pocas semillas y su tamaño es diminuto de tan solo 2- 4 mm de largo y de ancho 2 mm. Es monoica de flores unisexuales. Es muy utilizada en la depuración de aguas residuales (Arroyave, 2004).

Un estudio realizado en la Universidad Popular del Cesar, Colombia sobre la evaluación del postratamiento de aguas residuales municipales mediante la utilización de macrofitas como las lentejas de agua (*Lemna minor*) en lagunas de estabilización, demostró que esta planta es eficaz para la descontaminación de las aguas especiales, muy especialmente de los nutrientes P y N (Sierra, Ramírez & Rodríguez, 2018 ).

Según (Soler, C. et al., 2018), en los humedales de flujo libre se debe utilizar menos cobertura de Lemna para obtener mejores resultados en la reducción de la DBO<sub>5</sub>, no importando la cantidad para el TRH y la DQO (Soler, Crespi, Soler, & Pugliese, 2018).

**2.5.1.4. *Eichhornia crassipes L.*** También conocida como jacinto de agua, la cual se utiliza en fitodepuración y es muy buena en la reducción del Cadmio y el mercurio en las aguas residuales o especiales. Se han realizado números estudios para determinar la calidad y las múltiples bondades de esta planta y en su mayoría autorizan la misma como óptima para ser empleadas en humedales artificiales (Llantoy & Negrón, 2014).

Un estudio importante fue realizado para determinar las Características Físicoquímicas del Agua Residual Tratada con Jacinto de Agua, en México. El uso de plantas para reducir la concentración o peligrosidad de contaminantes de diversos ambientes ha dado origen a una tecnología conocida como Fitorremediación y que esta se ha consolidado y diversificado en países desarrollados como Estados Unidos, Canadá y países europeos (Manzano, 2010).

**2.5.1.5. *Canna indica L.*** Es conocida como achira, achera, capacho, caña de India, flor del cangrejo, yerba del rosario, entre otros nombres) es una planta perenne que mide 3 m de altura y pertenece a la familia de las cannáceas. Sus flores son rojas y muy bellas, se utilizan bastante en arreglos florales. Tiene buena capacidad de remoción de nitrógeno y fósforo, lo cual es sustentado en un estudio realizado por Lihua Cui, Ying Ouyang, entre otros (Cui, et al., 2010).

**2.5.1.6. *Nymphoides humboldtiana.*** Es conocida como ninfoides sudamericana o lirio de agua. Es una planta perenne acuática de hasta 1 m de altura y 0.50 m de ancho. Es muy efectiva en la remoción de DBO y DQO (Ayala, Calderón, Rascón & Collazos, 2018).

Según Moore et al. (1995) muchas plantas acuáticas son capaces de retener metales pesados en sus raíces como son Hg, Cd, y de aquí depositarlos en el suelo, el agua y luego ser consumido por los peces y llegar al hombre o por el suelo y provocar fitotoxicidad de los cultivos, finalmente (Celis, Junod & Sandoval, 2005).

**2.5.1.7. *Heliconia psittacorum L. f.*** Esta planta es conocida como heliconia, flor de loro, pico de loro, plátano de loro y crece de 0.50 a 1.50 metros, flores color naranja, colorada o amarillas, fruto amarillo. inflorescencia de 8 a 10 cm de longitud. Es una gramínea muy utilizada en humedales artificiales (Universidad de Antioquía, 2008).

**2.5.1.8. *Plantas ornamentales.*** Se han utilizado plantas ornamentales a manera de estudios en humedales en México; por ejemplo, *Anthurium andreaeanum* (anturio); *Hemerocallis durmotieri* (lirio japonés); *Iris laevigata*, *pseudocarus* (lirio); *Lysichitum americanum*, *camtschaticense* (cuna de moisés), *Agapanthus umbellatus*, *africanus* (agapando), entre otros. Según expresó Anda Sánchez, et al., (2016), la reducción de la DQO, DBO es sobre el 70 por ciento, el PO<sub>4</sub> alrededor del 66 por ciento, los coliformes en el orden del 99 por ciento (México Patent No. 338619, 2016).

La planta ***Bambusa sp L.*** (*bambú*) junto a *Heliconia psittacorum L.* (como control) fue estudiada, con el objetivo de observar su comportamiento en la descontaminación de aguas especiales. Los resultados indicaron que la *Bambusa* alcanzó una eficiencia de eliminación de contaminantes de un 73 por ciento frente al *Heliconia* con un 79 por ciento. Por lo que la *Bambusa sp*, representa una alternativa para utilizarlas en humedales artificiales subsuperficiales (Carvajal, Ortiz & Vega, 2017).

**2.5.1.9. *Nimphaea alba L.*** *Nymphaea alba* pertenece a Nymphaeaceae (Nymphaeales). Al igual que *Amborella*, Nymphaeales (excluyendo Nelumbonaceae) no tienen vasos (Cronquist 1981; Takhtajan 1966). Son intermedia entre las plantas de floración monocotiledónea y dicotiledónea.

Esta planta es capaz de crecer en medios a diferentes niveles de concentraciones de cromo. Pertenece a las angiospermas. Es muy buena depuradora de aguas contaminadas. Es muy utilizada en humedales artificiales en muchos países (Goremykin, Hirsch, Wölfl & Hellwig, 2004).

**2.5.1.10. *Potamogeton gramineus L.*** Planta conocida como alga de hoja, alga de hierba y otros nombres. Se reproduce tanto sexual como vegetativamente a través de tubérculos que salen como rizomas. Se emplea en los humedales artificiales para la descontaminación de aguas superficiales. Es muy polimórfica, por su variación tanto en forma como en altura, según las condiciones climáticas de la zona. Es una planta que se puede encontrar en cualquier parte del mundo (Lansdown, 2014).

**2.5.1.11. *Littorella uniflora L.*** Crece en suelos pedregosos, arenosos y en agua con baja profundidad [lagos] (New England Wild Flower Society 2011-2015). Esta especie se encuentra en Europa, en el nordeste de Estados Unidos y en el este de Canadá (Maiz, 2016).

## **2.6. Plantas Utilizadas en Humedales de Jarabacoa, República Dominicana**

**2.6.1. *Vetiver (Vetiveria zizanioides L.)*** Nash. Según algunos estudios de campo que se han realizado el pasto vetiver produce mucha biomasa, debido a la longitud de sus raíces (> 100t /ha-1 año-1), además que es bastante resistente a las variaciones climáticas extremas (-15 ° -55 ° C), prospera bien en suelos alto en acidez y alcalinidad (pH 3.3-9.5), altas concentraciones de Aluminio (85% de porcentaje de saturación), Mn

(578 mg kg<sup>-1</sup>), salinidad del suelo (ECe 47.5 dS m<sup>-1</sup>), sodicidad (ESP 48%), y una gran variedad de metales pesados (As, Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb, Se y Zn).

Esta es una planta perenne de la familia poaceae y es aromática, de la cual se extraen aceites esenciales. Es muy conocida la India desde tiempos muy remotos (Lal, Pankhuri & Sarkar, 2018).

Este pasto puede acumular metales pesados, especialmente plomo (brote 0.4% y raíz 1%) y zinc (brote y raíz 1%). La planta de vetiver no resulta tan efectiva como otras plantas en acumulación de metales pesados, pero su alta capacidad de adaptarse a tantas condiciones adversas la hace una planta importante para fitodepuración en los humedales artificiales, además de que es considerada como una especie que tiene efectos antioxidantes, además que sus hojas son utilizadas para techos de casas campestres (Danh & Foster, 2009).

El Vetiver es planta muy eficiente en la remoción de contaminantes. Estudios realizados para medir su comportamiento en humedales subsuperficiales muestran, que la reducción del material orgánico, así como los coliformes, aceites, grasas y la turbidez figuran por encima del 88%, a excepción del material inorgánico que resultó superior al 70 por ciento (Purihuamán & Rojas, 2018).

La planta es muy utilizada como biorremediador en los casos de suelos contaminados por petróleo y sus derivados, corrigiendo de manera muy efectiva el área afectada (Rajaei & Mahdi, 2018).

**2.6.2. Enea (*Typha latifoliada* L.).** Es conocida como enea o anea común y espadaña, es una planta perenne que se utiliza bastante en climas fríos, en zonas tropicales y subtropicales. La Typha es buena en la remoción nitrógeno y fósforo. Su tamaño es de 1.5 a 3 m, cuando el tallo llega a la madurez.

La planta es excelente para emplearla como biorremediador en zonas contaminadas con derrames de aceites y/o sustancias tóxicas. Un estudio realizado en Rusia y publicado en enero del año 2019, para determinar el potencial de adaptación de la Typha a condiciones extremas prolongadas de contaminación, reflejó que la planta se adapta muy bien a este tipo de ambiente (Maleva, Borisova, Shiryayev, Kumar & Morozova, 2019).

Vimazal (2011) expresa que esta planta posee una gran capacidad para soportar grandes cantidades de nutrientes en el medio, por lo que es utilizada ampliamente en la construcción de humedales artificiales subsuperficiales (Marín, 2016).

Estudios anteriores sugieren que los miembros de la microbiota que forman biofilm desempeñan un papel crucial en el proceso de fitodepuración. Sin embargo, la composición y la señal de reclutamiento de los Phragmites y Typha microbiota siguen siendo poco conocidos (Pietrangelo, Bucci, Maiuro, Bulgarelli & Naclerio, 2018).

**2.6.3. Papiro (*Cyperus papyrus* L.).** Planta nativa de los humedales de África y bien conocida en el mundo entero, ya que el hombre se encargó de propagarla. Desde tiempos muy remotos esta se ha utilizado para hacer papel (Allen, 1996; Verloove, 2014; Kipkemboi & van Dam, 2016, Beentje, 2017), citado por (Carballeira, Souto & Souto, 2018).

El Papiro es muy utilizado en los humedales de Jarabacoa, por ser una planta acuática, fuerte y que puede crecer hasta los 4 metros de altura. La planta posee numerosos tallos filiformes y de grandes vainas con espiguillas de hasta 16 flores (Duke, 1983).

La especie es un sedimento de fotosíntesis tipo C4 emergente propio de plantas acuáticas. Forma ramificaciones que se nadan en el agua, la parte vegetativa es en forma de umbela con gran cantidad de ramas cilíndricas y brácteas que dan lugar al proceso de fotosíntesis, cuando sus hojas verdaderas no están presentes (Jones, Kansime, & Saunders, 2016).

Esta planta soporta temperaturas entre 10-25 grados Celsius, pH de 6 a 8.5, tiene una eficiencia en la reducción de contaminantes de: DQO 72%, DBO 91%, SST 73%, posee capacidad para remover metales pesados, entre otros. Sus raíces llegan hasta una profundidad de 0.2 a 0.4m, además de que no es atacada por plagas (Torres et al., 2007), citado por (Granados, 2018).

**2.6.4. El Pachulí (*Pogostemon cablin* Benth).** El Pachulí de la familia Lamiaceae, que le llaman mint o menta y crece como una hierba, es muy utilizada para remedios caseros, fragancias y extracto de aceites esenciales. Esta puede crecer hasta los 0.75 metros de altura, es originaria de Asia y se cultiva extensamente en China, India, indonesia y varios países de América del Sur y El Caribe. Se cultiva en la escala comercial, pero aún no se conocen estudios sobre este aspecto.

La planta crece en diferentes ambientes (Ribeiro, et al., 2018).

El pachulí, es utilizado para la extracción de aceites esenciales en medicina, principalmente de sus hojas. Varios estudios se han realizado al respecto, incluyendo caracterizaciones, biosíntesis, entre otras (Qing, et al., 2019).

Es una hierba aromática altamente demandada por sus propiedades terapéuticas, además de ser consumida como alimento y en la industria cosmética (Parganiha, Patel, Paikra & Sahu, 2018).

**2.6.5. Junco (*Scirpus holoschoenus* L.).** El junco o junco de churrero, (*Scirpus holoschoenus* o *Scirpoides holoschoenus* L. Soják), sus raíces pueden alcanzar de 0.60 a 2.0 metros de profundidad, lo que la hace ideal para humedales artificiales subsuperficiales, ya que no asfixian el lecho.

En Jarabacoa se emplea en casi todos los humedales construidos. Almacena en su interior el Arsenio (Huamán, 2018).

Esta hierba por lo general florece en mayo, con fruto en forma de aquenio, pardo y se pueden encontrar fácilmente en zonas de humedales o en terrenos secos (Devesa, Martínez, Abad & De la Estrella, 2018).

## **2.7. Diseño de Humedales Artificiales de Flujo Subsuperficial Vertical**

Se han realizado aportes metodológicos de los trabajos desarrollados por la WEF del año 2000 y otros comparativos para humedales en la guía de la US. EPA, 2000 (United States Environmental Protection Agency, 2000).

Los sistemas de tratamiento de aguas residuales artificiales y de flujo subsuperficial vertical no son utilizados hasta el momento en el Municipio de Jarabacoa, República Dominicana; más, sin embargo, hay muy buenos resultados obtenidos. En este tipo de construcción el humedal es alimentado a través de tubos que van colocados encima del mismo a una altura alrededor de los 0.50 m, de donde el agua cae al humedal, provocando la aireación (O<sub>2</sub>). Esto permite variar los intervalos, la composición de la planicie y los resultados que se han logrado han sido muy satisfactorios y convincentes (Espinosa, 2014).

Este tipo de humedal se establece en suelos arcillosos. La altura del sustrato podría ser de 0.5 - 1.0 metro. El agua debe estar entre 0.30 - 0.90 metro, de acuerdo con García y Corzo (2008) o de 0.40 - 0.60 metro como expresa CEDEX (2010), citado por (Aguilar, 2019).

En cuanto a la estabilidad del sistema frente a la diferencia de cargas de contaminantes orgánicos que recibe y/o la biomasa variada que entra al humedal, se ha podido estudiar que, dicho sistema es beneficiado por esta condición y que la eficiencia de remoción de

DQO supera el 96% con un contenido de metano de 73 por ciento, lo que quiere decir que el sistema tiene una gran capacidad para recuperarse (Moya, Trapote & Prats, 2019).

**2.7.1. Flujo vertical y sistemas combinados.** Estos sistemas, también llamados filtros verdes, son humedales que reciben el agua residual a través de un tubo perforado por el cual corre el agua y cae encima del sustrato en forma de lluvia, pasando al material inerte (arena y grava), para ser recogida horizontalmente a la salida o efluente del humedal. La profundidad del medio granular es de 0.5 a 0.80 metros y operan con plantas macrofitas sembradas encima.

Trabajan con carga más o menos de 20 a 40 g DBO/m<sup>2</sup> d, resultando un efluente de mayor oxigenación y sin olores desagradables al medioambiente y a los seres humanos. La tecnología desarrollada y utilizada en los humedales tienen mucho que ver con la Dra. Seidel, quien plasmó sus ideas innovadoras. Actualmente estos están siendo implementados en varios lugares de Europa.

Estos sistemas consisten en dos etapas que son celdas de flujo vertical en serie seguidos de celdas horizontales, lo que permite obtener mejores resultados en el efluente. Los grupos de celdas son colocadas en paralelo en el caso de flujo vertical.

En los sistemas verticales el líquido contaminado permanece por dos días y luego las celdas permanecen secas por un periodo de cuatro a ocho días (Reed et al, 1995); citado por (Silva, s.f.).

Una de las mayores ventajas de los sistemas verticales es la recuperación aeróbica en los momentos de sequía, lo que lo hace ser su mayor virtud, respecto a los de flujo horizontal y de aquí la conclusión de que los mismos requieren menor cantidad de terreno que los horizontales (Reed et al, 1995); citado por (Silva, s.f.).

Es importante destacar, además, que los sistemas verticales tienen una mayor capacidad de tratamiento que los horizontales y que son más susceptibles a la colmatación (Estrada, 2010); citado por (Espinosa, 2014).

Con la finalidad de provocar la aireación del medio poroso se construyen chimeneas, las cuales son tuberías perforadas con salida al exterior. Las capas del medio van superpuestas de menor a mayor, es decir, arena fina, luego la grava hasta colocar las más gruesas en el fondo (Delgadillo, Camacho, Pérez, Andrade); citado por (Espinosa, 2014).

### **2.7.2. Humedales artificiales subsuperficiales de flujo horizontal.**

Estos consisten en ecosistemas hidrológicos, complejos y especiales, construido por el hombre utilizando plantas macrofitas (vegetación sumergida/ emergente) y material inerte, en presencia de microorganismos aeróbicos y anaeróbicos, en donde se dan diferentes interacciones físico, químicos, bioquímicos, biológicos y que simula un humedal natural. Por lo que, se consideran los ecosistemas más importantes del planeta (los subsuperficiales), tipo wetlands, con vida animal acuática operados por seres humanos (Peña, Ginneken, Madera, 2004).

El humedal se diseña para eliminar grandes cantidades de sólidos, el cual es procesado de forma anaeróbica por los agentes microscópicos que utilizan la M.O. para alimentarse y así obtiene la descomposición de esta. Estos tipos de humedales están contruidos por una capa impermeable compuesta de tierra, arena, grava, vegetación emergente (macrofita), etc. por donde circula el agua, poniéndose en contacto con las raíces de las plantas y el manto rocoso, dando lugar a la remoción de contaminantes y la degradación del material orgánico (Juárez & González, 2018).

Para evitar taponamiento dentro del humedal, este deber ser suficientemente amplio y poco profundo, esto permite una mejor distribución del agua dentro del lecho, además que el nivel del agua se debe mantener de 5-15 cm.

Es muy importante utilizar material impermeable (geotextil o arcilla) así se elimina la posibilidad de percolación. Se recomienda materiales finos, del mismo tamaño, luego se realiza un relleno a una profundidad que podría ir entre 0.60 hasta 1.0 m. (Alianza por El Agua, s.f.).

El O<sub>2</sub> disuelto aporta grandemente a la eficiencia para remover NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, ya que si escasea el O<sub>2</sub> fuerza a los agentes microscópicos a acelerar los procesos de nitrificación (Batista, Carreño, Gaitán, Núñez & Vallester, 2018).

En la tabla 13, se presenta diferentes ecuaciones, según varios autores para la eliminación de la DBO en humedales subsuperficiales.

Tabla 13

Ecuaciones para el diseño de humedales artificiales de flujo subsuperficial, con base en remoción de DBO <sup>(21,22,23,24,25)</sup>

Autor/Referencia	Remoción BDO
Reed <sup>(21)</sup>	$As \frac{QLn \left( \frac{C_o}{C_e} \right)}{K_T(h)(n)}$
Kadlec <sup>(22)</sup>	$As \frac{Q}{K_A} Ln \left( \frac{C_o - C}{C_e - C} \right)$
EPA, 1988 <sup>(23)</sup>	$As \frac{QLn \frac{C_o}{C_e}}{K_T(h)(n)}$ $A_t \frac{Q}{K_s * S}; (Ley de Darcy)$ $a \frac{A_t}{h}; l = \frac{A_s}{a}$ $t = \frac{V_v}{Q} = \frac{l * a * h}{Q}$
Romero <sup>(24)</sup>	$C_e = C_o * e^{(-KR*t)}$ $As = \frac{V}{y}; V = Q * t$ $A_t = \frac{Q}{K_s * S}; (Ley de Darcy)$ $a = \frac{A_t}{y}; l = \frac{A_s}{a}$
RAS 2000 <sup>(25)</sup>	$As \frac{Q \cdot (LnC_o - LnC_e)}{(K_T \cdot h \cdot n)}$ $A_s \leq 0,032 \text{ m}^2 / \left( \frac{L}{d} \right)$ $A_t = \frac{Q}{K_s * S}; (Ley de Darcy)$

Nota. Diferentes ecuaciones para la remoción de DBO (Espinosa, 2014).

Tabla 14

*Material y profundidad del lecho filtrante usados en humedales de flujo subsuperficial vertical*

Autor	Profundidad de capas	Profundidad total lecho filtrante (m)
Rodríguez, Jácome, Suárez, Molina. 2013.	Arena gruesa 20cm+ 10cm+Grava media 40 cm+Grava gruesa 10cm Turba	0,8
Oscar Delgadillo Alan Camacho, Luis F. Pérez, Mauricio Andrade.	0.3 m Arena fina+0.2 m grava fina+0.3 m grava	0.8
Camilo Eduardo Espinosa Ortiz. 2014	Arena gruesa	0.6
Juan Pablo Silva V.	capa superior de suelo de 0,3 m + capa filtrante superior con un espesor de 0,4 m + una capa filtrante intermedia con un espesor de 0,7 y + la capa filtrante más baja con un espesor de 0,4 m	1.8
Elisabeth Von Münch. 2009	30 cm con grava fina, capa de transición de 30 cm+ 20 capa de drenaje	0.8
Diego Alejandro García, Diana Carolina Leal.	-----	0.8
García 2010; Pereira	80cm Grava (10mm)	0,8
Paredes, 2014; Pereira	75cm Arena(2mm)	0.75
Platzer. et al 2007; Palhoca, Brasil	80cm Arena (0,3- 1,7mm);+ 20cm Grava (10- 20)	1
Bohorquez, 2015; Pereira	80 cm arena (d <sub>10</sub> =0,34mm, d <sub>60</sub> =0,9mm); 10 cm de grava gruesa en fondo	0.90
Bohorquez, 2015; Pereira	80 cm grava (d <sub>10</sub> =5mm, d <sub>60</sub> =12mm); 10 cm de grava gruesa en fondo	0.90
González, 2014; Pereira	grava media y grava gruesa	0.80

*Nota.* Diferentes autores opinan sobre el tipo de material filtrante y la profundidad del humedal (Moncada, 2016).

**2.7.3. Proceso de construcción de humedales artificiales subsuperficiales.** El proceso constructivo de los humedales artificiales subsuperficiales podría seguir el siguiente orden:

1. Localización del terreno y replanteo.
2. Excavación del terreno.

3. Instalación de tuberías (PVC).
4. Construcción de registros (sépticos y cámara de registro).
5. Impermeabilización (Geomembrana).
6. Relleno (sustrato: piedra, arena, grava, gransote, material oxidado, etc.).
7. Siembra de la vegetación (diferentes plantas como typha, ciperus, vetiveria, etc.).
8. Programa de mantenimiento del humedal (Gómez & García, 2018).

Impermeabilización: esta es utilizada en los humedales artificiales subsuperficiales, tanto en tierra arcillosa, como con geomembrana. Un estudio fue realizado en Bogotá, Colombia, para determinar la incidencia del uso de geomembrana en los odonatos, donde se compararon tres PTARs. El estudio indicó que hay diferencia entre los tratamientos. Presentaron mayor población de odonatos los humedales sin geomembrana (Cuéllar, et al., 2016).

Cuando el suelo posee una CE menor de  $10^{-6}$  cm/s con una buena compactación basta, o si no, se podría optar por trabajar una capa de arcilla de 30 cm máximo, escalonada de 3 a 5 a 7 a hasta llegar a la altura mencionada anteriormente. De no preferir esta manera, se tiene la opción por una geomembrana (bentonita, asfalto). Se recomienda realizar el menor número posible de soldaduras en su colocación, ya que podría ocasionar problemas de filtración. Es importante colocarla lo más recta posible, y evitar la corrugación. Para su colocación en el suelo, se excava un metro y se cubre el talud haciendo una zanja alrededor de este por 0.30 x 0.30m para fijarla (Bayas, 2018).

**2.7.4. Tratamiento preliminar de aguas residuales a través de humedales artificiales.** En los sistemas FWS y SFS, se utiliza tratamiento preliminar. Estos pueden ser: lagunas de oxidación, tanques sépticos, tanques Imhoff, tratamiento preliminar convencional u otros tipos de tratamientos parecidos.

El objetivo del tratamiento preliminar es reducir los sólidos totales en el agua residual, y todo material de tamaño considerable que pueda producir inconvenientes (atascamiento) para que el lecho funcione correctamente. Así como corregir los malos olores que puedan aparecer en el lugar (Márquez, 2009).

**2.7.4.1 Tratamiento primario.** A través de este tratamiento, se corrigen más del 50% de los sólidos suspendidos, debido al asentamiento físico que se produce, yéndose

las diferentes partículas hacia el fondo del tanque. Generalmente, se adiciona sustancias químicas a los fines de eliminar en un 90% los sólidos coloidales y suspendidos. Ya aquí, la parte biológica de tratamiento no cobra mucha importancia, pero sí, se obtendrá un líquido con reducidos elementos contaminantes, lo que se convierte en una mejor eficiencia por parte del humedal, al contener menos material orgánico e inorgánico (DBO y DQO).

Existen diferentes diseños para llevar a cabo el tratamiento preliminar y que se concentran en cuatro grupos:

- Tanques sépticos.
- Tanques Imhoff.
- Tanques de sedimentación simple con eliminación mecánica de los lodos.
- Clasificadores de flujo ascendente con eliminación mecánica de los lodos.

También se usa el tratamiento primario después que el agua sale del humedal a la parte exterior, o sea, no tan solo se realiza antes de su entrada al humedal (Valter, 1989).

**2.7.4.2. Operación tanque tipo Imhoff.** Los tanques imhoff se denominan así en nombre del ingeniero alemán especialista en aguas residuales Karl Imhoff (1876 – 1965). Este tratamiento posee ventajas para la reducción de sólidos en aguas residuales domésticas. El tanque tiene como finalidad sedimentar la materia y digerirla en el tanque, por eso su diseño trae doble cámara.

Su operación es simple y carece de parte mecánica alguna, el mismo se aplica a comunidades no mayores de 5 000 habitantes. Es importante que el agua que entre al sistema haya pasado por un filtro, a los fines de evitar materiales indeseables que afecte su funcionamiento.

La cámara imhoff más empleada es la rectangular, sin embargo, muchas personas prefieren construir la forma circular. Esta cuenta con tres partes, que son:

- Espacio para tratar lodos.
- Espacio para la sedimentación.
- Espacio para ventilar y acumular nata.

Estas cámaras deben ser colocadas lejos de los hogares, ya que los trabajos concernientes al lodo desprenden malos olores.

**2.7.4.3. Operación y mantenimiento de un tanque imhoff.** La operación es simplemente fácil y sencilla, consiste en revisar el nivel de nata y minimizarla con medios mecánicos o agua. También se revisa el estado en que se encuentra el lodo, al menos mensualmente, y si este alcanzó el nivel establecido, debe retirarlo y colocarlo en un área para darle otros usos, como, por ejemplo, fertilizantes orgánicos para jardines o la agricultura.

Ventajas:

- Sin consumo energético
- Poco mantenimiento
- No requiere personal especializado

Algo importante a conocer, es que estas cámaras digieren los lodos, por lo que se prestan muy bien para las plantas que no tienen deposición para este material. Los gases producidos por la digestión de lodos no se pueden recuperar, por lo que no se recomienda utilizar estos gases como energía (González, 2016).

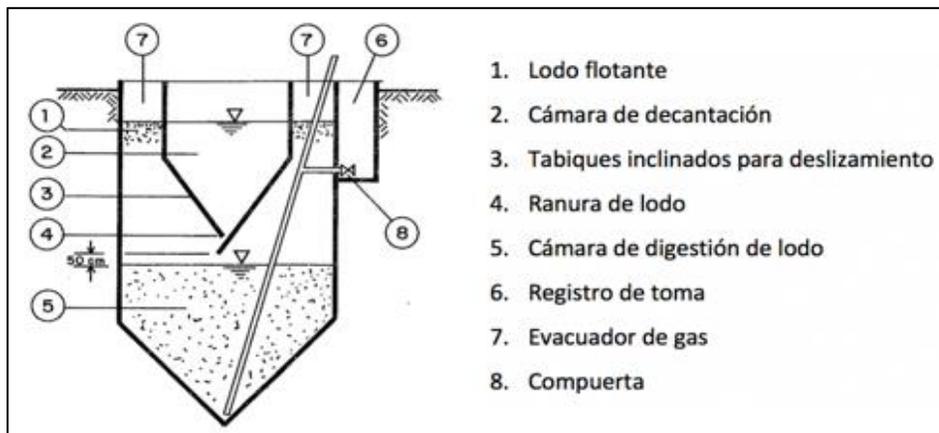


Figura 3. Tanque Imhoff, según Stier (Valter, 1989).

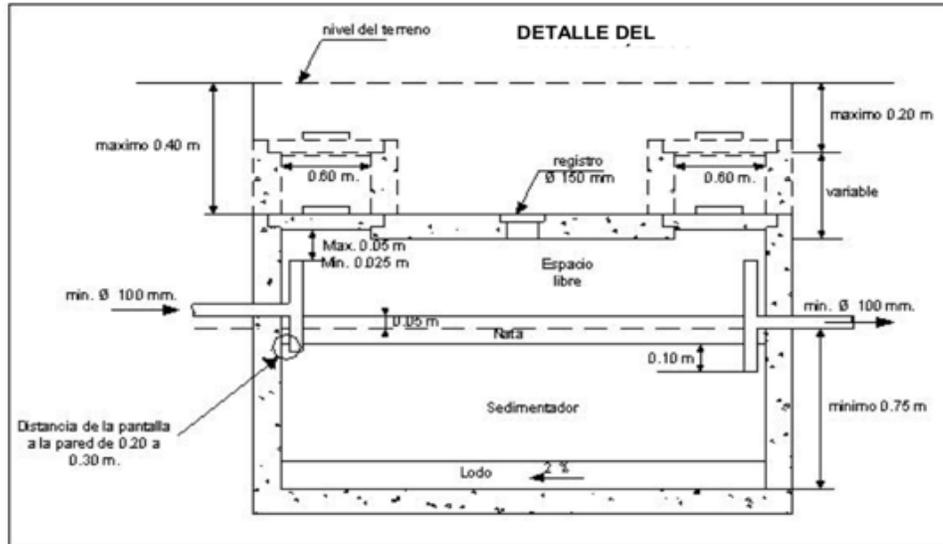


Figura 4. Tanque séptico cuadrado de dos compartimientos (OPS/CEPIS/05.163 UNATSABAR, 2005).

En la siguiente figura (5), se puede observar el esquema de tratamiento de un humedal artificial de flujo vertical y horizontal.

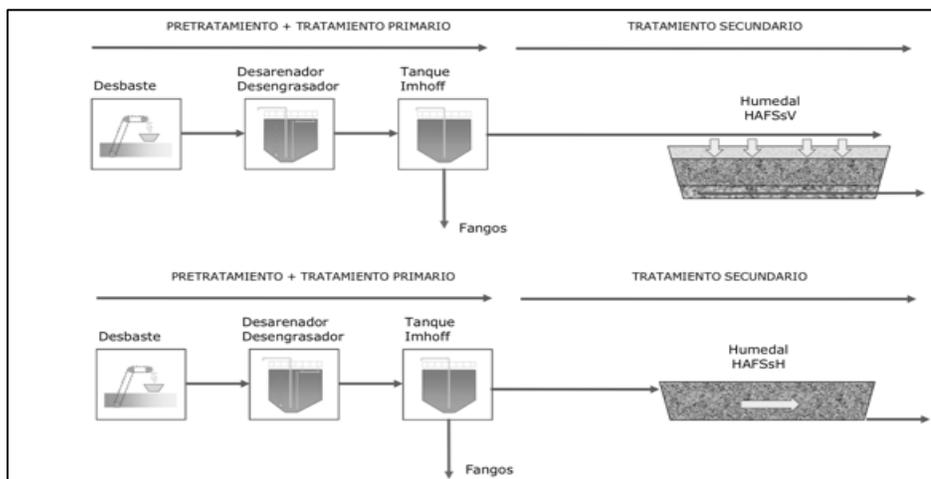


Figura 5. Operaciones unitarias tratamiento extensivo en humedales de flujo vertical (EPSAR, 2017).

Como se puede verificar en la tabla 15, los humedales artificiales subsuperficiales son más efectivos de la remoción de sólidos suspendidos, material orgánico e inorgánico. Se puede apreciar la eficiencia o rendimiento promedio en la reducción de contaminantes.

Tabla 15

*Material y profundidad del lecho filtrante usados en humedales de flujo subsuperficial vertical*

Parámetro	% Reducción	Efluente (mg/l)		% Reducción	Efluente (mg/l)
		Verticales	Horizontales		
	Sólidos en suspensión	90-95	13-25	90-95	13-25
DBO <sub>5</sub>	90-95	15-25	85-90	15-30	
DQO	80-90	60-120	80-90	60-120	
N-NH <sub>4+</sub> (mg N/l)	60-70	9-12	20-25	22-24	
N <sub>total</sub> (mg N/l)	60-70	15-20	20-30	35-40	
P <sub>total</sub> (mg P/l)	20-30	7-8	20-30	7-8	
Coliformes fecales (UFC/100 ml)	1-2 u log	10 <sup>5</sup> -10 <sup>6</sup>	1-2 u log	10 <sup>5</sup> -10 <sup>6</sup>	

Nota. CENTA, citado por EPSAR, 2017.

## 2.8. Operación, Mantenimiento y Control de Humedales Artificiales

### FSS

La operación y el mantenimiento son aspectos de suma importancia a tratar por los ingenieros y técnicos que desarrollarán el proyecto de tratamiento de aguas residuales, pues se trata de lograr buenos resultados para honra del sistema, para esto es necesario contar con un planificado y serio programa, ya que de este depende el éxito del lecho completo, el cual consiste en:

- Diseñar bien, para que las raíces de las macrofitas hagan contacto con el medio.
- Provocar la permanencia de ambiente acogedor para los organismos presentes en el agua y que son los responsables de la depuración.
- Tratar de que el agua permee el humedal completo.
- Chequear frecuentemente en la entrada y salida del humedal y corregir posible taponamiento.
- Llevar un programa de poda serio, a los fines de obtener buenas plantas dentro del humedal.

Puntos más importantes para tener presente en un humedal artificial de flujo subsuperficial:

- Las analíticas. La frecuente lectura de los análisis debe hacerse, tanto en la entrada como a la salida, ya que esta es la señal más confiable de correcto funcionamiento del humedal. Se deben analizar la DQO, DBO, los SS y si resultan con incongruencias, es un indicio de alarma del mal funcionamiento del sistema.
- Los sistemas de distribución. Es aconsejable realizar una limpieza, tanto a la entrada como a la salida del humedal, ya que de una buena distribución del flujo dentro del humedal depende la efectividad de este.
- No se debe permitir la presencia de animales ni de aves que se alimenten de las macrofitas.
- Las plantas del humedal. Es de mucha importancia prestar atención al estado en que se encuentran las plantas, de esta manera y en caso de incidencias de plagas, se actúe con anterioridad.
- El sustrato. Este es el elemento más importante del lecho, por lo tanto, no se debe compactar y es conveniente evitar las pisadas dentro del mismo, por lo que es necesario tener a mano herramientas extensibles para el trabajo que se vaya a realizar en el humedal (Nuevo, 2016).

Por otro lado, el humedal requiere de trabajos de mantenimiento como la recolección periódica de hojarascas, varas, etc., que se deben realizar en las diferentes épocas del año, cada 15 días en verano, semanalmente en otoño y mensualmente en invierno, que de no hacerse podría provocar atascamiento.

**2.8.1. Densidad de siembra de las macrofitas.** La densidad de siembra dependerá de la especie, para la Enea/anea/tule/espadaña/cola de gato (*Typha spp.*) es de 10-12 plantas por m<sup>2</sup>, el Junco (*Scirpus holoschoenus* L.) de 8-10 plantas/m<sup>2</sup>, Carrizos (*Phragmites spp.*) de 8-10 plantas/m<sup>2</sup>. No es aconsejable la sobrepoblación de plantas en el humedal, ya que puede tapar los poros entre las piedras y producirse un estrés en el medio poroso de este (Rojas, Sánchez, González, Bernal & Durán, 2013).

En el caso del vetiver (*Vetiveria zizanioides* L.), se debe manejar con cuidado, ya que sus raíces son muy largas (hasta más de 5 metros), por lo que tienen la capacidad de

colmatar el humedal. En cuanto a la temperatura, esta juega un papel de suma importancia al momento de diseñar un humedal, pues se deben cuidar bien a los responsables de la remoción de  $DBO_5$ , DQO, los microorganismos (fauna y microfauna) son muy sensibles y son afectados fuertemente por este factor.

**2.8.2. Control de olores, emisiones.** Los humedales deben ser diseñados con al menos siete niveles de tratamiento, que van desde el tratamiento preliminar, primario, primario avanzado, secundario, secundario con remoción de contaminantes, terciario y el avanzado; así podrán controlar los malos olores y las emisiones producidas, principalmente de sulfato de hidrógeno en las plantas de tratamiento (Tchonaboglous, Burton & Stensel, s.f.).

Algunos autores consideran que la generación de malos olores e insectos como el mosquito no es posible en estos sistemas. Aseguran que las enfermedades como dengue, chikungunya, entre otras; se deben al Cambio Climático, ya que en los humedales artificiales subsuperficiales el agua no queda a la intemperie (Carvajal, Zapattini & Quintero, 2018).

**2.8.3. Consideraciones ambientales y de salud pública.** El objetivo mayor del tratamiento de aguas residuales es la protección a la salud humana y del medioambiente. Pues, le concierne a los ingenieros, investigadores y proyectistas dar fiel cumplimiento al diseño de cualquier humedal.

Así mismo, se debe alertar al operario responsable del mantenimiento de la construcción para que este trabaje con mucho cuidado de no contaminarse y de no permitir la entrada del público al lugar. En cuanto al efluente, su control es más complicado puesto que los coliformes totales presentes en el agua puede contaminar fácilmente, tanto a los seres humanos como al medioambiente (Lara, 1999).

Tabla 16

*Crterios de diseño de humedales*

Crterio	Indicador
Crterios tcnicos:	- Tratamiento adecuado, lo que se manifiesta a la salida del humedal (calidad)
	- Carga contaminante equivalente influente
	- Superficie disponible
	- Disponibilidad de recursos energticos.
	- Fuente del agua residual (domstica/urbana/industrial)
	- Variaciones de caudal y/o carga contaminante
	- Meteorologfa
	- Gestin del fango generado
	- Complejidad explotacin
	Crterios ambientales
- Generacin de residuos	
- Integracin paisajstica	
Crterios econmicos	- Costes de inversin
	- Costes de explotacin

*Nota.* Diferentes diseos utilizados en construccin de humedales (EPSAR, 2017).

**2.8.4. El nitrgeno en el humedal.** Generalmente, la asimilacin de nitrgeno (N) por parte de las macrofitas no se toma en cuenta normalmente en el diseo de humedales artificiales, ya que en los mismos no se cosechan los vegetales y la eliminacin del nitrgeno es limitada. Ms, sin embargo, los sistemas ecolgicos, al parecerse a la naturaleza en su accionar, logra remover entre el 88% y el 90% del nitrgeno amoniacal. La remocin del N. total ronda el 90% de eficiencia (Rodrquez, & Durn, 2006).

El amonio es un catin, por lo que la habilidad que tiene el suelo para realizar ese intercambio de cationes lo favorece la arcilla y la cantidad de M.O. disponible. Este elemento es muy volátil, lo que provoca la remocin de nitrgeno cuando en pH es elevado, pero si este permanece por debajo de 8.0, se ioniza, es decir, se queda en agua (Llagas & Guadalupe, 2006).

Los humedales realizan una excelente descontaminación de agentes patógenos, nutrientes y microbios. Son muy efectivos en las zonas del trópico; sin embargo, existen casos aislados en donde su eficiencia resulta igual teniendo plantas o no. Solo utilizando grava y materiales del suelo (Mendoza, Pérez & Galindo, 2018).

**2.8.5. Caracterización de humedales artificiales por fluorescencia inducida por láser.** En la caracterización hidrodinámica de un humedal se considera la manera como actúa el agua que fluye en el; debido a la poca homogeneidad del sistema, el agua se dirige en diferentes direcciones. Es notable que los elementos del fluido siguen varias vías en el lecho, esto les tomaría periodos de tiempo diferentes (Levenspiel, 2004.), citado por (García, et al., 2011).

**2.8.5.1. El modelo de dispersión.** Este consiste en la introducción de un trazador en el agua que entra al lecho, dispersándose y lográndose una distribución de tiempos de residencia, se puede denominar  $E(t)$ . Tomando el humedal como reactor este se desvía poco del flujo de pistón y su distribución no cambia durante el tiempo que permanece la medición, entonces se puede emplear el modelo de dispersión (García, et al., 2011).

## **2.9. Agua Potable y Saneamiento en la República Dominicana**

En los últimos 20 años, el país ha logrado grandes mejorías en el servicio de agua potable y saneamiento, más, sin embargo, deja mucho que decir la calidad de los servicios ofrecidos a la población, a pesar del crecimiento macroeconómico que ha experimentado la isla en los últimos tiempos.

Se requiere de un manejo inteligente de las cuencas hidrográficas del país, y la población y todos los beneficiarios, incluyendo instituciones, industrias, agricultores, ganaderos, hasta el que recoge la basura en la calle, debe tomar conciencia de que sin agua no hay vida.

Hasta el momento, en el país no habido ni un solo plan de manejo de cuencas, sólo se ha realizado algunas acciones que conllevan a solucionar algunos de los tantos problemas en la región. Se requiere que el agua residual sea tratada en un 100%. Hasta el momento, en Santiago se tiene informe de que el 94% de las aguas residuales son tratadas, de un 86 % de su población que tiene sistema de conexión, pero no todo el líquido llega al RYN descontaminado (Phillips, Russell & Turner, 2007).

La República Dominicana cuenta con seis regiones hidrográficas, 97 cuencas y 556 Subcuencas y microcuencas (INDRHI, 2012). Según Reynoso (2017), para el año 2018, la disponibilidad del recurso hídrico andaba por el orden de los 25,966.69 millones de m<sup>3</sup> (823 m<sup>3</sup>/s), el agua superficial por los 23,497.69 millones de m<sup>3</sup>, la subterránea por los 2,469 millones de m<sup>3</sup>. La precipitación media anual de la isla es de unos 1410 mm y se pierde alrededor de 70 por ciento por efectos naturales (Martínez, Castillo, Reyes, De León & Salcedo, 2018).

Si bien son datos del año 2000, ofrecidos por la OMS/OPS, la situación no ha cambiado en 18 años a nivel nacional. Un ejemplo concreto, es la zona de estudio de este trabajo (Jarabcoa, R.D.), que no posee plantas de tratamiento de aguas residuales y es una zona turística de las más concurridas a nivel nacional.

En los últimos tiempos, se ha mostrado un interés marcado de los organismos internacionales de cooperación en desarrollar proyectos y programas para combatir, no tan solo la pobreza, sino dotar a las comunidades menos favorecidas en el mundo y muy especialmente en los países en desarrollo de agua sana a los fines de contribuir con la salud y evitar la morbi-mortalidad en enfermedades de origen hídrico. Para ello, se han estado creando programas dirigidos al servicio de agua y saneamiento, así como a sistemas de alcantarillado sanitario (Montás, 2013).

El resultado de la no acción en este sector es indiscutiblemente, muerte de humanos a muy temprana edad y gastos de recursos económicos sustanciosos en todas las naciones tercermundistas.

En el año 2013, el director de la Corporación del Acueducto y Alcantarillado de Santo Domingo (CAASD), indicó que solo el 5% en la capital dominicana posee sistema de alcantarillado y que el 95% de las aguas residuales son vertidas a los ríos. También dijo, que, en los últimos 40 años, no se ha hecho mucho en el sector y que de 12 PTAR que existen hay ocho que no funcionan (Montás, 2013).

La situación no es peor en las regiones del interior del país, porque fueron creadas las llamadas CORAAS (Corporaciones de Acueductos y Alcantarillados Sanitarios) con manejo autónomo de cada zona.

En relación al posicionamiento del país frente a los demás países de la Latinoamérica, República Dominicana no ha cumplido en aspectos como, las desigualdades sociales, ha habido un deterioro en el nivel de vida, no ha existido un programa serio para proteger

los recursos hídricos que son una preocupación para la nación, aunque en el año 2016, el presidente Danilo Medina, decretó su periodo de gobierno como el cuatrienio del agua y también creó la Mesa de Coordinación del Recurso Agua, coordinado por el Ministerio de Planificación, Economía y Desarrollo (MEPyD), además creó dependencias para el manejo de los recursos forestales.

Se han aprobado proyectos sobre Manejo de la Cuenca del Río Yaque del Sur, Río Yaque del Norte y Río Ozama-Isabela, estos dos últimos con préstamo del Banco Mundial y otros organismos. Aún no, pero en proceso la Cuenca del Río Yuna-Camú, por considerarse importantes dentro de las ocho cuencas identificadas como prioritarias por el Ministerio de Medioambiente y Recursos Naturales del país. Es bien conocido que la cobertura del agua potable y saneamiento ha sido deficiente y no coincide con los indicadores sociales y lo que espera el pueblo de las enormes inversiones que el Estado ha realizado para resolver la situación (BID, CAASD, ONAPLAN, SESPAS, 1998).

Es de gran relevancia recordar, que en la reunión celebrada en Río de Janeiro, Brasil en año 1992 y que se le llamó la Cumbre de la Tierra, originada básicamente por la preocupación de la comunidad internacional sobre el grado acelerado del proceso de destrucción inmisericorde de los recursos naturales y el medioambiente, así como la búsqueda de una alternativa que haga posible la vida humana en el planeta en un futuro no muy lejano, se abordó un modelo de desarrollo humano sostenible y se dictó que el hombre deberá ser sostenible en los siguientes acápites:

En la manera en que interactúa con su medioambiente; la explotación de los recursos naturales debe estar estrictamente supeditada al mantenimiento productivo de los diferentes tipos de ambientes y/o hábitats.

En la manera en que interactúa con la sociedad; el progreso económico obedecerá a una participación integral, de equidad y de consolidación de las identidades regionales o de países.

En el aspecto financiero; el planeta, la región o el país deben ser capaces de desarrollarse sin comprometer generaciones presentes ni las futuras, garantizando ingresos adecuados a la ciudadanía.

Las encomiendas propuestas por los organismos como el BID, el Banco Mundial, la AID y la OPS/OMS, acordaron realizar un análisis sectorial de las necesidades básicas de cada país latinoamericano, que le ayude para crear su propio plan estratégico de

desarrollo, tanto en la parte de recursos necesarios, como estudios para alcanzar las metas que se proponen en cada nación sobre todo con respecto al acceso y cobertura de agua y saneamiento, por ejemplo (BID, CAASD, ONAPLAN & SESPAS, 1998).

Actualmente, se trabaja un proyecto de agua y saneamiento en zonas turísticas por el Banco Mundial y tiene como fin reducir los altos costos económicos, sociales y ambientales producidos por las grandes deficiencias generadas en el sector agua y saneamiento, así como en programas de desechos sólidos en la República Dominicana (INAPA-BID, 2017).

Importantes organizaciones internacionales, como BID, BM, junto a instituciones dominicanas, realizan buena labor, respecto a la relación armoniosa que debe tener el hombre con la naturaleza (Desarrollo Sostenible), realizando eventos, cursos, talleres, así como aportes económicos a los fines de llevar a cabo acciones específicas dirigidas al cuidado del medioambientales y los recursos naturales en las diferentes cuencas hidrográficas de la isla (CEPAL, 2014).

La Estrategia Nacional de Desarrollo 2030 (END) en la República Dominicana, contempla varios objetivos relacionados a abastecimiento del agua potable y alcantarillado en todo el país. Se propone además, la creación de un marco normativo legal, una ley sectorial de agua, la cual descansa aun en el poder legislativo, y se fijan metas sobre agua potable para el año 2020 y sobre saneamiento para el año 2030, en adición a esto, se desarrolla una temática a considerarse y que debe cumplirse referente a la gestión eficiente y sostenible de los RR.NN., sobre todo el recurso agua (CEPAL, 2014).

En el país, existe una dubitación y/o fragmentación de las normativas y políticas sectoriales asignadas a diferentes instancias, lo que provoca que no exista una institución encargada y/o responsable del manejo del agua y el saneamiento en la isla. Esta función ha sido atribuida a ministerios como: Salud Pública y Asistencia Social (MISAP), Medio Ambiente y Recursos Naturales (MARENA), el Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos (INDRHI), Industria y Comercio (MIC) y Economía, Planificación y Desarrollo (CEPAL, 2014).

Esto fue en el 2014; más, sin embargo, dos años después, el gobierno hizo un giro y asignó esta función al Ministerio de Economía, Planificación y Desarrollo (MEPyD), pero el Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales (MARENA) cuenta con un

viceministerio de Suelos y Aguas que aboga por esta función y se nota cierto recelo entre ambos ministerios.

No obstante, a la alta cobertura alcanzada en agua potable, surgen deficiencias en la calidad de los servicios y de infraestructura, como ya se ha abordado anteriormente y obviamente esta situación trae consecuencias como diferentes tipos de enfermedades de origen hídrico y el caso más fehaciente es el del nuestro hermano país, Haití, con la epidemia del cólera, que cobró miles de vidas de pequeños inocentes en el año 2012, lo que obligó a muchos organismos internacionales a intervenir en la situación creando programas de agua y saneamiento rápido y seguro, así como capacitación, salud e higiene, entre otros tantos programas desarrollados en esa nación (CEPAL, 2014).

**2.9.1. Cobertura, calidad del agua potable y saneamiento básico en la República Dominicana.** La cobertura de agua en la ciudad es de un 86.8%, mientras que en el área rural es de un 52.5%, lo que equivale expresar que el sector más pobre posee un 49 por ciento, mientras el más rico posee un 92 por ciento, aproximadamente.

**2.9.1.1. Calidad del agua potable.** Las redes utilizan métodos como la cloración en un 70 por ciento, en donde la supervisión de la calidad es de un 31 por ciento, por lo que tan solo cerca del 12 por ciento de los ciudadanos tienen un servicio ininterrumpido de agua potable, lo que deja entendido el grave problema en este sector para los habitantes.

Para el 2016, el gobierno dominicano declaró el cuatrienio del agua (año 2016-2020), periodo del presidente Danilo Medina Sánchez y también se creó la Mesa de Coordinación del Recurso Agua, bajo la coordinación del Ministerio de Economía, Planificación y Desarrollo (MEPyD), mediante Decreto No. 265-16. El Estado interesado en cambiar la situación del agua potable, del servicio de alcantarillado sanitario, la protección y manejo de las ocho cuencas hidrográficas identificadas como prioritarias en el país (ver tablas 12, 13 y 14).

**2.9.1.2. Saneamiento básico.** En cuanto a la situación del sistema de saneamiento en la capital del país, se podría decir que ha mejorado, ya que alcanza un 95.1% del área urbana y 83.9% de la zona rural (ENHOGAR & INAPA, 2010; citado por OPS, OMS, UNICEF y Ministerio Salud Pública, 2012).

Las aguas especiales urbanas son los mayores contaminantes del recurso hídrico, para su tratamiento se han estado valorizando y utilizando tecnologías verdes, además de las convencionales. Un estudio realizado para analizar el aspecto económico (costo-beneficio), se ha determinado que por concepto de venta de productos cosechados en el humedal se logran beneficios y la parte de los beneficios ambientales provienen de la descontaminación del agua, derivada del costo evitado.

El estudio reflejó, además, que las Tecnologías verdes tienen mejor desempeño económico y ambiental que las tecnologías convencionales (Gil, Cisnero, Prada, Plevich, & Sánchez, 2013).

Horacio Gil, destaca la cobertura, calidad del agua y saneamiento en la Isla y trata el tema del costo-beneficio de las TC y TV. Refiere que las TV tienen mejor desempeño comercial y económico que las TC. No tan solo se pueden medir beneficios económicos por la venta de los productos vegetales que se obtengan de los diferentes sistemas o lagunas, eso no tiene mucha importancia en la nación.

La parte económica se debe evaluar en término de los costos que se evitan al implementar una tecnología mucho más barata que la tradicional (TC). Este tema tiene una gran relación con uno de los objetivos específicos de la tesis, que es: Comparar económica, social y ambientalmente los sistemas de Ingeniería Verde implementados en Jarabacoa frente a los sistemas convencionales en el Cibao Norte-Sur.

Las tablas 17, 18 y 19 presentan la situación actual del agua y saneamiento en la República Dominicana.

Tabla 17

*Situación de las aguas residuales en la República Dominicana al año 2015*

Descripción	Q (m <sup>3</sup> /s)	%
Caudal Agua Potable: Capacidad Instalada	62,27	
Caudal Agua Potable Producido (Q <sub>AP</sub> )	45,00	
Caudal Aguas Residuales Nominal (Q <sub>ARN</sub> )	36,00	
Caudal Aguas Residuales Teórico reportada (Q <sub>APT</sub> )	31,00	100
Caudal Captado en Redes Alcantarillado	8,76	28
Caudal Tratado en 104 PTAR hasta año 2015	3,32	38
Caudal Captado en Redes sin Tratamiento	5,44	62
Capacidad Nominal de 104 PTAR	9,41	
Rehabilitación Capacidad de Tratamiento PTAR existentes	6,9	65
Caudal a captar en nuevas redes y tratar en nuevas PTAR	22.24	72

*Nota.* Se aprecia el comportamiento del caudal de agua que se maneja en el país (INAPA, 2015).

Tabla 18

*Situación regional de las PTAR*

No.	Región	Cantidad	Q nominal (lps)
1	Región Ozama	24	740.75
2	Región Cibao Norte	29	2,784.20
3	Región Cibao Sur	11	1,243.06
4	Región Noroeste	4	1,073.00
5	Región Noreste	4	76.00
6	Región Valdesia	5	974.85
7	Región Enriquillo	7	261.39
8	Región El Valle	3	500.00
9	Región Yuna	10	406.08
10	Región Higuano	7	1,350.00
	Total	104	9,409
Total, de acometidas Aguas Residuales			804,480

*Nota.* Se observa las acometidas en las diferentes regiones del país (INAPA, 2018).

Tabla 19

*Situación operativa de 104 PTAR en la República Dominicana*

Situación	Cantidad	Q Nominal (Ips)	Q Agua Tratada	Población (2010)
Sin Verificar	12	670.26	3,320	194,382
En Operación	50	4,985.08		1,033,800
Fuera de Servicio	29	912.56		316,136
Construcción	13	2841.43		946,136
Total	104	9,409		2,490,873

*Nota.* Consultoría Inicial Diagnóstico AR y Excreta y Coordinación Técnica de la Estrategia Nacional de Saneamiento. Ing. Leonardo Mercedes INAPA/AECID/FCAS ICMA, S.R.L: Trabajos técnicos.

Las redes de manejo de las aguas residuales de origen domésticos alcanzan 8 plantas de depuración en servicio, con capacidad instalada de 137,116.80 m<sup>3</sup>/día operadas por el Departamento de Tratamiento de Aguas Residuales de la Corporación del Acueducto y Alcantarillado de Santiago (CORAASAN) por sus siglas en español.

En el municipio de Santiago de los Caballeros, según el Departamento de Tratamiento de Aguas Residuales de CORAASAN, un porcentaje muy pequeño de las aguas residuales que se producen en Santiago de los Caballeros fue tratado en el año 2016, esto implica que para aumentarse la cantidad a ser tratada habrá de invertirse una gran cantidad de recursos en la parte de operación y mantenimiento de la Planta Rafey.

Este mínimo porcentaje de alrededor de 28% en una ciudad tan grande y la segunda del país, dice que la problemática de las aguas residuales es alarmante. Se requiere de más inversión en la PTAR de Santiago y en todas las plantas del país. Pero, el gobierno no tiene todos estos recursos a mano. ¿Cuál sería la solución más económica y viable?

**2.9.1.3. Componentes de las plantas de tratamiento de aguas residuales de Rafey, Santiago de los Caballeros, República Dominicana.** Una cámara de concreto para recibimiento de las aguas residuales de forma rectangular dotada de compuertas y de un conducto de desvío. Las aguas residuales llegan a través de una alcantarilla principal de 1,750 mm de diámetro.

Dos unidades de bombas de tornillo de 1,200 mm de diámetro, movidas por un motor de 30 KW. x 1750/40 r.p.m., bombean las aguas residuales que llegan a la cámara de

parrillas, donde todo el material flotante es removido por las parrillas de barras espaciadas a 25 y 50 mm y operadas de manera manual o mecánica.

Una cámara rectangular aireada con equipo para la remoción de arenas. El depósito para recolectar la arena es vaciado mediante aire, y la arena removida es depositada en una tolva para su secado y disposición final.

Una unidad de tanque primario de sedimentación, alimentado por el centro y con un diámetro de 45.00 m, con una capacidad hidráulica de 2,736 m<sup>3</sup>. El lodo sedimentado en el fondo del tanque es recolectado en una tolva central mediante un rascador rotativo soportado por una estructura central.

El lodo sedimentado es removido mediante bombas hacia los tanques de estabilización de lodos o hacia las camas de arena para su secado. Materiales livianos que flotan en la superficie del tanque son removidos mediante rascadores de superficie montados en el puente (CORAASAN, 2016).

Una unidad de tanque de aeración de forma rectangular con una capacidad hidráulica total de 8,942 m<sup>3</sup>, con seis unidades de aeración de superficie cada una con un motor de 55 Kw. El tiempo promedio de aeración (tiempo de retención hidráulica) es aproximadamente de 8 horas para la capacidad nominal de la planta de 25,920m<sup>3</sup>/día, con un retorno promedio de lodos de un 50% del caudal de entrada a la planta.

Una unidad de tanque de estabilización de lodos de forma rectangular, con una capacidad hidráulica equivalente a la mitad del tanque de aeración (usando la mitad de la capacidad del tanque futuro de aeración) y unido al tanque de aeración, airea el lodo primario crudo del tanque primario de sedimentación. Después de la aeración, el lodo es sacado hacia los lechos de secado (CORAASAN, 2016).

Una cámara proporcionadora para distribuir el licor mezclado en partes iguales a los tanques finales de sedimentación.

Dos unidades de tanques finales de sedimentación, teniendo cada una capacidad hidráulica de 6,617 m<sup>3</sup>. El lodo sedimentado es recogido por unos rascadores soportados por el puente hacia una tolva.; también, dos bombas centrífugas de 11 Kw. Transportan el lodo primario al tanque de estabilización. Un Espesador de lodos por gravedad con un equipo mecánico de espesamiento con un motor de 1.5 Kw.

Lecho de secado de lodos con un tamaño de 171.3 x 41.6 m contiene 40 unidades de lechos separadas sobre una fundación de concreto, y con su válvula para controlar la entrada y tuberías de drenado.

Un tanque de contacto de concreto para desinfectar el efluente antes de su descarga al río.

Un canal de concreto, de sección cuadrada de 2.0 x 2.0 m, funciona tanto para descargar por gravedad el efluente como las aguas crudas provenientes de la entrada a la planta al río Yaque del Norte (CORAASAN, 2016).

La habitual solución para el manejo de las aguas negras siempre ha sido por medio al conocimiento adquirido de la ingeniería hidráulica, es decir, el método convencional de manejo en donde se recolectan, se trata con diferentes técnicas y muy especialmente química, se almacenan para ser descargadas en los cursos de aguas conocidos (ríos, arroyos, campos abiertos).

Afirma (Bertocini, 2008), que en la parte sur de la ciudad Córdoba, en donde las poblaciones no superan los 25, 000 habitantes, esta tecnología no ha tenido muchos éxitos, debido al costo que representa en términos económicos y se ha optado por el uso de alternativas más convenientes como son los sistemas ecológicos que podrían sustituir las obras civiles-estructurales. Aunque se continúa con las PTAR convencionales, la conciencia ambiental de muchas comunidades ha cambiado.

A nivel mundial, se afianza la utilización de las aguas residuales procedentes de los hogares y de las industrias, a pesar del desconocimiento de muchos habitantes sobre estado de estas.

Dentro de las alternativas ecológicas se encuentra la llamada ingeniería verde, que no es más que porciones de tierra cubiertas de vegetación natural (plantas macrofitas), cultivos agrícolas, o plantaciones forestales, en donde se depositan aguas residuales de distintas fuentes, con el objetivo de depurarlas a través de la acción del suelo, microorganismos, plantas, y los procesos físicos, químicos y biológicos que en ello se dan. (Matos, et al., 2005; citado por Gil, et al., 2013).

**2.9.1.4. Fundamentos de aguas residuales.** Generalmente, las aguas residuales tienen dos componentes a considerar. El primero es conocido como efluente líquido y el segundo como componente sólido o lodo. Hay dos métodos para tratar el

agua residual. Uno de ellos es permitir que el agua se deje en reposo y el lodo vaya hasta el fondo, para luego tratar químicamente el agua que queda en la superficie.

El otro método y el más común, es utilizar las bacterias para descomponer o degradar la materia orgánica, el cual también es conocido como lodo activado, ya que los microorganismos requieren de oxígeno para su organismo (Reynolds, 2002).

*Los pasos básicos para el tratamiento de aguas residuales.* Las etapas o el proceso por el que las aguas residuales deben pasar para su descontaminación se muestran a continuación:

1. Extracción de materiales sólidos (pretratamiento)
2. Filtrado de las aguas o extracción material arena, etc. (Deposición primaria)
3. Tratamiento secundario
4. Tratamiento terciario

Podría además utilizarse las tecnologías de precipitación - coagulación y floculación que muchas veces emplean sistemas de alimentación químicas muy sofisticados. Por otro lado, la filtración lenta con arena es utilizada muy comúnmente para agua potable, pero puede bajo condiciones propicias, ser también utilizada para las aguas especiales, entendiéndose que se debe trabajar con mucha cautela por lo delicado que es su mantenimiento.

Se estima que solamente 5% de las viviendas en Latinoamérica y el Caribe están conectadas a redes de alcantarillados sanitarios, de acuerdo con el International Development Research Centre en Ottawa, Canadá. Una gran parte de estos sistemas de tratamiento utilizan la deposición primaria para la descontaminación de (TSS) total de sólidos suspendidos (Reynolds, 2002).

La referencia de descargas en aguas superficiales y costeras se pueden observar en las tablas 20, 21 y 22 a continuación.

Tabla 20

*Referencia de descargas en aguas superficiales y costeras. Las Clases D-1 y D-2 no se incluyen en la presente tabla porque todos sus parámetros deben cumplir condiciones naturales.*

Parámetro	Unidad	Aguas Superficiales			Aguas Costeras		
		Clase A	Clase B	Clase C	Clase E	Clase E	Clase G
<b>Parámetros Generales</b>							
Agentes Tensoactivos	mg/l	0.5	1	2	0.5	2	2
Cloruros	mg/l	250	500	5000	-	-	-
Coliformes fecales	NMP/100 ml	400	1000	2000	1000	1000	5000
Coliformes totales	NMP/100 ml	2500	2500	10000	-	-	-
Color	U. Tt-Co	20	100	500	500	N/A	N/A
Conduct. eléctrica	mS/cm	1000	1000	2000	-	-	-
DBO <sub>5</sub>	mg/l	30	60	300	60	100	200
DQO	mg/l	150	300	500	350	350	350
Fenoles	mg/l	0.002	0.005	0.1	0.03	0.5	0.5
Fluoruros	mg/l	0.7	1.7	5	1.5	5	5
Fósforo total	mg/l	5	5	5	8	8	10
Grasas y aceites	mg/l	0.2	1	20	15	15	25

*Nota.* Ministerio de Medioambiente 2012.

Tabla 21

*Descarga de aguas residuales industriales a sistemas de alcantarillado*

Parámetro	Valor Máximo Permisible
Demanda Biológica de Oxígeno (DBO <sub>5</sub> )	250 mg/l
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	600 mg/l
Fósforo total (P tot)	10 mg/l
Nitrógeno total (N tot)	40 mg/l
Sólidos Suspendidos	400 mg/l
pH	6-9

*Nota.* Ministerio de Medioambiente, 2012

Tabla 22

*Descargas de agua residual municipal en aguas superficiales y el subsuelo*

Población (Hab. Equiv.)	Valores Máximos Permisibles								
	Mg/L.								NMP/100 ml
	pH	DBO5	DQO	SS	N-NH4	N-NH4+NO3	P-PO4	Cl. Res.	C.T.
<5,000	6-8.5	50	160	50	-	-	-	0.005	1000
5,001-10,000	6-8.5	45	150	45	-	-	-	0.005	1000
10,000-100,000	6-8.5	35	130	40	10	18	3	0.005	1000
>100,000	6-8.5	35	130	35	10	18	2	0.05	1000

*Nota.* Se observan los parámetros que se deben cumplir para realizar vertido de agua residuales al medioambiente, ríos, cañadas, etc. (Ministerio de Medioambiente, 2012).

**2.9.1.5. Situación de las aguas residuales en el nivel nacional.** La República Dominicana cuenta con 143 comunidades mayores de 2 mil personas, que representa el 57% de la población total del país; 93 de ellas tienen alrededor de 11 mil habitantes y sólo la ciudad capital cuenta con una población de un millón de personas.

Estudios anteriores revelan que, la dotación promedio nacional es de unos 934 Lppd y se generan diariamente entre 0,80 a 1,0 millones de m<sup>3</sup>/d de aguas residuales de origen doméstico e industrial. El país cuenta con 104 plantas TAR, de las cuales 12 están en verificación, 50 en operación, 29 fuera de servicio y 13 en construcción (Mercedes, 2017).

Sobre el reúso de aguas residuales en el país, unos 550 Lps tienen uso consuntivo en unos cinco a seis municipios del país para regar alrededor de 300 ha sembradas de diferentes cultivos. No se ha detectado riego con agua sin tratamiento; más, sin embargo, se están realizando investigaciones para dinamizar esa parte (Mercedes, 2002).

**2.9.1.6. Situación de las aguas residuales en el nivel local (AR).** La población de la ciudad Concepción de La Vega, genera un caudal promedio de 0,60 m<sup>3</sup> de aguas residuales. Luego de ser 100% tratadas, estas aguas se descargan en el río Pontón, el cual es uno de los ríos más peligrosamente contaminados de La Vega en la actualidad y posteriormente se utilizan para el riego de diferentes cultivos por una parte de los campesinos de la zona.

Las características de las aguas a la salida de la planta de tratamiento no afectarían de manera significativa la calidad de las aguas del cuerpo receptor, pero dichos efluentes sufren modificaciones al ser utilizados como aguas de riego.

En la actualidad, la planta de tratamiento de aguas residuales de la ciudad de La Vega no funciona. Esta dejó de operar en el año 2005 y al 2018 no se vislumbra que trabaje, aunque hay promesas de que se realizará una reconstrucción de la misma antes del 2020.

Según el Departamento de Informática de la Secretaría de Estado de Salud Pública y Asistencia Social (SESPAS), para el año 1999, la Enfermedad Diarreica Aguda (SVE-EDA) registró 13,418 casos en la provincia de La Vega. En el año 2000 se registraron 7,746 casos sólo de diarrea aguda acuosa es decir el segundo lugar, luego de las Infecciones Respiratorias Agudas (IRA).

La primera planta de tratamiento ecológica de aguas residuales fue desarrollada por el Señor Manuel Heredia de la República de Cuba, en el complejo turístico "Rancho Baiguate", Municipio de Jarabacoa, utilizando la Ingeniería Verde; así como, el proyecto de reubicación de personas "La Nueva Barquita" en la Cuenca Ozama, con el fin de sacar de la pobreza marginal y extrema a más de 5 mil familias del área y ubicándose en edificios, haciendo más habitable y sostenible el lugar (Green Filter & Global Development Group, 2018).

La naturaleza de la Ingeniería Verde, sus cambios y su capacidad de purificación, a través de determinado control de variables pueden convertirse en sistemas naturales para la purificación del agua y su posibilidad de reúso, ya que su eficiencia de remoción en SS, DQO y DBO<sub>5</sub> es alrededor de 90%.

Ayuntamiento del Jarabacoa e INAPA son los responsables de la red de alcantarillado sanitario. El municipio de Jarabacoa no cuenta con este servicio, el cual fue iniciado y luego parado por falta de voluntad política y supuestamente recursos económicos.

Actualmente, los hogares del municipio cuentan con sépticos y filtrantes, pero también existen muchos de ellos que no lo tienen y vierten estos líquidos a las cañadas, arroyos y ríos de la zona (Plan Estratégico de Desarrollo del Municipio de Jarabacoa, 2006).

El Plan Yaque, junto a The Natural Conservancy (TNC), Charles River Watershed Association (CRWA), el Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales, el Fondo de Agua Yaque del Norte, Rancho Baiguate, Rustic Pathways, el Ayuntamiento del

Municipio del Jarabacoa, la Escuela Ambiental y las Juntas de Vecinos en Jarabacoa promueven los sistemas ecológicos de tratamiento de aguas residuales en el municipio y ha construido alrededor de 12 PTAR, bajo el concepto de ingeniería verde hasta la fecha, obteniéndose una descontaminación de un 87% del contenido original recibido.

Análisis realizados antes y después de recibida el agua residual, muestran cambios favorables en la conductividad eléctrica, en el oxígeno disuelto, en la temperatura, en el contenido de amonio, de nitritos y escherichia coli, así como en la turbidez y el pH, devolviéndole al agua cloacal un nivel de limpieza que permite que pueda ser utilizada en actividades agrícolas y pecuarias y verterse a los medios de aguas, como los ríos y arroyos de Jarabacoa (Abreu, 2016).



# CAPÍTULO III

### **3. Capítulo III: Marco Metodológico**

En este capítulo se desarrollan las técnicas y metodologías llevadas a cabo en la tesis doctoral, a los fines de lograr los objetivos de la investigación, los cuales fueron abordados en la sección introductoria. Se podrá observar, que es un estudio cuantitativo, descriptivo/correlacional, no experimental/transversal, documental de las ciencias duras, lo que condujo a obtener los resultados esperados en el estudio.

#### **3.1. Alcance**

El estudio tiene un alcance descriptivo, porque mide o recolecta información independiente o conjunta sobre los conceptos y/o variables y, correlacional, ya que permite medir la relación existente entre dos o más variables, categorías o situaciones (Hernández & Mendoza, 2018).

En la investigación se realizaron caracterizaciones de las plantas de tratamiento de aguas residuales construidas con ingeniería verde, también se revisaron documentos para verificar diferentes aspectos como la fecha de construcción, programa de podas y mantenimiento general, entre otras actividades.

#### **3.2. Hipótesis de Investigación**

Como se trata de un estudio cuantitativo la hipótesis próxima es:

Hipótesis

H<sub>i</sub>. La Ingeniería Verde constituye una alternativa viable, económica, social y ambientalmente para el manejo de las aguas residuales en la República Dominicana.

H<sub>0</sub>. La Ingeniería Verde no constituye una alternativa viable, económica, social ni ambientalmente para el manejo de las aguas residuales en la República Dominicana.

#### **3.3. Diseño de la Investigación**

El tipo de diseño es No experimental, ya que se basó en la observación de fenómenos, situaciones ya existentes o variables las cuales no fueron manipuladas y, fue transeccional o transversal, ya que la recolección de datos fue realizada en un solo momento (Hernández & Mendoza, 2018).

La investigación contó con una serie de estrategias y metodologías que permitieron obtener los resultados esperados, en relación con los objetivos formulados y la teoría

desplegada en la misma, por lo que se realizó un diseño lógico de investigación, iniciando por el reconocimiento de los sistemas de ingeniería verde objetos de estudio en Municipio de Jarabacoa, República Dominicana, la propuesta de un plan para la evaluación de dichos sistemas, toma de muestras, análisis físico, químicos y microbiológicos.

Se realizó una evaluación técnica de las variables operacionales en las plantas de tratamiento, el análisis estadístico de las muestras evaluadas en el período definido del estudio, análisis de fotografía y posteriormente, se generó un análisis económico de los costos de inversión y operación, así como aspectos sociales y ambientales de las tecnologías evaluadas.

Paralelamente, a partir de un estudio de investigación cuantitativa, para entender la magnitud de la influencia de las políticas públicas, que las relaciona con el cambio del sistema de tratamiento o la inversión por primera vez de un sistema sanitario de depuración en algunas comunidades; se obtuvo información de fuentes primarias y secundarias, mediante entrevistas estructuradas y encuestas aplicadas a actores clave, sobre las políticas que han impulsado las instituciones relacionadas con la planificación y desarrollo de tecnologías de saneamiento que redunde en la mejor calidad de vida de su población, en el periodo de estudio, y se analizó su impacto a nivel territorial.

El estudio fue documental, basado en un caso de estudio que se corresponde con los sistemas de Ingeniería Verde implementados (Hernández, Collado & Pilar, 2014).

### **3.4. Ruta o Enfoque de la Investigación**

La ruta emanada del planteamiento del problema de investigación es la cuantitativa. Según, Hernández-Sampieri & Mendoza, 2018, esta consiste en un conjunto de procesos organizados secuencialmente para comprobar ciertas suposiciones. Se caracteriza por tener planteamientos específicos, orientados en variables medibles, pruebas de hipótesis y teoría, diseños preestablecidos, instrumentos estandarizados, datos numéricos y análisis estadístico.

Según Hernández & Samperio, 2018, expresan que el proceso cuantitativo es secuencial y probatorio.

El autor de la tesis expresa que, para los fines del estudio sobre sistemas de tratamiento de aguas residuales con ingeniería verde, en donde se trabajan con plantas de tratamiento a base de humedales artificiales, por su propia naturaleza se define que la ruta a seguir es la cuantitativa (investigación dura, aplicada).

En esta, se trabajó con datos numéricos, estadística descriptiva, al mismo tiempo que se realizaron encuestas, las cuales fueron validadas por doctores y especialistas, además se utilizó alfa de Cronbach con resultado menor a 0.821 y pruebas de hipótesis. También, cabe señalar, que las PTAR estudiadas ya estaban construidas en diferentes lugares de la zona de estudio, lo que coincide con un diseño preestablecido característico de estudios cuantitativos. Además, se desarrollaron procesos deductivos, probatorios y secuenciales orientados a la realidad objetiva del estudio.

### **3.5. Métodos de la Investigación**

Prospectivo, deductivo y analítico: prospectivo, porque permite situarnos mentalmente por medio de un acto en el futuro deseable con anticipación. Deductivo, porque parte de informaciones generales a hechos particulares y analítico, porque permite analizar detenidamente cada parte (Hernández, Collado, & Pilar, 2014).

### **3.6. Cálculo de la Muestra**

Para el cálculo de la muestra se utilizaron como unidad de análisis los siguientes aspectos:

- Sistemas de Ingeniería verde implementados en el Municipio de Jarabacoa, República Dominicana.
- Gestores del sistema de tratamiento de aguas residuales de Jarabacoa.
- Instituciones del Estado encargadas del manejo de las aguas residuales en el Cibao Norte-Sur.

El universo estuvo compuesto por:

- Los administradores de las instituciones relacionadas con el manejo de aguas residuales.
- Sistemas implementados de Ingeniería Verde.
- Equipo de Gestores del sistema de tratamiento de aguas residuales de Jarabacoa, representado por la Junta Yaque.

Lo que permitió la elección del tamaño de la muestra conformada por instituciones encargadas del agua potable y alcantarillado, totalizando seis provincias. Población total: 29 unidades distribuidas en dos regiones de desarrollo del país (observar tabla 23). La

Provincia de La Vega ostenta mayor número, debido a que es la región donde se focaliza el estudio.

En todo caso, prevaleció el criterio de inclusión: El país se divide administrativamente desde el año 2010, en tres Macroregiones. Se seleccionaron seis provincias de dos Regiones de Desarrollo. La misma fue una muestra no probabilística y estratificada, con seis puntos de observación y 29 gerentes y/o técnicos que representan las instituciones por provincia seleccionada de acuerdo con los criterios de inclusión.

Provincias de la República Dominicana: las provincias de la región Norte-Sur.

La Macrorregión del Cibao o Norte, regiones de desarrollo y Provincias de la República Dominicana se presentan en la tabla 24. Las Provincias seleccionadas figuran en letras cursivas.

### *Escala*

Nominal, Ordinal y de Escalas (IBM Knowledge Center, s.f.).

Tabla 23

*Macro-regiones de la República Dominicana*

Macroregiones	Regiones de Desarrollo	Provincias
<i>Norte o Cibao</i>	Cibao Nordeste	Duarte
		Hermanas Mirabal
		María Trinidad Sánchez
		Samaná
		Dajabón
		Monte Cristi
	Cibao Noroeste	Santiago Rodríguez
		Valverde
		<i>Españillat</i>
	<i>Cibao Norte</i>	<i>Puerto Plata</i>
		<i>Santiago</i>
		<i>La Vega</i>
<i>Cibao Sur</i>	<i>Monseñor Nouel</i>	
	<i>Sánchez Ramírez</i>	

*Nota.* Las regiones que fueron escogidas para el estudio se observan en letras cursivas, o sea, desde la provincia Españillat hasta Sánchez Ramírez (MEPyD, 2017), citado por el autor de la tesis.

*Muestreo.* En la figura 6, se muestran los seis (6) sectores que poseen plantas de tratamiento de aguas residuales con ingeniería verde en Jarabacoa.

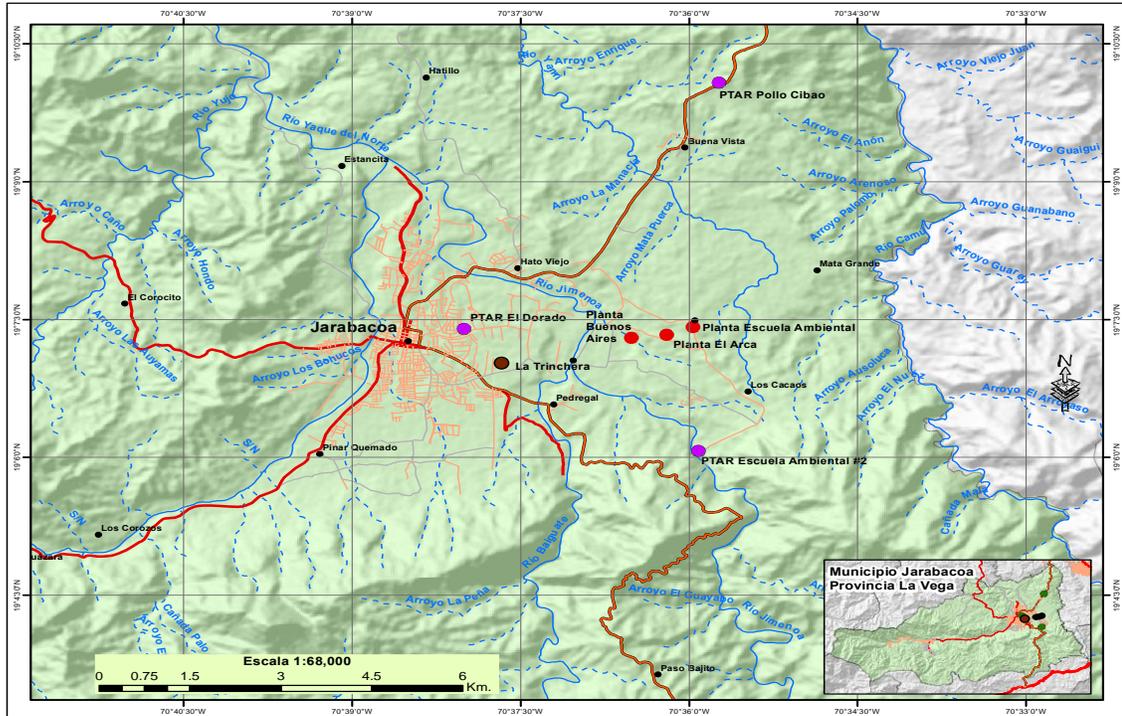


Figura 6. Mapa de localización de las PTAR con IV en Jarabacoa, R.D. Representado por puntos rojos, violetas y negros (Ministerio de Medioambiente, 2018).

### 3.7. Técnicas e Instrumentos de Investigación

Es estudio contó con una encuesta realizada a los expertos, gerentes y técnicos del área de aguas residuales en la zona de estudio, la cual se presenta a continuación:

Doctorado en Sostenibilidad

Cuestionario de consulta a Expertos y/o Técnicos

Fecha de elaboración: \_\_\_\_\_

Lugar de la entrevista: \_\_\_\_\_

NOTA: Toda información aquí proporcionada será tratada confidencialmente.

Este cuestionario tiene como objetivo recabar informaciones para ser utilizadas en un proyecto de tesis doctoral sobre Sistemas Implementados con Ingeniería Verde en el Manejo de las Aguas Residuales en la República Dominicana, Caso: Municipio de Jarabacoa, año 2018. Con este propósito, permítanos realizar un intercambio de palabras

respecto al tema. Sus ideas aquí expresadas se tratarán con mucha discreción y tendrán un gran valor para esta investigación. No le tomará mucho tiempo, tampoco habrá respuestas incorrectas. Le pedimos su colaboración y le estaremos muy bien agradecidos.

Nombre:	
Dirección:	
No. Teléfono:	
Organización:	
Tiempo en la Organización:	
Cargo:	
Email:	

Parte I. Cada pregunta tiene tres respuestas equivalentes a: S "Sí o siempre", N "No o nunca", NS "No sabe". Por favor marque con "X" la que corresponda. (Las preguntas de la No. 8 a la No.16 es si aplica en su caso).

N o.	Pregunta	S	N	N S
1	¿Existen plantas convencionales de tratamiento de aguas residuales en la zona?			
2	¿El gobierno dominicano les ha apoyado con respecto a las aguas residuales?			
3	¿El municipio o ciudad cuenta con redes de alcantarillado sanitario?			
4	¿Existen oficinas encargadas del manejo de las aguas residuales?			
5	¿Existe personal preparado para el tratamiento de las aguas residuales?			
6	¿Considera Usted que se les da un manejo adecuado a las aguas residuales en la región y que no llegan a la planta de tratamiento?			
7	¿Considera que la problemática de las aguas residuales en la región podría tener solución con tecnologías más económicas?			
8	¿Conoce Usted la Ingeniería Verde, blanda o ecológica?			

9	¿Existen plantas de tratamiento de aguas residuales con Ingeniería Verde (blanda/ecológica) en la zona?			
1 0	¿Los sistemas de tratamiento con Ingeniería Verde implementados hasta el momento han resuelto algún problema?			
1 1	¿Considera Usted eficientes los sistemas de Ingeniería Verde implementados en la región?			
1 2	¿Existen biodigestores en la zona?			
1 3	¿Existen filtrantes en la zona?			
1 4	¿Recibió asesoría en el diseño y construcción de la planta de tratamiento con Ingeniería Verde?			
1 5	¿Utilizó una tecnología conocida?			
1 6	¿Considera Usted que existe diferencia en el funcionamiento del sistema de IV, respecto al clima y/o lugar en donde se implemente?			

## Parte II. Las aguas residuales en la región Cibao Norte-Sur

A continuación, se argumenta sobre el manejo de las aguas residuales, también sobre el agua potable con la intención de determinar la situación real del agua en la región. Llene en la casilla adecuada, de acuerdo con su punto de vista y si aplica en su caso.

*Nota:* IV se refiere a Ingeniería Verde.

Pregunta/enunciado	Respuesta
1- Indique tres instituciones vinculadas al tratamiento de las aguas residuales en la zona.	Desarrolle aquí: 1- _____ 2- _____ 3- _____
2- ¿Cómo consigue su familia el agua potable?	Elija alternativa: 1- Acueducto 2- Suministro transportado

	3- Comprado
3- ¿Qué porcentaje de la población considera Usted recibe agua potable?	<p>Aplique un porcentaje:</p> <p>1- Casco urbano: _____%</p> <p>2- Semiurbano: _____%</p> <p>3- Zona rural: _____%</p>
4- ¿Qué tipo de tratamiento recibe el Agua Potable que consume la población?	<p>Elija las alternativas que entienda:</p> <p>1- Cloración</p> <p>2- Coagulación - Floculación.</p> <p>3- Sistemas de filtración.</p> <p>4- Procesos de membrana.</p> <p>5- Desinfección química / Oxidantes.</p> <p>6- Sistemas de adsorción y de intercambio iónico.</p> <p>7- Sistemas de extracción con aire.</p> <p>8- Tratamiento solar.</p> <p>9- Otros</p>
5- ¿Qué tipo de tratamiento conoce Usted se les está dando a las aguas servidas en la región?	<p>Elija alternativa y aplique un porcentaje:</p> <p>1- Ningún tratamiento: _____%</p> <p>2- Filtrado y Séptico: _____%</p> <p>3- Tecnología convencional _____%</p> <p>4- Con Ingeniería verde: _____%</p>
6- ¿Podría mencionar los ríos de zona que tienen capacidad depuradora?	Desarrolle aquí:
7- ¿Cómo afecta el vertido de agua no tratada a los seres humanos?	<p>Elija alternativa:</p> <p>1- Emocionalmente</p> <p>2- Económicamente</p> <p>3- En la salud</p> <p>4- Otros, especifique: _____</p>

	<hr/> <hr/>
8- ¿Qué porcentaje de la población cuenta con sistema de alcantarillado sanitario?	Aplique un porcentaje: 1- Casco urbano: _____% 3- Semiurbano: _____% 2- Zona rural: _____%
9- ¿Cuál es el costo actual de una planta convencional de tratamiento de aguas residuales?	Desarrolle aquí:
10- Número de plantas convencionales de tratamiento de aguas residuales existen en la zona	Desarrolle a continuación: 1- ¿En la zona urbana? _____ 2- ¿Zona semiurbana? _____ 3- ¿Zona Rural? _____ 4- ¿En el país? _____
11- ¿Por qué elegiría Usted un sistema de tratamiento de aguas residuales con ingeniería verde (blanda/ecológica)?	Elija alternativa: 1- Económico 2- Factible al medio 3- Eficiente
12- ¿De qué manera implementaría la Ingeniería verde en el manejo de las aguas residuales en el país?	Elija alternativa: 1- Parcialmente 2- Totalmente 3- En ningún caso
13- ¿Por qué considera Usted necesario desarrollar nuevos modelos de ingeniería verde adaptables a su medio?	Elija alternativa: 1- Económico 2- Factible al medio 3- Eficiente

14- ¿Qué especies vegetales utiliza Usted dentro del humedal?	Desarrolle aquí:
15- ¿Qué tipo de membrana (plástico) y gravilla utiliza Usted en su humedal?	Desarrolle aquí:
16- ¿Qué otros materiales empleados dentro de su humedal?	Desarrolle aquí:
17- ¿Cómo controla la entrada de aguas residuales al humedal en casos de lluvias torrenciales (tormentas, huracanes)?	Desarrolle aquí:
18- ¿Quiénes están encargados de dar mantenimiento a la planta de tratamiento?	Elija la (s) alternativa (s): 1- Comunidad 2- Organismo o institución 3- Persona pagada 4- Otros, ... ¿Quién? _____
19- (Esta fue eliminada por pertenecer a la primera parte del formulario)	
20- Según su conocimiento, ¿cuál es el número de proyectos con Ingeniería Verde (blanda o ecológica) implementados en la zona o región?	Desarrolle aquí:
21- Recursos disponibles para la implementación de los	Encierre las alternativas que entienda aplican al caso: 1- Terreno

sistemas de Ingeniería Verde en otras áreas del país.	2- Plantas macrofita 3- Recursos financieros 4- Personal capacitado								
22- ¿Podría Usted expresar las características principales del sistema de IV/blanda o ecológica?	Desarrolle aquí:								
23- ¿Podría Usted expresar las características principales del sistema convencional?	Desarrolle aquí:								
24- ¿Podría Usted referirse a la eficacia de la(s) planta(s) de tratamiento convencional del lugar?	Por favor llene en porcentaje: <table border="1" data-bbox="727 793 1382 1182"> <thead> <tr> <th data-bbox="727 793 1240 909">Parámetros</th> <th data-bbox="1240 793 1382 909">Eficacia %</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td data-bbox="727 909 1240 961">Sólidos Solubles (SS)</td> <td data-bbox="1240 909 1382 961"></td> </tr> <tr> <td data-bbox="727 961 1240 1077">Demanda Química Oxígeno (DQO)</td> <td data-bbox="1240 961 1382 1077"></td> </tr> <tr> <td data-bbox="727 1077 1240 1182">Demanda Bioquímica Oxígeno (DBO<sub>5</sub>)</td> <td data-bbox="1240 1077 1382 1182"></td> </tr> </tbody> </table>	Parámetros	Eficacia %	Sólidos Solubles (SS)		Demanda Química Oxígeno (DQO)		Demanda Bioquímica Oxígeno (DBO <sub>5</sub> )	
Parámetros	Eficacia %								
Sólidos Solubles (SS)									
Demanda Química Oxígeno (DQO)									
Demanda Bioquímica Oxígeno (DBO <sub>5</sub> )									
25- ¿Podría Usted referirse a la eficacia de la(s) planta(s) de tratamiento con IV del lugar?	Por favor llene en porcentaje: <table border="1" data-bbox="727 1234 1382 1633"> <thead> <tr> <th data-bbox="727 1234 1240 1350">Parámetros</th> <th data-bbox="1240 1234 1382 1350">Eficacia %</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td data-bbox="727 1350 1240 1402">Sólidos Solubles (SS)</td> <td data-bbox="1240 1350 1382 1402"></td> </tr> <tr> <td data-bbox="727 1402 1240 1518">Demanda Química Oxígeno (DQO)</td> <td data-bbox="1240 1402 1382 1518"></td> </tr> <tr> <td data-bbox="727 1518 1240 1633">Demanda Bioquímica Oxígeno (DBO<sub>5</sub>)</td> <td data-bbox="1240 1518 1382 1633"></td> </tr> </tbody> </table>	Parámetros	Eficacia %	Sólidos Solubles (SS)		Demanda Química Oxígeno (DQO)		Demanda Bioquímica Oxígeno (DBO <sub>5</sub> )	
Parámetros	Eficacia %								
Sólidos Solubles (SS)									
Demanda Química Oxígeno (DQO)									
Demanda Bioquímica Oxígeno (DBO <sub>5</sub> )									
26- ¿Cómo afecta la variación del clima al funcionamiento del humedal?	Desarrolle aquí:								
27- ¿Cuál es el impacto ambiental del sistema de IV,	Elija una alternativa marcando con una X: 1- Alto: _____								

según normas ambientales en República Dominicana?	2- Medio: _____ 3- Bajo: _____
28- ¿Cuál es el impacto ambiental del sistema convencional en el tratamiento de aguas residuales, partiendo de una correcta operación del sistema y según normas ambientales en República Dominicana?	Elija una alternativa marcando con una X: 1- Alto: _____ 2- Medio: _____ 3- Bajo: _____
29- ¿Cuál es el impacto social del sistema de IV, según normas ambientales en República Dominicana?	Elija una alternativa marcando con una X: 1- Positivo: _____ 2- Negativo: _____
30- ¿Cuál es el impacto social del sistema convencional en el tratamiento de aguas residuales, según normas ambientales en República Dominicana?	Elija una alternativa marcando con una X: 1- Positivo: _____ 2- Negativo: _____
31- ¿Qué valor representa para su organización este estudio?	Elija alternativa marcando con una X. (Usted puede marcar varias opciones): 1- Información: _____ 2- Guía: _____ 3- Diagnóstico: _____ 4- Presentación de proyectos: _____

¡Muchas gracias por su colaboración!

*Instrumentos utilizados*

- protocolo de observación de los sistemas,
- cuestionarios,
- entrevistas,

- llamadas telefónicas,
- uso de internet,
- consultas a expertos,
- análisis de laboratorio,
- análisis estadísticos.

**3.7.1. Materiales, equipos y recursos.** Papel, cintas métricas, PC, vehículos, GPS, softwares (SPSS Statistics), equipos de medición de contaminación hídrica, probetas para medir la relación-agua medio, entre otros.

### **3.8. Colección de Datos**

Los datos fueron recolectados, a través de las muestras tomadas a seis (6) sistemas de tratamiento de aguas residuales con Ingeniería Verde ubicados en el municipio de Jarabacoa, así como entrevistas realizadas a técnicos del sector agua y saneamiento y de ingeniería verde o ecológica.

#### *Validación de los instrumentos de recolección de datos*

Los instrumentos se validaron con doctores, expertos, pruebas piloto o empíricas, análisis de fiabilidad (estos se realizaron en softwares - documento fiable, alfa de Cronbach).

**3.8.1. Metodología empleada para las tomas de muestras de laboratorio.** La metodología utilizada para la recolección de muestras en los sistemas de tratamiento fue la siguiente:

- Elección de la hora para el muestreo;
- Elección de los envases para colección de las muestras;
- Identificación de las muestras con los ID de cada punto;
- Preparación de nevera con conservante (hielo) para el transporte de las muestras;
- Uso de guantes para protección personal y evitar contaminación de las muestras;
- Toma de muestra en la entrada y salida de los sistemas de tratamiento en puntos predeterminados;
- Transporte de las muestras al laboratorio.

Tabla 24

*Plantas tratamiento de aguas residuales con Ingeniería Verde estudiadas en Jarabacoa*

	Lugar	Cantidad
1	Buenos Aires #2	1
2	El Arca	1
3	El Dorado	1
4	La Trinchera	1
5	Escuela Ambiental #1	1
6	Escuela Ambiental #2	1
7	Pollo Cibao	1
	Total	7

*Nota.* Aquí se muestran las siete plantas de TAR que fueron estudiadas (El autor, a través de estudio realizado en el área de trabajo).

### 3.9. Análisis de Datos

Se realizó un análisis de estadística descriptiva, distribuciones de frecuencias, promedios, medidas de tendencias central, medidas de variabilidad, medidas de posición, medidas de forma, diagrama de cajas y bigote, valores atípicos, tabla de frecuencia.

*Prueba de hipótesis (Ritual de la significancia estadística).* Se realizaron pruebas a ambas hipótesis, tanto la del investigador como la nula.

Para establecer el nivel de significancia (Límite de tolerancia para el error) se trabajó con:

$$\alpha = 5\% = 0.05 \text{ (Es lo habitual en este tipo de estudio)}$$

*Elección del estadístico de prueba*

Chi-cuadrado de Pearson (Permite determinar si hay asociación o no entre las variables).

*Lectura del p-valor*

El Chi-cuadrado de Pearson (Significación asintótica bilateral). Se obtuvo del software estadístico SPSS, versión 25.0.

*Toma de la decisión*

Si el p-valor es mayor que 0.05 se acepta la hipótesis nula, en caso contrario se rechaza dicha hipótesis.

**3.9.1. Determinación del grado de eficiencia de las plantas.** La eficiencia del humedal se obtuvo a través de la relación entre el influente y el efluente y se multiplicó por 100. Para el caso de que el humedal posea más de dos efluentes o influentes se realiza una sumatoria de las mismas (Abwassertechnische, 1994).

Así pues, el cálculo de la eficiencia es:

$$\eta = \frac{FZ - FA}{FZ} \times 100 \quad (1)$$

Entonces:

$\eta$  = Eficiencia (%)

FZ = Suma de los influentes

FA = Suma de los efluentes

### **3.10. Período de la Investigación**

El período de la investigación comprende desde el 04 diciembre del 2017 al 4 de marzo del 2019.



# CONCLUSIONES

## 4. CONCLUSIONES

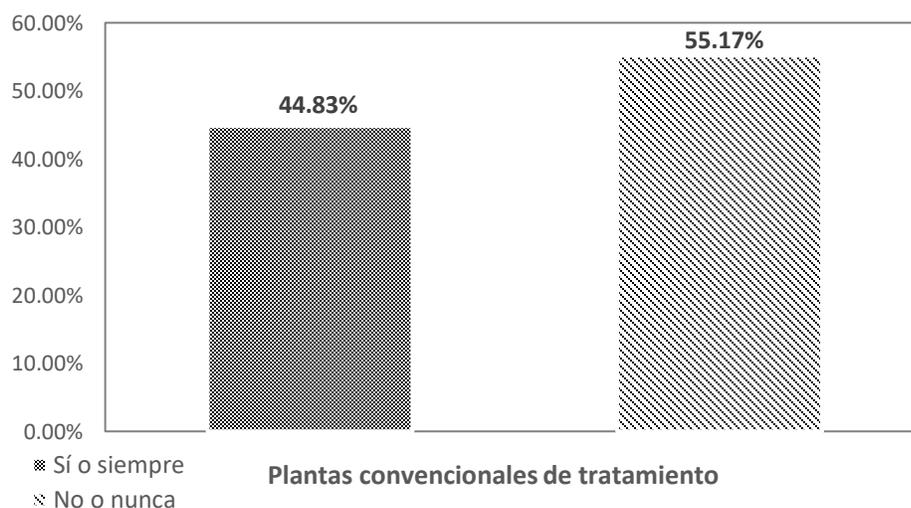
## 4.1. Resultados

Los resultados de la investigación están presentados por orden y según las preguntas de investigación formuladas en este estudio. Se inicia presentando el resultado del formulario de encuesta aplicado a 29 técnicos y/o especialistas, el cual consta de dos partes y 31 preguntas, siendo la No.19 eliminada de la parte II, debido a que pertenecía a la parte I. (PI es parte I, PII es parte II).

## 4.2. Resultados de la Encuesta Realizada a Técnicos y/o Especialistas del Área de Agua y Saneamiento

A continuación, se muestran los resultados de dichas encuestas.

Parte I.



*Figura 7.* PI.1 ¿Existen plantas convencionales de tratamiento de aguas residuales en la zona? Se observa que el 55.17% de los entrevistados para el estudio respondieron que sí a la pregunta formulada, en contra del 44.83% que respondieron que no (elaboración propia).

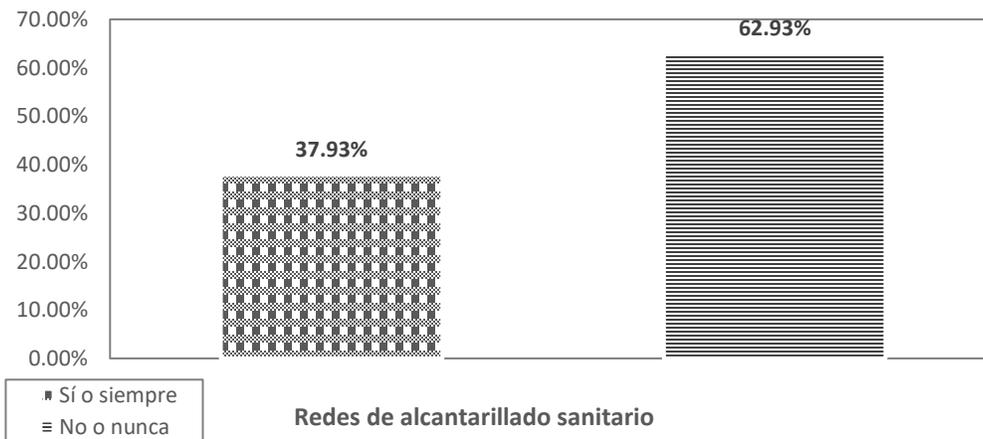


Figura 8. PI.3 ¿El Municipio o ciudad cuenta con redes de alcantarillado sanitario? Muestra que el 62.93% expresan que hay redes de alcantarillado sanitario en la zona de estudio, en contra del 37.93% que respondieron diferente (elaboración propia).

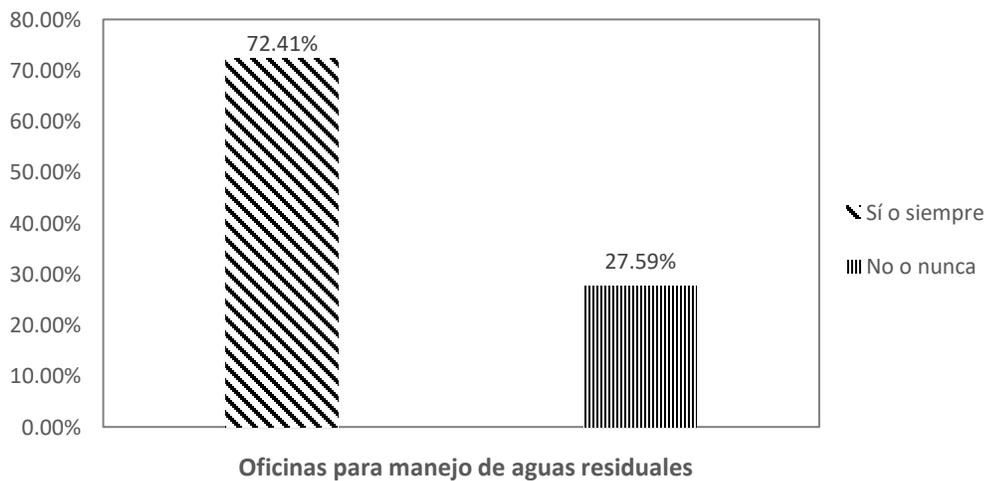


Figura 9. PI.4 ¿Existen Oficinas Encargadas del Manejo de las Aguas Residuales? El 72.41% respondieron que sí y el 27.59% dijeron que no existen (elaboración propia).



Figura 10. PI.6 ¿Considera Usted que se les da un manejo adecuado a las aguas residuales en la región y que no llegan a la planta de tratamiento? El 89.66% dice que no y el 10.34% respondieron que sí se le da manejo adecuado (elaboración propia).

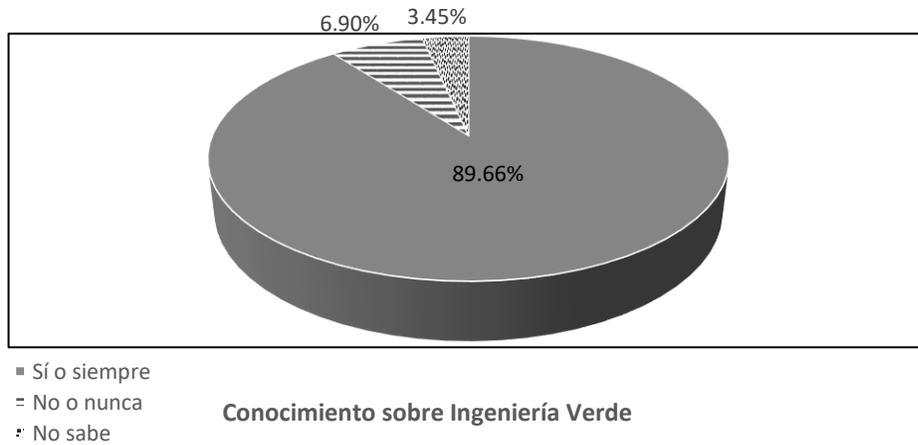


Figura 11. PI.8 ¿Conoce Usted la Ingeniería Verde, blanda o ecológica? El 89.66% de los entrevistados opinan que sí, el 6.90% que no o nunca, mientras que el 3.45% opinaron que no (elaboración propia).

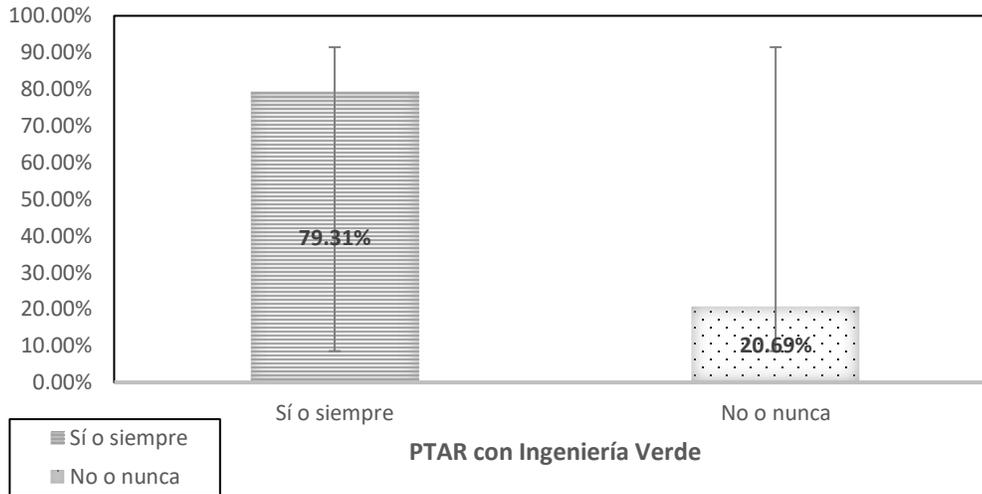


Figura 12. PI.9 ¿Existen plantas de tratamiento de aguas residuales con Ingeniería Verde en la zona? El 79.31% de los encuestados opinaron que sí, mientras que el 20.69% de estos dijeron que no existen estas plantas de tratamiento para las aguas residuales en la zona (elaboración propia).

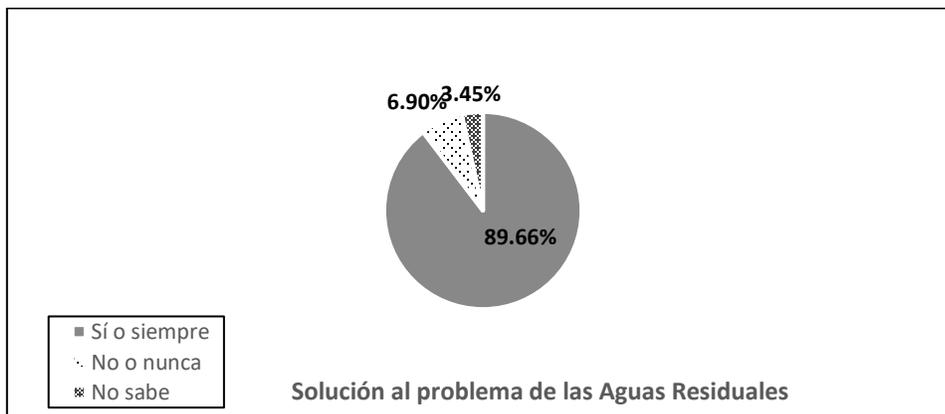


Figura 13.- PI.10 ¿Los sistemas de tratamiento con Ingeniería Verde implementados hasta el momento han resuelto algún problema? Los entrevistados respondieron de la siguiente manera: el 89.66% dijeron que sí, el 6.90% que no y el 3.45% que no sabe.

Fuente: (elaboración propia).

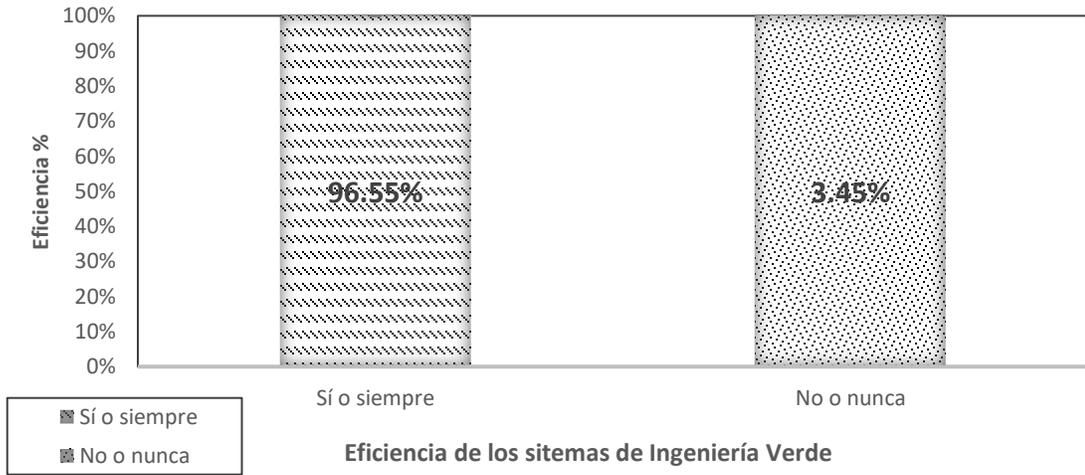


Figura 14. PI.11 ¿Considera Usted eficientes los sistemas de Ingeniería Verde implementados en la región? Respecto a esta interrogante, el 96.55% de los 29 encuestados respondieron que sí y el 3.45% que no (elaboración propia).

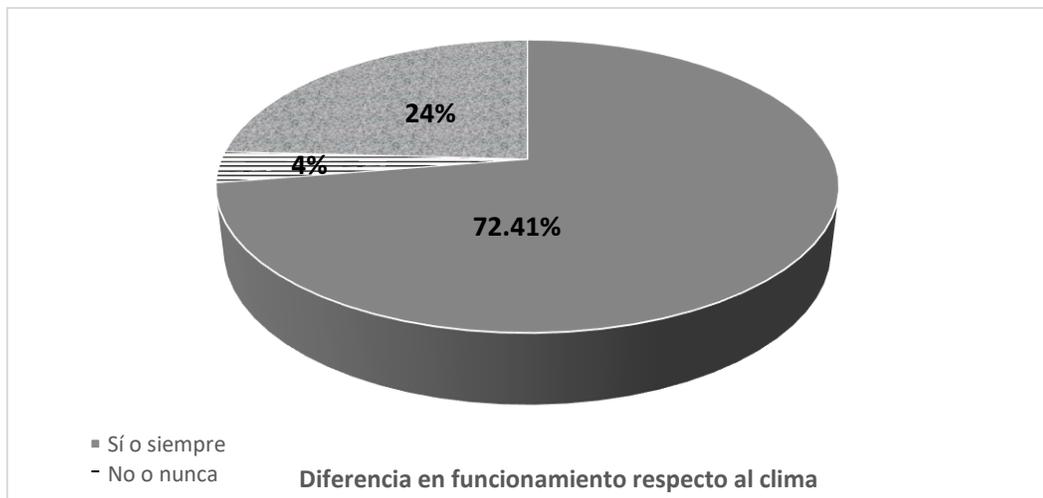


Figura 15. PI.16 ¿Considera Usted que existe diferencia en el funcionamiento del sistema de IV, respecto al clima y/o lugar en donde se implemente? En cuanto al funcionamiento de los sistemas respecto al clima del lugar, un 72.41% de los encuestados respondieron sí, que existen diferencia, un 24% que no sabe del tema y el 4% dice que no existe diferencia alguna (elaboración propia).

Formulario Parte II.

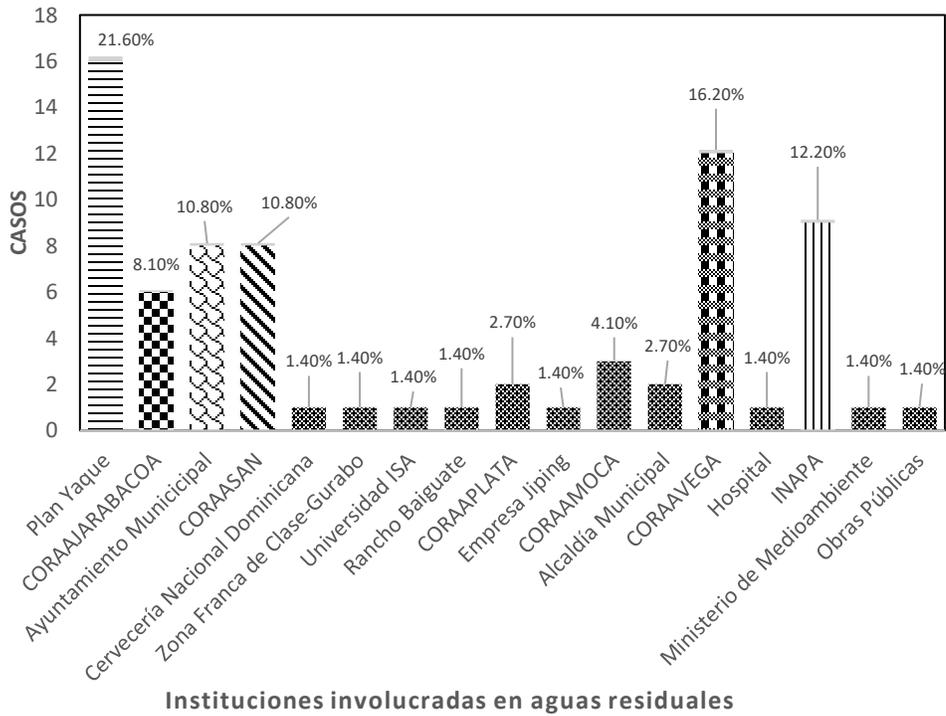


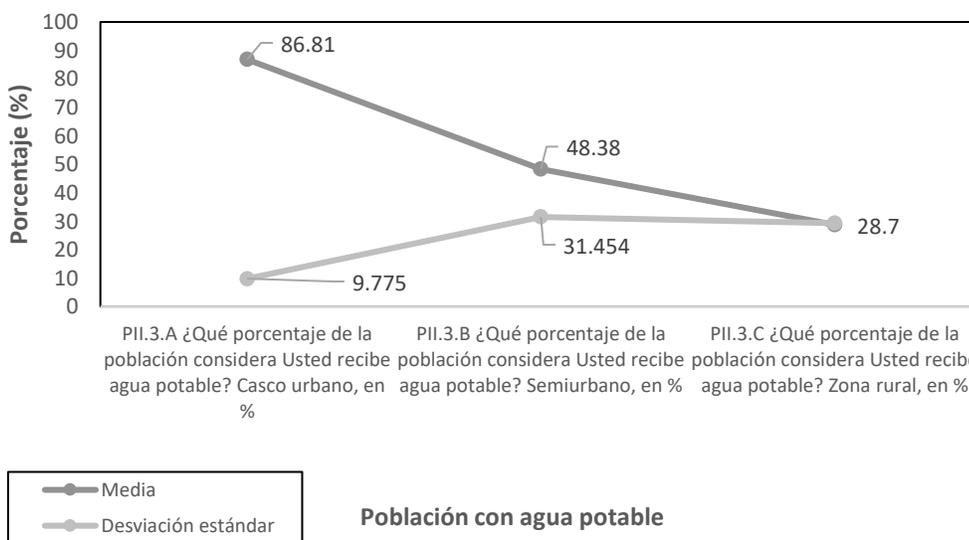
Figura 16. PII.1 Indique Tres Instituciones Vinculadas al Tratamiento de Aguas Residuales en la Zona. Aquí se muestra las diferentes instituciones involucradas en el manejo de agua y saneamiento en la zona de estudio (elaboración propia).

Tabla 25

*P11.2 ¿Cómo consigue su familia el agua potable?*

		Respuestas	
		N	Porcentaje
P11.2 Categorías	P11.2. A Acueducto	21	63.6%
	P11.2. C Comprado	12	36.4%
Total		33	100.0%

*Nota.* Se observa que el 63.6% de los entrevistados utilizan agua de acueducto, mientras que el 36.4% compran en agua en botellones para poder utilizarlo (elaboración propia).



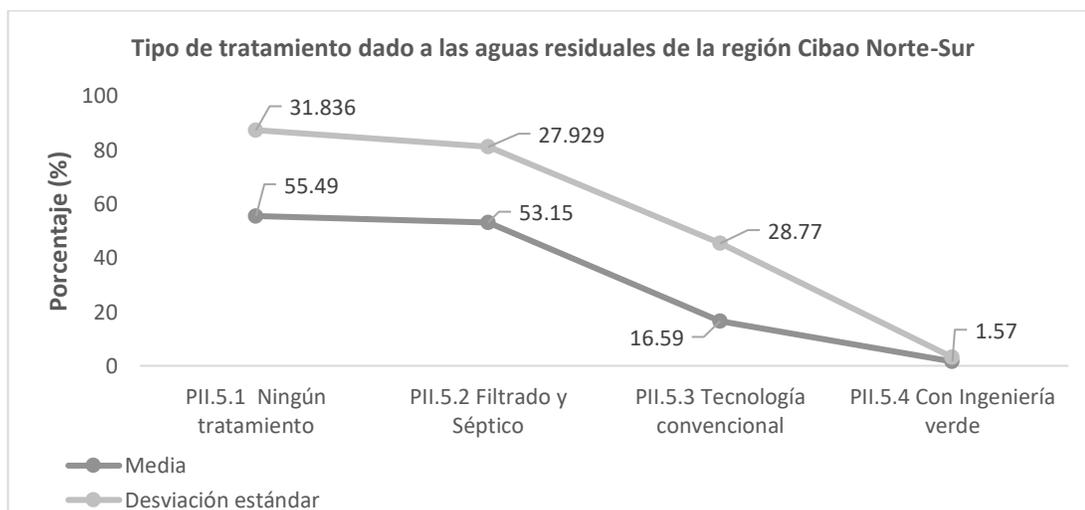
*Figura 17.- P11.3 ¿Qué porcentaje de la población considera Usted recibe agua potable? Se puede observar la desviación estándar y la media sobre las líneas de los datos (elaboración propia).*

Tabla 26

*P11.4 ¿Qué tipo de tratamiento recibe el agua que consume la población?*

	Respuestas		Porcentaje de casos
	N	Porcentaje	
P11.4.1 Cloración	27	30.7%	96.4%
P11.4.2 Coagulación - Floculación.	21	23.9%	75.0%
P11.4.3 Sistemas de filtración.	23	26.1%	82.1%
P11.4.4 Procesos de membrana.	3	3.4%	10.7%
P11.4.5 Desinfección química / Oxidantes.	7	8.0%	25.0%
P11.4.7 Sistemas de extracción con aire.	1	1.1%	3.6%
P11.4.8 Tratamiento solar.	5	5.7%	17.9%
P11.4.9 Otros	1	1.1%	3.6%
Total	88	100.0%	314.3%

*Nota.* La tabla nos indica que los métodos utilizados para el tratamiento del agua de consumo humano es cloración en primer lugar, en segundo lugar, Coagulación - Floculación y en tercer lugar el sistema de filtración (elaboración propia).



*Figura 18.* P11.5 ¿Qué tipo de tratamiento conoce usted se les está dando a las aguas servidas en la región? Se observa que el 55.49% reconoce que no se la da ningún mantenimiento, el 53.15% realiza filtrado-séptico, el 16.59% utiliza tecnología convencional y el 1.57% expresa que se utiliza sistema ecológico o de ingeniería verde. Véase la media (barra más oscura) y la desviación estándar de los datos (elaboración propia).

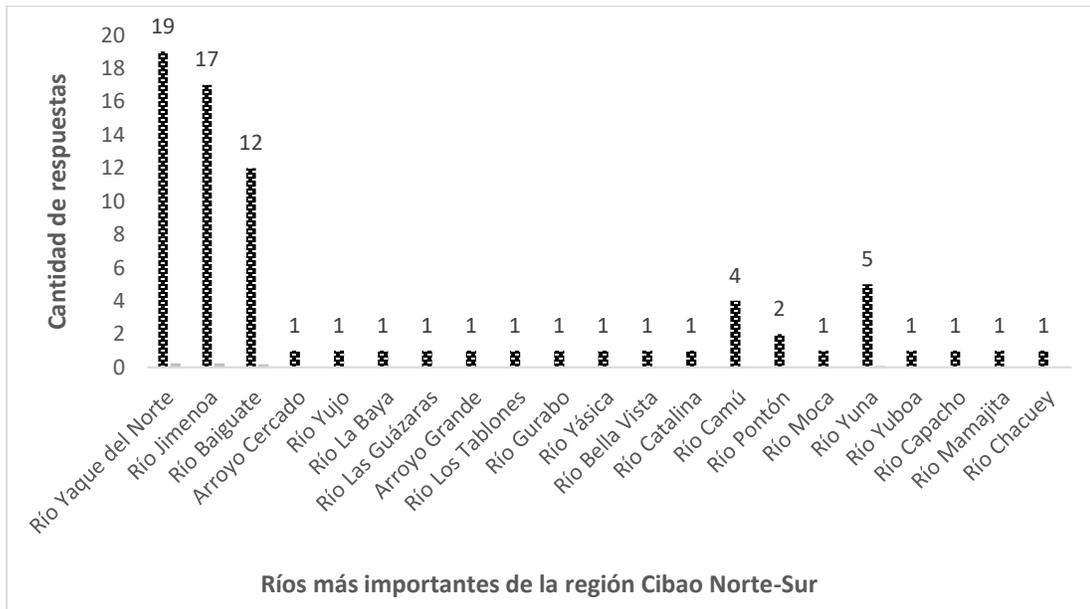


Figura 19. PII.6 ¿Podría mencionar los ríos de la zona que tienen capacidad depuradora? Se puede verificar que los ríos más importantes de la zona de estudio son: Río Yaque del Norte, Río Jimenoa, Río Baiguate y Río Yuna (elaboración propia).

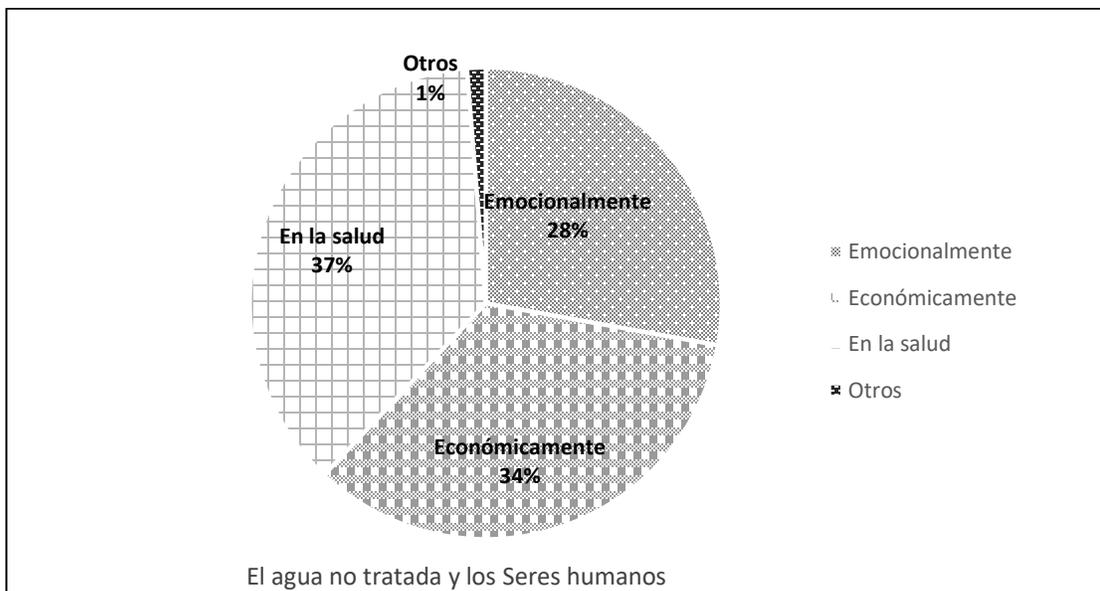


Figura 20. PII.7 ¿Cómo afecta el vertido de agua no tratada a los seres humanos? Un 37% de los entrevistados opinan que el agua contaminada afecta a los seres humanos en la salud, un 34% los afecta económicamente, un 28% emocionalmente y un 1% acuerda que en otros aspectos (elaboración propia).

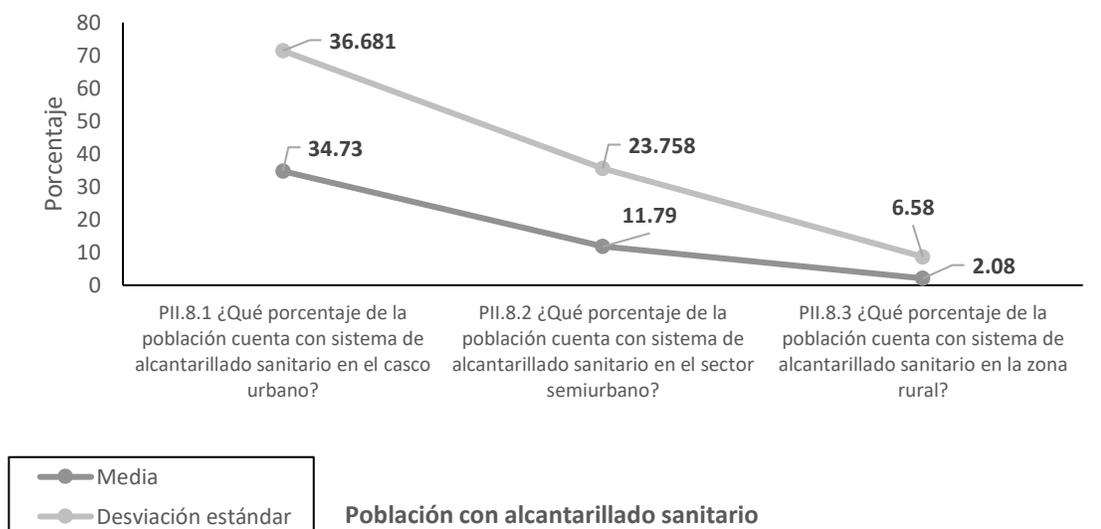


Figura 21. PII.8 ¿Qué porcentaje de la población cuenta con sistema de alcantarillado sanitario? Aquí se aprecia el abastecimiento con alcantarillado sanitario, tanto en la zona rural, urbana como semi-urbana. Observe la media y la desviación estándar en la figura (elaboración propia).

Tabla 27

PII.9 ¿Cuál es el costo actual de una planta convencional de tratamiento de aguas residuales?

	N	Mínimo	Máximo	Media	Desviación estándar
PII.9 ¿Cuál es el costo actual de una planta convencional de tratamiento de aguas residuales?	10	0	US\$14,141,414.14	US\$4,450,216.44	US\$6,185,565.95
N válido (por lista)	10				

Nota. Se puede distinguir la gran desviación estándar entre las cantidades que figuran en la tabla para la determinación del costo de una planta convencional de tratamiento de aguas residuales (elaboración propia).

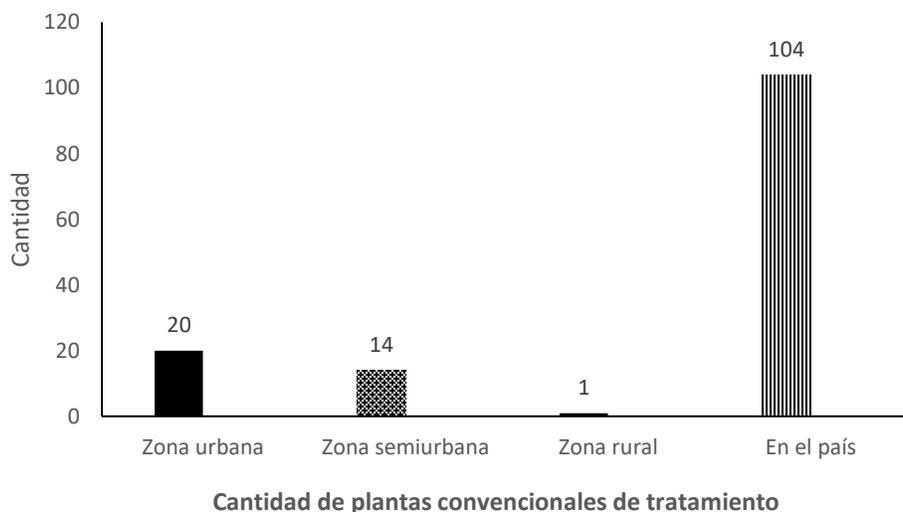


Figura 22. PII.10 Número de plantas convencionales de tratamiento de aguas residuales que existen en la zona (elaboración propia).

Tabla 28

PII.11 ¿Por qué elegiría Usted un sistema de tratamiento de aguas residuales con ingeniería verde (blanda/ecológica)?

		Respuestas		Porcentaje de casos
		N	Porcentaje	
PII.11 Categorías <sup>a</sup>	PII.11.1 Económico	24	37.5%	85.7%
	PII.11.2 Factible al medio	20	31.3%	71.4%
	PII.11.3 Eficiente	20	31.3%	71.4%
Total		64	100.0%	228.6%

Nota. Se observa que la desviación estándar es mínima y que el sistema ha sido apreciado por los entrevistados de igual manera como económico, factible al medioambiente y eficiente (elaboración propia).

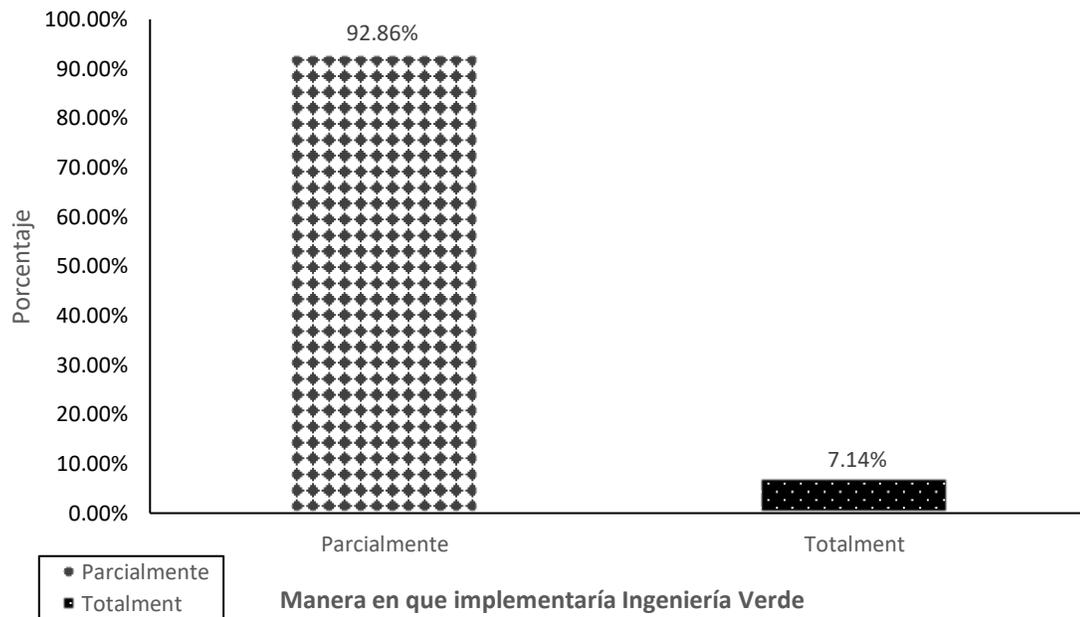


Figura 23. PII.12 ¿De qué manera implementaría la Ingeniería Verde en el manejo de las aguas residuales en el país? Cuando se les preguntó a los entrevistados sobre la manera en que implementarían el sistema de ingeniería verde, el 92.86% dijeron que parcialmente y el 7.14% expresaron que totalmente (elaboración propia).

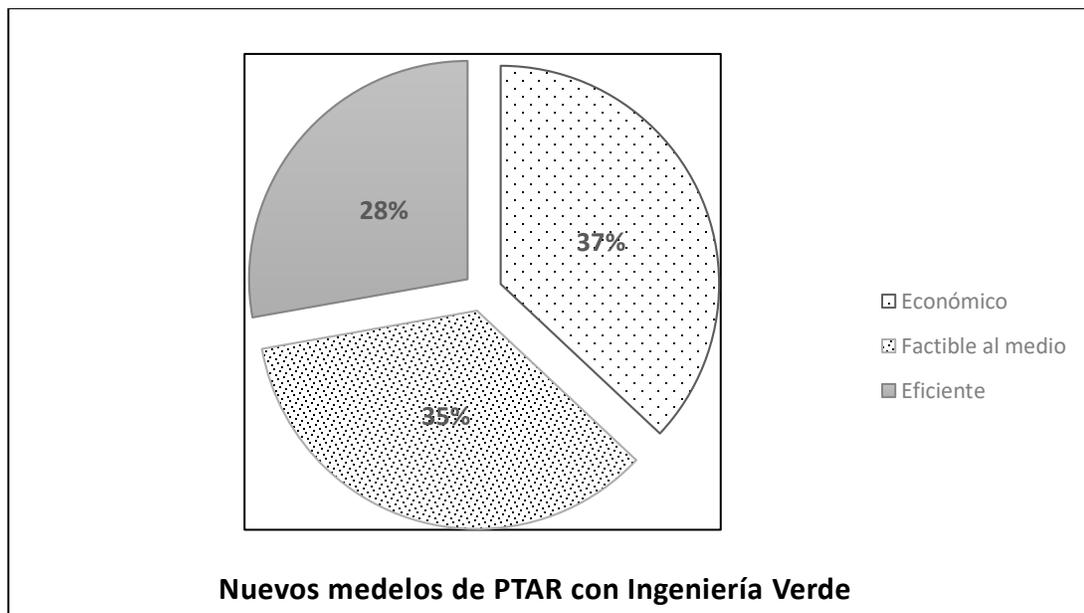
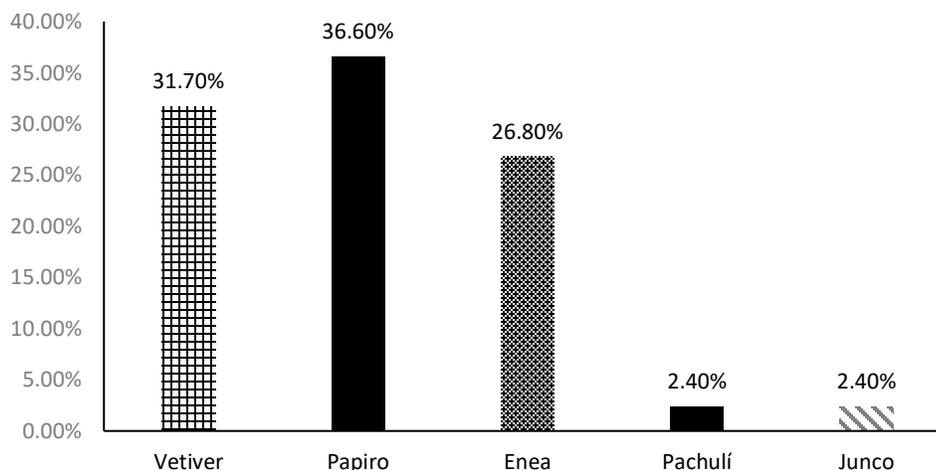


Figura 24. PII.13 ¿Por qué considera usted necesario desarrollar nuevos modelos de Ingeniería Verde adaptables a su medio? El 37% de los encuestados coincidieron que se deben desarrollar

nuevos modelos de estos sistemas por ser económicos, el 35% por ser factibles al medio y el 28% por ser eficientes (elaboración propia).



#### Especies de macrifita utilizadas en el humedal

Figura 25. PII.14 ¿Qué especies vegetales utiliza usted dentro del humedal? Sobre las especies de macrofita utilizadas en el área de estudio, el más empleado es el Papiro, en segundo lugar, el Vetiver, en tercer lugar, la Enea y en menor proporción el Junco y el Pachulí (elaboración propia).

Tabla 29

PII.15 ¿Qué tipo de membrana (plástico) y gravilla utiliza Usted en su humedal?

PII.15 Categorías	Respuestas	Porcentaje de	
		N	Porcentaje
Grava de 7/4	15	32.6%	88.2%
Geomembrana de 1 mm	13	28.3%	76.5%
Arena de 1 mm	5	10.9%	29.4%
Hormigón y bloques de concreto	6	13.0%	35.3%
Lona de 300 micrones	3	6.5%	17.6%
Metales	4	8.7%	23.5%
Total	46	100.0%	270.6%

Nota. En la tabla se aprecian los materiales más utilizados en la construcción de humedales artificiales en la zona de estudio (elaboración propia).

Tabla 30

*P11.16 ¿Qué otros materiales emplean dentro de su humedal?*

		Respuestas		Porcentaje de casos
		N	Porcentaje	
P11.16 Categorías	Arena lavada	10	21.7%	62.5%
	Gravillín	7	15.2%	43.8%
	Carbón	12	26.1%	75.0%
	Metales en oxidación	8	17.4%	50.0%
	Tuberías	7	15.2%	43.8%
	Grava-Gransote (Piedras 2-2.5 pulgadas)	2	4.3%	12.5%
Total		46	100.0%	287.5%

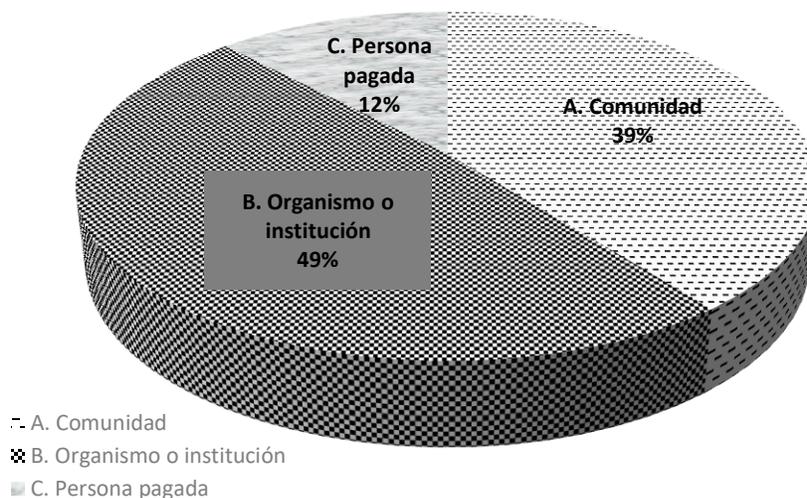
*Nota.* Se aprecian los materiales más utilizados en la construcción de humedales artificiales en la zona de estudio (elaboración propia).

Tabla 31

*P11.17 ¿Cómo controla la entrada de aguas residuales al humedal en casos de lluvias torrenciales (tormentas, huracanes)?*

		Respuestas		Porcentaje de casos
		N	Porcentaje	
P11.17 Categorías <sup>a</sup>	Zanja de desviación	13	39.4%	76.5%
	Plantación perimetral de grama	2	6.1%	11.8%
	Muros de sacos	9	27.3%	52.9%
	Mediante Ingeniería de diseño	2	6.1%	11.8%
	Válvulas Baipás	4	12.1%	23.5%
	Levantamiento de la geomembrana	2	6.1%	11.8%
	Dirigiendo las aguas pluviales a otros lugares	1	3.0%	5.9%
Total		33	100.0%	194.1%

*Nota.* Aquí se aprecian las diferentes maneras que emplean los encargados de humedales para momentos de torrenciales o periodos de mucha lluvia (elaboración propia).



**Encargado del mantenimiento de la PTAR**

Figura 26. PII.18 ¿Quiénes están encargados de dar mantenimiento a la planta de tratamiento? En el caso de Jarabacoa, los encargados del mantenimiento de las plantas construidas por el Plan Yaque es el mismo organismo o institución (49%), el 39% de las veces es la comunidad y el 12% es una persona pagada o por la comunidad o por la institución constructora (elaboración propia).

Tabla 32

PII. 20. Según su conocimiento, ¿cuál es el número de proyectos con Ingeniería Verde (blanda o ecológica) implementados en la zona o región?

	N	Mínimo	Máximo	Media	Desviación estándar
PII.20 Según su conocimiento, ¿cuál es el número de proyectos con Ingeniería Verde (blanda o ecológica) implementados en la zona o región?	21	1	50	14.71	11.572
N válido (por lista)	21				

Nota. Como lo indica la tabla, algunas personas opinaron que en total hay 50 proyectos ecológicos, otros opinan que 14 y otros que 11 proyectos (elaboración propia).

Tabla 33

*PII.21 Recursos disponibles para la implementación de los sistemas de Ingeniería Verde en otras áreas del país*

		Respuestas		Porcentaje de
		N	Porcentaje	casos
PII.21 Categorías	PII.21. A Terreno	25	26.9%	92.6%
	PII.21. B Plantas macrofita	26	28.0%	96.3%
	PII.21. C Recursos financieros	21	22.6%	77.8%
	PII.21. D Personal capacitado	21	22.6%	77.8%
Total		93	100.0%	344.4%

*Nota.* En cuanto a los recursos disponibles para el desarrollo e implementación de estos sistemas a nivel local y nacional, los encuestados opinaron que existen terrenos, plantas macrofita, recursos financieros y personal capacitado para su construcción (elaboración propia).

Tabla 34

*P11.22 ¿Podría usted expresar las características principales del sistema de IV / blanda o ecológica?*

Características	Respuesta %
Bajo costo de implementación y operación	25.00%
Bajo costo de mantenimiento	16.70%
Fácil de operar	16.70%
Adaptable al medio	11.10%
Poco invasivo	9.70%
Muy eficiente	11.10%
Posee séptico anaeróbico	1.40%
Requiere humedad aeróbica	1.40%
Requiere plantas macrofita	2.80%
Los procesos físicos, químicos y biológicos son llevados por las especies vegetales y los microorganismos	1.40%
Capacidad de depuración sin necesidad de agentes externos a la naturaleza	1.40%
Sépticos de 3 y 4 cámaras/ filtros de arena, grava, carbón activado, hierro y filtrantes	1.40%
Total	100%

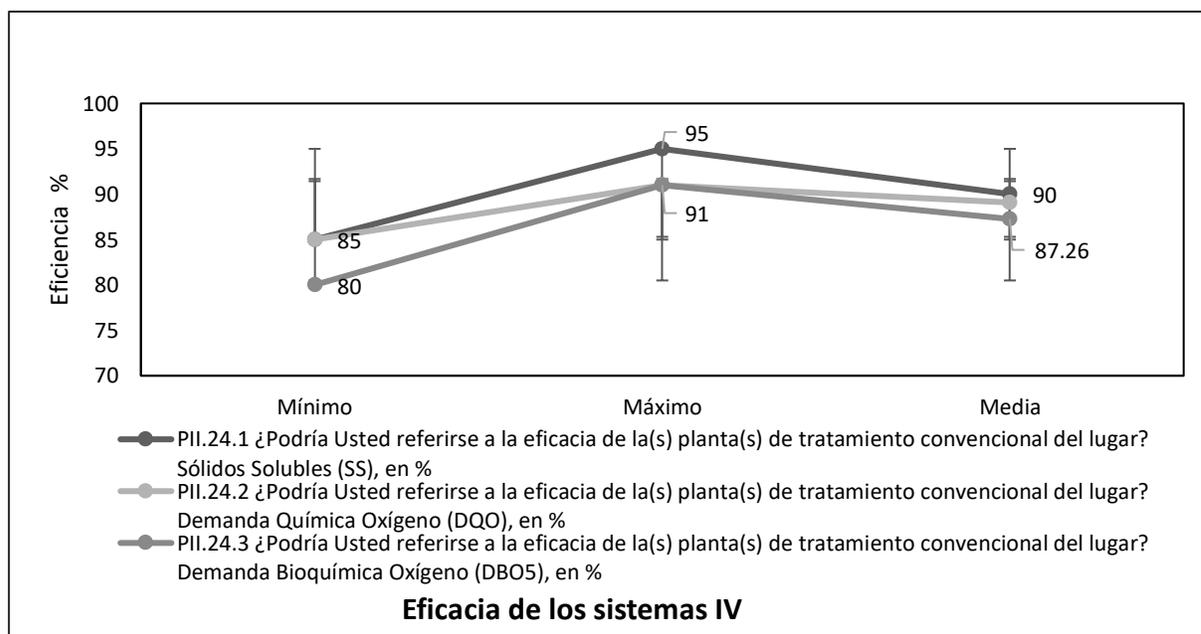
*Nota.* Las principales características de los sistemas ecológicos, según lo que indica la tabla son: bajo costo de implementación y operación, bajo costo de mantenimiento, fácil de operar, adaptable al medio, muy eficiente y poco invasivo (elaboración propia).

Tabla 35

*P11.23 ¿Podría Usted expresar las características principales del sistema convencional?*

Características	Respuesta %
Alto costo de implementación y operación	29.00%
Altos costos de consumo de energía, químicos y mantenimiento	30.40%
Muy eficiente	15.90%
Invasivo al ambiente	11.60%
Requiere cuidado intensivo	1.40%
Depuración del agua es artificial	2.90%
Requiere materiales importados	5.80%
Uso de oxígeno para el tratamiento	1.40%
El agua tratada no tiene utilidad, por lo que los estándares de calidad no tienen importancia	1.40%
Total	100%

*Nota.* Las principales características del sistema convencional son: alto costo de implementación y operación, altos costos de consumo de energía, químicos y mantenimiento, es invasivo al ambiente, pero, muy eficiente, entre otros aspectos a considerar (elaboración propia).



*Figura 27.- P11.24 ¿Podría usted referirse a la eficacia de la(s) planta(s) de tratamiento convencional del lugar? Se puede observar que la eficacia del sistema convencional en cuanto a los SS es muy buena y también lo es en la remoción de DQO y DBO<sub>5</sub> (elaboración propia).*

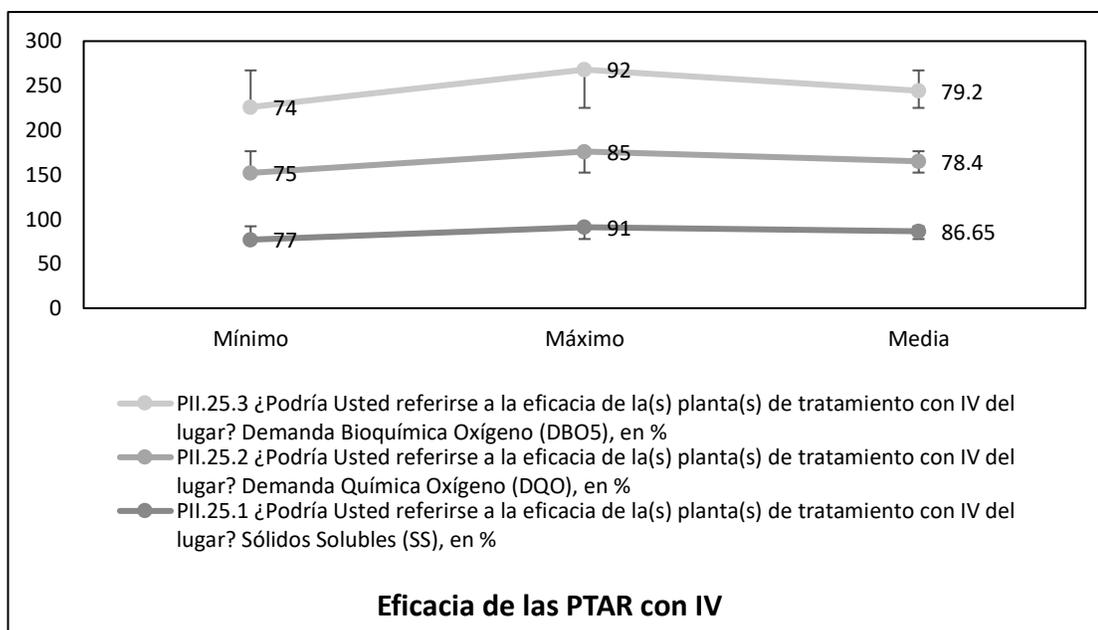


Figura 28.- PII. 25 ¿Podría Usted referirse a la eficacia de la(s) planta(s) de tratamiento con IV del lugar? Según los datos que aquí se presentan, las PTAR con ingeniería verde tienen una eficacia media de 81.41% en la remoción de DBO<sub>5</sub>, DQO y SS, notándose más la eficacia en la remoción de SS (elaboración propia).

Tabla 36

*PII.26 ¿Cómo afecta la variación del clima al funcionamiento del humedal?*

Descripción	Respuesta %
Remoción de contaminantes	16.10%
Eliminación de coliformes	16.10%
Costo para asegurar mejores resultados	3.20%
Requerimiento de más área	9.70%
Se requiere temperatura más adecuada para las plantas	3.20%
Requiere abundante luz solar	3.20%
Tiempo de retención hidráulica	12.90%
Dimensión de la planta/área	6.50%
Tipos de macrofitas	9.70%
Directamente la actuación bacteriana se ve afectada por la temperatura media del lugar	3.20%
Eficiencia de depuración del agua	6.50%
Tiempo de depuración	9.70%
Total	100%

Nota. Según los entrevistados el clima afecta la remoción de contaminantes, eliminación de coliformes y el tiempo de retención hidráulica (TRH), entre otros (elaboración propia).

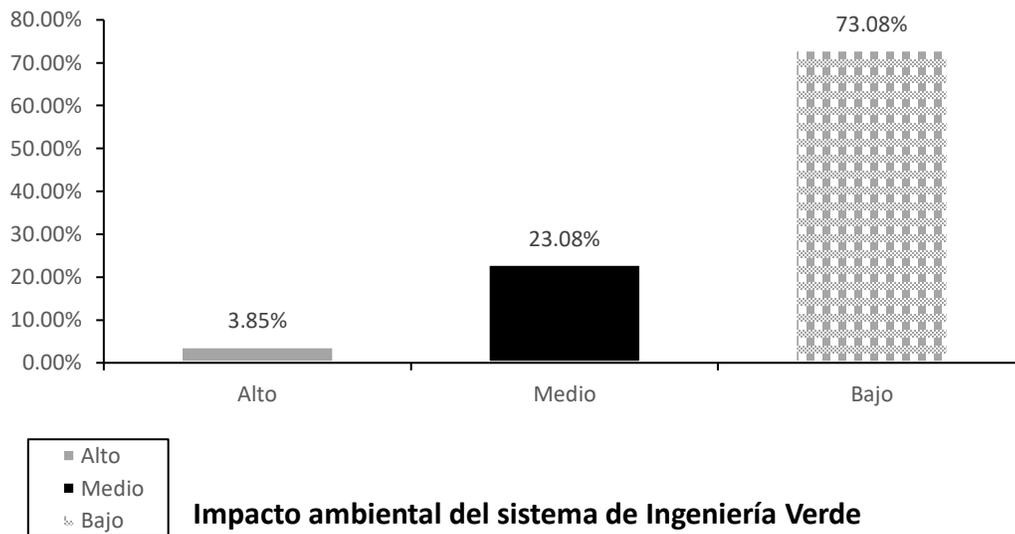


Figura 29.- PII.27 ¿Cuál es el impacto ambiental del sistema de IV, según normas ambientales en República Dominicana? El impacto del sistema ecológico es bajo (73.08%), según expresaron los encuestados, otros opinaron que es medio (23.08%) y alto para un 3.85% (elaboración propia).

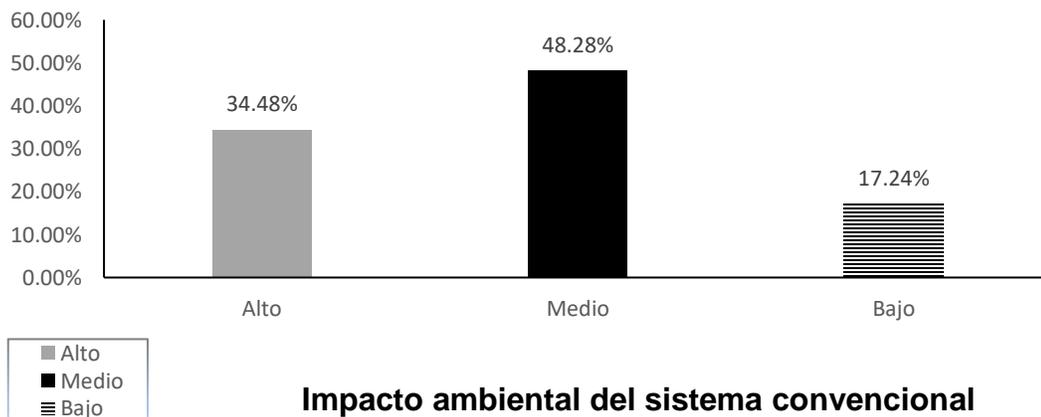


Figura 30.- PII.28 ¿Cuál es el impacto ambiental del sistema convencional en el tratamiento de aguas residuales, partiendo de una correcta operación del sistema y según normas ambientales en República Dominicana? Según la figura es medio con un 48.28%, alto con un 34.48% y bajo con 17.24% (elaboración propia).

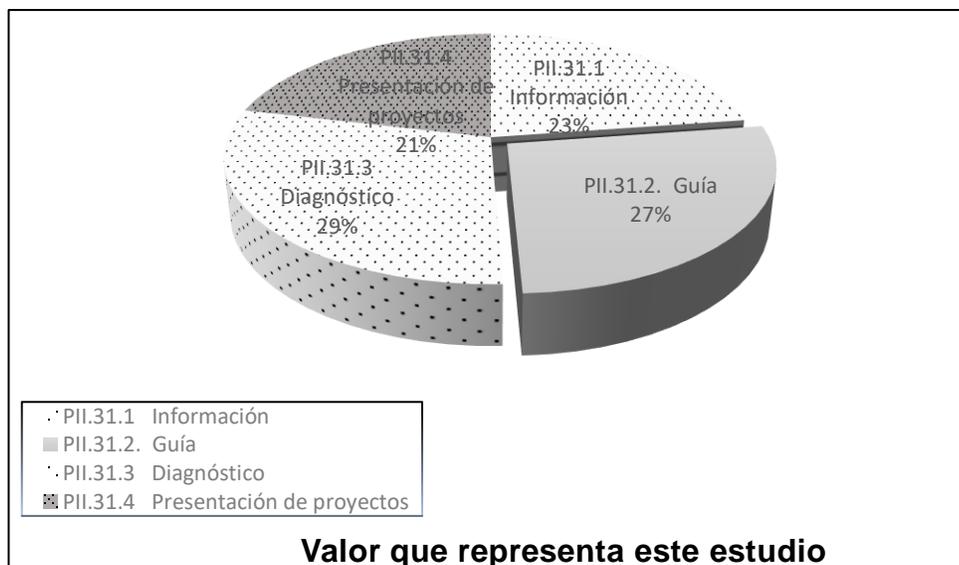


Figura 31.- PII.31 ¿Qué valor representa para su organización este estudio? El valor que representa para los encuestados es que se podrían utilizar como diagnóstico (29%), guía (27%), información (23%) y presentación de proyectos (21%) (elaboración propia).

A continuación, se presentan los resultados según las preguntas de investigación en el estudio.

### 4.3. Características de los Sistemas de Ingeniería Verde Para el Tratamiento de las Aguas Residuales Implementados en Jarabacoa

Se visitó cada humedal implementado en Jarabacoa y fuera del área de estudio para realizar una caracterización de estos (Región Cibao Norte-Sur). También se les cuestionó a los expertos en ingeniería verde y a los gerentes de instituciones afines, así como a los técnicos especialistas. A continuación, se presentan los resultados.

Preguntas:

**4.3.1. Pregunta general.** ¿Sería factible analizar los sistemas implementados con Ingeniería Verde en los procesos de tratamiento de aguas residuales en el municipio de Jarabacoa, República Dominicana y determinar la viabilidad de su ejecución como alternativa de solución a la problemática existente en otras regiones?

Los resultados del estudio muestran que fue factible el análisis de los sistemas implementados en Jarabacoa y la determinación de la viabilidad de la ejecución de estos sistemas en el país y demás regiones.

*Preguntas específicas.* ¿Cuáles son las características de los sistemas de Ingeniería Verde para el tratamiento de las aguas residuales implementados en Jarabacoa?

**4.3.2. Especies vegetales utilizadas en los humedales.** Como se observa en la estadística dicotómica tabulada (Tabla 37), la Enea (*Typha latifoliada* L.) es la más utilizada, seguida del Papiro (*Cyperus papyrus* L.) y Vetiver (*Vetiveria zizanioides* L.) en Jarabacoa como material vegetativo para la oxidación de la materia orgánica en el humedal. El Pachulí (*Pogostemon cablin* Benth.) y el Junco (*Scirpus holoschoenus* L.) son utilizados en menor proporción. Más, sin embargo, la Enea, el Papiro y el Vetiver son los más utilizadas en los humedales de Jarabacoa.

Tabla 37

*Resultados de especies vegetales utilizadas en los humedales*

Especies vegetales	N	Respuestas	
			Porcentaje
Vetiver	2		18.2%
Papiro	3		27.3%
Enea	4		36.4%
Pachulí	1		9.1%
Junco	1		9.1%
Total	11		100.0%

*Nota.* Elaboración propia.

**4.3.3. Tipos de membrana y gravilla utilizada en los humedales.** Se puede verificar en la tabla 38 que, la grava 7/4 (30.8%) es la más empleada en la construcción de humedales, seguida de la geomembrana con 23.1%, la arena de 1 mm 15.4%, la lona de 300 micrones con igual porcentaje de 15.4%. El hormigón con bloques de concreto y el uso de metales con 7.7%, respectivamente. Estos materiales se emplean bastante en los humedales de Jarabacoa.

Tabla 38

*Resultados de los tipos de materiales utilizados en los humedales*

Materiales utilizados	Respuestas	
	N	Porcentaje
Grava de 7/4	4	30.8%
Geomembrana de 1 mm	3	23.1%
Arena de 1 mm	2	15.4%
Hormigón y bloques de concreto	1	7.7%
Lona de 300 micrones	2	15.4%
Metales	1	7.7%
Total	13	100.0%

*Nota.* Elaboración propia.

**4.3.4. Materiales utilizados en los humedales.** Dentro de otros materiales que se emplean en los humedales como la Arena lavada, el Carbón y metales en oxidación ocupan el 22% y el gravillín de igual porcentaje, las tuberías y la grava-gransote un 11%, respectivamente, como ilustra en la tabla 4. Estos materiales son ampliamente utilizados en dichos humedales. Se muestra en la tabla 39.

Tabla 39

*Resultados de la encuesta realizada (Otros materiales Utilizados en los Humedales)*

Materiales	Respuestas	
	N	Porcentaje
Arena lavada	2	22.2%
Gravillín	1	11.1%
Carbón	2	22.2%
Metales en oxidación	2	22.2%
Tuberías	1	11.1%
Grava-Gransote (Piedras 2-2.5 pulgadas)	1	11.1%
Total	9	100%

*Nota.* El Autor, a través de la encuesta realizada a expertos y técnicos del área de agua y saneamiento de la región Cibao Norte-Sur.

A continuación, se caracterizan las plantas de tratamiento de aguas residuales que fueron construidas en Jarabacoa por el Plan Yaque, bajo el sistema de Ingeniería Verde, ecológica o blanda.

#### **4.4. Caracterización Planta TAR El Dorado, Jarabacoa, R.D.**

La tabla 40, describe la PTAR El Dorado del municipio de Jarabacoa, R.D., la cual fue construida para una población de 75 habitantes, asumiéndose una dotación de 100 L/hab/d, una carga orgánica ( $DBO_5$ ) de 300 mg/L, de base geotextil, sustrato grava 7/8 con  $A_s = 70 \text{ m}^2$  ( $L = 10 \text{ m}$ ,  $W = 7 \text{ m}$  y altura 0.60 m). Esta planta posee dos cámaras sépticas con un volumen de  $10 \text{ m}^3$ . Vegetación: Vetiver (*Vetiveria zizanioides* L.); Enea (*Typha latifolia* L.) y Papiro (*Cyperus papyrus* L.).

Tabla 40

*Resultados de la caracterización Planta TAR El Dorado*

Nombre del humedal		El Dorado	
1	Ubicación	Sitio	El Dorado, Jarabacoa, R.D.
		Coordenadas	X 19.123306
			Y -70.633472
			Altura 541 msnm
2	Datos de diseño	Población	75 habitantes
		Dotación	100 lit/hab/día
		Temperatura ambiental	28 grados Celsius
		Carga de material orgánico (DBO5)	300 mg/L
3	Área del humedal	70 m <sup>2</sup>	
4	Tipos de macrofitas	Especie:	Vetiver ( <i>Vetiveria zizanioides</i> L.); Enea ( <i>Typha latifolia</i> L.) y Papiro ( <i>Cyperus papyrus</i> L.)
		Tamaño de las raíces:	30 cm
		Tamaño del follaje:	70 cm
5	Material Utilizado	Estructura	Geotextil
		Medio de relleno	Grava
6	Granulometría	7/8"	
7	Relación agua-medio	60-40% (agua-medio) = 0.67%	
8	Dimensiones del sistema	Largo	10 m
		Ancho	7 m
		Profundidad	0.60 m
9	Cantidad de Cámaras Sépticas	2	
10	Volumen Cámara séptica 1	6 m <sup>3</sup>	
11	Volumen Cámara séptica 2	4.84 m <sup>3</sup>	
12	Volumen generado	7.5 m <sup>3</sup> /d	
13	Población servida	75 habs.	
14	Tiempo en funcionamiento	4 meses	

*Nota.* Mediciones realizadas por el autor en cada PTAR con IV en Jarabacoa.

#### **4.5. Caracterización de la PTAR Escuela Ambiental #1, Jarabacoa, R.D.**

En la tabla 41, se puede observar que la PTAR Escuela Ambiental #1, de Piedra Blanca, Jarabacoa, R.D., fue construida para una población de 28 habitantes, asumiéndose una dotación de 80 L/hab/d, de base geotextil, sustrato gransote y arena, con  $A_s = 21.85 \text{ m}^2$  (L=6.83 m, W= 3.20 m y altura 1.40 m). Esta planta posee una cámara

séptica con un volumen de 4.48 m<sup>3</sup>. Vegetación: Vetiver (*Vetiveria zizanioides* L.); Enea (*Typha latifolia* L.) y Papiro (*Cyperus papyrus* L.). Esta planta se diseñó con un método diferente de dimensionamiento, el cual consistía en asignar 1 m<sup>3</sup> de construcción por residencia.

Tabla 41

*Resultados de la caracterización de la PTAR Escuela Ambiental #1*

No.	Nombre del humedal	Escuela Ambiental #1	
1	Ubicación	Sitio	Piedra Blanca, Jarabacoa, R.D.
		Coordenadas	X 19.123611 Y -70.599444 Altura 579 msnm
2	Datos de diseño	Población	28 habitantes
		Dotación	80 lit/hab/día
		Temperatura ambiental	24 grados Celsius
		Carga de material orgánico (DBO5)	N/A
3	Área del humedal		21.85 m <sup>2</sup>
4	Tipos de macrofitas	Especie:	Vetiver ( <i>Vetiveria zizanioides</i> L.); Enea ( <i>Typha latifolia</i> L.) y Papiro ( <i>Cyperus papyrus</i> L.)
		Tamaño de las raíces:	55 cm
		Tamaño del follaje:	1.20 m
5	Material Utilizado	Estructura	Blocks
		Medio de relleno	gransote y arena
6	Granulometría		3"
7	Desplazamiento agua-medio		75-25 (agua-medio) = 0.33%
8	Dimensiones del sistema	Largo	6.83 m
		Ancho	3.20 m
		Profundidad	1.40 m
9	Cantidad de Cámaras Sépticas		1
10	Cámara Séptica	Largo	3.2 m
		Ancho	1 m
		Profundidad	1.4 m
11	Volumen generado		27.73 m <sup>3</sup> /d
12	Capacidad interna		30.6 m <sup>3</sup>
13	Tiempo en funcionamiento		3 años

*Nota.* Mediciones realizadas por el autor en cada PTAR con IV en Jarabacoa (elaboración propia).

#### 4.6. Caracterización de la PTAR El Arca, Jarabacoa, R.D.

La PTAR El Arca de Buenos Aires, Jarabacoa, R.D., fue construida para una población de 75 habitantes, asumiéndose una dotación de 85 L/hab/d, de base geotextil, sustrato grava, con  $A_s = 61.25 \text{ m}^2$  ( $L=9.8 \text{ m}$ ,  $W= 6.5 \text{ m}$  y altura  $0.60 \text{ m}$ ). Esta planta cuenta con dos cámaras sépticas y un volumen de  $10.82 \text{ m}^3$ . Vegetación: Vetiver (*Vetiveria zizanioides* L.); Enea (*Typha latifolia* L.) y Papiro (*Cyperus papyrus* L.)., Tiene tres años en operación al año 2018. Esta planta se diseñó con un método diferente de dimensionamiento, el cual consistía en asignar  $1 \text{ m}^3$  de construcción por residencia, como se muestra en la tabla 42.

Tabla 42

##### Resultado de la caracterización de la PTAR El Arca

Nombre del humedal		El Arca	
1	Ubicación	Sitio	Buenos Aires, Jarabacoa, R.D.
		Coordenadas	X 19.122222
			Y -70.603333
			Altura 590 msnm
2	Datos de diseño	Población	75 habitantes
		Dotación	85 L/hab/día
		Temperatura ambiental	26 grados Celsius
		Carga de material orgánico (DBO5)	N/A
		Área del humedal	$61.25 \text{ m}^2$
4	Tipos de macrofitas	Especie:	Vetiver ( <i>Vetiveria zizanioides</i> L.); Enea ( <i>Typha latifolia</i> L.) y Papiro ( <i>Cyperus papyrus</i> L.)
		Tamaño de las raíces:	50 cm
		Tamaño del follaje:	1.03
		Estructura	Geotextil
5	Material Utilizado	Medio de relleno	grava
		Granulometría	7/8"
		Desplazamiento agua-medio	60-40% (agua-medio) = 0.67%
8	Dimensiones del sistema	Largo	9.8 m
		Ancho	6.5 m
		Profundidad	0.60 m
9	Cantidad de Cámaras Sépticas	2	
10	Cámara séptica 1	$6 \text{ m}^3$	
11	Cámara séptica 2	$4.82 \text{ m}^3$	
12	Volumen generado	$30 \text{ m}^3/\text{d}$	
13	Población servida	75 hab.	
14	Tiempo en funcionamiento	2 años	

Nota. Mediciones realizadas por el autor en cada PTAR con IV en Jarabacoa (elaboración propia).

## 4.7. Caracterización de la PTAR Buenos Aires #2, Jarabacoa, R.D

La PTAR Buenos Aires #2, Jarabacoa, R.D., fue construida para una población de 150 habitantes, asumiéndose una dotación de 100 L/hab/d, Carga de material orgánico de 300 mg/L. de base geotextil, sustrato grava, con  $A_s = 24.58 \text{ m}^2$  ( $L = 6.70 \text{ m}$ ,  $W = 3.67 \text{ m}$  y altura 1.50 m). La planta cuenta con dos cámaras sépticas con un volumen de  $22.33 \text{ m}^3$ . Vegetación: Vetiver (*Vetiveria zizanioides* L.). Tiene dos años en operación al año 2018, como se observa en la tabla 43.

Tabla 43

### Resultado de la caracterización de la PTAR Buenos Aires

Nombre del humedal		Buenos Aires #2	
1	Ubicación	Sitio	Buenos Aires, Jarabacoa, R.D.
		Coordenadas	X 19.121667
			Y -70.608611
			Altura 580 msnm
2	Datos de diseño	Población	150 habitantes
		Dotación	100 L/hab/día
		Temperatura ambiental	27 grados Celsius
		Carga material orgánico	300 mg/L
3	Área del humedal	24.58 m <sup>2</sup>	
4	Tipos de macrofitas	Especie:	Vetiver ( <i>Vetiveria zizanioides</i> L.)
		Tamaño de las raíces:	0.60 m
		Tamaño del follaje:	1 m
5	Material Utilizado	Estructura	geotextil
		Medio de relleno	grava
6	Granulometría	7/8"	
7	Desplazamiento agua-medio	40-60 = 0.67%	
8	Dimensiones del sistema	Largo	6.70 m
		Ancho	3.67 m
		Profundidad	1.50 m
9	Cantidad de Cámaras Sépticas	2	
10	Cámara séptica 1	volumen 12 m <sup>3</sup>	
11	Cámara séptica 2	10.33 m <sup>3</sup>	
12	Volumen generado	10 m <sup>3</sup> /d	
13	Población servida	25 habs.	
14	Capacidad interna	36.7 m <sup>3</sup>	
15	Tiempo en funcionamiento	1 año	

Nota. Mediciones realizadas por el autor en cada PTAR con IV en Jarabacoa (elaboración propia).

## 4.8. Caracterización de la PTAR Escuela Ambiental #2, Jarabacoa, R.D.

En la tabla 44, se puede observar que la PTAR Escuela Ambiental #2, fue construida para una población de 50 habitantes, asumiéndose una dotación de 200 L/hab/d, Carga de DBO<sub>5</sub> 300 mg/L. de base de blocks y hormigón, geotextil, sustrato arena y gransote, con As= 42.63 m<sup>2</sup> (L=10.50 m, W= 4.06 m y altura 1.50 m). La planta cuenta con una cámara séptica con volumen de 6.09 m<sup>3</sup>. Vegetación: Vetiver (*Vetiveria zizanioides* L.), Enea (*Typha latifolia* L.) y Papiro (*Cyperus papyrus* L.). Tiene tres años en operación al año 2018.

Tabla 44

### Resultado de la caracterización de la PTAR Escuela Ambiental #2

Nombre del humedal	Escuela Ambiental #2		
1	Ubicación	Sitio	Salto de Jimenoa, Jarabacoa, R.D.
		Coordenadas	X 19.101167 Y -70.598694 Altura 573 msnm
2	Datos de diseño	Población	50 habitantes
		Dotación	200 l/hab/d
		Temperatura ambiental	26 grados Celsius
		Carga de material orgánico (DBO5)	No aplica
3	Área del humedal	42.63 m <sup>2</sup>	
4	Tipos de macrofitas	Especie:	Vetiver ( <i>Vetiveria zizanioides</i> L.); Enea ( <i>Typha latifolia</i> L.) y Papiro ( <i>Cyperus papyrus</i> L.)
		Tamaño de las raíces:	30 cm
		Tamaño del follaje:	70 cm
5	Material Utilizado	Estructura	Blocks y hormigón
		Medio de relleno	Arena y gransote
6	Granulometría	3"	
7	Desplazamiento agua-medio	75-25 (agua-medio) = 0.33%	
8	Dimensiones del sistema	Largo	10.5
		Ancho	4.06 m
		Profundidad	1.5 m
9	Cantidad de Cámaras Sépticas	1	
10	Cámara Séptica	Largo	1.0 m
		Ancho	4.06 m
		Profundidad	1.5 m
11	Volumen generado	40 m <sup>3</sup> /d	
12	Población servida	50 habitantes	
13	Tiempo en funcionamiento	3 años	

Nota. Mediciones realizadas por el autor en cada PTAR con IV en Jarabacoa (elaboración propia).

#### 4.9. Caracterización de la PTAR La Trinchera, Jarabacoa, R.D.

En la tabla 45, se puede observar que la PTAR La Trinchera, fue construida para una población de 75 habitantes, asumiéndose una dotación de 200 L/hab/d, Carga de DBO5 de 300 mg/L., sustrato Grava, Arena, gransote, geotextil, con  $A_s = 82.08 \text{ m}^2$  ( $L = 18.24 \text{ m}$ ,  $W = 4.50 \text{ m}$  y altura 1.50 m). La planta cuenta con una cámara séptica con volumen de 6.75 m<sup>3</sup>. El humedal tiene una capacidad interna de 123.0 m<sup>3</sup>. Vegetación: Vetiver (*Vetiveria zizanioides* L.) y Papiro (*Cyperus papyrus* L.). Tiene tres años en operación al año 2018.

Tabla 45

##### Resultado de la caracterización de la PTAR La Trinchera

Nombre del humedal		PTAR La Trinchera		
1	Ubicación	Sitio	La Trinchera, Jarabacoa, R.D.	
		Coordenadas	X	19.117019
			Y	-70.6278
			Altura	541
2	Datos de diseño	Población	75 habitantes	
		Dotación	200 L./hab/d	
		Temperatura ambiental (DBO5)	22.9°C (media anual "Google") 300 mg/L.	
3	Área del humedal	82.08 m <sup>2</sup>		
4	Tipos de macrofitas	Especie:	Vetiver ( <i>Vetiveria zizanioides</i> L.); Papiro ( <i>Cyperus papyrus</i> L.)	
		Tamaño de las raíces:	67 cm	
		Tamaño del follaje:	1 m	
		Medio de relleno	Grava, Arena, gransote	
5	Granulometría	7/8"		
6				
7	Desplazamiento agua-medio	85/15 gransote, 60/40 grava, 75/25 arena		
8	Dimensiones del sistema	Largo	18.24 m	
		Ancho	4.50 m	
		Profundidad	1.50 m	
9	Cantidad de Cámaras Sépticas	1		
10	Dimensiones Cámara Séptica	Largo	1	
		Ancho	4.5	
		Profundidad	1.5	
11	Volumen generado	73.97 m <sup>3</sup> /d		
12	Población servida	75 habitantes		
13	Capacidad interna	123.0 m <sup>3</sup>		
14	Tiempo en funcionamiento	3 años		

Nota. Mediciones realizadas por el autor en cada PTAR con IV en Jarabacoa (elaboración propia).

#### 4.10. Caracterización PTAR Villas Poppy, Constanza, La Vega, R.D.

En la tabla 46, se puede observar que la PTAR Villas Poppy, de Constanza fue construida para una población de 312 habitantes, asumiéndose una dotación de 175 L/hab/d, Carga de DBO<sub>5</sub> de 300 mg/L., esperada en efluente de 20 mg/L. La temperatura asumida es de 10.5 °C. Sustrato Grava, Arena, gransote, geotextil, con As= 391 m<sup>2</sup> (L=23 m, W= 17 m y altura 1.0 m).

La planta cuenta con dos cámaras sépticas con volumen de 99 m<sup>3</sup>. Vegetación: Anea (*Typha latifolia* L.) y Papiro (*Cyperus papyrus* L.). Tiene siete meses en operación al año 2018.

Tabla 46

*Resultado de la caracterización PTAR Villas Poppy, Constanza, La Vega, R.D.*

Código	Parámetros	Unidad	Valor
1	<i>Datos de la comunidad</i>		
1.1	Dotación (asumida)	Habitantes/residencia	6
1.2	No. De residencias	Residencias	52
1.3	Población total	Habitantes	312
2	<i>Caudal diario para servir</i>		
2.1	Dotación (asumida)	L/hab./días	175
2.2	Volumen generado	m <sup>3</sup> /d	55
3	<i>Volúmenes cámaras sépticas</i>		
3.1	Volumen pozo séptico No.1	mt <sup>3</sup>	55
3.2	Volumen pozo séptico No.2	mt <sup>3</sup>	44
3.3	Volumen total sépticos	mt <sup>3</sup>	99
4	<i>Carga de contaminante representada por la DBO<sub>5</sub></i>		
4.1	Carga de DBO <sub>5</sub> asumida	mg/L	300
4.2	Carga de DBO <sub>5</sub> esperada efluente	mg/L	20
5	<i>Temperatura de diseño</i>		
5.1	Temperatura mínima del área	°C	10.5
6	<i>Dimensiones del humedal</i>		
6.1	Ancho humedal	m	17
6.2	Largo humedal	m	23
6.3	Área del humedal	m <sup>2</sup>	391
6.4	Volumen humedal	mt <sup>3</sup>	391

*Nota.* Mediciones realizadas por el autor en cada PTAR con IV en Jarabacoa (elaboración propia).

#### **4.11. Caracterización de la Planta Convencional de Tratamiento de Aguas Residuales de Rafey, Santiago de los Caballeros, República Dominicana**

La región Cibao-Sur con la planta de Rafey, es la única PTAR convencional que está funcionando permanentemente y a continuación se presenta una caracterización de esta. Población de diseño 591,985, DBO<sub>5</sub> asumido 4.7 mg/L., capacidad de 1, 217 Lps.

El agua servida es conducida a la planta, a través de un colector (Colector cero), cuyo diámetro es de 70 pulgadas, llegando a un cárcamo de donde es impulsada por medio de bombas tornillo de Arquímedes. Tipo de sistema Lodo activado con aireación extendida. Sistema automatizado tipo SCADA para el control y manejo de informaciones registradas. Tiene una eficiencia en DBO<sub>5</sub> de 91%. DQO 91% y SS 90%, tiene 42 años en servicio, como se puede apreciar en la tabla 47.

Tabla 47

*Resultado de la caracterización de la PTAR de Rafey, Santiago, R.D.*

1	Nombre de la planta	Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de Rafey		
		Sitio	Rafey, Santiago, R.D.	
2	Ubicación		X	19.467
		Coordenadas	Y	-70.726
			Altura	190 msnm
3	Datos de diseño	Población	591,985	
4	Capacidad	Carga de material orgánico (DBO <sub>5</sub> )	4.7 mg/L	
5	Proceso	1, 217 lps		
		El agua servida es conducida a la planta, a través de un colector (Colector cero), cuyo diámetro es de 70 pulgadas, llegando a un cárcamo de donde es impulsada por medio de bombas tornillo de Arquímedes		
6	Tipo de sistema	Lodo activado con aireación extendida. Sistema automatizado tipo SCADA para el control y manejo de informaciones registradas		
7	Composición de la estructura	Área de pretratamiento (Cribado), Desarenador-Desgrasador, Tanques de proceso, Sedimentación, Unidad de recirculación de lodos, Unidad de deshidratación de lodos, Unidad de desinfección.		
8	Cantidad de Cámaras	4		
9	Población servida	No disponible		
10	Tiempo en funcionamiento	42 años		
		Parámetro	Eficiencia	
11	Eficacia del proceso	SS	90%	
		DQO	91%	
		DBO <sub>5</sub>	91%	

*Nota.* Mediciones realizadas por el autor en cada PTAR con IV en Jarabacoa (elaboración propia).

#### **4.12. Caracterización Detallada de la PTAR Convencional de Rafey, Santiago, R.D.**

A continuación (tabla 48), se presenta una caracterización detallada de la planta convencional de tratamiento de aguas residuales de Rafey, Santiago de los Caballeros en la República Dominicana.

Tabla 48

*Resultados de la caracterización PTAR Rafey*

Facilidad	No. de Unidades	Tamaño, Tipo y Especificaciones
Bombas de entrada	2	Bombas de tornillo, 1, 200 mm diámetro x motor de 30 Kw
Cámaras de parrillas	1	Rectangular, 19.0 m (L) x 3.4 m (A) x 1.05 (H) a la entrada
Cámaras airadas	1	Rectangular, 35.7 m (L) x 5.0 m(A) x 6.15 m (H)
Tanques primarios de sedimentación	1	Circular, 45.0 m (L) x profundidad en el centro 3.38 m, profundidad en el lado 1.72 m.
Tanque de aeración	1	Rectangular, 54.0 (L) x 36.0 m (A) x 4.6 m (H) con 0.9 m de free board
Bombas de retorno de lodos	2	Bombas de tornillo, 1, 000 mm diámetro x 11 Kw., 1, 750 r.p.m.
Tanque de estabilización de lodos	1	Rectangular, 54.0 m (L) x 18.0 m (A) x 4.6 m (H) con 0.9 m free board
Tanques finales de sedimentación	2	Circular, 45.0 m diámetro x 4.63 (H) x profundidad en el lado 2.08 m
Tanque de cloración	1	Rectangular, 29.12 m (L) x 12.15 m (A) x 2.4 m (H)
Espesador de lodos	1	Circular, 14.0 m diámetro x Profundidad al centro 4.07 m, profundidad en el lado 3.5 m
Camas de arena para secado de lodos	1	Rectangular, 171.3 m (A) x 41.6 m (L), separadas en 40 camas unitarias
Conducto de descarga	1	Conducto abierto de sección cuadrada de 2.0 m x 2.0 m

*Nota.* Planos detallados de diseño de las facilidades de la planta de tratamiento de Rafey (CORAASAN, 2015).

*¿Cuál sería la diferencia a nivel económico, social y ambiental de los sistemas de Ingeniería Verde implementados en Jarabacoa frente a los sistemas convencionales en el Cibao Norte-Sur?*

#### **4.13. Aspecto Económico de los Sistemas Ecológicos y Convencional**

El costo actual de una planta convencional y una con Ingeniería Verde se conocerá a continuación, como parte de los resultados de dicho estudio: la tabla 49 expresa el costo de una planta de PTAR convencional para Jarabacoa (Casco Urbano) de RD\$680,000,000.00 (USD\$13,737,373.70), para un barrio el costo es de RD\$\$206,275,510.00 (USD\$4,167,182.02) y una planta TAR con Ingeniería Verde para

una comunidad de 150 habitantes RD\$ 2,244,898 (USD\$45,351.47). Se observa una gran desviación estándar, debido a la gran diferencia entre las partidas y que lo explica la variedad de plantas de tratamiento.

Tabla 49

*Resultado de encuesta a gerentes, expertos y técnicos especialistas sobre el costo actual de una planta convencional de tratamiento de aguas residuales*

	N	Mínimo	Máximo	Media	Desviación estándar
¿Cuál es el costo actual de una planta convencional de tratamiento de aguas residuales?	4	2,244,898	680,000,000	206,275,510.00	317,495,814.657
N válido (por lista)	4				

*Nota.* Elaboración propia.

#### **4.14. Características Principales del Sistema de TAR con Ingeniería Verde**

La tabla 50, hace referencia a las características principales del sistema de tratamiento de aguas residuales (TAR) con Ingeniería Verde.

En la encuesta realizada a expertos, gerentes y técnicos especialistas se puede observar que, el sistema operado bajo ingeniería verde es de bajo costo de mantenimiento con 18.8%, pues los sistemas implementados en Jarabocoa quienes les dan mantenimiento es la comunidad beneficiaria, la implementación-operación con 12.5%, poco invasivo con un 12.5%, y con característica de muy eficiente de 6.3% según afirmaron los encuestados. Sin embargo, en cuanto a la eficiencia de los sistemas se abordará más adelante. Otras atribuciones se presentan en la tabla a continuación.

Tabla 50

*Resultado de encuesta sobre las características principales del sistema de TAR con Ingeniería Verde*

	Respuestas	
	N	Porcentaje
Bajo costo de implementación y operación	2	12.5%
Bajo costo de mantenimiento	3	18.8%
Fácil de operar	1	6.3%
Adaptable al medio	1	6.3%
Poco invasivo	2	12.5%
Muy eficiente	1	6.3%
Posee séptico anaeróbico	1	6.3%
Requiere humedal aeróbico	1	6.3%
Requiere plantas macrofita	1	6.3%
Los procesos físicos, químicos y biológicos son llevados por las especies vegetales y los microorganismos	1	6.3%
Capacidad de depuración sin necesidad de agentes externos a la naturaleza	1	6.3%
Sépticos de 3 y 4 cámaras/ filtros de arena, grava, carbón activado, hierro y filtrantes	1	6.3%
Total	16	100.0%

Nota. Elaboración propia.

#### **4.14.1. Características principales del sistema convencional de TAR.**

Se evidencia en la Tabla 51 que, el sistema convencional de TAR posee altos costos de consumo de energía, químicos y mantenimiento con un 38.9% de las apreciaciones totales de la encuesta, el 22.2% refiere alto costo de implementación y operación. Sobre el requerimiento de materiales importados un 11.1% afirmaron los encuestados. Características como muy eficiente, invasivo al ambiente, la depuración de agua, las cuales son artificiales, Uso de oxígeno para el tratamiento están en el orden de 5.6% por los encuestados, respectivamente.

El sistema convencional si es bien operado y la planta está en perfecto estado resulta muy eficiente, pero como afirman los encuestados es un sistema costoso, por todo lo que conlleva, empleomanía, materiales importados, combustibles, energía eléctrica, entre otros.

Tabla 51

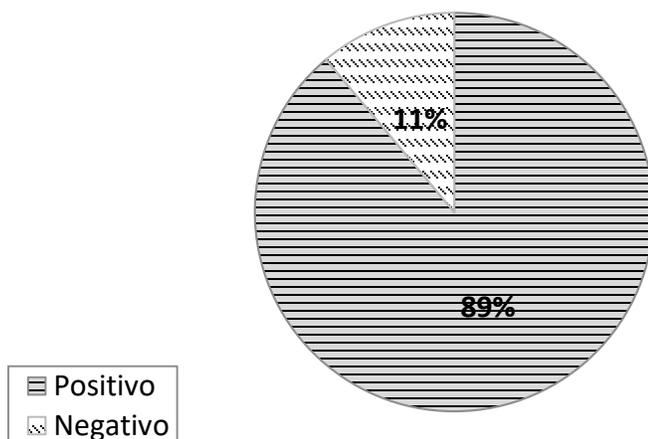
*Características principales del sistema convencional de TAR*

	Respuestas	
	N	Porcentaje
Alto costo de implementación y operación	4	22.2%
Altos costos de consumo de energía, químicos y mantenimiento	7	38.9%
Muy eficiente	1	5.6%
Invasivo al ambiente	1	5.6%
Depuración del agua es artificial	1	5.6%
Requiere materiales importados	2	11.1%
Uso de oxígeno para el tratamiento	1	5.6%
El agua tratada no tiene utilidad, por lo que los estándares de calidad no tienen importancia	1	5.6%
Total	18	100.0%

*Nota.* Elaboración propia.

**4.14.2. Impacto social del sistema de tratamiento de aguas residuales con Ingeniería Verde.** La figura 34 a continuación, representa la expresión de los expertos, gerentes y técnicos especialistas en el tema de aguas residuales en la región Cibao Norte-Sur, objeto de estudio. El impacto social del sistema IV, el 88.89% de los encuestados expresan que tiene un impacto positivo, mientras que el 11.11% piensa que es negativo.

Este sistema utiliza materiales de la naturaleza, nada importado, muchas veces son recolectados en la misma zona que se construye la planta, por los que su impacto a la población es negativo.



**Impacto social sistema Ingeniería Verde**

*Figura 32.-* Impacto social del sistema de tratamiento de aguas residuales con Ingeniería Verde (elaboración propia).

**4.14.3. Impacto social del sistema convencional de TAR.** La figura 35, describe la expresión de los expertos, gerentes y técnicos especialistas en el tema de aguas residuales en la región Cibao Norte-Sur, objeto de estudio.

El impacto social del sistema convencional en el TAR, el 86.67% de los encuestados opinaron que es positivo y el 13.33% afirmaron que es negativo. Este sistema impacta a los comunitarios positivamente, pues les alivia de las cargas de contaminantes en los hogares y las industrias vierten sus desechos y este sistema puede procesar el material sin problemas.

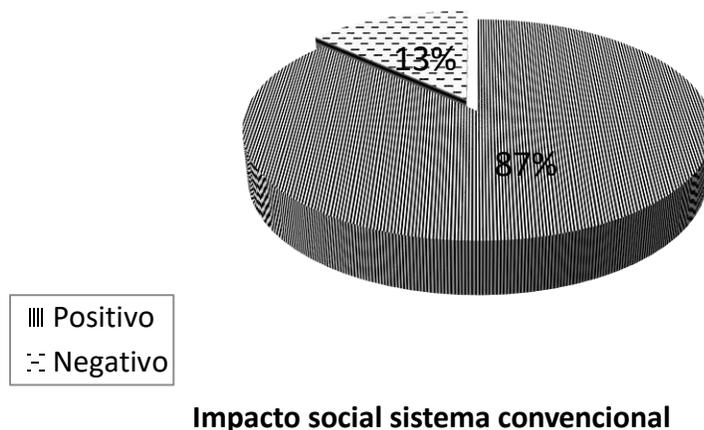


Figura 33.- Impacto social del sistema convencional de TAR (elaboración propia).

#### 4.15. Aspecto ambiental de los sistemas convencionales y con Ingeniería Verde

La falta de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales con la ausencia del alcantarillado sanitario es el principal problema del municipio de Jarabacoa, según los encuestados. Esto seguido de insuficiente política del Estado, Ausencia de un sistema de gestión para el manejo adecuado de las aguas residuales y de actores involucrados con bajo nivel de conciencia ambiental. El agua de cloaca es vertida al sistema fluvial que la conduce al Río Yaque del Norte y al Río Jimenoa, principalmente.

La figura 36 a continuación, ilustra sobre las enfermedades relacionadas con consumo de agua y la contaminación atmosférica que afectan al Municipio de Jarabacoa en el periodo noviembre 2017 a mayo 2018. El mismo destaca enfermedades de Vías Respiratorias con 2,166 casos registrados en un periodo de siete meses, seguido de la Amebiasis con 1967 casos, la Blasocystis con 816 casos, el EDA con 276 casos, Vaginitis con 200, Shigelosis con 109, Salmonelosis con 42 casos y Hepatitis A con 17 casos. Se puede observar el error standard (barras de error Y) y la línea de tendencia. Registros de dos centros de salud del municipio.

Médicos del Hospital Octavia B. Gautier de Jarabacoa se expresaron con preocupación ante el descuido de las autoridades para solucionar el problema del sistema sanitario, el cual está causando enfermedades de diferente índole a la población (Hospital Octavia B. Gautier y Clínica Los Ríos, 2018).

Enfermedades Producidas en el Municipio de Jarabacoa que Podrían ser Relacionadas al Consumo de Agua Contaminada y a la Polución Atmosférica.

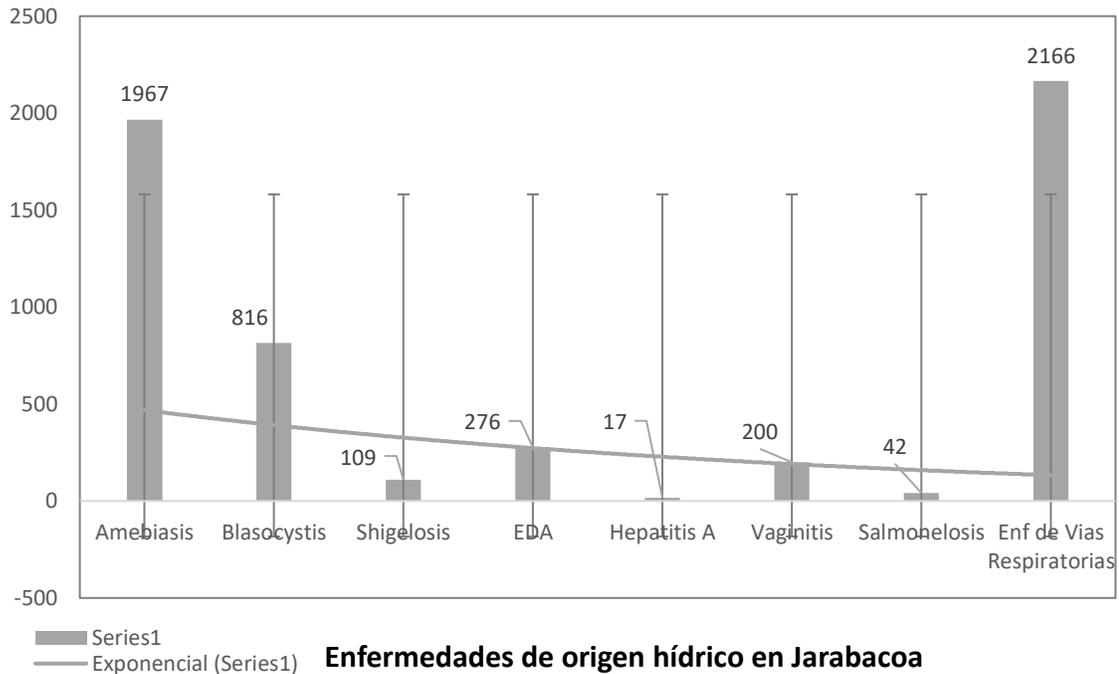


Figura 34.- Enfermedades de origen hídrico producidas en Jarabacoa (Hospital Octavia B. Gautier de Jarabacoa y Clínica Los Ríos de Jarabacoa, R.D. año 2018).

#### 4.15.1. Ríos con capacidad depuradora en la región Cibao Norte-Sur.

Resultado de la encuesta practicada a los expertos, gerentes y técnicos relacionados al sector agua residual, respecto a los ríos con capacidad depuradora en la región Cibao-Sur.

Se puede observar en la Tabla 52, que los ríos de la región con capacidad depuradora son: El Río Yaque del Norte con una frecuencia de 21.1% de afirmaciones por los encuestados, seguido del Río Jimenoa con 15% y el Río Yuna con un 10.5%, Río Baiguate con 5.3% y los demás ríos que figuran en la tabla con un 2.6% cada uno.

Tabla 52

*Resultados sobre los ríos con capacidad depuradora de la región Cibao Norte-Sur*

Ríos	Respuestas	
	N	Porcentaje
Río Yaque del Norte	8	21.1%
Río Jimenoa	6	15.8%
Río Baiguate	2	5.3%
Arroyo Cercado	1	2.6%
Río Yujo	1	2.6%
Río La Baya	1	2.6%
Río Las Guázaras	1	2.6%
Arroyo Grande	1	2.6%
Río Los Tablones	1	2.6%
Río Yásica	1	2.6%
Río Bella Vista	1	2.6%
Río Catalina	1	2.6%
Río Camú	2	5.3%
Río Pontón	2	5.3%
Río Moca	1	2.6%
Río Yuna	4	10.5%
Río Yuboa	1	2.6%
Río Capacho	1	2.6%
Río Mamajita	1	2.6%
Río Chacuey	1	2.6%
Total	38	100.0%

*Nota.* Elaboración propia.

**4.15.2. Cantidad de proyectos implementados con Ingeniería Verde en Jarabacoa y en el País.** Como se muestra en la tabla 53, hay una cantidad de 27 proyectos ecológicos, incluyendo tres lagunas de oxidación que pertenecen a la Universidad ISA de Santiago de los Caballeros.

Tabla 53

*Resultados Cantidad de PTAR con IV en el Cibao Norte-Sur*

	Lugar	Cantidad
1	Buenos Aires #1	1
2	Buenos Aires #2	1
3	El Arca	1
4	El Dorado	1
5	La Trinchera	1
6	Escuela Ambiental #1	1
7	Escuela Ambiental #2	1
8	Pollo Cibao	1
9	Rancho Baiguatè	2
10	CODIA- Hatillo	2
11	Villas Poppy, Valle Nuevo, Constanza	1
12	CODIA- Buena Vista	1
13	Palo Blanco	1
14	Pinar Quemado	1
15	Centro Internacional Americano, Hato Viejo	1
16	Laguna de Oxidaci3n de la Universidad ISA, Santiago	3
17	CORAASAN	1
18	Proyecto la Nueva Barquita, Santo Domingo	3
19	Proyecto Ciudad Juan Bosch	2
20	Proyecto Ber3n Punta	1
21	Proyecto Santiago Solidario	1
	Total	28

*Nota.* Elaboraci3n propia.

**4.15.3. Instituciones encargadas del manejo de las aguas residuales en la regi3n Cibao Norte-Sur.** En la tabla 54, se puede apreciar las diferentes instituciones vinculadas al manejo de aguas residuales. Destac3ndose el Instituto Nacional de Aguas Potables y Alcantarillado (INAPA) con 15.4%, Plan Yaque con 12.8%, CORAASAN y CORAAVEGA con 12.8%, CORAAMOCA, CORAAPLATA, entre otras propias de las provincias incluidas para el estudio.

Es preciso destacar que en Puerto Plata se construir3 el sistema de alcantarillado, a trav3s de un Emisario Submarino para el municipio cabecera y el tratamiento de aguas residuales. Cada tuber3a consta 312 pulgadas de di3metro y 1/2 km de longitud es hecha de polietileno y se colocar3 3 km mar adentro (Reyes, 2018).

Tabla 54

*Instituciones Encargadas del Manejo de las Aguas Residuales*

	Respuestas	
	N	Porcentaje
Plan Yaque	5	12.8%
CORAAJARABACOA	1	2.6%
Ayuntamiento Municipal	2	5.1%
CORAASAN	5	12.8%
Cervecería Nacional Dominicana	1	2.6%
Zona Franca de Clase-Gurabo	1	2.6%
Universidad ISA	1	2.6%
Rancho Baiguate	1	2.6%
CORAAPLATA	2	5.1%
Empresa Jinping	1	2.6%
CORAAMOCA	3	7.7%
Alcaldía Municipal	2	5.1%
CORAAVEGA	5	12.8%
Hospital	1	2.6%
INAPA	6	15.4%
Ministerio de Medioambiente	1	2.6%
Obras Públicas	1	2.6%
Total	39	100.0%

Nota. Elaboración propia.

**4.15.4. Impacto ambiental de los sistemas de TAR con ingeniería verde.** La tabla 55, representa el impacto ambiental del sistema de Ingeniería verde para el tratamiento de aguas residuales, según encuesta realizada a expertos, gerentes y técnicos en la región Cibao-Sur.

El 35.3% de los encuestados opinan que el impacto de dicho sistema es bajo, o sea, expresa una destrucción mínima al medioambiente. El 11.8% dice tener un impacto medio (expresa una destrucción considerable), mientras que 5.9% afirman que es alto, es decir que tiene un efecto importante sobre el medio ambiente o sobre los recursos naturales.

Tabla 55

*Impacto ambiental de los sistemas de TAR con IV*

		Frecuencia	Porcentaje válido
Válido	Alto	1	11.1
	Medio	2	22.2
	Bajo	6	66.7
	Total	9	100
Perdidos Sistema		8	
Total		17	

Nota: elaboración propia.

**4.15.5. Impacto ambiental del sistema convencional en el tratamiento de aguas residuales, partiendo de una correcta operación del sistema y según normas ambientales en República Dominicana.** La tabla 56, representa el impacto ambiental del sistema convencional de tratamiento de aguas residuales, según encuesta realizada a expertos, gerentes y técnicos en la región Cibao-Sur.

Este refleja que el 37.5% opinan que es alto en Impacto Ambiental (efecto importante sobre el medio ambiente o sobre los recursos naturales) y al mismo tiempo que es bajo con 37.5% (expresa una destrucción mínima del medioambiente) el impacto al medioambiente por parte del sistema convencional. El 25.0% afirmó que es medio, lo que significa un efecto considerable en el medioambiente.

Tabla 56

*Impacto ambiental del sistema convencional en el tratamiento de aguas residuales*

Valor	Frecuencia	Porcentaje válido
Alto	6	37.5
Medio	4	25.0
Bajo	6	37.5
Total	16	100.0
Total	17	

Nota. Elaboración propia

*¿Cuál ha sido la funcionalidad o eficiencia de los sistemas implementados y su variación de acuerdo con el Clima?*

#### **4.16. Eficiencia de las plantas de tratamiento de aguas residuales con Ingeniería Verde en Jarabacoa, R.D.**

En la figura 37, se observa el comportamiento de las diferentes plantas de tratamiento de aguas residuales con Ingeniería Verde, según análisis realizados en el periodo mayo - junio del 2018. La PTAR El Arca cuenta con una eficiencia en la reducción Coliformes fecales y totales de 78%, DBO<sub>5</sub> un 34%, DQO con un 28%, Nitrito (N-NO<sub>2</sub>) 13%, ortofosfato -29%. La PTAR Escuela Ambiental No.1 presenta una eficiencia en la reducción coliformes fecales de 98%, DBO<sub>5</sub> 78%, Coliformes totales 74%, DQO 72%, Nitrito 59% y ortofosfato 28%.

La PTAR Buenos Aires #2, con una eficiencia en la reducción DBO<sub>5</sub> de 71%, Coliformes totales 69%, DQO 62%, coliformes fecales 38%, ortofosfato 26% y nitrito con un 2%. La PTAR Escuela Ambiental #2 cuenta con un 90% de eficiencia en la reducción de coliformes fecales, un 74% en coliformes totales, un 79% en ortofosfato, un 56% en DQO, un 54% en DBO<sub>5</sub> y un 31% en la reducción de nitrito.

La PTAR El Dorado resultó con un 99% deficiencia en la reducción de coliformes fecales, un 93% DBO<sub>5</sub>, un 90% en DQO, un 63% en ortofosfato y un 41% en la reducción de nitrito, esta planta no se le practicó análisis de C. Totales.

La Planta La Trinchera resultó con una eficiencia en la reducción contaminantes por el orden de 98% tanto en coliformes fecales como totales, un 62% en nitrito, un 48% en DQO, un 38% en DBO<sub>5</sub> y un 37% en ortofosfato.

La TAR Pollo Cibao presentó una eficiencia de 100% en la reducción de coliformes fecales y coliformes totales, respectivamente. un 95% en la reducción de DQO y un 91% en la reducción de DBO<sub>5</sub>. Los demás parámetros para esta planta no fueron analizados en el laboratorio. Realmente, son sistemas eficientes reducen la materia orgánica efectivamente, Coliformes fecales, totales y son muy atractivos para las comunidades, proyectos nuevos de viviendas y para tratamiento de aguas residuales domésticas.

Es oportuno señalar que los rendimientos medios de humedales artificiales de flujo subsuperficial en remoción de SS y DBO<sub>5</sub> (mg/l) es de 90-95%, de DQO (mg/l) es de 80-

90%,  $N-NH_4^+$  (mg N/l) y de  $N_{total}$  (mg N/l) es de 60-70%,  $P_{total}$  (mg P/l) es de 20-30% y de Coliformes fecales (UFC/100 ml) es de 1-2 u log (CENTA, citado por EPSAR, 2017).

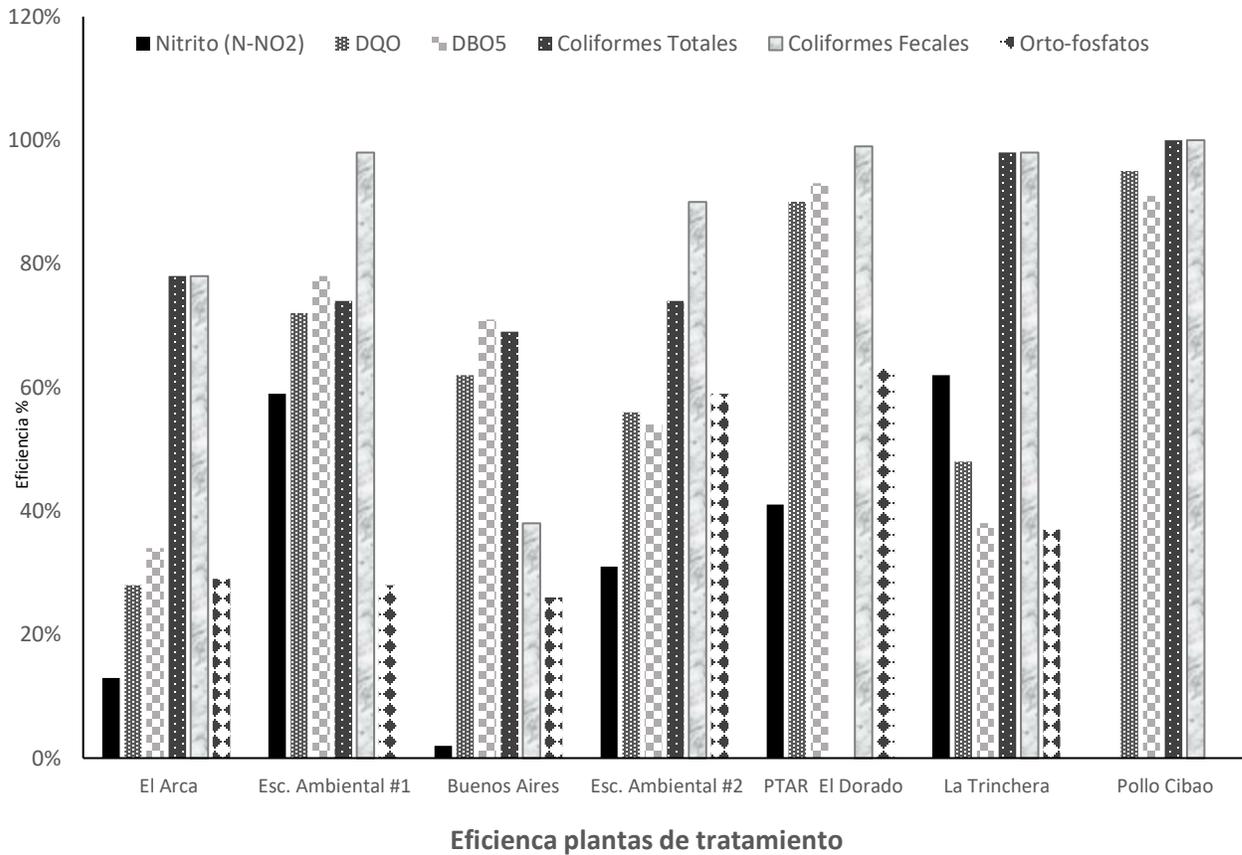


Figura 35. Eficiencia de las plantas de tratamiento de aguas residuales con Ingeniería Verde (El Autor, a partir de datos obtenidos en el proceso del estudio).

**4.16.1. Eficiencia en reducción de contaminantes.** Se puede observar en la figura 38, el comportamiento del potencial de hidrógeno (pH), en las diferentes plantas de tratamiento de aguas residuales de Jarabacoa. La Planta Buenos Aires en la entrada presenta 7.2 y en la salida 7.7, La Trinchera entrada 7.1, salida 7.6, El Arca entrada 7.26 y salida 7.46, Escuela Ambiental #1 - entrada 7.1 y salida 7.06, Escuela Ambiental #2- entrada 7.18 y salida 6.94, El Dorado entrada 6.57 y salida 7.11. Los sistemas trabajan muy bien el pH, ya que las normas para agua y control de descargas a subsuelo y cuerpos superficiales es de 6 a 8.5 (Ministerio de Medioambiente, 2012).

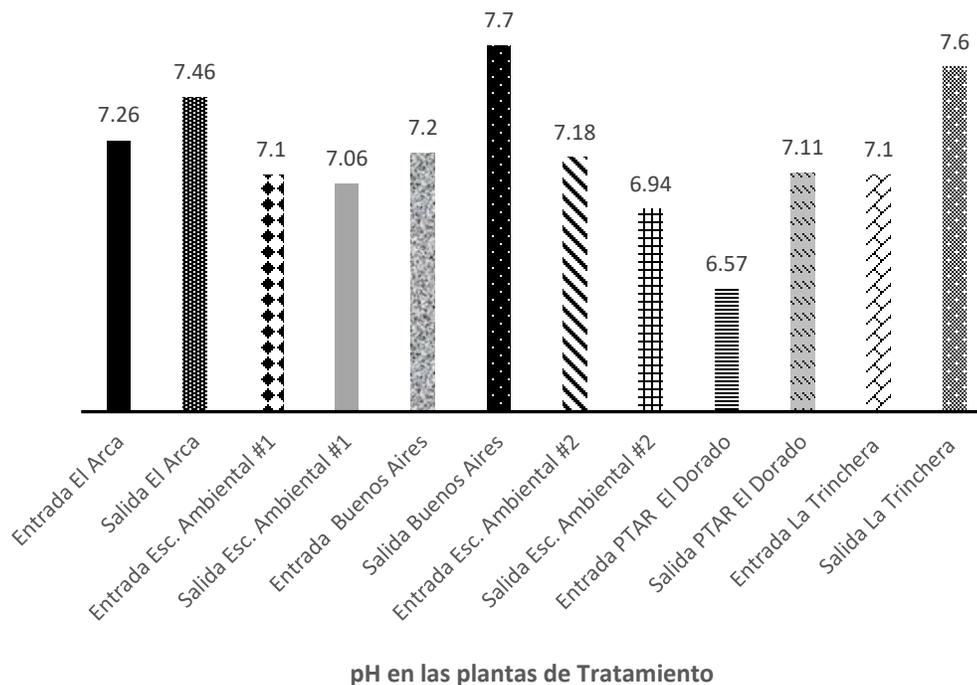


Figura 36. Potencial de hidrógeno -pH, según análisis realizado en mayo y junio del 2018 (elaboración propia).

**4.16.1.1. Total de Sólidos Disueltos (TSD).** La figura 39, muestra el comportamiento del Total de Sólidos Disueltos (TSD) en las diferentes plantas de tratamiento de aguas residuales de Jarabacoa. La Planta Buenos Aires 2 entrada 1163.5 y salida 1092, Escuela Ambiental #1 - entrada 494 y salida 461.5, Escuela Ambiental #2- entrada 314.6 y salida 344.5, El Dorado entrada 435.5 y salida 435.5.

El Arca entrada 396.5 y salida 429, La Trinchera entrada 398, salida 393. Se observa que el TSD en la mayoría de las plantas están bajo los límites normales que establecen las normas ambientales del país, que es de 1000 mg/l para aguas Clase B y 3000 mg/l para agua Clase C (Ministerio de Medioambiente, 2012). En sentido general, las plantas mostraron una reducción mínima y en otros casos, ninguna.

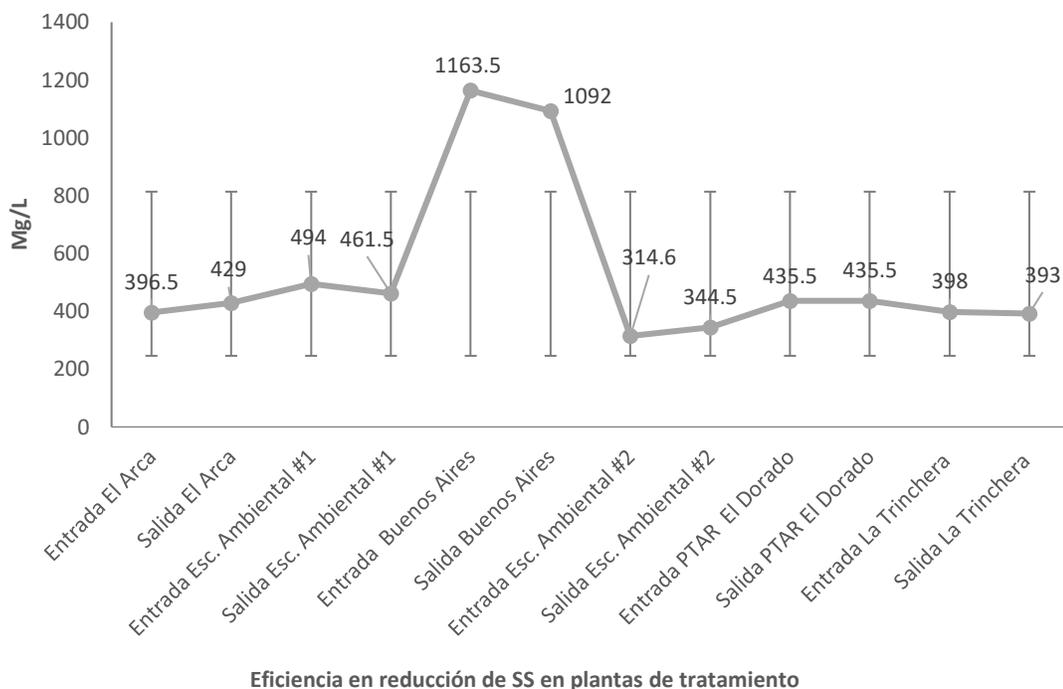
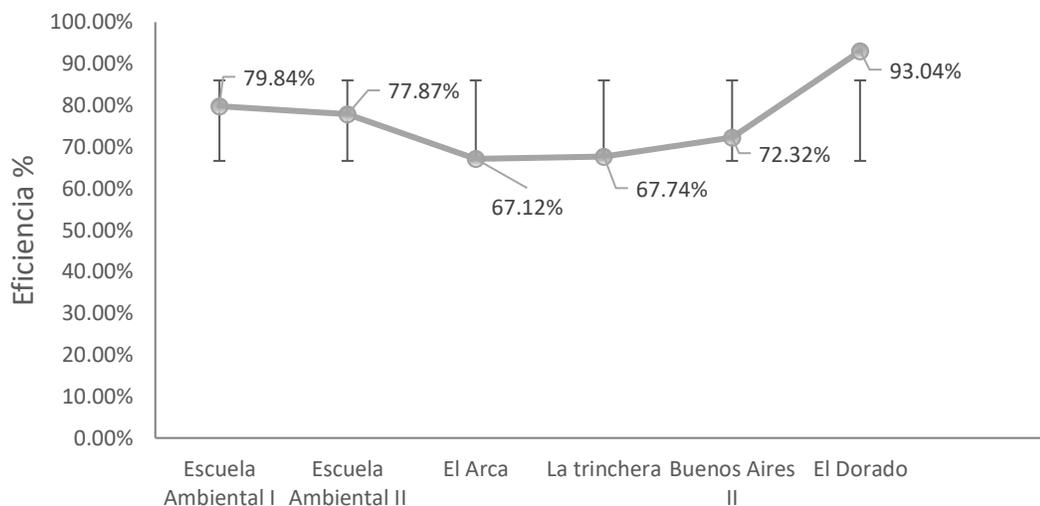


Figura 37. Resultados en la eficiencia de la reducción en total sólidos disueltos (elaboración propia).

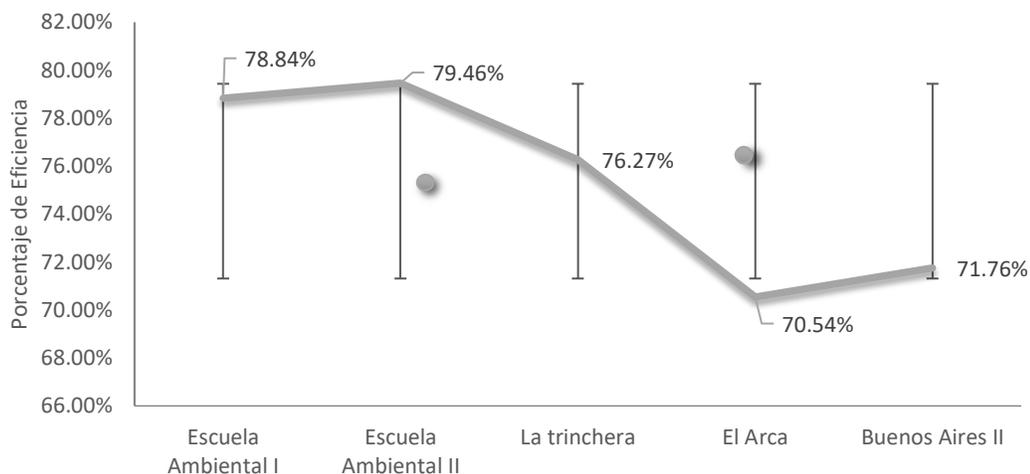
**4.16.1.2. Eficiencia de reducción de contaminantes, según análisis realizados a las PTAR en febrero-abril 2018.** Eficiencia reducción de material orgánico residual  $DBO_5$ . En la figura 40, se podrá observar la eficiencia de las diferentes plantas de tratamiento de aguas residuales. La Planta El Dorado resultó con una eficiencia de 93.04%, Escuela Ambiental #1 -79.84%, Escuela Ambiental #2 con 77.87%, Buenos Aires con 72.32%, La Trinchera 67.74% y El Arca con el 67.12%. Se observa que la  $DBO_5$  en todas las plantas están bajo los límites normales que establecen las normas ambientales del país, que es de 50 mg/l para < 5,000 habitantes (Pulíafito, Brandi, Morandini & Muñoz, s.f.).



### Eficiencia en reducción DBO<sub>5</sub>

Figura 38. Resultados de la eficiencia en reducción DBO<sub>5</sub> (elaboración propia).

**4.16.1.3. Eficiencia reducción de material orgánico e inorgánico residual DQO.** En la figura 41, se observa la eficiencia de las diferentes plantas de tratamiento de aguas residuales. La Planta Escuela Ambiental 2 con eficiencia de 79.46%, Escuela Ambiental #1 -78.84%, Buenos Aires II con 71.76%, La Trinchera 76.27%, El Arca 70.54%. Los resultados de todas las plantas están bajo los límites que establecen las normas ambientales del país, que es de 160 mg/l para < 5,000 habitantes (Ministerio de Medioambiente, 2012).



### Reducción de DQO en plantas de tratamiento

Figura 39.- Resultados de la eficiencia en la reducción de DQO en las plantas de tratamiento de aguas residuales (elaboración propia).

**4.16.1.4. Eficiencia en la reducción de Coliformes Fecales.** En la figura 42, se observa la eficiencia de las diferentes plantas de tratamiento de aguas residuales. La Planta El Dorado con 98.93%, Escuela Ambiental #2 con eficiencia de 84.90%, Escuela Ambiental #1 -98.13%, La PTAR de Buenos Aires II con 79.28%, La Trinchera 94%, El Arca 64.88%. Según se puede verificar en el apéndice E, los resultados de las plantas estudiadas no están en los límites normales que establecen las normas ambientales del país, que es de 1000 a 2000 NMP/100ml, aunque presente matemáticamente eficiencia en Coliformes Fecales, puesto que la eficiencia es una relación entre la salida y la entrada; o sea,

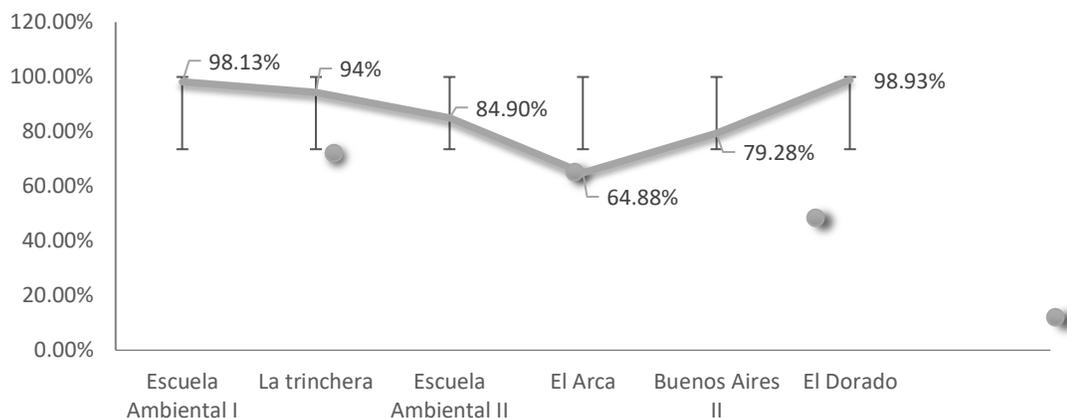
$$\eta = \frac{FZ - FA}{FZ} \times 100, \quad (1)$$

En donde,

$\eta$  = Eficiencia,

FZ = Entrada, y

FA = Salida (Abwassertechnische Vereinigung, 1994) y (Ministerio de Medioambiente, 2012).



### Reducción coliformes fecales en plantas de tratamiento

Figura 40.- Resultados en la reducción de coliformes fecales (elaboración propia).

**4.16.1.5. Eficiencia en la reducción de Coliformes Totales.** En la figura 43, se observa la eficiencia de las diferentes plantas de tratamiento de aguas residuales con respecto a los C. Totales. La Planta Escuela Ambiental #1 con un 99.54%, El Dorado con 98.93%, Escuela Ambiental #2 con eficiencia de 98.35%, La PTAR de Buenos Aires II con 98.35%, La Trinchera 82.73% y El Arca con una eficiencia de 57.98%. Según se puede verificar en el apéndice E, los resultados las plantas estudiadas no están en los límites normales que establecen las normas ambientales del país, que es de 1000 NMP/100ml.

El error estándar se observa junto a cada punto con las barras de error (Puliafito, Brandi, Morandini & Muñoz, s.f.).

Solo se pudo observar los resultados de análisis realizados a la PTAR de Pollo Cibao, respecto a los Coliformes totales y Fecales ambos con 930 NMP/100 ml. Esta planta no fue incluida en el estudio, debido a las restricciones que posee dicha institución.

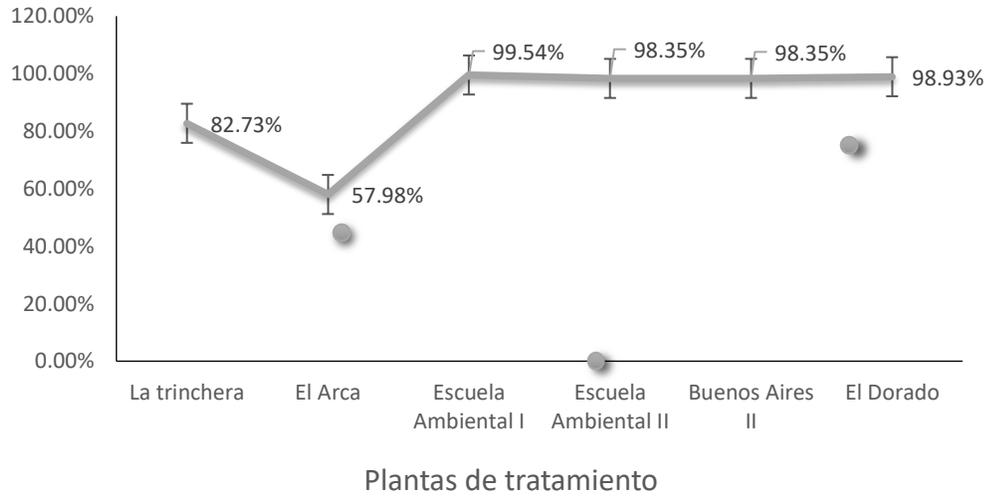


Figura 41.- Resultados de la eficiencia en la reducción de coliformes totales.

**4.16.2. Variables estudiadas en el proceso de la investigación.** Se desarrolla un análisis in situs de diferentes variables estudiadas a las PTAR de Jarabacoa. La Tabla 57 indica algunas estudiadas en el proceso de búsqueda de información para la determinación de la eficiencia de las PTAR.

Tabla 57

*Resultados de Variables Estudiadas a las PTAR de Jarabacoa*

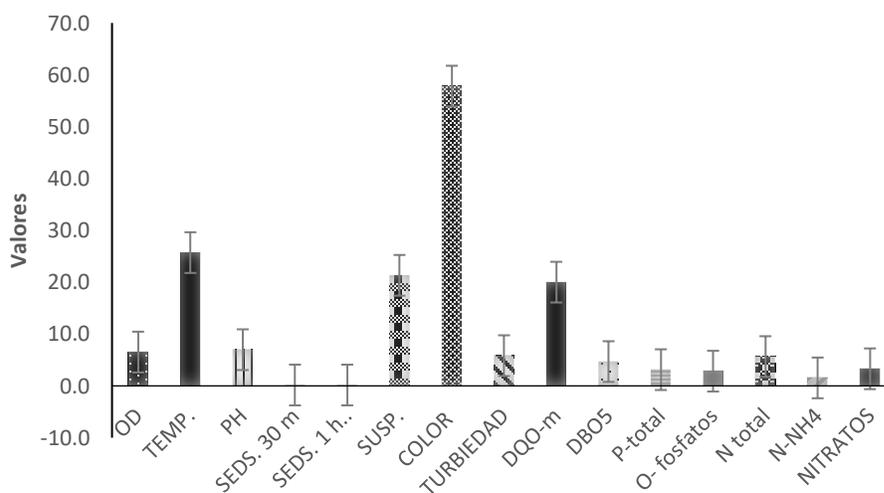
Puntos de monitoreo	Temp Agua	Temp Ambiente	Hora de la toma de muestra	Coductividad	Oxígeno Disuelto (OD)	Oxígeno Disuelto (OD)	Turbidez	Grado Celsius	Amonio (NH3)	Conductividad Eléctrica Específica	Presión Atmosférica
	Grados Celsius	Grados Celsius	A.M.	mS/cm	mg/L	%	NTU	%	ppm	mS/cm	PSI
Entrada El Arca	24.8	26	10:35	618	0.16	1.8	96.8	25	7.72	609	13.832
Salida El Arca	25.9	26	10:35	668	0.25	3.1	36.2	25	6.72	656	13.831
Entrada Esc. Ambiental al #1	24.2	24	9	748	0.28	2.35	31.3	25	34.8	759	13.855
Salida Esc. Ambiental al #1	23.9	24	9	692	0.86	10.9	1.87	25	14.16	707	13.854
Entrada Buenos Aires	24.3	27	11:25	1762	0.39	5	190	25	29.06	1785	13.843
Salida Buenos Aires	27.1	27	11:25	1750	2.25	30.2	53.9	25.2	28.4	1683	13.839
Entrada Esc. Ambiental al #2	24.3	26	9:03	477.8	0.07	0.8	26.5	25	7.39	484.2	13.912
Salida Esc. Ambiental al #2	22.3	26	9:03	505	1.6	0.13	14.42	25	5.12	532	13.875
Entrada PTAR El Dorado	26.8	28	11:00	694	0.18	2.5	89.9	25.2	6.38	671	13.912
Salida PTAR El Dorado	25.9	28	11:00	684	0.44	5.6	11.7	25	3.75	674	13.912
Entrada La Trincher a	26.7	28	10:00	798	1.18	0.11	84	25	11.2	709	13.941
Salida La Trincher a	25	28	10:00	796	0.45	2.13	14	25	4.31	711	13.941

*Nota.* El Autor, a partir de datos de campo obtenidos durante el estudio.

#### 4.17. Planta Convencional de Tratamiento de Aguas Residuales Rafey, Santiago, R.D.

Como se muestra en la figura 44, la PTAR Rafey presenta, según el resumen del año 2017, los parámetros como: Color 57.8 PCU, DBO5 en 4.7 mg/L., DQO en 20.0 mg/L., estos se encuentran entre los límites normales, según normas ambientales dominicanas, los Ortofosfatos 2.8 mg/L. no están dentro de los límites que es de 0.025 a 2 mg/l, Nitrógeno total 5.6 ppm, Oxígeno Disuelto 6.5 mg/L., Nitratos 3.3 ppm, Turbidez 5.8 NTU, Sólidos Suspendidos 21.3 mg/L., Temperatura del agua 25.7°C, pH 7.0.

Estos últimos se encuentran dentro de los límites de las normas ambientales dominicanas de calidad de agua y control de descargas. El error estándar se muestra dentro de cada columna con las barras de error (Pulíafito, Brandi, Morandini & Muñoz, s.f.).

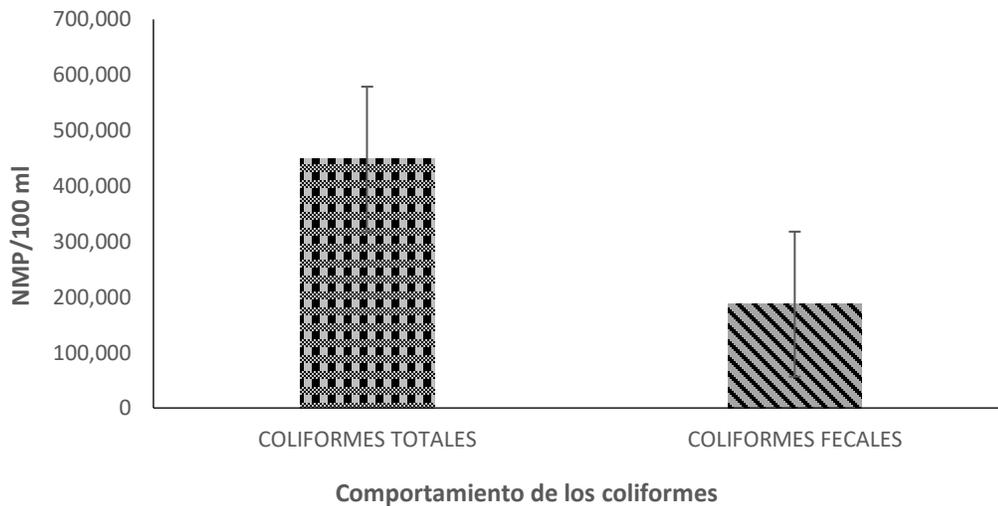


Parámetros en efluente PTAR convencional Rafey 2017

Figura 42.- Resumen año 2017 de efluente planta tratamiento aguas residuales (Elaboración propia, a partir de datos de campo obtenidos durante el estudio).

**4.17.1. Comportamiento de los Coliformes Fecales y Coliformes Totales en Rafey.** En la figura 45, se aprecia el comportamiento de los Coliformes Totales 448,184 NPM/100 ml., Coliformes Fecales en esta planta en 187.003 NPM/100 ml. Según se puede verificar en el apéndice E, los resultados de la planta estudiada no

están en los límites normales que establecen las normas ambientales del país, que es de 1000 NMP/100ml para C. Totales y 1000 a 2000 NMP/100ml para C. Fecales. El error estándar se muestra dentro de cada columna con las barras de error. (Ministerio de Medioambiente, 2012).



*Figura 43.- Resultados del comportamiento de los coliformes fecales y coliformes totales (elaboración propia).*

#### **4.18. Factibilidad de Implementación del Sistema de TAR con Ingeniería Verde**

Como se aprecia en la tabla 58, existen recursos disponibles para la implementación de los sistemas de tratamientos de aguas residuales con IV, terreno 32.3% de los encuestados así lo consideran, Plantas macrofitas disponibles en diferentes partes del país con un 29.0%, personal capacitado un 25.8% y 12.9% respondieron que hay limitaciones en los recursos económicos para dicha implementación.

Tabla 58

*Resultados de la encuesta aplicada a expertos sobre los recursos disponibles para la implementación de los sistemas de Ingeniería Verde*

	Respuestas	
	N	Porcentaje
Terreno	10	32.3%
Plantas macrofita	9	29.0%
Recursos financieros	4	12.9%
Personal capacitado	8	25.8%
Total	31	100.0%

*Nota.* Elaboración propia.

#### **4.19. Efectos del Clima al Funcionamiento del Humedal**

La tabla 59, refleja el resultado de la encuesta practicada a expertos, gerentes y técnicos del área de aguas residuales, respecto al Clima del lugar y su incidencia en el funcionamiento del humedal, a lo que el 8.3% opinó que afecta la remoción de contaminantes, el 8.3 % a la eliminación de coliformes, el 8.3% el tiempo de retención hidráulica, el 8.3% el tipo de macrofita, el 8.3% la actuación bacteriana, el 8.3% la eficiencia de depuración del agua y el 8.3% el tiempo de depuración.

Tabla 59

*Funcionamiento del Sistema de Ingeniería Verde según el Clima*

	Respuestas	
	N	Porcentaje
Remoción de contaminantes	1	8.3%
Eliminación de coliformes	1	8.3%
Costo para asegurar mejores resultados	1	8.3%
Requerimiento de más área	1	8.3%
Se requiere temperatura más adecuada para las plantas	1	8.3%
Requiere abundante luz solar	1	8.3%
Tiempo de retención hidráulica	1	8.3%
Dimensión de la planta/área	1	8.3%
Tipos de macrofitas	1	8.3%
Directamente la actuación bacteriana se ve afectada por la temperatura media del lugar	1	8.3%
Eficiencia de depuración del agua	1	8.3%
Tiempo de depuración	1	8.3%
Total	12	100.0%

*Nota.* Elaboración propia.

**4.19.1. Efectos del clima en el funcionamiento de la planta TAR La Trinchera.** Como se observa en la figura 46, el efecto de la Temperatura Máxima sobre la eficiencia de la reducción de la DBO5 en septiembre es de 92% con una temperatura de 24.6 oC, en abril de 89% con temperatura máxima de 22.5 oC, en marzo de 77% con temperatura de 22.1 oC, en junio de 71% con 25.3 oC y en agosto es de 67 con 25.2 oC%. La fluctuación de la temperatura con respecto a la eficiencia de los sistemas de humedales es mínima, pudiéndose observar que a menos grado de temperatura la eficiencia se mantiene o en ocasiones sube. Pero, según los expertos los sistemas son más eficientes a mayores temperaturas. El error estándar se muestra dentro de cada columna con las barras de error.

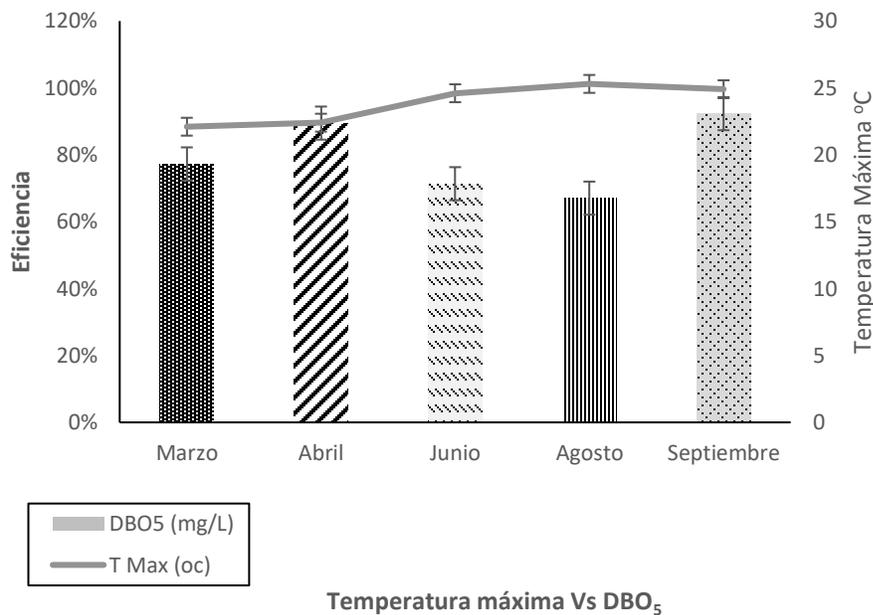


Figura 44.- Efectos en la eficiencia de reducción de la DBO5 con temperatura máxima (Plan Yaque 2017 & INDRHI 2018).

Como se observa en la figura 47, el efecto de la Temperatura Mínima sobre la eficiencia de la reducción de la DBO<sub>5</sub> en junio de 90.91%, en agosto es de 77.61%, en marzo de 76%, en septiembre es de 73.08% y en abril de 20.0%. Aquí se puede notar que el humedal mantiene la eficiencia, a pesar de que en el mes de abril con la temperatura de 21.5 °C, la eficiencia bajó a un 20%. Al igual que las anteriores gráficas, el error estándar se muestra dentro de cada columna con las barras de error.

Para verificar la eficiencia con respecto a otros grados de temperatura en la República Dominicana se necesitaría construir un sistema semejante en otra provincia, ya que Jarabacoa es una de las zonas con temperaturas más frescas de la isla.

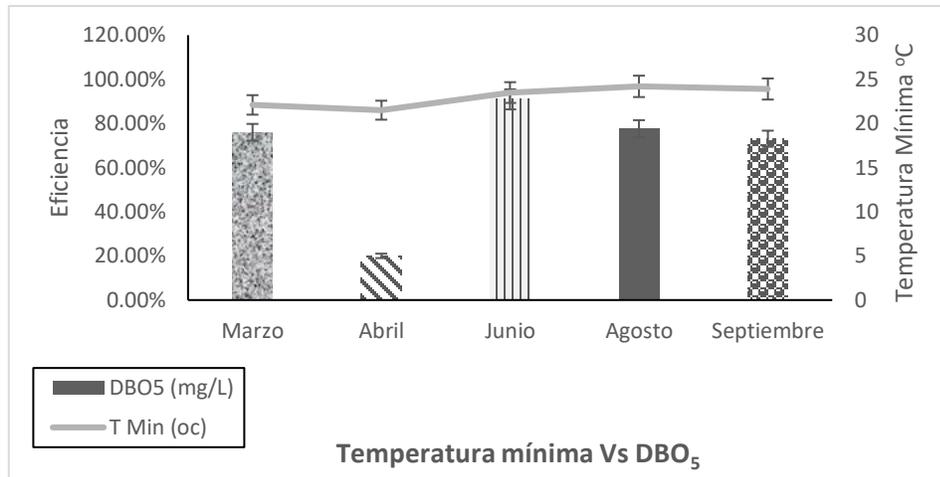


Figura 45.- Resultados de los efectos en la eficiencia de reducción de la DBO<sub>5</sub> con temperatura mínima (Plan Yaque, 2017 & INDRHI, 2018).

**4.19.2. Efectos en la eficiencia de reducción de la DQO con temperatura máxima.** La PTAR de la Trinchera. La tabla 60 muestra que la DQO vs Temperatura Máxima presenta una eficiencia de 90.91% en el mes de junio y una temperatura de 24.6 °C. viéndose claramente no mucha influencia de la temperatura en los humedales.

El mes de agosto con 77.61% y temperatura de 25.3 °C., aquí baja algo la eficiencia, mientras sube la temperatura, el mes de abril resultó con un 77.27% con temperatura de 22.40 °C. notándose un poco la reducción de la eficiencia respecto a la temperatura, en septiembre 67.04% con temperatura de 24.9 °C y marzo con 13.33% y temperatura de 22.1 °C, se puede notar que baja la eficiencia drásticamente cuando también baja la temperatura.

Tabla 60

*Efectos en la eficiencia de reducción de la DQO con temperatura máxima*

DQO vs Temperatura máxima			
Planta	DQO (mg/L)	Mes	T Max (°C)
La Trinchera	13.33%	Mar	22.1
La Trinchera	77.27%	Apr	22.4
La Trinchera	90.91%	Jun	24.6
La Trinchera	77.61%	Aug	25.3
La Trinchera	67.04%	Sep	24.9

Nota. Plan Yaque, 2017

**4.19.3. Efectos en la eficiencia de reducción de la DQO con temperatura mínima.** Los efectos del clima en la reducción de la DQO con temperatura mínima del lugar, se observa el caso anterior. Temperaturas entre 21.5 a 23.9 oC se muestran eficiencias de los humedales que van desde el 67.04% hasta el 90.91%. Se da el caso anterior del bajo porcentaje de eficiencia, pero en el mes de marzo con un 13.33%. Lo que implica utilizar medidas estadísticas que expliquen mejor este caso en la tabla 61.

Tabla 61

*Efectos en la eficiencia de reducción de la DQO con temperatura mínima*

DQO vs Temperatura mínima			
Planta	DBO5 (mg/L)	Mes	T Man (°C)
La Trinchera	13.33%	Mar	21.1
La Trinchera	77.27%	Apr	21.5
La Trinchera	90.91%	Jun	23.5
La Trinchera	77.61%	Aug	24.2
La Trinchera	67.04%	Sep	23.9

Nota. Plan Yaque 2017.

En la tabla 62, se observa que la media aritmética de las eficiencias DQO resulta ser de 65.23% (Valor típico del conjunto de datos) con una muy alta desviación estándar de 30.23%. El coeficiente de asimetría negativo de -1.80 indica que hay más datos a la izquierda de la media que a su derecha. En lo relativo a las temperaturas mínimas la media aritmética resultó ser de 22.8°C (Valor típico del conjunto de datos) con una muy baja desviación estándar de 1.4°C. El coeficiente de asimetría negativo de -0.5 indica que hay más datos a la izquierda de la media que a su derecha (Pero con un número más moderado que el de las DQO).

Tabla 62

*Medidas de tendencia central, de variabilidad y de forma para la DQO vs temperatura mínima.*

Análisis	DQO (%)	Mes	Temperatura mínima (°C)
	13.33	Mar	21.1
	77.27	Apr	21.5
	90.91	Jun	23.5
	77.61	Aug	24.2
	67.04	Sep	23.9
Media aritmética	65.23%		22.8°C
Desviación estándar	30.23%		1.4°C
Coeficiente de asimetría	-1.80		-0.5

*Nota.* Elaboración propia.

En la tabla 63 y figura 48, se muestra que para el caso de las DQO (Diagrama de abajo) menos del 25% de las medidas alcanzan una eficiencia de 67.04%(Q<sub>1</sub>), el 50% de ellas alcanzan una eficiencia de 77.27% (Mediana); mientras que el 75% de dichas medidas sobrepasan el 71.61% (Q<sub>3</sub>). Los datos están muy sesgados a la izquierda de la mediana (Bigote de la izquierda muy extendido en comparación con el de la derecha).

En lo que se refiere a las temperaturas mínimas menos del 25% de las medidas alcanzan una temperatura de 21.10°C (Q<sub>1</sub>), el 50% de ellas alcanzan una temperatura de 23.50 °C (Mediana); mientras que el 75% de dichas medidas sobrepasan los 23.90 °C (Q<sub>3</sub>). Los datos están muy juntos los uno de los otros. El error estándar se muestra en las cajas y bigotes.

Hay mucha más dispersión en los datos de las DQO que en los de las temperaturas mínimas.

*Valores Atípicos para la DQO*

$$RIC = Q_3 - Q_1 = (77.61 - 67.04) \% = 10.57\%$$

$$Q_3 + 1.5 \times RIC = 77.61\% + 1.5 \times 10.57\% = 93.47\%$$

$$Q_1 - 1.5 \times RIC = 67.04\% - 1.5 \times 10.57\% = 51.19\%$$

Los valores típicos de las DQO se extienden desde 51.19% a 93.47%.

El valor 13.33% resulta ser un valor atípico (Queda fuera del rango de los valores típicos).

Dada la presencia de este valor atípico, las medidas de tendencia central, de variabilidad y de forma para la DQO calculadas anteriormente pierden confiabilidad. Por lo tanto, se toma como valor típico del conjunto de eficiencias DQO la mediana: 77.27%.

Para la temperatura mínima

$$RIC = Q_3 - Q_1 = (23.90 - 21.10) \text{ }^\circ\text{C} = 2.40 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$Q_3 + 1.5 \times RIC = 23.90 \text{ }^\circ\text{C} + 1.5 \times 2.40 \text{ }^\circ\text{C} = 27.50 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$Q_1 - 1.5 \times RIC = 21.50 \text{ }^\circ\text{C} - 1.5 \times 2.40 \text{ }^\circ\text{C} = 17.90 \text{ }^\circ\text{C}$$

Los valores típicos de las temperaturas mínimas se extienden desde 17.90 °C a 27.50 °C.

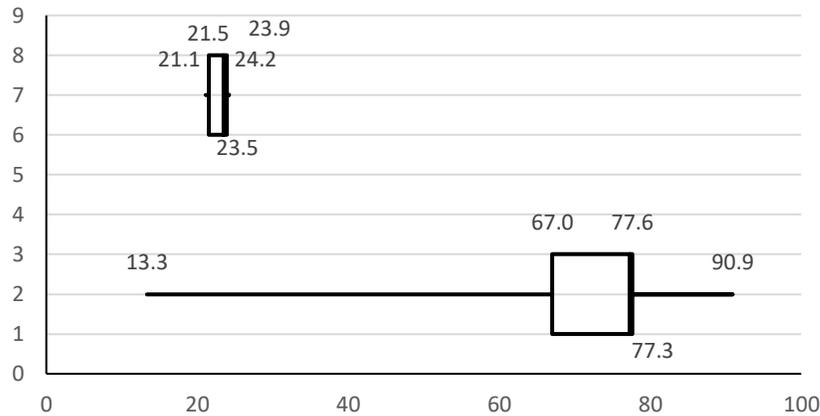
Las temperaturas mínimas no contienen valores atípicos.

Tabla 63

*Temperatura mínima para DQO*

Mínimo	Q <sub>1</sub>	Mediana	Q <sub>3</sub>	Máximo
13.33%	67.04%	77.27%	77.61%	90.91%
21.10°C	21.50 °C	23.50 °C	23.90 °C	24.20 °C

*Nota.* Elaboración propia



**Gráfico de caja y bigote para dos variables**

Figura 46.- Gráfico de caja y bigotes para la DQO vs temperatura mínima (elaboración propia).

Tabla 64

*Resultados de la eficiencia de la DQO vs precipitación*

DQO vs Precipitación			
Planta de Tratamiento de Aguas Residuales	DQO (En porcentaje)	Mes	Lluvia (mm)
La Trinchera	13.33%	Mar	187.6
La Trinchera	77.27%	Apr	341.3
La Trinchera	90.91%	Jun	78.9
La Trinchera	77.61%	Aug	15.7
La Trinchera	67.04%	Sep	302.9

Nota. Plan Yaque 2017 y desarrollado por el autor de tesis.

En la tabla 65, la media aritmética de las eficiencias DQO resulta ser de 65.23% (Valor típico del conjunto de datos) con una muy alta desviación estándar de 30.23%. El coeficiente de asimetría negativo de -1.80 indica que hay más datos a la izquierda de la media que a su derecha.

En lo relativo a las precipitaciones la media aritmética resultó ser de 185.3 mm (Valor típico del conjunto de datos) con una muy alta desviación estándar de 139.9 mm. El

coeficiente de asimetría negativo de -0.1 indica que hay más datos a la izquierda de la media que a su derecha (Pero con un número mucho más moderado que el de las DQO).

Tabla 65

*Medidas de tendencia central, de variabilidad y de forma para la DQO vs Precipitación*

	DQO	Mes	Lluvia (mm)
	13.33%	Mar	187.6
	77.27%	Apr	341.3
	90.91%	Jun	78.9
	77.61%	Aug	15.7
	67.04%	Sep	302.9
Media aritmética	65.23%		185.3 mm
Desviación estándar	30.23%		139.9 mm
Coeficiente de asimetría	-1.80		-0.1

*Nota.* Elaboración propia.

Para el caso de las DQO (Diagrama de abajo) menos del 25% de las medidas alcanzan una eficiencia de 67.04%(Q<sub>1</sub>), el 50% de ellas alcanzan una eficiencia de 77.27% (Mediana); mientras que el 75% de dichas medidas sobrepasan el 71.61% (Q<sub>3</sub>). Los datos están muy sesgados a la izquierda de la mediana (Bigote de la izquierda muy extendido en comparación con el de la derecha).

En lo que se refiere a las precipitaciones, menos del 25% de las medidas alcanzan un nivel de lluvia de 78.90 mm (Q<sub>1</sub>), el 50% de ellas alcanzan un nivel de precipitación de 187.60 mm (Mediana); mientras que el 75% de dichas medidas sobrepasan los 341.30 mm (Q<sub>3</sub>). Los datos presentan cierto nivel de regularidad (Muy poca dispersión).

Hay mucha más dispersión en los datos de las DQO que en los de las precipitaciones, como se puede observar en la tabla 66 y la figura 49 en donde se muestra el error estándar junto a las cajas y bigotes.

*Valores atípicos para las DQO*

$$RIC = Q_3 - Q_1 = (77.61 - 67.04) \% = 10.57\%$$

$$Q_3 + 1.5 \times RIC = 77.61\% + 1.5 \times 10.57\% = 93.47\%$$

$$Q_1 - 1.5 \times RIC = 67.04\% - 1.5 \times 10.57\% = 51.19\%$$

Los valores típicos de las DQO se extienden desde 51.19% a 93.47%.

El valor 13.33% resulta ser un valor atípico (Queda fuera del rango de los valores típicos).

Para las precipitaciones

$$RIC = Q_3 - Q_1 = (302.90 - 78.90) \text{ mm} = 224.00 \text{ mm}$$

$$Q_3 + 1.5 \times RIC = 302.90 \text{ mm} + 1.5 \times 224.00 \text{ mm} = 638.90 \text{ mm}$$

$$Q_1 - 1.5 \times RIC = 78.90 \text{ mm} - 1.5 \times 224.00 \text{ mm} = -257.10 \text{ mm}$$

Los valores típicos de las precipitaciones se extienden desde -257.10 mm a 638.90 mm.

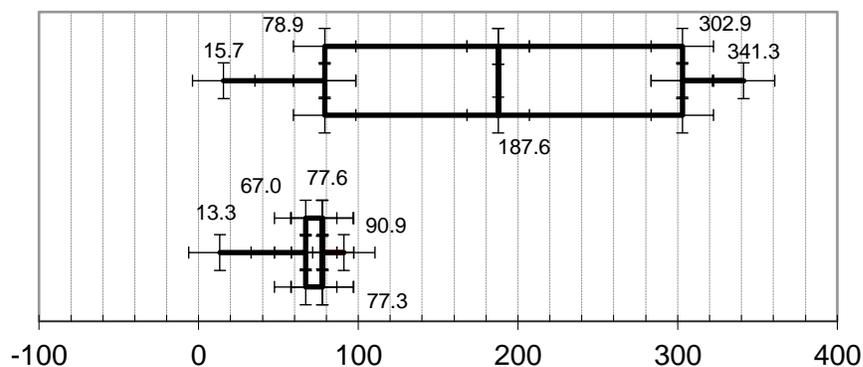
Las precipitaciones no contienen valores atípicos.

Tabla 66

*DQO Vs precipitación en humedales artificiales subsuperficial horizontal*

Mínimo	Q <sub>1</sub>	Mediana	Q <sub>3</sub>	Máximo
13.33%	67.04%	77.27%	77.61%	90.91%
15.70 mm	78.90 mm	187.60 mm	302.90 mm	341.30 mm

*Nota.* Elaboración propia.



**Gráfico de caja y bigote para dos variables**

*Figura 47.- Gráfico de caja y bigotes para la DQO vs precipitación (elaboración propia).*

#### **4.20. Situación Actual del Tratamiento de Aguas Residuales en el Cibao Norte-Sur**

*¿Cuál es la situación actual del tratamiento de las aguas residuales en el Cibao Norte-Sur?*

Los datos estadísticos correspondientes al formulario aplicado a los expertos, gerentes y técnicos especialistas en el área de aguas residuales fueron estudiados a través de tabulaciones marginales o generales.

Respecto a la dotación de agua potable, los encuestados respondieron que el 86.80% de los habitantes del casco urbano recibe el preciado líquido, en la zona semiurbana el 52.50% y en la rural el 40.38%, como lo indica la tabla 67. Esto evidencia que el 46.44% del área de estudio no recibe agua potable, aunque se presenta una desviación standard amplia en cuanto a los datos obtenidos en la encuesta realizada, pero no está muy lejos de la realidad. El agua y saneamiento es un problema mayúsculo que afecta principalmente a los países tercermundistas, casi la mitad de los habitantes en zonas rurales carecen de estos servicios (Stockins, 2011).

Tabla 67

*Resultados de la Población que Recibe Agua Potable en la Región Cibao-Sur*

Repuestas	N	Media	Desviación estándar
Casco urbano, en %	15	86.80	12.161
Semiurbano, en %	14	52.50	35.132
Zona rural, en %	13	40.38	32.369
N válido (por lista)	13		

*Nota.* Elaboración propia. A partir de una encuesta realizada a expertos, gerentes y técnicos de la región Cibao Norte-Sur, República Dominicana.

#### **4.21. Tratamiento del Agua Potable que Consume la Población**

Los resultados sobre el tratamiento del agua potable que consume la población donde se realizó la investigación se expresan en la tabla 68, ocupando el método de la cloración el 31%, seguido de los sistemas de filtración con un 24%, la coagulación-floculación 20%, la desinfección química / oxidantes un 13.3%, mientras que los procesos de membrana y tratamiento solar ocupan el 4.4%, respectivamente. Otros ocupan el 2.2%.

Se destaca la potabilización del agua a través de la cloración como el método más utilizado en la región, seguido del sistema de filtración y coagulación-floculación.

Tabla 68

*Resultado del Tratamiento del Agua Potable*

Tipo de Tratamiento	Respuestas		Porcentaje de casos
	N	Porcentaje	
1. Cloración	14	31.1%	93.3%
2. Coagulación - Floculación.	9	20.0%	60.0%
3. Sistemas de filtración.	11	24.4%	73.3%
4. Procesos de membrana.	2	4.4%	13.3%
5. Desinfección química / Oxidantes.	6	13.3%	40.0%
6. Tratamiento solar.	2	4.4%	13.3%
7. Otros	1	2.2%	6.7%
Total	45	100.0%	300.0%

*Nota.* El Autor. A partir de una encuesta realizada a expertos, gerentes y técnicos de la región Cibao Norte-Sur, República Dominicana.

#### **4.22. Plantas Convencionales de Tratamiento de Aguas Residuales**

Sobre la existencia de plantas convencionales de tratamiento de aguas residuales en el lugar donde vive, como se indica en la tabla 69, el 64.7% de los encuestados respondió que sí o siempre y el 35.3% respondió no o nunca.

En el municipio de Santiago de los Caballeros, alrededor del 28% de las aguas negras generadas fueron tratadas en el año 2016 (CORAASAN, 2016).

A nivel nacional, más del 90 por ciento de las aguas residuales no son tratadas y de las 104 PTAR existentes a la fecha, solo están funcionando cerca de 50, las demás están en construcción o averiadas (Mercedes, 2017).

Tabla 69

*Existencia de Plantas Convencionales de Tratamiento de Aguas Residuales en la Zona*

Repuestas	Frecuencia	Porcentaje válido
Sí o siempre	11	64.7
No o nunca	6	35.3
Total	17	100.0

*Nota.* El Autor. A partir de una encuesta realizada a expertos, gerentes y técnicos de la región Cibao Norte-Sur, República Dominicana.

**4.22.1. Apoyo del gobierno dominicano al sector agua residuales en la zona.** Respecto a si el gobierno dominicano les ha apoyado en el manejo de las aguas residuales, el 64.7% de los entrevistados afirmaron que sí o siempre, mientras que no o nunca fue externado por el 35.3%. En algunas provincias el gobierno ha apoyado, pero en el área de estudio (Jarabacoa), no han apoyado a los munícipes. Hay serias dificultades en el sector Aguas Residuales y se ilustra en la tabla 70.

Tabla 70

*Apoyo del gobierno dominicano al sector agua residuales en la zona*

Repuestas	Frecuencia	Porcentaje válido
Sí o siempre	11	64.7
No o nunca	6	35.3
Total	17	100.0

*Nota.* Elaboración propia. A partir de una encuesta realizada a expertos, gerentes y técnicos de la región Cibao Norte-Sur, República Dominicana.

**4.22.2. Existencia de redes de alcantarillado sanitario en la Región Cibao Norte-Sur.** En cuanto a la existencia de redes de alcantarillado sanitario en el municipio, en la tabla 71 se expresa que, el 52.9% de los encuestados respondió Sí o siempre y el 47.1% afirmó que No o nunca.

Estos resultados se expresan de esta manera, pues según la encuesta aplicada a los municipios las provincias que cuentan con redes de alcantarillado sanitario son: Santiago de los Caballeros con ocho plantas y una en funcionamiento 100%, Provincia Espaillat dos plantas (una en funcionamiento 100%), Puerto Plata está en construcción, la Provincia Sánchez Ramírez cuenta con dos plantas (una en construcción para la Zona urbana), Bonao dos fuera de servicio, Las Vega una fuera de servicio desde el 2005, según la Encuesta realizada para este estudio.

Tabla 71

*Existencia de redes de alcantarillado sanitario en la región*

Repuestas	Frecuencia	Porcentaje válido
Sí o siempre	9	52.9
No o nunca	8	47.1
Total	17	100.0

*Nota.* Elaboración propia. A partir de una encuesta realizada a expertos, gerentes y técnicos de la región Cibao Norte-Sur, República Dominicana.

**4.22.3. Existencia de oficinas encargadas del manejo de las aguas residuales en la región.** Al abordar los encuestados sobre la existencia de oficinas encargadas del manejo de las aguas residuales, los mismos respondieron que Sí o siempre en un 70.6% y No o nunca en un 29.4%, como se puede observar en la tabla 72. Se debe destacar que en todas las provincias existen oficinas encargadas del servicio, aunque en otras lo hacen ONG's, las alcaldías, según la encuesta realizada para este estudio.

Tabla 72

*Existencia de oficinas encargadas del manejo de las aguas residuales en la región*

Repuestas	Frecuencia	Porcentaje válido
Sí o siempre	12	70.6
No o nunca	5	29.4
Total	17	100.0

*Nota.* Elaboración propia. A partir de una encuesta realizada a expertos, gerentes y técnicos de la región Cibao Norte-Sur, República Dominicana.

**4.22.4. Existencia de personal preparado para el tratamiento de las aguas residuales.** La tabla 73, refleja que el 70.6% de las personas encuestadas respondieron Sí o siempre y el 29.4% No o nunca sobre la existencia de personal preparado para el tratamiento de las aguas residuales.

El personal de las oficinas encargadas de brindar el servicio expresó que existe personal preparado, pero no cuentan con los recursos económicos para la construcción de las plantas residuales, según Encuesta realizada para este estudio.

Tabla 73

*Existencia de personal preparado para el tratamiento de las aguas residuales en la región*

Repuestas	Frecuencia	Porcentaje válido
Sí o siempre	12	70.6
No o nunca	5	29.4
Total	17	100.0

*Nota.* Elaboración propia. A partir de una encuesta realizada a expertos, gerentes y técnicos de la región Cibao Norte-Sur, República Dominicana.

**4.22.5. Manejo de las aguas residuales que no llegan a la planta de tratamiento.** La tabla 74 sobre el manejo adecuado a las aguas residuales en la región

y que no llegan a la planta de tratamiento, el 88.2% de los profesionales del agua residual respondieron No o nunca, en contraste con el 11.8% que respondió Sí o siempre.

Tabla 74

*Manejo de las aguas residuales que no llegan a la planta de tratamiento*

Repuestas	Frecuencia	Porcentaje válido
Sí o siempre	2	11.8
No o nunca	15	88.2
Total	17	100.0

*Nota.* Elaboración propia. A partir de una encuesta realizada a expertos, gerentes y técnicos de la región Cibao Norte-Sur, República Dominicana.

**4.22.6. Solución de la problemática de las aguas residuales con tecnología más económica.** Respecto a los resultados en la tabla 75, en donde se aborda a los encuestados sobre la problemática de las aguas residuales en la región y si esta pudiera tener solución con tecnologías más económicas, el 88.2% respondió Sí o siempre, el 5.90% No o nunca y con igual porcentaje de 5.90% No sabe.

Estos resultados evidencian que la población conoce de la existencia de tecnologías más económicas para resolver los problemas de las aguas residuales en la región.

Tabla 75

*Solución de la problemática de las aguas residuales con tecnología más económica*

Repuestas	Frecuencia	Porcentaje válido
Sí o siempre	15	88.2
No o nunca	1	5.9
No sabe	1	5.9
Total	17	100.0

*Nota.* Elaboración propia. A partir de una encuesta realizada a expertos, gerentes y técnicos de la región Cibao-Sur, República Dominicana.

*Objetivo 5. Diseñar alternativas de tratamiento de aguas residuales con IV para el municipio de Jarabacoa y otras áreas.*

#### **4.23. Diseño de Alternativas de Tratamiento de Aguas Residuales con IV Para el Municipio de Jarabacoa y Otras Áreas**

Los sistemas de tratamiento de aguas residuales (TAR) del Municipio de Jarabacoa son humedales subsuperficiales (SFS) del tipo horizontal. Como un objetivo de este estudio, se propone un diseño alternativo de Flujo Vertical (Combinado), como se muestra en la figura 50.

Esta clase de PTAR fue aplicada y originada en Europa, para sustituir los de flujo horizontal, con el objetivo de reducir los nitritos presentes en las salidas de los humedales. Mayormente, se combinan los dos tipos de sistemas para que el N (nitrógeno) se elimine de una manera más segura y efectiva [Estrada, 2010]; citado por (Espinosa, 2014).

#### **4.24. Datos generales requeridos para el diseño de humedales artificiales**

En la tabla 76, se muestran las informaciones necesarias para el diseño de humedales artificiales.

Tabla 76

*Datos iniciales requeridos para el diseño*

Denominación	Cantidad	U/M
Población de Diseño (P)	300	hab
Dotación (Dot)	250	Lppd
Aporte Sanitario (APSA)	200	Lppd
Aporte per cápita de DBO <sub>5</sub>	70	g/hab/día
Caudal Medio (Qm)	0.69	L/seg
Caudal Medio (Qm)	60	m <sup>3</sup> /día
Calor específico agua (C <sub>p</sub> )	4.186	J/kg · °C
Densidad del agua a 23°C (γ)	997.62	kg/m <sup>3</sup>

*Nota.* Elaboración propia, a partir de informaciones obtenidas del Curso III, Módulo IV del Diplomado Fito-Sistemas de Tratamiento de Aguas Residuales para Pequeñas Comunidades, en la Universidad Agraria La Molina, Lima, Perú (Márquez, 2009).

*La dotación asumida es de 250 Lppd, obtenida del Reglamento R-008 del Ministerio de Obras Públicas y Comunicaciones (MOPC) de la República Dominicana (Ministerio de Obras Públicas, 2010).*

Tabla 77

*Norma de diseño para humedales artificiales*

Parámetro de Diseño	U/M	Tipo de Humedal	
		FWS	SFS
Tiempo de Retención Hidráulico (t)	d	4 - 15	4 - 15
Profundidad del Agua (d)	m	0.10 – 0.60	0.30 – 0.75
Carga Orgánica (DBO <sub>5</sub> )	Kg/ha.d	< 60	< 67
Carga Hidráulica (Lw)	m <sup>3</sup> /ha.d	150 – 500	150 - 500
Área Específica (Aesp)	ha (10 <sup>3</sup> m <sup>3</sup> /d)	2.1 – 6.9	2.1 - 6.9

*Nota.* FWS: Sistema de flujo libre. SFS: Sistema de flujo subsuperficial (Márquez, 2009).

Tabla 78

*Características típicas del medio utilizado en humedales de flujo subsuperficial*

Tipo de material	Tamaño efectivo D <sub>10</sub> (mm)	Porosidad, n (%)	Conductividad hidráulica, k <sub>s</sub>	
			(m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> /d)	(pie <sup>3</sup> /pie <sup>2</sup> /d)
Arena gruesa	2	28-32	100 - 1.000	300 a 3000
Arena gravosa	8	30-35	500 - 5.000	1 600 a 16 000
Grava fina	16	35-38	1.000 - 10.000	3 000 a 32 000
Grava media	32	36-40	10.000 - 50.000	32 000 a 160 000
Roca triturada	128	38-45	50.000 - 250.000	16*10 <sup>4</sup> a 82*10 <sup>4</sup>

*Nota.* mm \* 0.03937 = pulgadas. pie<sup>3</sup>/pie<sup>2</sup>/d \* 0.3047 = m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/d, ó, \* 7.48 = galones/pie<sup>2</sup>/d. Reed et al. 1995, citado por Márquez, 2009.

Tabla 79

*Información necesaria sobre el medio filtrante y parámetros de diseño de humedales (SFS)*

Humedal de SFS		
Medio Filtrante	grava media	
Tamaño del grano (Ø)	25	mm
Porosidad del medio (n)	0.38	-
Conductividad hidráulica (k <sub>s</sub> )	25000	m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> · d
Profundidad del humedal (y)	0.60 <sup>a</sup>	m
Constante en función de la temperatura (K <sub>T</sub> ) para 20°C	1.104 <sup>b</sup>	d <sup>-1</sup>
Pendiente máxima del fondo (m)	0.030 <sup>c</sup>	m/m

*Nota.* Normalmente se usan profundidades (y) entre 0,30 a 0,60 m. K<sub>T</sub> = Constante dependiente de la temperatura (Márquez, 2009).

Tabla 80

*Conductividad térmica de los componentes de un humedal SFS*

Material	K (W/m* °C)
Aire (sin convección)	0,024
Nieve (nueva o suelta)	0,08
Nieve (de largo tiempo)	0,23
Hielo (a 0 °C)	2,21
Agua (a 0 °C)	0,58
Capa de restos de vegetación	0,05
Grava seca (25% de humedad)	1,5
Grava saturada	2,0
Suelo seco	0,8

*Nota.* Márquez, 2009

Tabla 81

*Datos iniciales requeridos para el diseño (Continuación)*

Denominación	Cant.	U/M
Cálculo de la Carga orgánica (i)	21	kg/día
Cálculo de la DBO última de 5 días a 20°C (DBO <sub>u</sub> )	14,583.45	mg/L
Concentración de DBO <sub>5</sub> del Afluente (C <sub>o</sub> ), de entrada	130	mg/L
Concentración de DBO <sub>5</sub> del Efluente (C <sub>e</sub> ), de salida <sub>d</sub>	45	mg/L
Sólidos Suspendidos Totales del Afluente (SST <sub>a</sub> )	69	mg/L
Sólidos Suspendidos Totales del Efluente (SST <sub>c</sub> )	11	mg/L
Temperatura promedio del aire (T <sub>a</sub> )	31	°C
Temperatura mínima del agua (T <sub>o</sub> )	30	°C
Factor de conversión (σ)	86400	seg/d
Concentración de N del Afluente (N <sub>o</sub> ), de entrada	12	mg/L
Concentración de N del Efluente (N <sub>e</sub> ), de salida	4	mg/L
Medio: Grava media (32 mm), arena gruesa lavada (2 mm), grava fina (16 mm) y gravosa o roca triturada (128 mm)	-	-
Porosidad del medio (n)	0.38	-
Profundidad del humedal (y)	0.60	m
Vegetación: ( <i>Sparganium spp</i> L.). Nombre común: Esparganio, junco pelotero, ( <i>Typha latifolia</i> L.) Nombre común: Anea, espadaña.	-	-
Pendiente máxima del fondo (m)	1%	

*Nota.* El Autor, a partir de informaciones obtenidas del Curso III del Diplomado Fito-Sistemas de Tratamiento de Aguas Residuales para Pequeñas Comunidades, en la Universidad Agraria La Molina, Lima, Perú y mediciones realizadas en el campo de estudio (Márquez, 2009).

a) La máxima concentración en la DBO<sub>5</sub> del afluente debe ser 130 mg/L

b) Valor permitido de la concentración de DBO<sub>5</sub> a la salida es ≤ 20 mg/L.

c) Valor permitido de la concentración de SST a la salida debe ser ≤ 30 mg/L.

d) Estándares de vertido para DBO en la República Dominicana debe ser 45 mg/L.

e) Los datos de concentración de N del Afluente (N<sub>o</sub>), de entrada y (N<sub>e</sub>) salida, así como los SST fueron tomados de la EPA.

El diseño del humedal artificial del tipo subsuperficial (SFS), que se recomienda construir es pequeño y se llevará a cabo asumiendo dos metodologías basadas

fundamentalmente en reportes de artículos de la Agencia de Protección Ambiental de los EEUU (EPA), de diferentes instituciones europeas, así como del texto de Metcalf & Eddy.

*Cálculos para el aporte sanitario.*

Aporte Sanitario (APSA):

$$APSA = 0.8 * Dot [Lppd] \text{ Ec. 1}$$

(2)

$$APSA = 0.8 * 250 = 200 \text{ Lppd}$$

*Cálculos caudal medio (Qm).*

$$Qm = P * \frac{APSA}{86400} \left[ \frac{L}{seg} \right] \text{ EC. 2}$$

(3)

$$Qm = 300 * \frac{200}{86400} \frac{L}{seg} = 0.69445 \text{ L/seg}$$

$$Qm \left[ \frac{m^3}{d} \right] = Qm \left[ \frac{L}{seg} \right] * 86.4 \text{ EC. 2.1}$$

(4)

$$Qm \left[ \frac{m^3}{d} \right] = 0.69445 \left[ \frac{L}{seg} \right] * 86.4 = 60 \text{ m}^3/d$$

*Cálculo de la carga orgánica (I).*

$$i = \text{Aporte per cápita de } DBO_5 * \frac{P}{1000} \left[ \frac{kg}{d} \right] \text{ EC. 3}$$

(5)

$$i = 70 * \frac{300}{1000} = 21 \text{ kg/d}$$

*Cálculo de la DBO última de 5 Días a 20°C (DBO<sub>u</sub>).*

$$DBO_u = i * Qm \left[ \frac{m^3}{d} \right] * 1000 \text{ Ec. 4}$$

(6)

$$DBO_u = 21 \text{ kg/d} * 0.69445 \left[ \frac{m^3}{d} \right] * 1000 = 14,583.45 \text{ g/L}$$

La DBO<sub>5</sub> de oxígeno se calcula de la siguiente manera, además:

$$DBO_5 = \frac{C * hab}{Qd} = \frac{70 \text{ g/hab/día} * 300 \text{ hab}}{60 \text{ m}^3/\text{día}} = 350 \text{ g/m}^3$$

(7)

*Pendiente máxima del fondo (M).*

$$m = Y * 0.05 \left[ \frac{m}{m} \right] \text{ Ec. 6}$$

(8)

$$m = 0.60 \text{ m} * 0.05 \text{ mm} = 0.03 = 3\%$$

A continuación, se calcula el valor máximo de este parámetro: Coeficiente Punta = 1.58

$$\text{Valor máximo } DBO_5 = DBO_5 * \text{Coef. Punta} = 350 * 1.58 = 553 \text{ g/m}^3$$

(9)

Carga diaria expresada en Kg/día:

$$\text{Carga diaria } DBO_5 = DBO_5 * Qd = 350 \frac{\text{g}}{\text{m}^3} * \frac{0.001 \text{ Kg}}{1 \text{ g}} * 60 \text{ m}^3/\text{d} = 21 \text{ Kg/día}$$

(10)

*Información general necesaria para el diseño de humedales (SFS).*

Calor específico del agua:

Según hyperphysics:

$$Q = c m \Delta T \left[ \frac{\text{julios}}{\text{kg}} \right] ^\circ\text{C}$$

(11)

Q= Calor añadido

C = Calor específico

m= masa

$\Delta T$ = Cambio temperatura (t final - t inicial)

$C_p = 4.186 \text{ j/kg } ^\circ\text{C}$

*Determinación habitante equivalente. H.E.=*

$$H.E = \frac{Q \text{ m}^3/d * DBO_5 \left(\frac{l}{m^3}\right) * \left(1 \frac{g}{l}\right)}{60 \left(\frac{g}{\text{hab} * d}\right)}$$

(12)

$$H.E = \frac{60 \text{ m}^3/d * 350 \left(\frac{l}{m^3}\right) * \left(1 \frac{g}{l}\right)}{60 \left(\frac{g}{\text{hab} * d}\right)} = 350 \text{ hab}$$

**4.24.1. Metodología A y B de la EPA y del texto de Metcalf & Eddy y de diferentes instituciones europeas.** (Método de reportes de artículos de la Agencia de Protección Ambiental de los EEUU (EPA), de diferentes instituciones europeas y el texto de Metcalf & Eddy (Mecalf & Eddy, 1991).

*Determinación del área superficial requerida para el humedal SFS usando la ecuación 8.*

$$A_s = \frac{Q * [\ln(C_0) - \ln(C_e)]}{K_T * y * n} \text{ Ec. 8}$$

(13)

Se trabajará con una temperatura del agua de 30° C, para humedal artificial subsuperficial. Determinación de la constante  $K_T$ .

En cuanto a la constante de temperatura, su valor para 20 °C es:

$$K_T = K_{20} * (1.06)^{(T-20)} \quad \text{Ec. 5} \quad (14)$$

$$K_{20} = 1.104 * (1.06)^{(20-20)} = 1.104 \text{ d}^{-1}$$

$$K_T = 1.104 \text{ d}^{-1}$$

$$m = Y * 0.05 \left[ \frac{m}{m} \right] \text{ Ec. 6} \quad (15)$$

$$m = 0.60 \text{ m} * 0.05 \left[ \frac{m}{m} \right] = 0.03$$

$$K_T = 1.104 * (1.06)^{(T-20)} \quad \text{Ec. 7} \quad (16)$$

$$K_T = 1.104 * (1.06)^{(30-20)} = 1.9770 \text{ d}^{-1}$$

#### 4.25. Modelo de Diseño Para Remoción de DBO en Humedales SFS

$$A_s = \frac{60 \text{ m}^3/\text{d} * [\ln(130 \text{ mg/L}) - \ln(45 \text{ mg/L})]}{1.9770 \text{ d}^{-1} * 0.60 \text{ m} * 0.65} = 29.72 \text{ m}^2 \quad (17)$$

Determinación de la eficiencia del sistema, a través de la Ecuación 5 del modelo de diseño RAS 2000.

$$E\% = \frac{C_o - C}{C_o} * 100 \quad (18)$$

$$E\% = \frac{130 - 45}{130} * 100 = 95.38$$

$$E\% \approx 95.4\%$$

Nota: Para la profundidad del humedal se consideró lo propuesto por Cooper y Boom y Tchobanoglous, quienes plantean que se debe usar una profundidad de diseño para SFS entre 0.6 y 0.9 m. La elección del 0.60 m obedece al que *Sparganium ssp L.*, es una planta con un sistema radicular que va desde 60 hasta los 120 cm de profundidad y la (*Typha latifolia L.*) 15 a 60 cm (Márquez, 2009).

Determinación de la conductividad hidráulica. Para este parámetro, es muy atinado que sus valores se tomen el campo o en laboratorio antes de proceder a diseñar (Márquez, 2009).

$$K_s = 8333 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{d} \quad (19)$$

Con los valores hallados de los parámetros se sustituye en la ecuación 19.

#### 4.26. Determinación del L y W del Lecho

$$W = \frac{1}{y} \left[ \frac{Q * A_S}{m * k_S} \right]^{0.5} \quad \text{Ec. 19} \quad (20)$$

$$W = \frac{1}{0.60 \text{ m}} \left[ \frac{60 \text{ m}^3 * 289.72 \text{ m}^2}{0.05 * 8333} \right]^{0.5} = 10.75 \text{ m}$$

#### 4.27. Determinación de la Longitud del Humedal

$$L = \frac{A_S}{W} \quad \text{Ec. 20} \quad (21)$$

$$L = \frac{289.72 \text{ m}^2}{10.75 \text{ m}} = 26.90 \text{ m}$$

Relación L:W

$$L:W = 2.5:1$$

Para los sistemas SFS valores relativamente bajos:

≤ 3:1 para lechos de 0.6 m de profundidad.

≤ 0,75:1 para lechos de 0.3 m de profundidad.

#### 4.28. Determinación del Tiempo de Retención Hidráulico (TRH)

$$TRH = \frac{A_S * y * n}{Q} \quad Ec. 9$$

(22)

$$TRH = \frac{289.19 * 0.60 * 0.65}{60} = 2 d$$

#### 4.29. Cálculo de la temperatura promedio del agua.

Se considera un nivel de residuos de 15 centímetros, grava gruesa (80 milímetros), luego se usan las informaciones de las Tablas 79, 80, 81 y 82.

Cálculo del valor del coeficiente de transferencia de calor (U). El cálculo del valor del coeficiente de transferencia de calor (U) viene dado por:

$$U = \frac{1}{\left(\frac{y_1}{k_1}\right) + \left(\frac{y_2}{k_2}\right) + \left(\frac{y_3}{k_3}\right) + \left(\frac{y_4}{k_4}\right)} \quad Ec. 10$$

(23)

$$U = \frac{1}{\left(\frac{0.15}{0.05}\right) + \left(\frac{0.08}{1.5}\right) + \left(\frac{0.60}{2}\right)} = 0.68 W/m * °C/m$$

Donde:

K (1-n): Conductividad de las capas 1 a n, W/m\* °C.

y (1-n): Espesor de las capas 1 a n, m.

El cambio de temperatura T<sub>c</sub>. Determinado por (q<sub>L</sub>) y (q<sub>G</sub>) en J/ °C.

$$T_c = \frac{q_L}{q_G} \quad Ec. 11$$

(24)

$$T_c = \frac{-83,192.83}{596,870.57} = 0.14^\circ\text{C}$$

Donde:

Tc: cambio de temperatura en el humedal, en grados Celsius.

El calor perdido por el humedal (ecuación 12):

$$q_L = (T_o - T_a) * U * \sigma * (A_S) * t \quad \text{Ec. 12} \tag{25}$$

$$q_L = (30 - 31) * (-(0.28 * 86400 * (289.19) * (2)) = 13,992,168.96 J.$$

La energía ganada por el flujo del agua:

$$q_G = C_p * \delta * A_S * y * n \quad \text{Ec. 13} \tag{26}$$

$$q_G = 4.186 * 997.62 * 289.19 * 0.45 * 0.38 = 206,511.27 J/^\circ\text{C}$$

Cambio temperatura Tc:

$$T_c = \frac{q_L}{q_G} \quad \text{Ec. 14} \tag{27}$$

$$T_c = \frac{13,992,168.96 J}{206,511.27 J/^\circ\text{C}} = 67.75^\circ\text{C}$$

$$T_c = \frac{(T_o - T_a) * U * \sigma * (A_S) * t}{C_p * \delta * A_S * y * n} \quad \text{Ec. 15} \tag{28}$$

$$T_c = \frac{((30 - 29) * (-(0.28 * 86400) * (289.19) * (2))}{(4.186 * 997.62 * 289.19 * 0.45 * 0.38))} = 67.75^\circ\text{C}$$

Prueba  $T_c$

$$T_c = \frac{U * \sigma * t}{C_p * \delta * y * n} (T_o - T_a) \text{ Ec. 16} \quad (29)$$

$$T_c = \frac{(0.28) (86400) (2)}{(4.186) (997.62) (0.45) (0.38)} (30 - 31) = 67.75 \text{ }^\circ\text{C}$$

*Temperatura del efluente:*

$$T_e = T_o - T_c \text{ Ec. 17} \quad (30)$$

$$T_e = (30 - 67.75) = 37.75 \text{ }^\circ\text{C}$$

*Temperatura promedio del agua  $T_w$  en el humedal SFS.*

La temperatura promedio del agua  $T_w$  en el humedal SFS será:

$$T_w = \frac{T_o + T_e}{2} \text{ Ec. 18} \quad (31)$$

$$T_w = \frac{30 + 37.75}{2} = 33.75 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$T \leq T_w$$

#### **4.30. Eliminación de $\text{NO}_3$ en humedales (SFS).**

Constante  $\text{KNH}$  para 50 y para 100%. Ecuación (23).

Nitrificación ecuación 23:

$$K_{NH} = 0.01854 + 0.3922 * (rz)^{2.6077} \quad \text{Ec. 23} \quad (32)$$

$$K_{NH} (50\%rz) = 0.01854 + 0.3922 * (0.5)^{2.6077} = 0.0828 d^{-1}$$

$$K_{NH}(100\%rz) = 0.01854 + 0.3922 * (1.0)^{2.6077} = 0.107 d^{-1}$$

Constante  $K_{NH}$  para el 50 y para 100% del área radicular. Obtenemos dos valores de  $K_{NH}$ , como sigue:

$$(rz = 50\%) \quad (33)$$

$$A_s = \frac{60 * \ln\left(\frac{12}{4}\right)}{0.0828 * 0.45 * 0.38} = 4655.53 m^2$$

$$\text{TRH: } t = (4655.53) (0.45) (0.38) / 60 = 13.27 d$$

$$(rz = 100\%) \quad (34)$$

$$A_s = \frac{60 * \ln\left(\frac{12}{4}\right)}{0.4107 * 0.45 * 0.38} = 938.58 m^2$$

$$\text{TRH: } t = (938.58) (0.45) (0.38) / 60 = 2.67 d$$

#### 4.31. Área que se necesita para obtener buenos resultados en la nitrificación.

Ecuaciones 24, 25, como sigue a continuación.

$$\frac{C_e}{C_0} = \exp(-K_T * t) \quad \text{Ec. 24} \quad (35)$$

$$C_e = (C_0) \exp(-(K_t) * (t))$$

$$C_e = (12) \exp(-1.104) * (2.67) = 0.63 \text{ mg/L.}$$

Área nitrificación humedal SFS - ecuación (25).

$$A_S = \frac{Q * \ln\left(\frac{C_0}{C_e}\right)}{K_T * y * n} \quad \text{Ec. 25} \quad (36)$$

$$A_S = \frac{60 \text{ m}^3/\text{d} * \ln\left(\frac{12 \text{ mg/l}}{0.63 \text{ mg/l}}\right)}{0.9825 * 0.45 \text{ m} * 0.38} = 615.26 \text{ m}^2$$

Constante  $K_T$ :

$$K_T = K_{NH} * (1.048)^{(T-20)}, d^{-1} \quad (+ 10 \text{ }^\circ\text{C}) \quad \text{Ec. 26} \quad (37)$$

$$K_T = 0.3166 * (1.048)^{(26.5-20)}, d^{-1} \quad (+ 10 \text{ }^\circ\text{C}) = 10.42$$

$$K_T = 0.45 * (1.048)^{(26.5-20)}, d^{-1} \quad (+ 10 \text{ }^\circ\text{C}) = 10.61$$

$$K_T = 0.09 * (1.048)^{(26.5-20)}, d^{-1} \quad (+ 10 \text{ }^\circ\text{C}) = 10.12$$

Tomando como base la temperatura en el agua en la estación de más calor (20 °C):

$$K_T = K_{NH}$$

TRH para la nitrificación (SFS).

$$t = \frac{A_S * y * n}{Q} \quad \text{Ec. 27} \quad (38)$$

$$t = \frac{615.26 \text{ m} * 0.45 \text{ m} * 0.65}{60 \text{ m}^3/\text{d}} = 3 \text{ d}$$

TRH para  $K_{NH}$  (50 y 100% rz) :

$$A_S = \frac{Q * \ln\left(\frac{C_0}{C_e}\right)}{K_T * y * n} \quad \text{Ec. 25} \quad (39)$$

$$A_S = \frac{60 \text{ m}^3/\text{d} * \ln\left(\frac{12 \text{ mg/l}}{0.0077 \text{ mg/l}}\right)}{1.3149 * 0.45 \text{ m} * 0.38} = 1,961.86 \text{ m}^2$$

rz=50% (40)

TRH:  $t = (1,961.86) (0.45) (0.38)/60 = 5.6 \text{ d}$

(rz = 100%) (41)

$$A_S = \frac{60 * \ln\left(\frac{12}{0.0077}\right)}{0.4107 * 0.45 * 0.38} = 6,280.62 \text{ m}^2 \quad (42)$$

TRH:  $t = (6,280.62) (0.45) (0.38)/60 = 17.9 \text{ d}$

Concentración de nitratos en el efluente. Ecuaciones (28) y (29):

$$\frac{C_e}{C_o} = \exp(-K_T * t) \quad \text{Ec. 28} \quad (43)$$

$$C_e = (C_o) \exp(-K_t * t)$$

$C_e = (8) \exp(-1.3149 * (0.83)) = 2.69 \text{ mg/L.}$

$$A_S = \frac{60 \text{ m}^3/\text{d} * \ln\left(\frac{3 \text{ mg/L}}{1 \text{ mg/L}}\right)}{2.0 * 0.45 \text{ m} * 0.38} = 192.7 \text{ m}^2 \quad \text{EC. 29} \quad (44)$$

Concentración de nitratos en afluente ( $C_0$ ). Ecuación (30).

$$\text{Nitratos del humedal} = \left( N_o \left[ \frac{mg}{L} \right] - N_e \left[ \frac{mg}{L} \right] \right) \quad \text{Ec. 30} \quad (45)$$

$$\text{Nitratos del humedal} = (12 \text{ mg/L} - 4 \text{ mg/L}) = 8 \text{ mg/L.}$$

*Nitrógeno total en efluente del humedal.*

$$NT = (\text{Nitrógeno NTK} + \text{Nitratos en el efluente}) \left[ \frac{mg}{L} \right] \quad (46)$$

$$NT = 4 + 8 = 12 \text{ mg/L.}$$

El nitrógeno total en el efluente, con  $K_{NH}$  (50 y 100% rz) :

$$K_{NH} = 0.01854 + 0.3922 * (rz)^{2.6077} \quad \text{Ec. 23} \quad (47)$$

$$K_{NH} (50\%rz) = 0.01854 + 0.3922 * (0.5)^{2.6077} = 0.0828 \text{ d}^{-1}$$

$$K_{NH} (100\%rz) = 0.01854 + 0.3922 * (1.0)^{2.6077} = 0.417 \text{ d}^{-1}$$

Eliminación de SST en el efluente.

$$C_e = C_0 [0.1058 + 0.0014 * (CH)] \quad \text{Ec. 21} \quad (48)$$

$$C_e = 11 \text{ mg/L} [0.1058 + 0.0014 * (9.36 \text{ cm/d})] = 11,037 \text{ mg/L}$$

$$C_o = 11,037 \text{ mg/L}$$

Evaluación de la carga hidráulica, (CH).

$$CH = \frac{Q}{A_s} * 100 \quad Ec. 22 \quad (49)$$

$$CH = \frac{60 \text{ m}^3}{615.26 \text{ m}^2} * 100 = 9.75 \text{ cm/d}$$

#### 4.32. Tiempo de retención hidráulico (TRH).

El tiempo de retención hidráulico (TRH), para la remoción de los sólidos totales disueltos en el humedal será hallado por:

$$TRH = \frac{A_s * y * n}{Q} \quad (50)$$

$$TRH = \frac{615.26 * 0.60 * 0.65}{60} = 4 \text{ d}$$

Diseño para remoción de fósforo en humedales SFS. Generalmente el fósforo se encuentra en las aguas residuales en concentraciones entre 4 y 15 mg/L.

Determinación de la concentración de fósforo en el efluente.

$$\frac{C_e}{C_0} = \exp\left(\frac{-K_p}{CH}\right) \quad Ec. 31 \quad (51)$$

Donde:

C<sub>e</sub>: Concentración de fósforo en el efluente, mg/L.

C<sub>0</sub>: Concentración de fósforo en el afluente, mg/L.

K<sub>P</sub>: 2,74 cm/d.

CH: Carga hidráulica promedio anual, cm/d.

Despejando quedaría:

$$C_e = (C_0) * \exp\left(\frac{-K_p}{CH}\right) \quad (52)$$

$$C_e = (4) * \exp\left(\frac{-2.74 \text{ cm/d}}{3,887.25 \text{ cm/año}}\right) = 3.99 \text{ mg/L.}$$

Carga hidráulica para eliminación de fósforo.

$$CH = \frac{Q}{A_s} * 100 \text{ Ec. 32}$$

(53)

$$CH = \frac{60 \text{ m}^3/d}{1,517.84 \text{ m}^2} * 100 = 3.95 \text{ cm/d.}$$

Prueba del área requerida.

$$A_s = \frac{b * Q * \ln\left(\frac{C_0}{C_e}\right)}{K_p} \text{ Ec. 33}$$

(54)

$$A_s = \frac{100 \text{ cm/m} * 60 \text{ m}^3/d * \ln\left(\frac{4}{2}\right)}{2.74 \text{ cm/d}} = 1,517.84 \text{ m}^2$$

Donde:

As: Área superficial del humedal, m<sup>2</sup>.

b: Factor de conversión. 100 cm/m.

Q: Caudal promedio del humedal, m<sup>3</sup>/d.

Tiempo de retención hidráulica -TRH:

$$t = \frac{A_s * y * n}{Q} \text{ Ec. 34}$$

(55)

$$t = \frac{1,517.84 * 0.60 * 0.38}{60} = 6 \text{ d.}$$

### 4.33. Cronograma de Trabajo

Tabla 82

*Plan de trabajo llevado a cabo durante la investigación*

Actividades	Tiempo																		
	Año 2017			Año 2018										Año 2019					
	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Apr	Ma	Jun	Jul	Aug	Spt	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Apr
Diseño de la propuesta	■	■	■																
Delimitación del tema				■															
Busca de antecedentes	■	■	■	■															
Definición del problema (observación)			■																
Fundamentación del problema			■	■															
Preparación de cuestionarios					■														
Preparación guion de entrevistas					■														
Elaboración de correspondencias a instituciones					■														
Visitas a plantas piloto de TAR con IV/ Realización encuestas					■	■	■	■											
Visitas a plantas de TAR grises/ Realización encuestas						■	■	■											
Caracterización de los sistemas TAR						■	■	■											
Visita a la CAASD, Santo Domingo/ Realización encuestas					■														
Análisis de laboratorio						■	■	■											
Reuniones con expertos en aguas residuales						■	■	■	■										
Compra de materiales y equipos					■														
Recolección y Análisis de datos							■	■											
Organización/tabulación de datos							■	■											
Redacción tesis doctoral								■	■	■	■	■	■	■	■				
Borrador tesis doctoral									■	■	■	■	■	■	■				
Redacción artículo científico										■	■	■	■	■	■				
Desarrollo y Presentación del Documento final de Tesis															■	■	■	■	
Presentación de Evidencia Aceptación Artículo Científico															■	■	■	■	
Defensa oral de la tesis doctoral																		■	■

Nota. Elaboración propia.

### 4.34. Consideraciones Finales

En este último acápite se presentan las consideraciones finales emanadas del estudio sobre "Sistemas Implementados con Ingeniería Verde en el Manejo de las Aguas

Residuales en la República Dominicana, Caso: Municipio de Jarabacoa, año 2018, las cuales se desarrollan por objetivo, describiendo su cumplimiento y los resultados principales obtenidos en cada uno.

Lista de contenidos:

## **Objetivos**

*Objetivo general:*

¿Sería factible analizar los sistemas implementados con Ingeniería Verde en los procesos de tratamiento de aguas residuales en el municipio de Jarabacoa, República Dominicana y determinar la viabilidad de su ejecución como alternativa de solución a la problemática existente en otras regiones?

Los resultados del estudio muestran que fue factible el análisis de los sistemas implementados en Jarabacoa y la determinación de la viabilidad de la ejecución de estos sistemas en el país y demás regiones.

*Objetivos específicos:*

### **4.35. Objetivo 1. Caracterizar los Sistemas Implementados en Jarabacoa**

La idea es realizar un estudio cuidadoso a las plantas de TAR que están funcionando en el municipio de Jarabacoa para los fines propuestos en los objetivos de la tesis. A continuación, se desarrollan las siguientes consideraciones:

*Especies vegetales utilizadas en los humedales.* La Enea (*Typha latifoliada* L.), el Papiro (*Cyperus papyrus* L.) y el Vetiver (*Vetiveria zizanioides* L.) son las más empleadas en las plantas de tratamiento de aguas residuales con IV de Jarabacoa. El Pachulí (*Pogostemon cablin* Benth.) y el Junco (*Scirpus holoschoenus* L.) son utilizados en menor proporción.

*Tipos de membrana y gravilla utilizados en los humedales.* La geomembrana, la gravilla 7/4, la arena de 1 mm, la lona de 300 micrones, acompañados de metales, tubos PVC de 2 pulgadas, grava-gransote (piedras 2-2.5"), carbón y hormigón de concretos son los materiales empleados para la construcción de los humedales.

*Planta de tratamiento de aguas residuales El Dorado.* Esta planta cuenta con una dimensión de 70 m<sup>2</sup>, con dos (2) cámaras sépticas, con dotación de 100 litros/hab/día, un volumen generado de 7.5 m<sup>3</sup> y fue diseñada para 75 habitantes.

*PTAR Escuela Ambiental #1.* Cuenta con una dimensión de 21.85 m<sup>2</sup>, con una (1) cámara séptica, con dotación de 80 litros/hab/día, un volumen generado de 27.73 m<sup>3</sup>/d y fue diseñada para 28 habitantes.

*Planta de tratamiento de aguas residuales El Arca.* Esta cuenta con una dimensión de 61.25 m<sup>2</sup>, con dos (2) cámaras sépticas, con dotación de 85 litros/hab/día, un volumen generado de 30 m<sup>3</sup>/d y fue diseñada para 75 habitantes.

*Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Buenos Aires #2.* Cuenta con una dimensión de 24,58 m<sup>2</sup>, con dos (2) cámaras sépticas, con dotación de 100 litros/hab/día, un volumen generado de 10 m<sup>3</sup>/d y fue diseñada para 25 habitantes.

*Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Escuela Ambiental #2.* Esta posee una dimensión de 42.63 m<sup>2</sup>, con una (1) cámara séptica, con dotación de 200 litros/hab/día, un volumen generado de 40 m<sup>3</sup>/d y fue diseñada para 50 habitantes.

*Planta de Tratamiento de Aguas Residuales La Trinchera.* Esta planta posee una dimensión de 82.08 m<sup>2</sup>, con una (1) cámara séptica, con dotación de 200 litros/hab/día, un volumen generado de 73.97 m<sup>3</sup>/d y fue diseñada para 75 habitantes.

*Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Villas Poppy, Constanza.* Este humedal cuenta con una dimensión de 391 m<sup>2</sup>, con dos (2) cámaras sépticas con volumen de 99 m<sup>3</sup>, dotación de 175 litros/hab/día, un volumen generado de 55 m<sup>3</sup>/d y fue diseñada para 312 habitantes.

#### **4.36. Objetivo 2. Comparar Económica, Social y Ambientalmente los Sistemas de Ingeniería Verde Implementados en Jarabacoa Frente a los Sistemas Convencionales en el Cibao Norte-Sur**

*Resultados alcanzados en el aspecto económico.* Estos reflejan que el costo actual de una planta convencional de tratamiento de aguas residuales y de una con Ingeniería

Verde para Jarabacoa (Casco Urbano) es de USD\$13,737,373.70, para un barrio o zona pequeña el costo es de USD\$4,167,182.02 y una PTAR con Ingeniería Verde para una comunidad de 150-200 habitantes el costo es de USD\$45,351.47. Existe un costo similar de una planta de tratamiento con Ingeniería Verde que es de \$45,000.00 dólares en proyectos modulares, desde hace unos 19 años (Erazo, 2000).

En la actualidad, un proyecto para 312 habitantes cuesta USD\$70,993.91, como lo fue la PTAR Villas Poppy en Constanza, República Dominicana, construida en abril del año 2018 (Fondo de Agua & Plan Yaque, 2018).

*Resultados alcanzados en el Aspecto Social.* El Sistema de TAR con IV tiene un impacto positivo a nivel social, al igual que el Sistema Convencional de TAR. Así fue considerado por los encuestados en este estudio.

*Resultados alcanzados en el Aspecto Ambiental.* La falta de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales con la ausencia del alcantarillado sanitario es el principal problema de Jarabacoa, según los encuestados. El agua de cloaca es vertida al sistema fluvial que la conduce al Río Yaque del Norte y al Río Jimenoa, principalmente. Esta situación podría estar provocando las enfermedades relacionadas con consumo de agua y la contaminación atmosférica que afectan al Municipio y que se destacan; entre ellas, 2,166 casos de Vías Respiratorias, 1,967 casos de Amebiasis, 816 casos de Blasocystis, 276 casos de EDA, así como Vaginitis, Shigelosis, Salmonelosis y Hepatitis (Hospital Octavia B. Gautier & Clínica Los Ríos, 2018).

*Resultados sobre los ríos de la región Cibao Norte-Sur con Capacidad Depuradora.* Los más importantes son: El Río Yaque del Norte, Río Jimenoa, Río Yuna, Río Camú, Río Moca, Río Chacuey, Río Catalina, Río Baya, Río Capacho, Río Yásica y Río Yujo.

*Cantidad de proyectos implementados con Ingeniería Verde en Jarabacoa y en el País.* La cantidad proyectos implementados en Jarabacoa con Ingeniería Verde son 17 y en el resto del país 11, los que suman 38.

*Instituciones encargadas del manejo de las aguas residuales en la región Cibao Norte-Sur.* Las instituciones más importantes en el manejo de aguas residuales en la región son:

1. Instituto Nacional de Aguas Potables y Alcantarillado (INAPA),

2. Plan de Manejo de la Cuenca del Río Yaque del Norte (Plan Yaque),
3. Corporación del Acueducto y Alcantarillado de Santiago (CORAASAN),
4. Corporación del Acueducto y Alcantarillado de La Vega (CORAAVEGA),
5. Corporación del Acueducto y Alcantarillado de Moca (CORAAMOCA) y
6. Corporación del Acueducto y Alcantarillado de Puerto Plata (CORAAPLATA).

***Impacto Ambiental de los sistemas de TAR con Ingeniería Verde.*** El impacto ambiental de dicho sistema es bajo, o sea, expresa una destrucción mínima al medioambiente, según los resultados del estudio.

***Impacto Ambiental del Sistema Convencional en el tratamiento de aguas residuales, partiendo de una correcta operación del sistema y según normas ambientales en República Dominicana.*** El impacto ambiental del sistema convencional es alto, o sea, tiene efecto importante sobre el medio ambiente o sobre los recursos naturales y según el estudio los encuestados también lo expresan como impacto bajo con igual proporción. Un 25% de los estos dicen que su impacto es medio, lo que significa un efecto considerable en el medioambiente.

#### **4.37. Objetivo 3. Comparar los Sistemas Ecológicos Sostenibles Implementados en Jarabacoa Frente a los Convencionales en el Cibao Norte-Sur.**

Análisis de laboratorio realizados a siete plantas de tratamiento de aguas residuales con Ingeniería Verde en el periodo mayo - junio del 2018, permiten realizar una conclusión comparativa de los sistemas ecológicos existentes en el municipio de Jarabacoa frente a los sistemas convenciones en la región Cibao Norte-Sur:

***Eficiencia de las siete plantas estudiadas en el municipio de Jarabacoa.*** La eficiencia calculada, a través de los análisis realizados en cada una de las PTAR se expresan a continuación:

1. La PTAR El Arca, cuenta con una eficiencia en la reducción coliformes fecales y totales de 78%, DBO<sub>5</sub> un 34%, DQO con un 28%, Nitrito (N-NO<sub>2</sub>) 13% y ortofosfato con 29%.

2. La PTAR Escuela Ambiental No.1, presenta una eficiencia en la reducción coliformes fecales de 98%, DBO<sub>5</sub> 78%, Coliformes totales 74%, DQO 72%, Nitrito 59% y ortofosfato 28%.

3. La PTAR Buenos Aires #2, muestra una eficiencia en la reducción DBO<sub>5</sub> de 71%, coliformes totales 69%, DQO 62%, coliformes fecales 38%, ortofosfato 26% y nitrito con un 2%.

4. La PTAR Escuela Ambiental #2, cuenta con un 90% de eficiencia en la reducción de coliformes fecales, un 74% en coliformes totales, un 79% en ortofosfato, un 56% en DQO, un 54% en DBO<sub>5</sub> y un 31% en la reducción de nitrito.

5. La PTAR El Dorado, resultó con un 99% de eficiencia en la reducción de coliformes fecales, un 93% DBO<sub>5</sub>, un 90% en DQO, un 63% en ortofosfato y un 41% en la reducción de nitrito, esta planta no se le practicó análisis de c. totales.

6. La Planta La Trinchera, resultó con una eficiencia en la reducción contaminantes por el orden de 98%, tanto en coliformes fecales como totales, un 62% en nitrito, un 48% en DQO, un 38% en DBO<sub>5</sub> y un 37% en ortofosfato.

7. La TAR Pollo Cibao, presentó una eficiencia de 100% en la reducción de coliformes fecales y coliformes totales, respectivamente. un 95% en la reducción de DQO y un 91% en la reducción de DBO<sub>5</sub>. Los demás parámetros para esta planta no fueron analizados en el laboratorio.

**Potencial de hidrógeno (pH).** Los resultados de pH estuvieron por debajo de las normas ambientales nacionales en todas las plantas. El sistema con Ingeniería Verde trabaja bien el pH, ya que las normas para agua y control de descargas a subsuelo y cuerpos superficiales es de 6 a 8.5 (Ministerio de Medioambiente, 2012).

**Total, de Sólidos Disueltos (TSD).** Los resultados sobre el TSD en la mayoría de las plantas estuvieron por debajo de los límites normales que establecen las normas ambientales del país, que es de 1000 mg/l para aguas Clase B y 3000 mg/l para agua Clase C (Ministerio de Medioambiente, 2012).

**Eficiencia en la reducción de material orgánico residual (DBO<sub>5</sub>).** Los resultados de DBO<sub>5</sub> en todas las plantas estuvieron por debajo de los límites normales que establecen las normas ambientales del país y la EPA, que es de 50 mg/l para < 5,000

habitantes (Ministerio de Medioambiente, 2012 y Puliafito, Brandi, Morandini & Muñoz, s.f.).

**Eficiencia reducción de material orgánico e inorgánico residual (DQO).** Los resultados de todas las plantas de TAR con IV estuvieron por debajo de los límites que establecen las normas ambientales del país y la EPA, que es de 160 mg/l para una región < 5,000 habitantes (Ministerio de Medioambiente, 2012 y Puliafito, et al., s.f.).

**Eficiencia en la reducción de coliformes fecales.** Los resultados de las plantas estudiadas no estuvieron en los límites normales que establecen las normas ambientales del país, que es de 1000 a 2000 NMP/100ml, aunque presente matemáticamente eficiencia en coliformes fecales, puesto que la eficiencia es una relación entre la salida y la entrada; o sea,

$$\eta = \frac{FZ - FA}{FZ} \times 100,$$

En donde:  $\eta$  = Eficiencia, FZ = Entrada y FA = Salida (Ministerio de Medioambiente, 2012).

**Eficiencia en la reducción de coliformes totales.** Los resultados de las plantas estudiadas no estuvieron en los límites normales que establecen las normas ambientales del país, que es de 1000 NMP/100ml. (Ministerio de Medioambiente, 2012).

**Resumen del año 2017 de efluente planta tratamiento aguas residuales Rafey.** La PTAR Rafey, presenta los parámetros como: Color, DBO<sub>5</sub>, DQO, se encuentran entre los límites normales, según normas ambientales dominicanas, los Ortofosfatos no estuvieron dentro de los límites normales que es de 0.025 a 2 mg/l. El Nitrógeno total, Oxígeno Disuelto, Nitratos, Turbidez, Sólidos Suspendidos, Temperatura del agua, pH se encontraron dentro de los límites de las Normas Ambientales Dominicanas de Calidad de Agua y Control de Descargas (Ministerio de Medioambiente, 2012).

**Resultados del comportamiento de los coliformes fecales y coliformes totales en la PTAR Rafey, Santiago de los Caballeros.** Los resultados de análisis de laboratorio sobre coliformes fecales y coliformes totales de la Planta Convencional de Aguas Residuales de Rafey en Santiago, no estuvieron en los límites normales que establecen las normas ambientales del país y la EPA, que es de 1000 NMP/100ml para c. totales y 1000 a 2000 NMP/100ml para coliformes fecales (Ministerio de Medioambiente, 2012; Puliafito, Brandi, Morandini & Muñoz, s.f.).

***Factibilidad de implementación del sistema de TAR con Ingeniería Verde.*** Los resultados obtenidos en el estudio afirman que existen recursos disponibles para la implementación de los sistemas de tratamientos de aguas residuales con IV, terreno, Plantas macrofita, personal capacitado, aunque precisan las limitaciones de los recursos económicos para dicha implementación.

***Efectos del clima al funcionamiento del humedal.*** Los Resultados del estudio respecto al clima del lugar y su incidencia en el funcionamiento del humedal, precisa que este afecta la remoción de contaminantes, la eliminación de coliformes, el tiempo de retención hidráulica, el tipo de macrofita, la actuación bacteriana, la eficiencia de depuración del agua y el tiempo de depuración.

La fluctuación de la temperatura con respecto a la eficiencia de los sistemas de humedales es mínima, pudiéndose observar que a menor grado de temperatura la eficiencia se mantiene o en ocasiones sube. Según el estudio y los expertos encuestados los sistemas son más eficientes a mayores temperaturas, aunque la evaporación sea mayor.

#### **4.38. Objetivo 4. Determinar la Situación Actual del Tratamiento de las Aguas Residuales en el Cibao Norte-Sur**

Más del 85% de las aguas procedentes de las industrias y los hogares dominicanos no son tratadas, significando que una gran cantidad de estas son lanzadas a los ríos, arroyos, mar, fincas, etc. El país solo cuenta con 104 PTAR, de las cuales 12 están en verificación, 50 en operación, 29 fuera de servicio y 13 en construcción (Mercedes, 2018).

Sobre la existencia de plantas convencionales de tratamiento de aguas residuales en la zona donde vive, el 64.7% de los encuestados respondió que sí contra el 35.3% que respondió que no. El Cibao-Norte Sur cuenta con 11 PTAR nominal.

Las provincias que cuentan con redes de alcantarillado sanitario son: Santiago de los Caballeros con ocho plantas y una en funcionamiento 100%, Provincia Espaillat dos plantas (una en funcionamiento 100%), Puerto Plata está en construcción, la Provincia Sánchez Ramírez cuenta con dos plantas (una en construcción para la Zona urbana), Bonao dos fuera de servicio, La Vega una fuera de servicio desde el 2005, según la Encuesta realizada para este estudio.

En Jarabacoa expresan los municipales, que en la actualidad no cuentan con sistema de alcantarillado sanitario, el cual fue iniciado y luego parado por falta de voluntad política y supuestamente recursos económicos.

Hasta el momento, las viviendas cuentan con sépticos y filtrantes, pero también existen muchas de ellas que carecen de estas instalaciones y están conectadas al sistema de alcantarillado fluvial y descargan en las cañadas, arroyos y ríos (Plan Estratégico de Desarrollo del Municipio de Jarabacoa, 2006).

***Existencia de personal preparado para el tratamiento de las aguas residuales.*** El personal de las oficinas encargadas de brindar el servicio expresó que existe personal preparado, pero no cuentan con los recursos económicos para la construcción de las plantas residuales, según la encuesta realizada para este estudio.

En el municipio de Santiago de los Caballeros; por ejemplo, sólo el 27.4% de las aguas residuales generadas en el año 2016 fueron tratadas en sistemas de depuración antes de descargarse a los cuerpos receptores superficiales y subterráneos (CORAASAN, 2016).

#### **4.39. Objetivo 5. Diseñar Alternativas de Tratamiento de Aguas Residuales con IV para el Municipio de Jarabacoa y Otras Áreas**

Los Sistemas de TAR del Municipio de Jarabacoa en la República Dominicana son SFS del tipo horizontal. Como objetivo de esta tesis, se propone un diseño alternativo a los existentes, consistente en Humedales Subsuperficiales de Flujo Vertical (Combinado).

El diseño de estos tipos de PTAR blandos o ecológicos fueron creados en España y otros países vecinos, con el objetivo de reducir el nitrógeno presente en el agua. Los mismos son utilizados de manera combinada (horizontal/vertical) para conseguir mejores resultados en la remoción del Nitrógeno (Estrada, 2010); citado por (Espinosa, 2014).

*"Desarrollo de un Sistema de TAR con Humedal Artificial Sub-Superficial Combinado (Flujo horizontal y flujo Vertical) como Alternativa a los Sistemas de TAR de Jarabacoa, R.D."*

*Se eligió el elemento que requiere mayor área.*

Área requerida para la Nitrificación en el humedal SFS, usando las ecuaciones (19, 20 Y 25) del texto de Mecalf & Eddy.

Tabla 83

Datos hidráulicos que considerar para el diseño del humedal

Datos hidráulicos	
Población	300 hab
Dotación	250 L/hab/d
Q <sub>m</sub>	60 m <sup>3</sup> /d
Q <sub>m</sub>	2,500 L/h
Caudal	21,915 m <sup>3</sup> /año
Q <sub>p</sub>	4,827.25 L
Q <sub>p</sub> lluvioso	9,375 L/h
Volumen humedal	369.12 m <sup>3</sup>

Nota. Elaboración propia.

$$A_s = \frac{60 \text{ m}^3/\text{d} \cdot \ln\left(\frac{12 \text{ mg/l}}{0.63 \text{ mg/l}}\right)}{0.9825 \cdot 0.45 \cdot 0.65} = 615.26 \text{ m}^2 \quad \text{Ec. 25} \quad (56)$$

$$TRH = \frac{615.26 \cdot 0.45 \cdot 0.65}{60} = 3 \text{ d} \quad (57)$$

$$W = \frac{1}{0.60} \left[ \frac{60 \cdot 615.26}{0.05 \cdot 8333} \right]^{0.5} = 15.69 \text{ m} \quad \text{Ec. 19} \quad (58)$$

$$L = \frac{615.26}{15.69} = 39.21 \text{ m} \quad \text{Ec. 20} \quad (59)$$

$$L/W = 2.5:1$$

Determinación de la Eficiencia del Sistema, a través de la ecuación 5 del Modelo de Diseño RAS 2000.

$$E\% = \frac{c_o - c_e}{c_o} \times 100 = 94.75\%$$

(60)

*Cálculo final de las dimensiones del humedal y la velocidad de flujo.*

$$TRH = \frac{615.26 * 0.45 * 0.65}{60} = 3 \text{ d Ec. 9}$$

(61)

$$W = \frac{1}{0.60} \left[ \frac{60 * 615.26}{0.05 * 8333} \right]^{0.5} = 15.69 \text{ Ec. 19}$$

(62)

$$L = \frac{615.26}{15.69} = 39.21 \text{ Ec. 20}$$

(63)

$$L:W = 2.5:1$$

*Nota:* Se debe tomar en cuenta las condiciones topográficas del terreno para el diseño final del humedal y el área mayor encontrada.

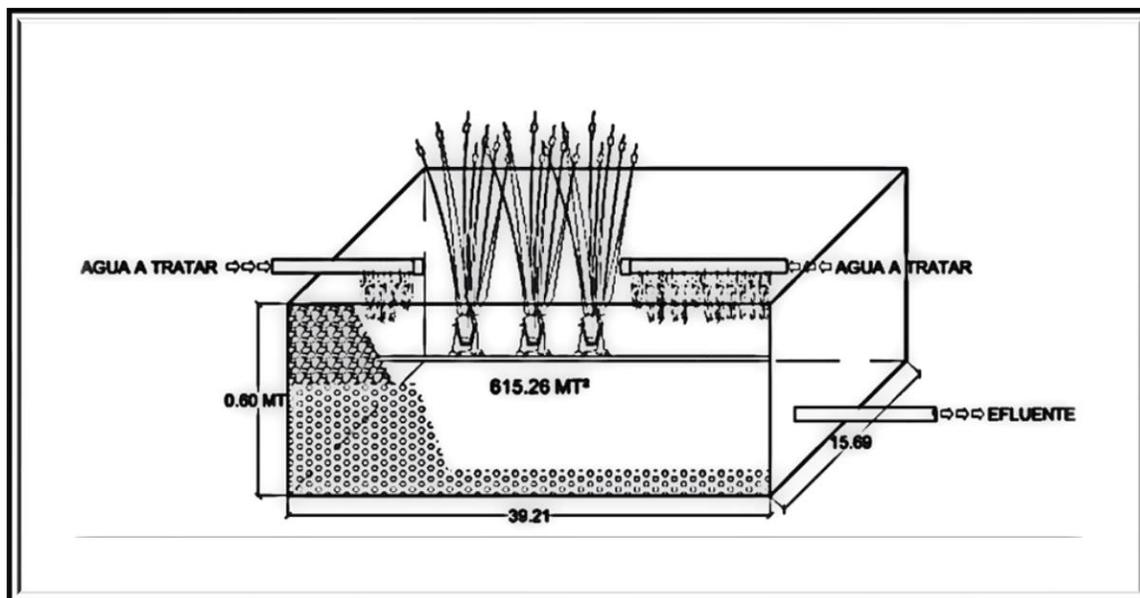


Figura 48. Diseño arquitectónico del humedal propuesto (elaboración propia).

*Tratamiento preliminar (Séptico Circular).* Se utilizó el método A (Método del Instituto Nacional de la Vivienda. España) y la población beneficiaria es de 300 personas.

*Capacidad del tanque séptico.* La capacidad de las fosas sépticas debe ser fijada, según la frecuencia de limpieza de estas, o sea, la extracción de los fangos. Se puede considerar como el periodo de vaciado aquel, en que el espesor de la espuma llegue a 50 cm y como término medio en tiempo 6 m.

Se ha comprobado en la práctica que los tanques de compartimientos múltiples dan mejor afluente a igualdad de capacidad total. Si la capacidad ha de ser inferior a 500 L, debe hacerse único, y si pasa de 2 000 L, debe hacerse múltiple.

El volumen de aguas negras, a razón de 100 L/h al día, ha de expresarse para caudales menores a 6 000 L diarios por la fórmula siguiente:

$$V = 1.5 * Q \quad \text{Ec. A - 1} \tag{64}$$

Q: Volumen diario para usuarios (L).

Aporte sanitario: 250 Lp/d.

$$Q = 250 \frac{lp}{d} * 300 p \tag{65}$$

$$Q = 75\,000 L$$

Lp/d: Litro per cápita por día por ser este valor mayor a 6 000 L, se utilizó la expresión.

$$V = 4\,260 + 0.75 * Q \quad \text{Ec. A - 2} \tag{66}$$

$$V = 4\,260 + 0.75 * (75\,000 L) = 60,510 L$$

$$V = 60.51 m^3$$

Se proponen dos cámaras sépticas circulares tipo Imhoff, la #1 con un radio de 3.09 m, altura 2 m y volumen interior de 60.51 m<sup>3</sup>; la #2 con un radio de 2.99 m, altura 2 m, volumen interior de 56.18 m<sup>3</sup>. Volumen total de 116 m<sup>3</sup>, se puede apreciar en la figura 51.

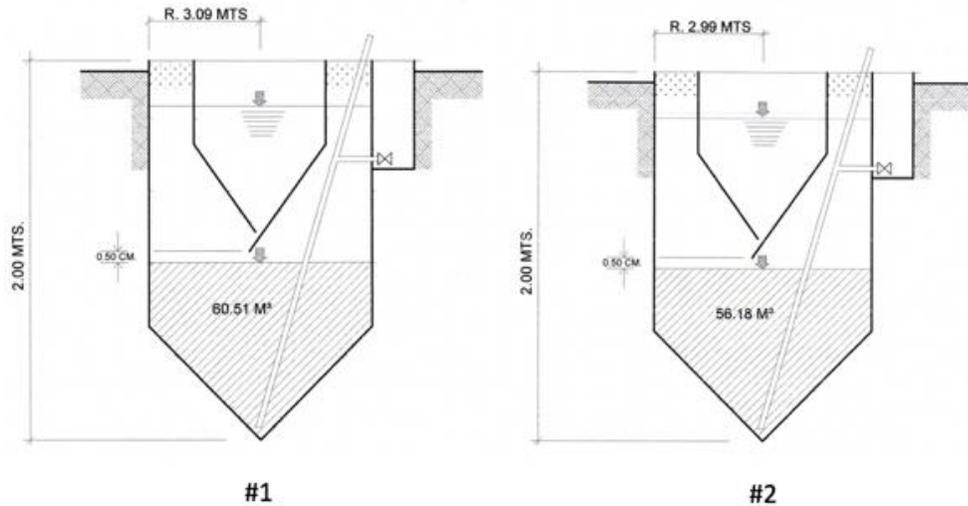


Figura 49. Tanque Imhoff -según Stier (Valter, 1989). Adaptado por el Autor de la tesis).

#### 4.40. Resultados por Pregunta de Investigación

##### ***¿Cuáles son las características de los sistemas implementados en Jarabacoa?***

Son humedales que se caracterizan por tener una cámara séptica (afluente), una cámara de decantación y un registro de salida (efluente). para la construcción de estos, se utilizaron hormigón de concretos, geomembrana, Gravilla 7/4, arena de 1 mm, la lona de 300 micrones, acompañados de metales, tubos PVC de 2 pulgadas perforados, grava-gransote (piedras 2-2.5") y carbón.

Se utilizan muy comúnmente especies vegetales como la Enea (*Typha latifoliada* L.), el Papiro (*Cyperus papyrus* L.) y el Vetiver (*Vetiveria zizanioides* L.). El Pachulí (*Pogostemon cablin* Benth.) y el Junco (*Scirpus holoschoenus* L.) utilizados en menor proporción.

***¿Cuál sería la diferencia a nivel económico, social y ambiental de los sistemas de Ingeniería Verde implementados en Jarabacoa frente a los sistemas convencionales en el Cibao Norte-Sur?*** En el aspecto económico, existe una amplia diferencia entre ambos sistemas. Una planta de tratamiento de aguas residuales con sistema de Ingeniería Verde o ecológica para 150 habitantes cuesta USD\$45,351.47, mientras que una PTAR convencional para un sector cuesta USD\$4,167,182.02. Para el Municipio de Jarabacoa una convencional le costará USD\$13,737,373.70.

En el aspecto social y según los resultados de estudio, ambos sistemas presentan impactos positivos. O sea, su accionar no afecta a la población.

En aspecto ambiental, existen diferencias. Pues, el sistema convencional tiene impacto alto sobre los recursos naturales y el medioambiente, mientras que el sistema con Ingeniería Verde o ecológica es amigable 100% con el medioambiente, según los resultados de la investigación realizada.

***¿Cuál ha sido la funcionalidad o eficiencia de los sistemas implementados en Jarabacoa frente a los convencionales en el Cibao Norte-Sur?*** Los sistemas implementados en Jarabacoa en su mayoría resultan ser eficientes en la reducción del material orgánico como DBO<sub>5</sub>, DQO; así como también nitrito, nitrógeno, nitrato y otros.

En lo concerniente a los coliformes fecales y coliformes totales, los sistemas son eficientes en la reducción de estos, pero no logran llevarlos a los límites normales que exigen las Normas Ambientales sobre Calidad de Aguas y Control de Descarga. Por otro lado, los sistemas convencionales estudiados presentan eficacia en la remoción de los contaminantes en el agua residual, observándose algunas deficiencias en la descontaminación de coliformes.

***¿Cuál es la situación actual de las aguas residuales en la región de desarrollo Cibao Norte-Sur de la República Dominicana?*** El país solo cuenta con 104 PTAR, de las cuales 12 están en verificación, 50 en operación, 29 fuera de servicio y 13 en construcción y el 90% de las aguas residuales domésticas generadas no se tratan (Mercedes, 2018).

Al año 2015, el país contaba con un caudal de agua potable: capacidad instalada 62,27 m<sup>3</sup>/s, caudal agua potable producido (Q<sub>AP</sub>): 45 m<sup>3</sup>/s, caudal aguas residuales nominal (Q<sub>ARN</sub>): 36 m<sup>3</sup>/s, caudal aguas residuales teórico reportada (Q<sub>APT</sub>): 31 m<sup>3</sup>/s, caudal captado en redes de alcantarillado: 8.76 m<sup>3</sup>/s, caudal tratado en 104 PTAR hasta año 2015: 3.32 m<sup>3</sup>/s, caudal captado en redes sin tratamiento: 44 m<sup>3</sup>/s, capacidad nominal de 104 PTAR: 9.41 m<sup>3</sup>/s, rehabilitación capacidad de tratamiento PTAR existentes: 6.9 m<sup>3</sup>/s y caudal a captar en nuevas redes y tratar en nuevas PTAR: 22.24 m<sup>3</sup>/s, para un 72% (INAPA, 2018).

Jarabacoa área focal de estudio, no cuenta con sistema de alcantarillado sanitario al igual que muchos pueblos de la isla, lo que provoca una gran contaminación ambiental

que genera enfermedades. Las provincias que corresponden al área de estudio tampoco cuentan con el importante servicio o lo tienen deficiente.

Santiago de los Caballeros, por ejemplo, posee ocho plantas y de estas una está en funcionamiento 100%, la Provincia Espaillat dos plantas (una en funcionamiento 100%), Puerto Plata está en construcción, la Provincia Sánchez Ramírez cuenta con dos plantas, una en construcción para la Zona urbana y la otra fuera de servicio, Bonao dos fuera de servicio, Las Vega una fuera de servicio desde el año 2005, por lo que se considera crítica la situación de las aguas residuales en la región Cibao Norte-Sur.

***¿Sería conveniente diseñar sistemas ecológicos alternativos a los existentes para el tratamiento de aguas residuales de Jarabacoa y otras áreas?*** La encuesta realizada a los expertos y técnicos del área de agua y saneamiento expresaron la conveniencia de que existan nuevos modelos de PTAR ecológicas adaptables a la región, ya que abren un abanico de nuevas posibilidades y de facilidad para escoger la más conveniente para la población.

Como conclusión del objetivo 5 de esta tesis, se presenta un diseño de humedal SFS de flujo combinado (vertical/horizontal), para una población de 300 habitantes, con una carga orgánica de 300 mg/l, temperatura de diseño de 31 °C, caudal medio 60 m<sup>3</sup>/d, área del humedal 615.26 m<sup>2</sup>, W=15.69 m, L= 39.21 m, H = 0.60 m, TRH= 4 d, dos tanques sépticos circulares tipo Imhoff con radio de 3.09 m y 2.99 m, respectivamente.

*De acuerdo con los resultados obtenidos en este estudio y a las consideraciones finales que se han analizado, se presentan las siguientes indicaciones:*

La Ingeniería Verde o ecológica constituye una alternativa viable, económica, social y ambientalmente para el manejo de las aguas residuales en la República Dominicana, debido a que el p-valor (Significación asintótica bilateral) obtenido en los casos más relevantes examinados para el análisis de la hipótesis, resultó en todos los casos no mayor de 0.05%, donde se niega la hipótesis de trabajo (H<sub>0</sub>) y se acepta la del investigador (H<sub>i</sub>).

Pues, esto es de gran ayuda para el gobierno central y municipal, ya que los mismos podrían utilizar esta tecnología para el manejo de las aguas especiales y así evitar la

contaminación, tanto hidráulica como atmosférica que afecta a la población de Jarabacoa y toda la región Cibao Norte-Sur.

a) Según los resultados obtenidos del cuestionario aplicado a los expertos en el tratamiento de aguas residuales, a gerentes de instituciones del sector agua y saneamiento, a los conocedores de la ingeniería verde y a los que trabajan el sistema convencional, coinciden que económica, social y ambientalmente los sistemas con Ingeniería Verde son más adecuados que los sistemas convencionales.

b) Los sistemas de tratamiento de aguas residuales con Ingeniería Verde o ecológicas son eficientes hasta cierto punto y tomando gran importancia el mantenimiento periódico dado al humedal.

c) Existe una problemática con respecto al manejo de aguas residuales en la región Cibao Norte-Sur. La mayoría de las Provincias carecen de sistemas de alcantarillado sanitario. En Jarabacoa, zona de focalización del estudio, la situación está provocando posibles enfermedades a la población como las de las Vías Respiratorias, Amebiasis, Blasocystis, EDA, en menor proporción Vaginitis, Shigelosis, Salmonelosis y Hepatitis, reportadas por el hospital del municipio.

d) Es factible la implementación de los Sistemas de Ingeniería Verde en otras áreas del país en proyectos habitacionales nuevos y/o en la zona rural, ya que hay disponibilidad de recursos como macrofitas, terreno en la mayoría de los lugares, grava, arena y gransote.

e) Las PTAR con Ingeniería Verde implementadas en Jarabacoa están bien diseñadas para tales fines, aunque algunas difieren de los parámetros internacionales de diseño.

f) Las PTAR con Ingeniería Verde al igual que el sistema convencional estudiado no descontaminan efectivamente el agua residual, con respecto a los coliformes fecales y coliformes totales, según exigen las normas ambientales, solo los reducen.

g) El tipo clima afecta el funcionamiento del humedal, respecto a la remoción de contaminantes, la eliminación de coliformes, el tiempo de retención hidráulica, el tipo de macrofitas, la actuación bacteriana, la eficiencia de depuración del agua y el tiempo de depuración.

h) Se proponen la construcción de humedales artificiales del tipo subsuperficial de flujo combinado (horizontal-vertical) modulares como alternativa a los existentes y con áreas de 615.26 m<sup>2</sup>, longitud 39.21 m, ancho 15.69 m, TRH 3 d, provisto de dos cámaras

sépticas circulares tipo Imhoff, la #1 con un radio de 3.09 m, altura 2 m y volumen interior de 60.51 m<sup>3</sup>; la #2 con un radio de 2.99 m, altura 2 m, volumen interior de 56.18 m<sup>3</sup>. Volumen total de 116 m<sup>3</sup>.

#### **4.41. Conclusiones**

De acuerdo con los resultados obtenidos en este estudio, considerando los cinco objetivos propuestos, los antecedentes bibliográficos relacionados al tema y la metodología planteada, se han establecido las principales conclusiones del estudio:

Los sistemas de tratamiento de aguas residuales implementados en Jarabacoa cuentan con un diseño adecuado para tales fines, aunque algunos difieren de los parámetros internacionales de diseño.

Debido a que el p-valor (Significación asintótica bilateral) obtenido en los casos más relevantes examinados, a través del análisis de hipótesis, resultó en todas las pruebas realizadas no mayor de 0.05%, donde se niega la hipótesis nula ( $H_0$ ) y se acepta la del investigador ( $H_i$ ), dejando entrever claramente, que la Ingeniería Verde o ecológica constituye una alternativa viable, económica, social y ambientalmente para el manejo de las aguas residuales en la República Dominicana.

Además, según los resultados obtenidos del cuestionario aplicado se determina que es factible la implementación de los Sistemas de Ingeniería Verde en otras áreas del país, en proyectos habitacionales nuevos y/o en la zona rural, debido a la disponibilidad de recursos existentes en la isla como macrofitas, terreno, grava, arena y gransote, entre otros.

Se determinó, además, que la Ingeniería Verde es más adecuada que los sistemas convencionales y que es un sistema eficiente, principalmente en la reducción de material orgánico e inorgánico ( $DBO_5$ , DQO) y SS., en donde el factor mantenimiento juega un papel importante. Más, sin embargo, tanto el sistema convencional como el ecológico no logran reducir el nivel de coliformes en las aguas residuales, según lo exige las normas ambientales dominicanas.

En cuanto a la situación actual del agua y saneamiento en la zona de estudio, se concluye que la mayoría de las provincias, incluyendo el municipio de Jarabacoa carecen de sistemas de alcantarillado sanitario, siendo el agua residual vertida en los ríos, arroyos, zonas libres y en donde algunos hogares poseen pozos sépticos con diseños

pocos adecuados. También, el estudio realizado propone la construcción de humedales artificiales subsuperficiales de flujo combinado (horizontal-vertical) modulares como alternativa a los existentes en la región Cibao Norte-Sur.

Las conclusiones presentadas como resultado de esta investigación, tienen una gran importancia, tanto a nivel local como nacional, en donde el gobierno central y municipal, podrá utilizar esta tecnología para el manejo de las aguas especiales y así evitar la contaminación hídrica y atmosférica afecte a la población de Jarabacoa y toda la región Cibao Norte-Sur.

A nivel institucional, este trabajo de investigación deja importantes legados en la parte de la ciencia y la responsabilidad social de la universidad y del Ministerio de Medioambiente, ya que proporciona informaciones relevantes sobre los sistemas de ingeniería verde o ecológico, que no existen científicamente en el país, la situación actualizada del agua y saneamiento, así como un amplio documento de fuentes bibliográficas.

A nivel personal, proporciona amplio conocimiento; en primer lugar, unos sistemas ecológicos viables para ser aplicados en Jarabacoa y el país, así como el manejo científico de un trabajo de investigación interesante (manejo metodológico, estadística, APA, diseño de trabajos de tesis doctorales, etc.). El tema de aguas residuales es apasionante para el autor, aún más, cuando el río principal de su ciudad natal (La Vega), se encuentra atravesando por una de las peores crisis ambientales de su historia. La subcuenca del Río Camú, es la fuente de agua de la región, afluente del Río Yuna y el segundo río más importante del país. El tesista, realizó un Plan de Manejo para la cuenca completa, por lo que, este trabajo de investigación ha ayudado bastante. Sin lugar a dudas, ha sido una interesante experiencia que sitúa al investigador a otro nivel profesional.

#### **4.42. Limitaciones**

Las limitaciones que se presentaron fueron relacionadas con los permisos para entrar a ciertas plantas de TAR en la región. Así como, dificultad para obtener informaciones en las instituciones de servicio del Alcantarillado Sanitario, exigían pues, comunicaciones con meses de antelación, lo que retrasó que algunas plantas no fueran estudiadas. También, se puede abundar que,

- Algunos encuestados se negaban a proveer datos personales.
- Dificultad para contactar a las personas para las encuestas.
- Falta de apoyo por parte de la institución para la que elaboro (UCATECI), tanto en lo económico como en lo moral.

#### **4.43. Recomendaciones**

Se recomienda utilizar con cautela el vetiver como planta de humedal, ya que este puede colmatarlo. Pues considerando la longitud de sus raíces (hasta 7 metros de largo) asfixian el lecho.

Realizar estudios utilizando altura de 0.90 m hasta 1.60 m, debido a que en Jarabacoa existen humedales con esa profundidad, además que el recurso tierra es escaso y muy costoso, por ser una zona altamente turística.

El mantenimiento de los humedales debe ser una tarea primordial y de las más importantes, ya que de este depende la eficiencia en lo adelante de estos. La poda debe realizarse periódicamente, según el programa de mantenimiento previsto.

Se debe continuar trabajando más en el diseño de los humedales artificiales, una política de agua y saneamiento efectiva y más inclusiva a nivel rural y urbano en todo el territorio nacional, incluyendo, un amplio programa de conciencia ciudadana sobre conservación y protección del recurso agua.

Se recomienda al gobierno central y municipal adoptar este tipo de tecnología verde para el tratamiento de las aguas residuales, por su bajo costo de operación, construcción y mantenimiento.

Se recomienda repetir este estudio, abarcando todas plantas de tratamiento de aguas residuales ecológicas existentes hasta la fecha en el país (hasta el momento del estudio 37 PTARs).

#### **4.44. Alcances**

La investigación es descriptiva/correlacional, ya que se evaluaron los humedales artificiales subsuperficiales de flujo horizontal; así como también, correlacional, haciendo un aporte específico en el área de las aguas residuales en el país. Uno de los propósitos de la investigación fue la determinación de la viabilidad de los sistemas implementados en Jarabacoa, para que de esta manera se puedan replicar en el país y lograr que el gobierno central se interese en utilizarlos en proyectos nuevos y/o zonas rurales.

El trabajo se podrá aplicar a nivel regional y nacional, puesto que los sistemas estudiados son una solución viable a la problemática de las aguas residuales, además de que existen en la isla una gran variedad de plantas macrofita y de terreno.

En cuanto a la pregunta de investigación ¿Cuál ha sido la funcionalidad o eficiencia de los sistemas implementados en Jarabacoa frente a los convencionales en el Cibao Norte-Sur?, a través de los estudios realizados estos sistemas poseen eficiencias entre 80-85% en la remoción de la materia orgánica e inorgánica (DBO<sub>5</sub> y DQO), sólidos suspendidos (SST) y de otros parámetros importantes, lo que lo hacen muy apropiados para desarrollarlo en todo el país.

#### **4.45. Principales Aportaciones de la Investigación**

Las aportaciones que se desprenden de dicho estudio son del tipo particular y específicas, por ser una investigación de alcance descriptivo/correlacional como se destaca a continuación:

- a) El reconocimiento de los Sistemas de Tratamiento de Aguas Residuales con Ingeniería Verde como viable para su implementación en el país y que son más adecuados económica, social y ambientalmente que los sistemas convencionales.
- b) El reconocimiento de la situación ambiental seria en la que vive el Municipio de Jarabacoa debido mal manejo de las aguas residuales.
- c) Luz a los alcaldes municipales y al gobierno central de la República Dominicana, para que, como ente tomador de decisiones, se incline hacia el desarrollo sostenible del país; y para ello, deberán utilizar tecnologías limpias como son los sistemas de Ingeniería Verde en el tratamiento de las aguas residuales domésticas, al ser sistemas más económicos y ambientalmente más convenientes que los convencionales.
- d) Fuente de información bibliográfica para el campo de las tecnologías verdes, además de una caracterización de los diferentes sistemas implementados en el Cibao Norte-Sur.
- e) Solución económica y viable a la problemática ambiental del municipio de Jarabacoa y demás regiones del país.
- f) Diseño de un humedal artificial de flujo vertical-combinado, como alternativa a los existentes.

- g) Reconocimiento de la situación actual de las aguas residuales en la región Cibao Norte-Sur de la República Dominicana.
- h) Contribución a un ambiente sano en el municipio de Jarabacoa y demás regiones donde se implemente el sistema.

#### **4.46. Futuras Investigaciones**

- Diseño de Sistemas Alternativo mixto (convencional-ecológico) para el tratamiento de aguas residuales.
- Determinación de la temperatura del agua en el municipio de Jarabacoa y el resto de la región Cibao Norte-sur.
- Diseño de Sistema Alternativo Ecológico para Reducción de Coliformes según Normas Ambientales de Calidad de Aguas y Descarga.
- Evaluación de la calidad del agua a través de la identificación de macroinvertebrados en la región Cibao Norte-sur.

#### **4.47. Modelo o Producto o Tecnología Objeto de Estudio**

Humedales artificiales subsuperficiales ecológicos para el tratamiento de aguas residuales.



# REFERENCIAS

## 5. Referencias

- Abreu, S. (2016, febrero 16). Plan Yaque construye plantas de tratamiento de aguas residuales en Jarabacoa. *El Nacional*. Recuperado de <http://elnacional.com.do/plan-yaque-construye-plantas-de-tratamiento-de-aguas-residuales-en-jarabacoa/>
- Abwassertechnische, V. (1994, abril). *Determinación del grado de pLantas de tratamiento de aguas residuales. Hoja técnica M755*. Obtenido de <http://www.bvsde.paho.org/bvsacd/scan2/026935/026935.pdf>
- Acosta, G. J. (2017, febrero). La contaminación del agua superficial del Río Yaque del Norte. *DELOS Revista Desarrollo Local Sostenible*, 10(28), p.16.
- Acosta, G. J., Acosta Guzmán, F. A., & Santana Cabrera, R. (2018, diciembre). Motivación, deleite y fidelidad de los turistas: caso República Dominicana. *TURYDES*. 11(25), p. 21. Recuperado de <https://www.eumed.net/rev/turydes/25/fidelidad.html>
- Aguilar, P. K. (2019). *Diseño de un sistema de tratamiento de aguas residuales con humedales artificiales para la comunidad de charcay, provincia del Cañar, Ecuador*. (Tesis de Maestría). Recuperado de <http://hdl.handle.net/10251/119122>
- Alcaldía del Municipio de Jarabacoa. (2013). *Plan estratégico del municipio de Jarabacoa 2013-2016*. Jarabacoa. FEDUMU. República Dominicana. Recuperado de [http://fedomu.org.do/wp-content/uploads/2015/07/PMD\\_JARABACOA.pdf](http://fedomu.org.do/wp-content/uploads/2015/07/PMD_JARABACOA.pdf)
- Albarrán, Z. E. (2008, mayo). El potencial redox y la espontaneidad de las reacciones electroquímicas. *Latin-American Journal of Physics Education*. 2(3). p. 345. Recuperado de [https://scholar.google.com.do/scholar?hl=en&as\\_sdt=0%2C5&q=El+potencial+redox+y+la+espontaneidad+de+las+reacciones+electroqu%C3%ADmicas&btnG=](https://scholar.google.com.do/scholar?hl=en&as_sdt=0%2C5&q=El+potencial+redox+y+la+espontaneidad+de+las+reacciones+electroqu%C3%ADmicas&btnG=)
- Alianza por El Agua. (s.f.). *Compendio de Sistemas y Tecnologías de Saneamiento*. Suecia. Cooperación Suiza. Obtenido de <http://alianzaporelagua.org/Compendio/tecnologias/t/t6.html>

- Anda, S. J., Belmont, M., & Zurita Martínez, F. (2016, abril 8) *Método para tratar aguas residuales domésticas mediante el uso de plantas ornamentales. México. Patente nº 338619. Obtenido de Patente: <http://ciatej.repositorioinstitucional.mx/jspui/handle/1023/362>*
- Andrés, C. M. (2017). *Análisis de psicoactivos en aguas, sedimentos y alimentos de la epidemiología de alcantarilla a la forensía medioambiental* (Tesis de grado). Recuperado de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/tesis?codigo=157075>
- Arcos, P. M., Ávila de Navia, S., Estupiñán Torres, S., & Gómez Prieto, A. (2005, diciembre 12). Indicadores microbiológicos de contaminación de las fuentes de agua. *NOVA Publicación en Ciencias Biomédicas*, 3(4), 69–79. Disponible en <http://hemeroteca.unad.edu.co/entrenamiento/index.php/nova/article/view/338>
- Arias, I., Carlos, A., & Brix, H. (2003, julio 1). Humedales artificiales para el tratamiento de aguas residuales. *Ciencia e Ingeniería Neogranadina*. 13(0), 17–24. doi: 10.18359/rcin.1321
- Arroyave, M. (2004, junio). La lenteja de agua (*Lemna minor* L.): Una planta acuática promisoría. *Scielo*(1),. Recuperado de [http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1794-12372004000100004](http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1794-12372004000100004)
- Ayala T., R. Y., Calderón, E., Rascón, J., & Collazos, R. (2018, octubre 21). Fitorremediación de aguas residuales domésticas utilizando las especies *Eichhornia crassipes*, *Nymphoides humboldtiana* y *Nasturtium officinale*. *Revista de Investigación en Agroproducción Sustentable*, 2(3), 48–43. doi: 10.25127/aps.20183.403.
- Barrera, L., Díaz, A., López, E., Medina, E., Rivera, M., & Vallester, E. (2018, junio). Evaluación del desempeño del filtro biológico de la Universidad Tecnológica de Panamá. *Revistas de Iniciación Científica*, 4(1), 23–29. doi: 10.33412/rev-ric.v4.1.1863.
- Batista, A., Carreño, C., Gaitán, C., Núñez, N., & Vallester, E. (2018, octubre 29). Importancia del nivel de oxígeno en la eficiencia de un humedal artificial con flujo subsuperficial vertical ascendente. *Revista de Iniciación Científica*, 4(1), 40–45. doi: 10.33412/rev-ric.v4.1.1865.

- Bayas Jiménez, L. (2018). *Diseño de humedales artificiales para el tratamiento de aguas residuales en poblaciones rurales de la Sierra Norte de Ecuador: aplicación a la Parroquia Lita*. (Tesis de maestría). Recuperado de <https://riunet.upv.es/handle/10251/100464#>
- Belén Altava, M., Burguete, I., & Santiago V. , L. (2013, febrero 7). Educación cooperativa en Química Verde: la experiencia española. *ScienceDirect*. 24(1), 132–138. doi: 10.1016/S0187-893X(13)72506-0
- Biblioteca Agrícola Nacional de los Estados Unidos, T. (2013). USA. Recuperado de <https://boletinagrario.com/ap-6,carga+contaminante,1689.html>: Autor.
- BID, CAASD, ONAPLAN, SESPAS. (1998, julio). *Análisis del Sector de Agua Potable y Saneamiento en República Dominicana*. CEPIS. Recuperado de <http://www.bvsde.paho.org/eswww/fulltext/analisis/dominicana/dominicana.html>: Autor.
- Blázquez, J. R. (2016). *Análisis de los modelos de diseño de los sistemas naturales de depuración*. (Tesis de maestría). Obtenido de <https://iuaca.ua.es/es/master-agua/documentos/-gestadm/trabajos-fin-de-master/tfm10/tfm10-jorge-rabat-blazquez.pdf>
- Bondia, J. (2014). *Eliminación de contaminantes emergentes mediante humedales artificiales como sistema alternativo o complementario a un tratamiento de aguas convencional*. Tesis de Máster. Recuperado de [https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/44470/Tesis\\_Fin\\_de\\_master%20jose.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/44470/Tesis_Fin_de_master%20jose.pdf?sequence=1&isAllowed=y)).
- Caballero, L. A. M. (2013). *Sistema de depuración de aguas residuales de origen ganadero-humedales artificiales*. Tesis de grado. Recuperado de <http://hdl.handle.net/10317/3891>
- Calatrava, J., & Martínez, D. (2012). El valor de uso del agua en el regadío de la cuenca del Segura y en las zonas regables del trasvase Tajo-Segura. *Economía agraria y recursos naturales*, 12(1), 5–32. Recuperado de [https://scholar.google.com.do/scholar?start=20&q=El+agua+y+la+agricultura.+&hl=en&as\\_sdt=0,5](https://scholar.google.com.do/scholar?start=20&q=El+agua+y+la+agricultura.+&hl=en&as_sdt=0,5)
- Caledoscopio Químico. (s.f.). Principios de ingeniería verde. Azcapotzalco,

- México. Obtenido de <https://sites.google.com/site/caleidoscopioquimico/laquives-siladin-cch-unam/principios-ingenieria-verde>
- Calisaya, V., Milagros, G., Cáceres, P., & Deybi, K. (2018). *Evaluación de tres sistemas de depuración para determinar su eficiencia en el tratamiento de aguas residuales domésticas en Moquegua, año 2017* (Tesis de grado). Recuperado de <http://repositorio.ujcm.edu.pe/handle/ujcm/424>
- Cámara, D. Ó. (2015). Impacto de la agricultura bajo riego sobre la calidad del agua: caso del valle del Yaqui, Sonora. *Revistatyca*, 9(3), 57–71. Recuperado de <http://www.revistatyca.org.mx/ojs/index.php/tyca/article/view/716>
- Camargo, J., & Alonso, A. (2007). Contaminación por nitrógeno inorgánico en los ecosistemas acuáticos: problemas medioambientales, criterios de calidad del agua, e implicaciones del cambio climático. *Ecotistemas: Revista Científica de Ecología y Medioambiente*, 16(2), 98–110. Recuperado de <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=54016211>
- Carballeira, R., Souto, M., & Souto, M. (2018, octubre). Presencia de *Cyperus papyrus* L. (Cyperaceae) en la región biogeográfica atlántica de la Península Ibérica. *Acta Botánica Malacitana*, [S.I.], v. 43, p. 137–140. doi: 10.24310/abm.v43i0.5011
- Carrillo, I. G. (2010). *Características físico-químicas del agua residual tratada con jacinto de agua-Eichornia crassipes* (Tesis maestría). Recuperado de <http://repositorio.uaaan.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/2590/ISABEL%20GUADALUPE%20CARRILLO%20MANZANO.pdf?sequence=1>
- Carvajal, C. E., Ortiz, P., & Vega, A. L. (2017, diciembre 5). Propuesta de tratamiento de aguas residuales domésticas implementando un humedal artificial de flujo subsuperficial empleando bambusa sp en la finca el recreo ubicada en Tauramena, Casanare. *Revista de Tecnología*, 16(1), 65-76. Recuperado de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6546150>. ISSN 1692-1399
- Carvajal, A., Zapattini, C., & Quintero, C. (2018). Humedales Artificiales, una alternativa para la depuración de Aguas Residuales en el Municipio de Mizque, Bolivia. *Diseño y Tecnología para el Desarrollo*, n.5, p. 88–108. Recuperado de <http://polired.upm.es/index.php/distecd/article/view/3744>
- Celis, J., Junod, J., & Sandoval, M. (2005). Recientes aplicaciones de la depuración de aguas residuales con plantas acuáticas. *Teoría* [en línea], 14(1), 17–25.

Recuperado de: <<http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=29900103>> ISSN0717-196X

- CEPAL. (2014, mayo). *Naciones Unidas*. América Latina y El Caribe-Chile: CEPAL. Recuperado de <https://www.cepal.org/es/publicaciones/36776-politicas-institucionalidad-materia-agua-potable-saneamiento-america-latina> : Autor.
- Cepeda, W. (2017, septiembre 6). En comunicación personal (J. S. Vásquez, entrevistador).
- Cercado, J. S., & Zande, J. D. (2019). *Evaluación del comportamiento de la DBO y DQO en el agua residual doméstica usando un humedal artificial de flujo subsuperficial con lecho de zeolita* (Tesis de grado). Recuperado de [repositorio.ulvr.edu.ec/bitstream/44000/2703/1/T-ULVR-2501.pdf](http://repositorio.ulvr.edu.ec/bitstream/44000/2703/1/T-ULVR-2501.pdf)
- Checo, H. (2017, agosto 22). En comunicación personal (José S. Vásquez G., entrevistador).
- Chimbo, G. P., & Montero, G. G. (2018). *Diseño y construcción de una planta de tratamiento de aguas residuales domésticas con humedales artificiales de flujo subsuperficial en la parroquia San Luis de Armenia, comunidad San Luis de Armenia provincia de Orellana* (Tesis de grado). Recuperado <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/8944>
- Cisterna, O. P., & Peña, D. (s.f.). *Determinación de la relación DQO/DBO<sub>5</sub> en aguas residuales de comunas con población menor a 25.000 habitantes en la VIII región*. Obtenido de [www.bvsde.paho.org/bvsaidis/chile13/trab-12.pdf](http://www.bvsde.paho.org/bvsaidis/chile13/trab-12.pdf)
- Clima-Data. (s.f.). *Clima datos históricos del tiempo en Jarabacoa*. Obtenido de <https://es.climate-data.org/location/766532/>
- Collazos, C. (2008). *Lifeder*. Tratamiento de aguas residuales domésticas e industriales. Recuperado de [https://www.academia.edu/8385106/TRATAMIENTO\\_DE\\_AGUAS\\_RESIDUALES\\_DOMESTICAS\\_E\\_INDUSTRIALES](https://www.academia.edu/8385106/TRATAMIENTO_DE_AGUAS_RESIDUALES_DOMESTICAS_E_INDUSTRIALES)
- Consejería de medioambiente. (2003, diciembre 26). DECRETO 326/2003. *Consejería de Medioambiente*. Recuperado de <http://www.coamalaga.es/edificacion/obligadocumplimiento/archivos/Proteccioncontaminacionacustica.pdf>

- CORAASAN. (2016). *Informe de la JICA sobre la Planta Tratamiento de Aguas Residuales Rafey*. Obtenido de [http://open\\_jicareport.jica.go.jp/pdf/11685211\\_09.PDF](http://open_jicareport.jica.go.jp/pdf/11685211_09.PDF) (PTAR Rafey): Autor.
- Corral J. y Collombon. (2006). *Plan de desarrollo local de la provincia de La Vega: "Diagnósticos participativos, definición de escenarios y proyectos" CONARE*. La Vega, República Dominicana. p.281
- Cuéllar, J., Arteaga, E., Bernal, L., Campo, A., Capera, D., Ocampo, C., . . . Sánchez, F. (2016, mayo). Composición y riqueza de odonatos en tres humedales artificiales suburbanos en Cajicá, Cundinamarca, Colombia. *Revista Biodiversidad Neotropical*, 6(2), 6–11. doi: 10.18636/bioneotropical.v6i2.271.g555
- Cui, L., Ouyang, Y., Lou, Q., Yang, F., Chen , Y., Zhu, W., & Luo, S. (2010, August). Removal of nutrients from wastewater with *Canna indica* L. under different vertical-flow constructed wetland conditions. *ScienceDirect*, 36(8), 1080–1088. Retrieved from <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0925857410001126>
- Custodio, M., & Pantoja, R. (2012, agosto 6). Impactos antropogénicos en la calidad del agua del río Cunas. *Apuntes de Ciencia & Sociedad*, 2(8), 130–137. doi: 10.18259/acs.2012015
- De la O, L.S., López, O.G., Rodríguez, R.E. (2017, mayo-agosto). Las necesidades de agua y saneamiento en villa unión y comunidades adyacentes en centro, tabasco. *KUXULKAB`*, 23(46), 13–22. Recuperado de <http://revistas.ujat.mx/index.php/kuxulkab/article/view/2549>
- De los Santos, J., Muñoz, G., Egas, J. J., De Salvo, C. P., Schmidt, T. D. (2018). *Políticas agropecuarias, el DR-CAFTA y cambio climático en la República Dominicana*. Santo Domingo, República Dominicana: Banco Interamericano de Desarrollo (BID). Obtenido de [https://books.google.com.do/books?hl=en&lr=&id=UcqGDwAAQBAJ&oi=fnd&pg=PA5&dq=cambio+climático+en+República+Dominicana+&ots=gnmq\\_Uyd9q&sig=kZk12GHK47q1w78snTUKk1Ljbg#v=onepage&q&f=false](https://books.google.com.do/books?hl=en&lr=&id=UcqGDwAAQBAJ&oi=fnd&pg=PA5&dq=cambio+climático+en+República+Dominicana+&ots=gnmq_Uyd9q&sig=kZk12GHK47q1w78snTUKk1Ljbg#v=onepage&q&f=false)
- Danh, L. T., & Foster, N. (2009). Vetiver Grass, *Vetiveria Zizanioides*: A Choice Plant For Phytoremediation Of Heavy Metals And Organic Wastes. *Internatinal Journal of Phytoremediation*, 11, 1075-1086. doi: 10.1080/15226510902787302

- Delgadillo, O., Camacho, A., Pérez, L. F., & Andrade, M. (2010). Depuración de aguas residuales por medio de humedales artificiales. *Serie Técnica*. Recuperado de <https://core.ac.uk/download/pdf/48017573.pdf>
- Déniz, Q. F. (2010).: *Análisis estadístico de los parámetros DQO, DBO5 y SS de las aguas residuales urbanas en el ensuciamiento de las membranas de ósmosis inversa*, (Tesis doctoral ). Universidad de las Palmas de Gran Canaria. Recuperado de <http://hdl.handle.net/10553/4858>
- Devesa, J. A., Martínez, G., Abad, P., & De la Estrella, M. (2018, enero). *Itinerario botánico por el río Guadalquivir a su paso por la ciudad de Córdoba*. Recuperado de <https://helvia.uco.es/handle/10396/16923>
- DÍAZ, R. (2013). *Aguas Residuales*, (Tesis de grado). Recuperado de <http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/132.248.52.100/4144/Tesis.pdf.pdf?sequence=1>
- Diersing, N. (2009, mayo). *Water Quality*. Miami: Florida Keys National Marine Sanctuary. Obtenido de <https://nmsfloridakeys.blob.core.windows.net/floridakeys-prod/media/archive/scisummaries/wqfaq.pdf>
- Domínguez, L., Pérez, M. M., Zorrilla, M., González, Y. M., & Pedrozo, F. (2019, enero). Assessment of dye removal with subsurface wetlands. *Revista Cubana de Química*. 31(1), ISSN 2224-5421. Recuperado de [http://scielo.sld.cu/scielo.php?pid=S2224-54212019000100108&script=sci\\_arttext&lng=en](http://scielo.sld.cu/scielo.php?pid=S2224-54212019000100108&script=sci_arttext&lng=en)
- Dorador, L., De la Hoz, K., Salazar, F., & Urbina, F. (2018, Diciembre). *Research Gate*. Valparaíso, Chile: X Congreso SOCHIGES. Recuperado de [https://www.researchgate.net/profile/Leonardo\\_Dorador/publication/329454077\\_Consideraciones\\_en\\_la\\_Characterizacion\\_Geotecnica\\_de\\_Materiales\\_Granulares\\_Gruesos/links/5c147e6c4585157ac1c2fa1c/Consideraciones-en-la-Characterizacion-Geotecnica-de-Materiales-Gra](https://www.researchgate.net/profile/Leonardo_Dorador/publication/329454077_Consideraciones_en_la_Characterizacion_Geotecnica_de_Materiales_Granulares_Gruesos/links/5c147e6c4585157ac1c2fa1c/Consideraciones-en-la-Characterizacion-Geotecnica-de-Materiales-Gra)
- Duke, J. A. (1983, julio 9). *Handbook of Energy Crops*. Indiana, USA: Purdue University. Obtenido de [https://hort.purdue.edu/newcrop/duke\\_energy/Cyperus\\_papyrus.html](https://hort.purdue.edu/newcrop/duke_energy/Cyperus_papyrus.html)

- Durán, D. (2012). *Problemas Ambientales y Sus Perspectivas de Solución*. Huncayo, Perú: Fondo Verde.
- EPSAR. (2017). *Genralitat Valenciana*. Benicàssim, España: Entitat de Sanejament d'Aigües. Obtenido de: <http://www.epsar.gva.es/sanejament/docs/359.pdf>
- Erazo, R., & Cárdenas, J. (2000, septiembre). Planta de Tratamiento de Aguas Residuales en la Universidad Nacional Mayor de San Marcos, *Revista Peruana de Química e Ingeniería Química*, 3(1), 1–4. Recuperado de [http://sisbib.unmsm.edu.pe/bibvirtual/publicaciones/ing\\_quimica/v03\\_n1/planta.htm](http://sisbib.unmsm.edu.pe/bibvirtual/publicaciones/ing_quimica/v03_n1/planta.htm)
- Espasa-Calpe. (2005). *In the wordreference online dictionary [n. ed.]*. Recuperado de <http://www.wordreference.com/definicion/lecho>
- Espinosa, R. Q. (2018). *Evaluación del crecimiento inicial de plántulas de Caesalpinia spinosa (Tara) y Enterolobium cyclocarpum (oreja de negro) en diferentes sustratos en siembra directa en bolsas bajo tinglado* (Tesis de grado). Recuperado de <http://repositorio.lamolina.edu.pe/bitstream/handle/UNALM/3516/espinosaalcala-remo-quenter.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Espinosa, C. E. (2014). *Factibilidad del Diseño de un Humedal de Flujo Subsuperficial para el Tratamiento de Aguas Residuales Municipales de 30.000 Habitantes* (Tesis de maestría). Recuperado de <https://core.ac.uk/download/pdf/48017573.pdf>
- Estrada, R., López, M. G., Vázquez, R., Sánchez, D. V., & Ruvalcaba, J. C. (2016). Conocimiento y percepción respecto al impacto de vivir cerca a canales de aguas residuales, *Journal of Negative & No Positive Results*, 1(4), 142–148. doi: 10.19230/jonnpr.2016.1.4.1038
- Febles, J. L., & Hoogesteijn, A. (2010). Evaluación preliminar de la eficiencia en las lagunas de oxidación de la ciudad de Mérida, Yucatán. *Redalyc*, 14(2), 127-137. Disponible en <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=46715068006>
- Fernández, J. (1 de enero de 2006). *Fundación Global Nature*. Las Rosas de Madrid, Madrid, España. Fundación Global Nature. Obtenido de <https://www.fundacionglobalnature.org/macrophytes/documentacion/Cap%EDtulos%20Manual/Cap%EDtulos%206.pdf>
- Ferrer, J., Seco, A., & Robles, Á. (2018). *Tratamientos biológicos de aguas residuales*. Valencia: Editorial Universitat Politècnica de València.

- Fondo de Agua & Plan Yaque. (2018, abril 25). *Inauguración PTAR en Villa Poppy, Constanza*. Constanza, La Vega: Fondo de Agua. Obtenido de <http://fondoaguayaque.org/inauguracion-humedal-artificial-la-comunidad-villa-poppy>
- FUNGLODE. (2018). *Clima de la República Dominicana*. Recuperado de <https://www.google.com/search?client=safari&rls=en&q=Clima+de+la+Rep%C3%BAblica+Dominicana/funglode&ie=UTF-8&oe=UTF-8> : Autor.
- Gabriel, N. Y. (2018). *Bacterias patógenas y sus condiciones ambientales en las lagunas de estabilización del distrito de San José - Lambayeque 2017* (Tesis de grado). Recuperado de: <http://repositorio.udl.edu.pe/handle/UDL/128>
- García, D., Sosa, C. R., & Sánchez, J. M. (2007). *Biorremediación de agua doméstica contaminada con aceite residual automotriz* (Nota técnica), vol. XXII, n.2, pp. 113–118. Recuperado de [art\\_2007\\_02\\_10.pdf](#)
- García, D., Solarte, E., Sandoval, J. J., Toro, A., Ascuntar, D., & Peña, M. (2011). Caracterización de humedales artificiales por fluorescencia inducida por láser. *Bistua: Revista de la Facultad de Ciencias Básicas*, 9(1), 77–82. Recuperado de [https://www.researchgate.net/publication/236153051\\_Caracterizacion\\_de\\_humedales\\_artificiales\\_por\\_fluorescencia\\_inducida\\_por\\_laser](https://www.researchgate.net/publication/236153051_Caracterizacion_de_humedales_artificiales_por_fluorescencia_inducida_por_laser)
- Gil, H., Cisnero, J., Prada, J., Plevich, J., & Sánchez, Á. (2013, octubre 10). Green technologies for the use of urban wastewater: economic analysis. *Rev. Ambient. Agua [online]*, vol. 8(3), p. 118–128. ISSN 1980-993X. doi: 10.4136/ambi-agua.1174.
- GIZ, Cooperación Alemana, CCAD, Ministerio Ambiente. (2014, noviembre). *Planificación inventario forestal multipropósito en el área piloto cuenca alta de Yaque del Norte*, (Nota técnica), n.10, Recuperado de [http://www.reddccadgiz.org/documentos/doc\\_330662340.pdf](http://www.reddccadgiz.org/documentos/doc_330662340.pdf) : Autor.
- Gómez Ramírez, L. C., & García Echavarría, J. G. (2018). *Construcción de un Humedal Artificial a Nivel de Laboratorio Vivo, en el Predio “Mi Ranchito”, en La Vereda Olarte, Localidad USME – Bogotá* (Tesis de grado). Recuperado de <https://repository.ucatolica.edu.co/handle/10983/16848>
- González García, M. (septiembre de 2018). *Estudio y predicción de la absorción de contaminantes procedentes de aguas regeneradas en cultivos hortícolas de la*

- Región de Murcia* (Tesis doctoral). Universidad Católica de Murcia. Recuperado de <http://repositorio.ucam.edu/handle/10952/3663>
- González, T. C. (2011). *Monitoreo de la calidad del agua*. UPRM. Recuperado de <http://academic.uprm.edu/gonzalezc/HTMLobj-859/maguaturbidez.pdf>
- González, M. V. (2016). *Tratamiento del Agua*. México: ... Obtenido de <http://www.tratamientodelagua.com.mx/que-es-un-tanque-imhoff/>
- Goremykin, V. V., Hirsch-Ernst, K. I., Wölfl, S., & Hellwig, F. H. (2004, July). The chloroplast genome of *Nymphaea alba*: whole-genome analyses and the problem of identifying the most basal angiosperm. *Molecular Biology and Evolution*, 21(7), 1445–1454. doi: 10.1093/molbev/msh147.
- Granados Gómez, M. M. (2018). *Estudio de Factibilidad de la Implementación de Humedales Artificiales para el Tratamiento de Aguas Residuales en Ecosistema de Alta Montaña en Toquilla* (Tesis de grado). Recuperado de <http://hdl.handle.net/10901/11576>
- Green Filter; Global Development Group. (2018, julio 4). *Plantas de tratamiento con filtros verdes flotantes*. Obtenido de <https://app.box.com/s/o3j39o2nsx538u32ve72jyzsxhwy127f>
- Guizada Durán, L.A. (2018). *Integridad ecológica de humedales de la cuenca baja del río Tempisque, caso Humedal Protegido Internacional Palo Verde, Costa Rica*. (Tesis de grado). Recuperado de [http://repositorio.bibliotecaorton.catie.ac.cr/bitstream/handle/11554/8886/Integridad\\_ecologica\\_de\\_humedales.pdf](http://repositorio.bibliotecaorton.catie.ac.cr/bitstream/handle/11554/8886/Integridad_ecologica_de_humedales.pdf)
- Heike, V. (. (2009). *Malezas de México*. Fecha de acceso 10 de enero de 2018. Recuperado de <http://www.conabio.gob.mx/malezasdemexico/poaceae/pennisetum-purpureum/fichas/ficha.htm>
- Hermida, M. d., & Galli, M. C. (2014, julio 11). *Verdechaco*. Chaco, Argentina: Recuperado de <http://arbolesdelchaco.blogspot.com/2014/07/ornamentales-en-nuestros-jardines.html>
- Hernández, S. R., Collado, C. F., & Pilar, B. L. (2014). *Metodología de la Investigación* (4ta ed.). Cuauhtémoc, México, México: McGraw Hill Interamericana.

- Hernández, S. R. & Mendoza, C (2018). *Metodología de la investigación. Las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta*, Ciudad de México, México: Editorial McGraw Hill Education [Versión edición digital]. ISBN: 978-1-4562-6096-5, 715 p.
- Hernández, M. S. & Samperio, M. T. (2018). Enfoques de la Investigación. *Boletín Científico de las Ciencias Económico-Administrativas del ICEA*, 7(13), 67–68. Recuperado de <https://repository.uaeh.edu.mx/revistas/index.php/icea/article/view/3519/4957>
- Hospital Octavia B. Gautier y Clínica Los Ríos. (2018). *Enfermedades de Origen Hídrico y Atmosférica*. Jarabacoa, R.D.
- Huamán Chávez , C. E. (2018). *Tratamiento de drenaje ácido del depósito de desmonte Unsuitable iv Yanacocha norte por el proceso de humedales en Serpentín* (Tesis de grado). Recuperado de <http://repositorio.upn.edu.pe/handle/11537/13946>
- IBM Knowledge Center. (s.f.). *Nivel de medición de variable*. (IBM, Editor) Recuperado de [https://www.ibm.com/support/knowledgecenter/es/SSLVMB\\_23.0.0/spss/base/dat\\_aedit\\_define\\_variable\\_measurement.html](https://www.ibm.com/support/knowledgecenter/es/SSLVMB_23.0.0/spss/base/dat_aedit_define_variable_measurement.html) : Autor.
- INAPA. (2015, abril 29). *Inician 13 proyectos en provincias de la República Dominicana*. Santo Domingo: INAPA. Recuperado de <http://www.inapa.gob.do/index.php/noticias/item/inician-13-proyectos-en-provincias> : Autor.
- INAPA. (2017, octubre 23). *Proyecto piloto de saneamiento*. San Cristobal: INAPA. Recuperado de <http://www.inapa.gob.do/index.php/noticias/item/lanzan-proyecto-piloto-de-saneamiento-en-las-comunidades-de-los-pinos-del-edén-la-lista-el-naranja-y-las-tres-veredas> : Autor.
- INAPA-BID. (2017, noviembre 20). *Presentación de resultados del proyecto agua y saneamiento de centros turísticos*. Santo Domingo: INAPA. Recuperado de <http://www.inapa.gob.do/index.php/noticias/item/inapa-participa-en-presentacion-de-resultados-del-proyecto-agua-y-saneamiento-de-centros-turisticos-pasct> : Autor.
- Jones, M. B., Kansime, F., & Sounders, M.J. (2016, October). The potential use of papyrus (*Cyperus papyrus* L.) wetlands as a source of biomass energy for sub-Saharan Africa. *Wiley Online Library*, 10, 4–11. doi: 10.1111/gcbb.12392

- Juárez, G.L., González, B.R. (2018). Uso de humedales artificiales de flujo subsuperficial y verticales para el post tratamiento de aguas residuales en unidad escolar de la Diciva. *Jóvenes en la Ciencia - Revista de divulgación científica*, 4(1), 1–5. Recuperado de <http://www.jovenesenlaciencia.ugto.mx/index.php/jovenesenlaciencia/article/view/2010>
- Julca, Y. E., & Rodríguez, L. D. (julio de 2018). *Estudio del sistema D.H.S. de tercera generación para remover los parámetros de análisis de los LMP en el efluente del tanque séptico del centro poblado de Marian – Independencia - Huaraz -2016* (Tesis de grado). Recuperado de <http://repositorio.unasam.edu.pe/handle/UNASAM/2352>
- Jure, J. S., & Aguirre, F. A. (2018). *Diseño de una planta de tratamiento de aguas residuales mediante humedales artificiales en la parroquia La Iberia, cantón El Guabo* (Tesis de grado). Recuperado de <http://repositorio.utmachala.edu.ec/handle/48000/13235>
- Lal, R. K., Pankhuri, G., & Sarkar, S. (2018). Phylogenetic relationships, path and principal component analysis for genetic variability and high oil yielding clone selection in vetiver (*Vetiveria zizanioides* L.) Nash. *Journal of Plant genetics and breeding*, 2(1), 105. Recuperado de <https://www.omicsonline.org/peer-reviewed/phylogenetic-relationships-path-and-principal-component-analysis-for-genetic-variability-and-high-oil-yielding-clone-selection-in-101514.html>
- Lansdown, R.V. (2014). *UICN Red List*. USA: UICN. Recuperado de <http://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2014-1.RLTS.T167904A42401843.en>
- Lanly, J. P. (1996). *Ecología y Enseñaza Rural*. Montes: FAO. Recuperado de <http://www.fao.org/3/W1309S/w1309s00.htm#TopOfPage>
- Lara, J. (1999). *Depuración de aguas residuales municipales con humedales artificiales* (Tesis de maestría). Obtenido de <https://www.ecohabitar.org/wp-content/uploads/2015/09/humedales-artificiales.pdf>
- Lau, C., Jarvis, A., & Ramírez, J. (2013, febrero). Agricultura Colombiana: Adaptación al Cambio Climático. *CIAT*, n.1, 1–4. Recuperado el abril de 2018, de CGIAR: <https://cgispace.cgiar.org/handle/10568/57475>

- Llagas, C.W., Guadalupe, G.E. (2006). Diseño de humedales artificiales para el tratamiento de aguas residuales en la UNMSM. *Revista del Instituto de Formaciones FIGMMG*, 15(17), 85–96. Recuperado de <http://revistasinvestigacion.unmsm.edu.pe/index.php/iigeo/article/view/699/552>
- Llantoy, V. R., & Negrón, A. C. (2014, julio-septiembre). Estudio de los parámetros fisicoquímicos para la fitorremediación de cadmio (ii) y mercurio (ii) con la especie *Eichhornia crassipes* (jacinto de agua). *Revista de la Sociedad Química del Perú*, 80(3), pp.164–173. Obtenido de Revista de la Sociedad Química del Perú: [http://www.scielo.org.pe/scielo.php?pid=S1810-634X2014000300003&script=sci\\_arttext&tlng=en](http://www.scielo.org.pe/scielo.php?pid=S1810-634X2014000300003&script=sci_arttext&tlng=en)
- López Martín, A. (enero de 2018). *Evaluación de tecnologías en el tratamiento de aguas y fangos en EDARs, para la reducción de microorganismos con riesgo sanitario y ambiental* (Tesis doctoral). Universidad de Zaragoza, España. Recuperado de <https://zaguan.unizar.es/record/69213/files/TESIS-2018-019.pdf>
- López, E. L., & Rodríguez, M.A. (2016). *Evaluación de un humedal artificial de flujo subsuperficial como tratamiento de agua residual doméstica en la Vereda Bajos de Yerbabuena en el municipio de Chía, Cundinamarca* (Tesis de grado). Recuperado de <http://hdl.handle.net/10185/20473>
- López, G., Almonte, I., Pérez, A., Sotomayor, D., & Núñez, P. A. (2014, marzo 19). Caracterización biológica de suelos y sustratos empleados en la producción de vegetales en invernaderos. *Ciencias del Suelo*, 32(1), 29–39. Recuperado de [https://www.academia.edu/23695921/Caracterización\\_Biológica\\_De\\_Suelos\\_y\\_Sustratos\\_Empleados\\_en\\_La\\_Producción\\_De\\_Vegetales\\_en\\_Invernaderos](https://www.academia.edu/23695921/Caracterización_Biológica_De_Suelos_y_Sustratos_Empleados_en_La_Producción_De_Vegetales_en_Invernaderos)
- Luque, A., Ávila, M. J., Aguayo, F., Lama, J. R., De las Heras, A., & Córdoba, A. (2018, noviembre). *La ingeniería de proyectos cómo se forja la tecnosfera de una sociedad responsable?* [versión electrónica]. doi: 10.17993/IngyTec.2018.47
- Maiz, T. (2016). *UICN Red List of Threatened Species*. USA: UICN. e.T164451A78457072. doi: 10.2305/IUCN.UK.2016-1.RLTS.T164451A78457072.en

- Maleva, M.G., Borisova, G.G., Shiryayev, G.I., Kumar, A. & Morozova, M.V. (2019). Adaptive potential of *Typha latifolia* L. under extreme technogenic pollution. *AIP SCILight Publishing*, 2023(1). doi: 10.1063/1.5087321
- Manzano, I. G. (2010). *Características Físicoquímicas del Agua Residual Tratada con Jacinto de Agua - Eichornia crassipes*. (Tesis de grado). Recuperado de: <http://repositorio.uaaan.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/2590/ISABEL%20GUADALUPE%20CARRILLO%20MANZANO.pdf?sequence=1>
- Marín, J. (2016, abril 28). Remoción de contaminantes de aguas residuales por medio de humedales artificiales establecidos en el municipio de Octopán, Veracruz, México. *Revista Mexicana de Ingeniería Química*, 15(2), 553–563. Recuperado de: <http://rmiq.org/iqfvp/Pdfs/Vol.%2015,%20No.%202/IA1/RMIQTemplate.pdf>
- Márquez Canosa, E. (2009). *Fitosistemas de tratamiento de aguas residuales para pequeñas comunidades*. Lima, Perú: Universidad Agrararia La Molina.
- Martelo, J., & Lara, J. (2012, enero-junio). Macrófitas flotantes en el tratamiento de aguas residuales: una revisión del estado del arte. *Revista Dialnet*, 8(15), 221–243. Obtenido de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=4111241>
- Martínez, E., Castillo, R., Reyes, L., De León, P., & Salcedo, L. (2018). *Calidad del Agua en las Américas: riesgos y oportunidades*. México. UNESCO - IANAS - P. H. Internacional - i. S. Health, & CODIA. Recuperado de [https://anisanic.org/documentos/Calidad-del-agua-en-las-Americas\\_Riesgos-y-oportunidades.pdf](https://anisanic.org/documentos/Calidad-del-agua-en-las-Americas_Riesgos-y-oportunidades.pdf)
- Massa López, M. P. (s.f.). *Tratamiento Biológico de las Aguas Residuales. Lagunas de Estabilización*. Segobia, España: Ministerio de Agricultura Pesca y Alimentación. Recuperado de [https://www.mapa.gob.es/ministerio/pags/biblioteca/hojas/hd\\_1988\\_10.pdf](https://www.mapa.gob.es/ministerio/pags/biblioteca/hojas/hd_1988_10.pdf)
- Mazara, H. (2017, diciembre 22). Municipales de Jarabacoa Reclaman Acueducto. *Periódico Listín Diario*. Recuperado de <https://www.listindiario.com/economia/2017/12/22/495928/municipales-de-jarabacoa-reclaman-un-acueducto>
- Mazara, H. (2018, enero 17). Una nueva planta de tratamiento de aguas residuales.

- en Jarabacoa. *Periódico Listín Diario*. Recuperado de <https://www.listindiario.com/la-vida/2016/02/25/409186/una-nueva-planta-de-tratamiento-de-aguas-residuales-en-jarabacoa>
- Metcalf, & Eddy Inc. (1991). *Wastewater Engineering: Treatment, Disposal, and Reuse* (3rd ed.). In G. Tchobanoglous, & F. L. Burton (Eds.), New York: McGraw-Hill.
- Mena, J. (s.f.). 9<sup>no</sup> *Congreso nacional de medioambiente: cumbre del desarrollo sostenible*. Madrid, España: Global. Recuperado de [http://www.alquimiaimasd.com/UserFiles/ficheros/IdiAplicada/2643\\_JMena.pdf](http://www.alquimiaimasd.com/UserFiles/ficheros/IdiAplicada/2643_JMena.pdf)
- Méndez, J., González, C. A., Román, A. D., & Prieto, F. (2009). Contaminación y fitotoxicidad en plantas por metales pesados provenientes de suelos y agua. *Redalyc*, 10(1), 29–44. Disponible en <https://www.redalyc.org/html/939/93911243003/>
- Mendoza, Y. I., Pérez, I.J., & Galindo, A. A. (2018). Evaluación del Aporte de las Plantas Acuáticas *Pistia stratiotes* y *Eichhornia crassipes* en el Tratamiento de Aguas Residuales Municipales. *Información tecnológica*, 29(2), 205–214. doi: 10.4067/S0718-07642018000200205
- Mercado, A. (2013, agosto). *RALCEA: Lagunas de estabilización*. Santa Cruz, Bolivia. Obtenido de [https://aquaknow.jrc.ec.europa.eu/sites/default/files/3.lagunas\\_de\\_estabilizacion\\_0.pdf](https://aquaknow.jrc.ec.europa.eu/sites/default/files/3.lagunas_de_estabilizacion_0.pdf)
- Mercedes, L. (2002, octubre 27). *XXVIII Congreso interamericano de ingeniería sanitaria y ambiental*. Cancún, México: CEPIS/OPS.
- Mercedes, L. (2017, diciembre 20). Programa agua y saneamiento INAPA/AECID/FCAS. *Periódico Hoy*. Obtenido de <http://hoy.com.do/el-90-aguas-residuales-domesticas-no-se-tratan-plantas-son-infuncionales/>
- Mihelcic, J., & Zimmerman, J. (2011). *Ingeniería ambiental*. México: S. d. © 2012 Alfaomega Grupo Editor, Ed. Obtenido de <https://www.academia.edu/16460327/220588573-Ingenieria-ambiental-fundament-Mihelcic-James-R-pdf>
- Ministerio de Desarrollo Económico. (2000, noviembre). *Tratamiento de aguas residuales*. Bogotá, Colombia: MinDesarrollo. Obtenido de

- [http://www.minvivienda.gov.co/Documents/ViceministerioAgua/010710\\_ras\\_titulo\\_e\\_.pdf](http://www.minvivienda.gov.co/Documents/ViceministerioAgua/010710_ras_titulo_e_.pdf) : Autor.
- Ministerio de Economía. (2010, diciembre). *Atlas de la pobreza 2010*. Santo Domingo, República Dominicana: MEPyD. Obtenido de [http://economia.gob.do/mepyd/wp-content/uploads/archivos/uaaes/mapa\\_pobreza/2014/Atlas%20pobreza%20provincias%20\(Prov%2013%20La%20Vega%20final\).pdf](http://economia.gob.do/mepyd/wp-content/uploads/archivos/uaaes/mapa_pobreza/2014/Atlas%20pobreza%20provincias%20(Prov%2013%20La%20Vega%20final).pdf) . : Autor.
- Ministerio de Medioambiente. (2012, marzo). *Normas ambientales sobre calidad de agua y control de descarga*. Santo Domingo, República Dominicana: MiAmbiente. Obtenido de [https://www.caribbeanenvirolaw.org/sites/default/files/do.calidad.del\\_agua\\_.pdf](https://www.caribbeanenvirolaw.org/sites/default/files/do.calidad.del_agua_.pdf) : Autor.
- Ministerio de Obras Públicas (2010, abril). *Regamento R-008 para el diseño y construcción de instalaciones sanitarias en edificaciones*. Santo Domingo, República Dominicana: MOPC. Obtenido de <http://www.mopc.gob.do/media/1951/r-008.pdf> : Autor.
- Moncada, A. D. (2016). *Análisis del desempeño y operación de humedales construidos de flujo subsuperficial vertical para tratamiento de agua residual doméstica en países tropicales* (tesis de pregrado). Obtenido de <http://repositorio.ucm.edu.co:8080/jspui/bitstream/handle/10839/1326/Alvaro%20David%20Moncada%20Suaza.pdf?sequence=1>
- Montás, A. (2013, mayo 15). La capital carece de alcantarillado de aguas residuales. *El Nacional*. Recuperado de <http://elnacional.com.do/la-capital-carece-de-alcantarillado-aguas-residuales/>
- Moreira, A., & Macías, M. (2018). *Estudio del comportamiento del DBO en humedal artificial para tratar agua residual proveniente de baños, lavadoras y fregaderos* (Tesis de grado). Recuperado de <http://repositorio.ulvr.edu.ec/bitstream/44000/2261/1/T-ULVR-2058.pdf>
- Moreno, S., Celis, D., & Aguiar, T. (2002, enero-junio). Análisis de la satisfacción del turista de paquetes turísticos respecto a las actividades de ocio en el destino: el caso de República Dominicana. *Cuaderno de Turismo*, (9), 67–84. Recuperado de <https://revistas.um.es/turismo/article/view/21951>

- Moscoso, J. (2002, octubre). *XXVIII Congreso iinteramericano de iingeniería sanitaria y ambiental*. Cancún, México: CEPIS/OPS. Recuperado de <http://www.bvsde.ops-oms.org/bvsaidis/mexico26/ii-080.pdf>
- Moya, M., Trapote, A., & Prats, D. (2019). *Congreso nacional del agua-Orihuela*. Orihuela, España: Universidad de Alicante. Recuperado de <http://hdl.handle.net/10045/88473>
- Naciones Unidas. (s.f.). *Implementación de mejoras para la calidad del agua y la protección de servicios ecosistémicos* (Nota técnica). ONU. Obtenido de [http://www.un.org/spanish/waterforlifedecade/waterandsustainabledevelopment2015/pdf/04%20risk\\_water\\_quality\\_esp\\_web.pdf](http://www.un.org/spanish/waterforlifedecade/waterandsustainabledevelopment2015/pdf/04%20risk_water_quality_esp_web.pdf) : Autor.
- Narváez, L., Cáceres, R., & Marfà, O. (s.f.). *Depuración de lixiviados procedentes de viveros de ornamentales mediante humedales artificiales - eficacia del metanol como fuente carbonada*. Valencia, España: ISBN 978846173029-9. Recuperado de <http://jiho14.eu/actas/239lixiviados.pdf>
- North Caroline Public Health. (2019, septiembre). *Protéjase de las Bacterias Coliformes en el Agua de su Pozo*. Carolina del Norte: División de Salud Pública. Recuperado de [https://epi.publichealth.nc.gov/oeo/docs/Las\\_Bacterias\\_Coliformes\\_WellWaterFactSt.pdf](https://epi.publichealth.nc.gov/oeo/docs/Las_Bacterias_Coliformes_WellWaterFactSt.pdf) : Autor.
- Nuevo, D. (2016, enero 21). *Humedales artificiales en depuración de agua residual*. TECPA. Obtenido de <https://www.tecpa.es/humedales-artificiales-en-depuracion-de-agua-residual/>
- Oficina Nacional de Estadística. (2010). *IX Censo Nacional de Población y Viviendas*. Jarabacoa, República Dominicana: ONE. Recuperado de <https://censo2010.one.gob.do> : Autor.
- OPS, OMS, UNICEF y Ministerio Salud Pública. (2012, diciembre). *El grupo de agua, saneamiento e higiene en República Dominicana y su impacto durante la epidemia del cólera*. Santo Domingo, República Dominicana: UNICEF. Recuperado de [https://www.unicef.org/republicadominicana/Coordinacion\\_GASH\\_lecciones\\_aprendidas12.pdf](https://www.unicef.org/republicadominicana/Coordinacion_GASH_lecciones_aprendidas12.pdf) : Autor.
- ONU (2015, febrero 2). El 80% de las aguas residuales del mundo no reciben el tratamiento adecuado. *Periódico ABCsociedad*. Recuperado de

- <http://www.abc.es/sociedad/20150202/abci-aguas-residuales-informe-201502021601.html> : Autor.
- Organización Panamericana de la Salud. (s.f.). *Contaminación del Agua*. Obtenido de [https://es.wikipedia.org/wiki/Contaminación\\_h%C3%ADrica#cite\\_note-2](https://es.wikipedia.org/wiki/Contaminación_h%C3%ADrica#cite_note-2) : Autor.
- Orgaz, F. (2014). El ecoturismo en los humedales: análisis de las potencialidades de República Dominicana. *Rosa Dos Ventos - Turismo e Hospitalidade*, 6(1), 4-18. Recuperado de <http://www.ucs.br/etc/revistas/index.php/rosadosventos/index>
- Padrón, J. (2018). “*Evaluación del desempeño de un sistema piloto de humedales de flujo subsuperficial horizontal para el tratamiento de aguas residuales domésticas en ecosistemas de montaña*” (Tesis de maestría). Recuperado de <http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/31079>
- Parganiha, D., Patel, S., Paikra, C., & Sahu, P. (2018). Effect of processing time on recovery and quality of essential oil from patchouli - Pogostemon cablin Benth. *International Journal of Economic Plants*, 5(2), 90–92. doi: 10.23910/IJEP/2018.5.2.0235
- Pariccahua, H. E. (2018). *Evaluación de la operatividad de la planta de tratamiento de aguas residuales del distrito de Ayaviri, provincia de Melgar - Puno*. (Tesis de grado). Recuperado de <http://repositorio.unap.edu.pe/handle/UNAP/9799>
- Pazán, D., & Trelles, J., Arévalo, M. (2018). *Análisis del estado del arte de humedales subsuperficiales de flujo vertical para tratamiento de aguas residuales y lodos de depuradoras* (Tesis de grado). Recuperado de <http://dspace.uazuay.edu.ec/handle/datos/8224>
- Peña, M., Ginneken, M., & Madera, C. (2004, octubre 17). Humedales de Flujo Subsuperficial: Una Alternativa Natural para el Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas en Zonas Tropicales. *Ingeniería y Competitividad*, 5(1), 2–9. doi: 10.25100/iyc.v5i1.2302
- Pérez, C., Gómez, C., & Del Villar, A. (2011). El riesgo de disponibilidad de agua en la agricultura. *Dialnet*, 29(1), 2–25. Recuperado de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=3656268>

- Pérez, G., Enciso, S., Del Prado Martínez, M., & Castañón, J. (s.f.). *Research Gate*. Chiapas, México. Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez. Recuperado de [https://www.researchgate.net/publication/267414928\\_DISENO\\_HIDRAULICO\\_DE\\_UN\\_HUMEDAL\\_ARTIFICIAL\\_A\\_NIVEL\\_LABORATORIO](https://www.researchgate.net/publication/267414928_DISENO_HIDRAULICO_DE_UN_HUMEDAL_ARTIFICIAL_A_NIVEL_LABORATORIO)
- Pérez, M., & Rojo, C. (junio de 2000). Función Depuradora de los Humedales I: una revisión bibliográfica sobre el papel de los macrófitos. *SEHUMED*, 5. Recuperado de [http://sehumed.uv.es/revista/numero14/SEHUMED\\_colecc115.PDF](http://sehumed.uv.es/revista/numero14/SEHUMED_colecc115.PDF)
- Pietrangelo, L., Bucci, A., Maiuro, L., Bulgarelli, D., & Naclerio, G. (2 de agosto de 2018). *Unraveling the composition of the root-associated bacterial microbiota of Phragmites australis and Typha latifolia*. *US National Library of Medicine*, v. 9. doi: 10.3389/fmicb.2018.01650
- Phillips, P., Russell, F. A., Turner, J. (2007). Effect of non-point source runoff and urban sewage on Yaque del Norte River in Dominican Republic. *Int. J. Environment and Pollution*, Vol. 31(3/4). 244–266. Retrieved from [https://www.researchgate.net/profile/Peter\\_Phillips4/publication/249920267\\_Effect\\_of\\_non-point\\_source\\_runoff\\_and\\_urban\\_sewage\\_on\\_Yaque\\_del\\_Norte\\_River\\_in\\_Dominican\\_Republic/links/54c919340cf2595d6c7df7be/Effect-of-non-point-source-runoff-and-urban-sewage-on-Yaque-del-Norte-River-in-Dominican-Republic.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Peter_Phillips4/publication/249920267_Effect_of_non-point_source_runoff_and_urban_sewage_on_Yaque_del_Norte_River_in_Dominican_Republic/links/54c919340cf2595d6c7df7be/Effect-of-non-point-source-runoff-and-urban-sewage-on-Yaque-del-Norte-River-in-Dominican-Republic.pdf)
- Plan Estratégico de Desarrollo del Municipio de Jarabacoa. (2006, julio). *Ecitydoc*. Jarabacoa, República Dominicana: USAID-Ayuntamiento Municipal y UAFAM. Recuperado de [https://ecitydoc.com/download/plan-estrategico-de-jarabacoa\\_pdf](https://ecitydoc.com/download/plan-estrategico-de-jarabacoa_pdf) : Autor.
- Poveda, R. (2014). *“Evaluación de especies acuáticas flotantes para la fitoremediación de aguas residuales industriales y de uso agrícola previamente caracterizadas en el Cantón Ambato, provincia de Tungurahua* (Tesis de grado). Recuperado de <http://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/8455/1/BQ%2056%20.pdf>
- Puig, A. (s.f.). *Portal Enciclopedia*. Mendoza, Argentina: CONICET. Obtenido de <https://www.mendoza-conicet.gob.ar/portal/enciclopedia/terminos/Bioindic.htm>
- Puliafito, J., Brandi, M., Morandini, F., & Muñoz, E. (s.f.). (EPAS). Mendoza, Argentina. Obtenido de

- [http://www.epas.mendoza.gov.ar/images/documentos/usuarios/Resolucion\\_35-96\\_Anexos\\_I\\_y\\_II\\_Pequeos\\_Operadores.pdf](http://www.epas.mendoza.gov.ar/images/documentos/usuarios/Resolucion_35-96_Anexos_I_y_II_Pequeos_Operadores.pdf)
- Purihuamán, C., & Rojas, M. (2018, marzo 30). Tratamiento de aguas residuales domésticas con la especie vetiver (*Chrysopogon zizanioides*) en humedales de flujo subsuperficial. *Revista Científica Internacional TEZHOECOEN*, 10(1), 12.  
<http://revistas.uss.edu.pe/index.php/tzh/article/view/792>
- Qing, S., Shoutian, Q., Hongyan, H., Ming, Y., Swamy, M., Sinniah, U., . . . Akhtar, M. (2019). Biosynthesis, characterization and biological activities of silver nanoparticles from pogostemon Cablin benth - methanolic leaf extract. *Journal of Nanoscience and Nanotechnology*, 19(7), 4109–4115<sup>(7)</sup>. doi: 10.1166/jnn.2019.16282
- Químico, C. (2015, junio 20). *Principios de la Ingeniería Verde*. Caleidoscopio Químico: <https://sites.google.com/site/caleidoscopioquimico/laquives-siladin-cch-unam/principios-ingenieria-verde>
- Quintana, L., & Verbel, J. (2008, agosto). Fitorremediación: Una alternativa para mitigar los procesos de contaminación ambiental. *UNICARTA*, 7. Recuperado de <http://repositorio.unicartagena.edu.co:8080/jspui/bitstream/11227/3805/1/Unicarta%20106%20pag.75.pdf>
- RAE. (2018). *Asociación de Academias de la Lengua Española*. DEL. Recuperado de <https://dle.rae.es/?id=EPnQYw0>
- Rajaei, S., & Mahdi, S. (2018, june 13). Phytoremediation of petroleum-contaminated soils by *Vetiveria zizanioides* (L.) Nash. *Online Library Wiley*. doi: 10.1002/clen.201800244
- Ramalho, R. (2003). *Tratamiento de Aguas Residuales*. Recuperado de <https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=30etGjzPXyWC&oi=fnd&pg=PA1&dq=tratamiento+de+aguas+residuales&ots=OCqcCVdGj5&sig=Il8xsTe1ty5PclbCBK1UOffszU0#v=onepage&q&f=false>
- Real, H. J. (2014, junio). *Repositorio Digital Universidad Politécnica de Cartagena*. Cartagena, Colombia: UPC. Recuperado de <http://repositorio.upct.es/handle/10317/4424>

- Reyes, J. O. (2018, junio). *Puerto Plata Habla*. Puerto Plata, República Dominicana: CORAAPLATA. Obtenido de <http://puertoplatahabla.com/pp/emisario-submarino-y-planta-de-tratamiento-primario-concluiran-en-poco-tiempo/>
- Reynolds, K. (2002, septiembre). Tratamiento de Aguas Residuales en Latinoamérica. *Revista De La Llave*, 4. Recuperado de [http://cidta.usal.es/cursos/EDAR/modulos/Edar/unidades/LIBROS/documentos\\_nuevos/DeLaLaveSepOct02.pdf](http://cidta.usal.es/cursos/EDAR/modulos/Edar/unidades/LIBROS/documentos_nuevos/DeLaLaveSepOct02.pdf)
- Riancho, R. (2018). *Análisis del proceso BAS para el tratamiento biológico de un efluente residual a escala laboratorio* (Tesis de grado). Recuperado de: <https://repositorio.unican.es/xmlui/bitstream/handle/10902/14154/409380.pdf?sequence=1>
- Ribeiro, A. S., Ribeiro, M. S., Bertoluchi, S. K., Bittencourt, W. J., De Carvalho, A. A., Tostes, W. N., . . . Pinto, J. E. (2018, April 16). *Colored shade nets induced changes in growth, anatomy and essential oil of Pogostemon cablin*. *Revista An. Acad. Bras. Sciê.* 90(2). Recuperado de <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/29668798>
- Rico, A., Arahuetes, A., & Morote, Á. F. (2016). *RUA*. Murcia, España: Universidad de Alicante. Recuperado de <http://rua.ua.es/dspace/handle/10045/58800>
- Rodríguez, J.M., & Durán C.B. (2006, enero-junio). Remoción de nitrógeno en un sistema de tratamiento de aguas residuales usando humedales artificiales de flujo vertical a escala de banco. *Revista Tecnología, Ciencia, Educación*, vol. 21(1), pp. 25–33. Recuperado de <https://www.redalyc.org/pdf/482/48221104.pdf>
- Rodríguez, S. C., Asmundis, C. L., Ayala, M. T., & Arzú, O. R. (2018, mayo 15). Presencia de indicadores microbiológicos en agua para consumo humano en San Cosme - Corrientes, Argentina. *Revista Veterinaria*, 29(1), 9–12. doi: 10.30972/vet.2912779
- Rojas, A. A., Sánchez, S. A., González, M. d., Bernal, M., & Durán, M. d. (2013, noviembre 6). *Study Lib*. México: Universidad Nacional Autónoma de México. Recuperado de <http://studylib.es/doc/7666967/manual-de-operación-y-mantenimiento-del-humedal-artificia...>
- Rojas, R. (2002). Curso internacional gestión integral de tratamiento de aguas residuales. (p. 19). Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente.

- Obtenido de <http://files.control-ambiental5.webnode.com.co/200000093-9097e9190c/GESTION%20INTEGRAL%20DEL%20TRATAMIENTO%20AR.pdf>
- Roldán Pérez, G. (1999). *Google scholar-Articles*. Los macroinvertebrados y su valor como indicadores de la calidad del agua. Recuperado de [https://scholar.google.com.do/scholar?hl=en&as\\_sdt=0%2C5&q=Los+macroinvertebrados+y+su+valor+como+indicadores+de+la+calidad+del+agua.+&btnG=](https://scholar.google.com.do/scholar?hl=en&as_sdt=0%2C5&q=Los+macroinvertebrados+y+su+valor+como+indicadores+de+la+calidad+del+agua.+&btnG=)
- Romero, J. (1999). *Tratamiento de Aguas Residuales por Lagunas de Estabilización*. Recuperado de [https://www.researchgate.net/publication/31698709\\_Tratamiento\\_de\\_aguas\\_residuales\\_por\\_lagunas\\_de\\_estabilizacion\\_JA\\_Romero\\_Rojas](https://www.researchgate.net/publication/31698709_Tratamiento_de_aguas_residuales_por_lagunas_de_estabilizacion_JA_Romero_Rojas)
- Romero, J. A. (1999). *Tratamiento de Aguas Residuales en Pequeñas Comunidades* (Tesis de maestría). Recuperado de: <http://tesis.uson.mx/digital/tesis/docs/19117/capitulo4.pdf>
- Rueda, J., Rodríguez, M. A., Vásquez, Y. E., Guerrero, K. A., & Alarcón, P. M. (2018, abril 15). *Primera cita de Culex (Culex) garciai González Broche, 2000 (Diptera: Culicidae) para La Española*. doi: 10.6018/analesbio.40.11
- Salazar Chávez, B., & Pastor Ortiz, Y. (2019): *Evaluación de la Calidad Ecológica y Ambiental del Agua del Río Jequetepeque en el Tramo de San Juan - Chilite del Departamento de Cajamarca en el Año 2017-2018* (Tesis de grado). Recuperado de <http://repositorio.upagu.edu.pe/handle/UPAGU/870>
- Salazar, R., Rojano, A., & López, Lorenzo, L. (2014, marzo-abril). La eficiencia en el uso del agua en la agricultura controlada. *Tecnología y ciencias del agua*, 5(2), 177-183. Recuperado de [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S2007-24222014000200012&script=sci\\_arttext](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S2007-24222014000200012&script=sci_arttext)
- Sarango, O. P., & Sánchez, J. A. (2016). *Diseño y construcción de 2 biofiltros con Eichhornia Crassipes y Lemna Minor para la evaluación de la degradación de contaminantes en aguas residuales de la extractora Río Manso EXA S.A. "Planta la Comuna", Quinindé* (Tesis de grado). Recuperado de <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/4930>
- SGS Academy. (2012). *SGS Academy*. Bogotá: Gobierno de Colombia. Obtenido de [http://ambientebogota.gov.co/c/document\\_library/get\\_file?uuid=1c697920-c8b1-4425-8952-1b16718a223b&groupId=24732](http://ambientebogota.gov.co/c/document_library/get_file?uuid=1c697920-c8b1-4425-8952-1b16718a223b&groupId=24732)

- Sierra, L. F., Ramírez, L. F., & Rodríguez, J. P. (2018, marzo). Evaluación del postratamiento de aguas residuales municipales mediante la utilización de macrofitas como las lentejas de agua (*Lemma minor*) en lagunas de estabilización. *Revista Logos Ciencia & Tecnología*, 10(2), 153–157. Recuperado de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6456082>
- Silva, J. P. (s.f.). *Humedales Construidos*. El Valle, Colombia: Universidad del Valle. Obtenido de <http://www.bvsde.paho.org/bvsaar/e/fulltext/gestion/humedales.pdf>
- Silva, J., Torres, P., & Madera, C. (2008, julio 10). Reuso de aguas residuales domésticas en agricultura: una revisión. *Revistas UNAL*. 26(2), p. 347–359. Recuperado de <https://revistas.unal.edu.co/index.php/agrocol/article/view/13521>
- SiNC. (1 de abril de 2014). Ingeniería verde para la gestión de residuos. *La Ciencia es Noticia*. Recuperado de: <http://www.agenciasinc.es/Noticias/Ingenieria-verde-para-la-gestion-de-residuos>
- Sofía, A., Zamora, Z., & Hernán, D. (2011). *Humedales artificiales* (Tesis de pregrado). Recuperado de <http://www.bdigital.unal.edu.co/1106/>
- Soler, C., Crespi, E., Soler, E., & Pugliese, M. (2018, abril). Evaluación de humedales artificiales de flujo libre superficial con macrófitas acuáticas flotantes. *Ingeniería del Agua*, 22(2), 69–78. doi: 10.4995/la.2018.8596
- Stockins, P. (2011). *ODM 7C. Agua y saneamiento*. México: CEPAL. Recuperado de [https://www.cepal.org/sites/default/files/events/files/sesion4\\_aguasanea\\_pstockins\\_cepai.pdf](https://www.cepal.org/sites/default/files/events/files/sesion4_aguasanea_pstockins_cepai.pdf)
- Tchonaboglous, G., Burton, F. L., & Stensel, H. D. (s.f.). *Wastewater Engineering, Treatment and Reuse (Fourth Edition)*. Obtenido de <https://pdfs.semanticscholar.org/6207/8b4bd84e66725d2a5c4f38d00609f022dd08.pdf>
- Torrecillas, A.S., Ferrer, J.P., Robles, A. M. (2018). *Tratamientos biológicos de aguas residuales*. Recuperado de [https://gdocu.upv.es/alfresco/service/api/node/content/workspace/SpacesStore/935a8d7c-2081-4d74-9f7c-bf3ad9e69bb4/TOC\\_0358\\_03\\_03.pdf?guest=true](https://gdocu.upv.es/alfresco/service/api/node/content/workspace/SpacesStore/935a8d7c-2081-4d74-9f7c-bf3ad9e69bb4/TOC_0358_03_03.pdf?guest=true)
- Ulloa, C.L. (2016). *El intercambio de experiencias en pro de una reserva cultural*. (Tesis de grado). Recuperado de

<http://repository.unipiloto.edu.co/bitstream/handle/20.500.12277/859/00003696.pdf?sequence=1>

United States Environmental Protection Agency. (2000, September). *U.S. EPA*. NW Washington, Retrieved from [https://www.epa.gov/sites/production/files/2015-06/documents/cs\\_00\\_024.pdf](https://www.epa.gov/sites/production/files/2015-06/documents/cs_00_024.pdf)

Universidad de Antioquía. (2008). *Banco de Objeto de Aprendizaje y de Información*. Antioquia, Colombia: Universidad de Antioquía. Obtenido de Scholar.google: <http://aprendeenlinea.udea.edu.co/ova/?q=node/645>

Urbanoaereolismo. (s.f.). *Fitodepuradoras - Sistemas constructivos*. Alicante, España: Obtenido de

<https://www.urbanarbolismo.es/blog/fitodepuradoras-sistemas-constructivos/>

Valdés, G., & Villagomez, P. (2008). Ingeniería verde- mejorando el ambiente y la rentabilidad. *Instrumentation Newsletter*. Recuperado de [ftp://ftp.ni.com/pub/gdc/tut/abril-junio\\_2008.pdf](ftp://ftp.ni.com/pub/gdc/tut/abril-junio_2008.pdf)

Valter, W. (1989). *Módulos de formación y de perfeccionamiento del personal de las plantas de tratamiento de aguas residuales*. Recuperado de [https://books.google.com.do/books/about/Módulos\\_de\\_formación\\_y\\_de\\_perfeccionam.html?id=YrEIAAAACAAJ&redir\\_esc=y](https://books.google.com.do/books/about/Módulos_de_formación_y_de_perfeccionam.html?id=YrEIAAAACAAJ&redir_esc=y)

Wedow, J.M., Yendrek, C.R., Mello, T.R., Creste, S., Martínez, C.A., Ainsworth, E.A. (2019, April). Metabolite and transcript profiling of Guinea grass (*Panicum maximum* Jacq) response to elevated [CO<sub>2</sub>] and temperature. *Metabolomics*, 15(51). doi: 10.1007/s11306-019-1511



# ANEXOS

## 6. Anexos

### *Anexo A. Contaminación hídrica en el Municipio de Jarabacoa.*



*Centro ciudad de Jarabacoa. Imágenes muestran el arroyo cloacal de la ciudad hacia el Río Yaque del Norte (RYN)*

### *Anexo B. Contaminación de la Cañada de Los Gatos, Jarabacoa, R.D*



*Cañada de Los Gatos: Proviene de la Urbanización Rescate 94, María Auxiliadora, Pinar Dorado, La Javilla y La Colina de Los Pomos.*

Anexo C. Contaminación en Arroyo Yerba Buena en Jarabacoa, R.D.



*Desembocadura del Arroyo Yerba Buena al Río Yaque del Norte, Jarabacoa. Proviene de las comunidades de la Poza, el Barrio Estancita y otras urbanizaciones.*

Anexo D. Contaminación Barrio Lindo, Jarabacoa en el centro de la ciudad.



*Barrio Lindo, Jarabacoa, R.D. Situación de las aguas residuales*

Anexo E. Normas de calidad de agua y control de descargas de la República Dominicana, Pág. 7, año 2012.

Representación de los valores máximos permisibles de descargas de agua residual municipal en aguas superficiales.

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

**Nota:** La producción de DBO<sub>5</sub> de un habitante equivalente es aproximadamente 60g/hab/d

Demanda biológica de oxígeno DBO<sub>5</sub>

Demanda química de oxígeno DQO

Sólidos suspendidos (SS)

Nitrógeno del amonio (N-NH<sub>4</sub>)

Nitrogeno amonio y nitratos N-NH<sub>4</sub>+NO<sub>3</sub>

Fósforo de ortofosfatos (P-PO<sub>4</sub>)

Cloro residual (Cl<sub>2</sub>. Res) libre

Coliformes totales (C.T)

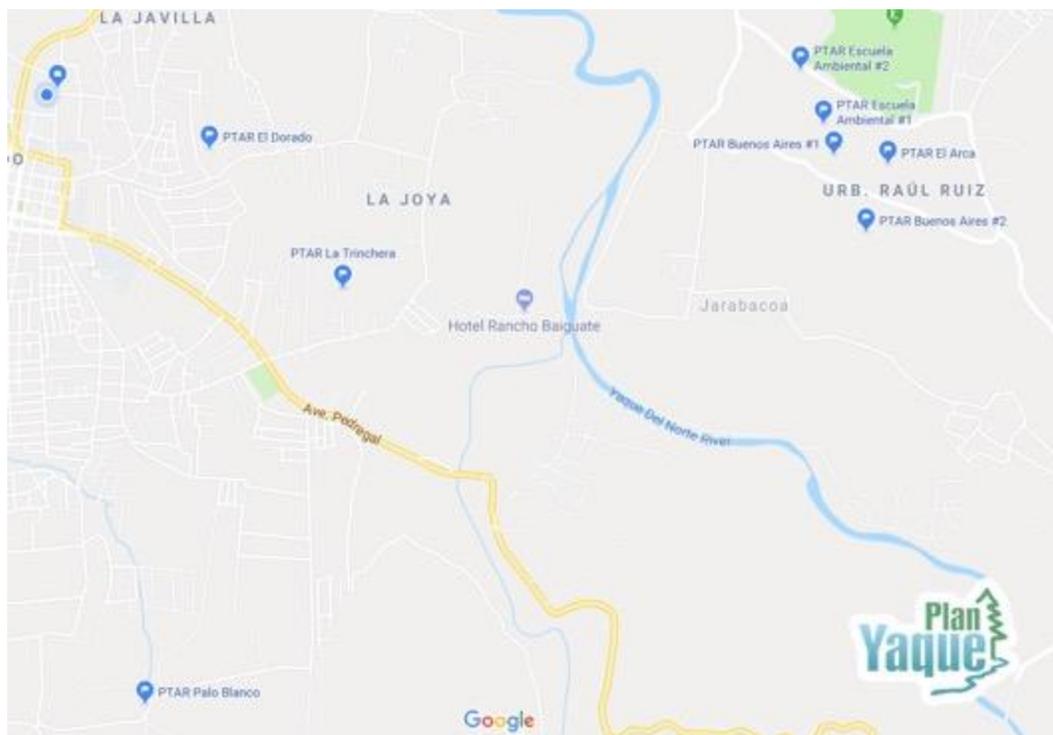
Nota: En la página 24 de la norma, también puede chequear los Coliformes fecales.

Anexo F. Planta de tratamiento de aguas residuales con Ingeniería Verde, tipo Baiguete.



Nota: Plan Yaque, 2016

Anexo G. Mapa de localización Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales con IV construidas por la Plan Yaque en Jarabacoa.



Nota: elaboración propia

Anexo H. Información de los equipos de análisis laboratorio utilizado en el estudio de campo:

Multiparamétrico: <https://www.yesi.com/proplus>;

Turbidímetro: <https://www.thermofisher.com/order/catalog/product/AQ4500>;

Peachímetro: <https://www.thermofisher.com/order/catalog/product/STARA-AR>;

## Anexo I. Presupuesto de la Investigación

### *Presupuesto de la investigación*

Actividades	Descripción	Cantidad	Meses	Costo unitario	Total RD\$	%
Visitas de campo	Viajes a zonas de estudio	10	enero-junio	700	7,000.00	6.13
Entrevistas/Encuestas	Realizar entrevistas al personal involucrado en IV y tratamiento de Aguas Residuales	20	enero a junio	1200	24000	21.02
Consultas	Realizar consultas a expertos	10	enero a julio	500	5000	4.38
Compra cinta métrica	Compra de cinta métrica	1	febrero	700	700	0.61
Viajes por provincias	Combustibles, viáticos	6	febrero a julio	6000	36000	31.52
Análisis de laboratorio	Análisis de los efluentes (agua)	9	marzo-junio	3500	31500	27.58
Compra papel Bon	Hojas de papel de impresión	5	marzo-agosto	200	1000	0.88
Compra de tinta	Tinta de impresora	4	febrero-noviembre	1000	4000	3.50
Reproducción documentos	Fotocopias	1000	febrero-noviembre	5	5000	4.38
Subtotal RD\$					114,200.00	100.00
Imprevistos 10%					18,270.00	
Total RD\$					132,470.00	
Total USD\$					2,759.79.00	

*Nota:* Tasa de cambio: RD\$48.00/1 dólar americano (Elaboración propia).

## Anexo J. Relación de Encuestados para la Tesis Doctoral

No.	Nombres	Institución/ Organización	Dirección	Cargo	No. Teléfono	Email
1	Ana M. Almánzar	Instituto Técnico Forestal	Jarabacoa, R.D.	Técnico	1-829-662-7585	natony25@hotmail.com
2	Andrés Brea de los Santos	Plan Yaque	Jarabacoa, R.D.	Asistente Programas Microcuencas y Comunidad	1-809-868-5502	andresbrea9@hotmail.com
3	Andy Durán	CORAASAN	Santiago, R.D.	Asistente Dpto. Producción y Calidad	1-809-582-4343 Ext. 4064	a.duran@coraasan.gov.do
4	Bernarda Ferreiras	INAPA	Cotuí	Enc. Provincial	1-829-343-0708	bernarda.ferreiras@inapa.gob.do
5	César Cruz	ISA	Herradura, Santiago	Profesor	1-809-247-2000	ccruz@isa.edu.do
6	César Trinidad	CODIA	Jarabacoa, R.D.	Miembro	1-809-399-5299	cesartrinidad26@hotmail.com
7	Elizabeth Martínez	Ministerio Medioambiente	Jarabacoa, R.D.	Enc. Educación Continuada	1-809-791-5616	franceli06@hotmail.com
8	Elvis Leonel Lizardo	Instituto Técnico Forestal	Jarabacoa, R.D.	Profesor	1-829-701-2725	natony25@hotmail.com
9	Enmanuel Vargas	Plan Yaque	Jarabacoa, R.D.	Enc. Programa Aguas Residuales y PTAR	1-829-343-7440	enmanuelvs@hotmail.com
10	Eunice García	Universidad Fernando Arturo de Meriño (UAFAM)	Jarabacoa, R.D.	Directora Planificación y Desarrollo	1-829-878-2010	infraestructura@uafam.edu.do
11	Felipe Brito	INDRHI	Cotuí	Enc. Zona de riego Yuna-Camú	1-809-395-8052	no tiene
12	Francisco Camarena	INDRHI	Bonao	Enc. Zona de riego Yuna-Camú	1-829-404-8573	franciscocamarena63@hotmail.com
13	Frank Emergildo Badía Dotel	Ministerio Medioambiente	Jarabacoa, R.D.	Técnico docente	1-809-454-2478	luisbadia70@yahoo.com

14	Genaro Abreu Henríquez	INDRHI	La Vega, R.D.	Enc. Distrito de Riego Yuna-Camú	1-809-573-8802	distritoyunacamu@gmail.com
----	------------------------	--------	---------------	----------------------------------	----------------	----------------------------

### Continuación relación de Encuestados para la Tesis Doctoral

15	German Álvarez	CORAAPLATA	Puerto Plata	Gerente comercial	1-809-586-2461	german1963@gmail.com
16	Humberto Checo	Plan Yaque	Santiago, R.D.	Director Ejecutivo	1-809-753-8899	humberto.checo@gmail.com
17	Ing. Soriano	INAPA	Cotuí	Supervisor de Obras	1-809-854-4041	no tiene
18	Julián Holguín	Plan Yaque	Jarabacoa, R.D.	Enc. Unidad Microcuencia y Comunidad	no tiene	jholguinholguin@gmail.com
19	Marcelo Manuel Heredia Rodríguez	Ayuntamiento	Jarabacoa, R.D.	Enc. Proyecto y Catedrático Universitario	1-829-467-9365	marceloheredia161@yahoo.es
20	Marien Peña	CORAAMOCA	Moca, R.D.	Enc. Dpto. Aguas Residuales	1-809-284-1637	arq.luisacruz@gmail.com
21	Rafael Rivas	INAPA	BONAO	Enc. Operaciones	1-809-296-0588	ingrafaelrivas@gmail.com
22	Ramón Durán	Plan Yaque	Jarabacoa, R.D.	Gerente Programa PSA	1-809-467-8459	duran.ramon@gmail.com
23	Roberto Marte Beato	Instituto Técnico Forestal	Jarabacoa, R.D.	Enc. Mantenimiento	1-829-436-5531	no tiene
24	Saúl Abreu Luna	APEDI	Santiago, R.D.	Presidente	1-809-710-1068	saul_abreu@yahoo.com
25	Víctor Pérez	Ministerio Medioambiente	Jarabacoa, R.D.	Coordinador técnico	1-829-806-9248	victorperezbatista@hotmail.com
26	Vladimir Rodríguez	CORAASAN	Santiago, R.D.	Enc. Tratamiento Aguas Residuales	1-809-966-1225	vladimir.rn@hotmail.com
27	William Darío Hernández R.	Ministerio Medioambiente	Jacagua, Santiago, R.D.	Coordinador Programa Agua y Saneamiento	1-809-427-4971	wdregalado@gmail.com
28	Wilson Cepeda	CORAAVEGA	La Vega, R.D.	Director Dpto. Ingeniería	1-849-863-7134	wilson_cepeda@hotmail.com
29	Yury Ilich Hamlet	Ayuntamiento	Jarabacoa, R.D.	Enc. Medioambiente	1-829-647-3448	yurilichs@gmail.com

*Nota:* elaboración propia. Obtenido a partir de la encuesta realizada para el estudio de esta tesis.

Anexo K. Análisis de laboratorio (Estos figuran a nombre del Plan Yaque, ya que fue la institución que aportó los recursos económicos).



## RESULTADOS SERVICIOS LABORATORIO

Pag. 1 de 3

CORPORACION DEL ACUEDUCTO Y ALCANTARILLADO DE SANTIAGO  
(CORAASAN)

Av. Circunvalación #123, Nibaje, Santiago, Rep. Dom.  
Telf.: 809-582-4343  
[www.coraasan.gov.do](http://www.coraasan.gov.do)  
RNC-402006238

Solicitud No.	1 291918
Fecha Recepción de Muestra	2018/05/24
Fecha Entrega de Resultado	2018/05/29

GRATIS

### DATOS CLIENTE

Número del Cliente : 4644  
Nombre...: PLAN YAQUE  
Teléfono.: - - 0  
Celular.....: 829-343-7440  
Dirección: LA VEGA 1  
LA VEGA, LA VEGA  
Contacto Empresa : ENMANUEL  
Email: enmanuelvs@hotmail.es

### TIPO DE SOLICITUD

Tipo de análisis : AGUA RESIDUALES

Físicoquímico  Microbiológico

Procedencia Muestra: La Empresa

Muestra tomada por : CLIENTE

En atención a su solicitud, me permito remitirle los resultados correspondientes a los servicios de su interés, los cuales, están sujetos al reglamento y a las disposiciones legales que rigen estos servicios públicos.

#### PUNTO MUESTREO 119 ESCUELA AMBIENTAL ENTRADA

PARAMETRO	UNIDAD	RESULTADO
DEMANDA BIOLÓGICA DE OXÍGENO	mg/l	80.00
DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO	mg/l	158.00
ORTO-FOSFATOS	mg/l	12.50
TEMPERATURA	°C	24.80

#### PUNTO MUESTREO 120 ESCUELA AMBIENTAL SALIDA

PARAMETRO	UNIDAD	RESULTADO
DEMANDA BIOLÓGICA DE OXÍGENO	mg/l	18.00
DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO	mg/l	45.00
ORTO-FOSFATOS	mg/l	9.00
TEMPERATURA	°C	24.80



## RESULTADOS SERVICIOS LABORATORIO

Pag. 2 de 3

CORPORACION DEL ACUEDUCTO Y ALCANTARILLADO DE SANTIAGO  
(CORAASAN)

Av. Circunvalación #123, Nibaje, Santiago, Rep. Dom.

Telf.: 809-582-4343

[www.coraasan.gov.do](http://www.coraasan.gov.do)

RNC-402006238

Solicitud No.	1	291918
Fecha Recepción de Muestra	2018/05/24	
Fecha Entrega de Resultado	2018/05/29	

GRATIS

### DATOS CLIENTE

Número del Cliente : 4644

Nombre...: PLAN YAQUE

Teléfono.: - - 0

Celular....: 829-343-7440

Dirección: LA VEGA 1

LA VEGA, LA VEGA

Contacto Empresa : ENMANUEL

Email: enmanuelvs@hotmail.es

### TIPO DE SOLICITUD

Tipo de análisis : AGUA RESIDUALES

Físicoquímico  Microbiológico

Procedencia Muestra: La Empresa

Muestra tomada por : CLIENTE

En atención a su solicitud, me permito remitirle los resultados correspondientes a los servicios de su interés, los cuales, están sujetos al reglamento y a las disposiciones legales que rigen estos servicios públicos.

#### PUNTO MUESTREO 121 EL ARCA ENTRADA

PARAMETRO	UNIDAD	RESULTADO
DEMANDA BIOLÓGICA DE OXIGENO	mg/l	73.00
DEMANDA QUÍMICA DE OXIGENO	mg/l	155.00
ORTO-FOSFATOS	mg/l	5.24
TEMPERATURA	°C	24.80

#### PUNTO MUESTREO 122 EL ARCA SALIDA

PARAMETRO	UNIDAD	RESULTADO
DEMANDA BIOLÓGICA DE OXIGENO	mg/l	48.00
DEMANDA QUÍMICA DE OXIGENO	mg/l	112.00
ORTO-FOSFATOS	mg/l	6.76
TEMPERATURA	°C	24.80



# RESULTADOS SERVICIOS LABORATORIO

Pag. 3 de 3

CORPORACION DEL ACUEDUCTO Y ALCANTARILLADO DE SANTIAGO  
(CORAASAN)

Av. Circunvalación #123, Nibaje, Santiago, Rep. Dom.  
Telf.: 809-582-4343  
[www.coraasan.gov.do](http://www.coraasan.gov.do)  
RNC-402006238

Solicitud No.	1 291918
Fecha Recepción de Muestra	2018/05/24
Fecha Entrega de Resultado	2018/05/29

GRATIS

## DATOS CLIENTE

Número del Cliente : 4644  
 Nombre...: PLAN YAQUE  
 Teléfono.: - - 0  
 Celular.....: 829-343-7440  
 Dirección: LA VEGA 1  
 LA VEGA, LA VEGA  
 Contacto Empresa : ENMANUEL  
 Email: enmanuelvs@hotmail.es

## TIPO DE SOLICITUD

Tipo de análisis : AGUA RESIDUALES

Físicoquímico  Microbiológico

Procedencia Muestra: La Empresa

Muestra tomada por : CLIENTE

En atención a su solicitud, me permito remitirle los resultados correspondientes a los servicios de su interés, los cuales, están sujetos al reglamento y a las disposiciones legales que rigen estos servicios públicos.

### PUNTO MUESTREO 123 BUENOS AIRES ENTRADA

PARAMETRO	UNIDAD	RESULTADO
DEMANDA BIOLOGICA DE OXIGENO	mg/l	139.00
DEMANDA QUIMICA DE OXIGENO	mg/l	403.00
ORTO-FOSFATOS	mg/l	16.00
TEMPERATURA	°C	24.80

### PUNTO MUESTREO 124 BUENOS AIRES SALIDA

PARAMETRO	UNIDAD	RESULTADO
DEMANDA BIOLOGICA DE OXIGENO	mg/l	40.00
DEMANDA QUIMICA DE OXIGENO	mg/l	155.00
ORTO-FOSFATOS	mg/l	11.90
TEMPERATURA	°C	24.80

Ver los parámetros de referencia en la Norma de Calidad de Agua y Control de Descargas del Ministerio de Medio Ambiente.


Aprobado Por



# RESULTADOS SERVICIOS LABORATORIO Pag. 1 de 2

CORPORACION DEL ACUEDUCTO Y ALCANTARILLADO DE SANTIAGO  
(CORAASAN)

Av. Circunvalación #123, Nibaje, Santiago, Rep. Dom.  
Telf.: 809-582-4343  
[www.coraasan.gov.do](http://www.coraasan.gov.do)  
RNC-402006238

Solicitud No.	1 292877
Fecha Recepción de Muestra	2018/06/08
Fecha Entrega de Resultado	2018/06/13

GRATIS

## DATOS CLIENTE

Número del Cliente : 4644  
Nombre...: PLAN YAQUE  
Teléfono.: - - 0  
Celular....: 829-343-7440  
Dirección: LA VEGA 1  
LA VEGA, LA VEGA  
Contacto Empresa : ENMANUEL VARGAS  
Email: enmanuelvs@hotmail.es

## TIPO DE SOLICITUD

Tipo de análisis : AGUA RESIDUALES

Físicoquímico  Microbiológico

Procedencia Muestra: La Empresa

Muestra tomada por : CLIENTE

En atención a su solicitud, me permito remitirle los resultados correspondientes a los servicios de su interés, los cuales, están sujetos al reglamento y a las disposiciones legales que rigen estos servicios públicos.

### PUNTO MUESTREO 144 EL DORADO ENTRADA

PARAMETRO	UNIDAD	RESULTADO
DEMANDA BIOLOGICA DE OXIGENO	mg/l	386.00
DEMANDA QUIMICA DE OXIGENO	mg/l	789.00
ORTO-FOSFATOS	mg/l	24.00

### PUNTO MUESTREO 145 EL DORADO SALIDA

PARAMETRO	UNIDAD	RESULTADO
DEMANDA BIOLOGICA DE OXIGENO	mg/l	26.00
DEMANDA QUIMICA DE OXIGENO	mg/l	79.00
ORTO-FOSFATOS	mg/l	8.80

### PUNTO MUESTREO 152 ESCUELA AMB.RECINTO II SALIDA

PARAMETRO	UNIDAD	RESULTADO
DEMANDA BIOLOGICA DE OXIGENO	mg/l	26.00
DEMANDA QUIMICA DE OXIGENO	mg/l	56.00
ORTO-FOSFATOS	mg/l	3.30



# RESULTADOS SERVICIOS LABORATORIO

Pag. 2 de 2

CORPORACION DEL ACUEDUCTO Y ALCANTARILLADO DE SANTIAGO  
(CORAASAN)

Av. Circunvalación #123, Nibaje, Santiago, Rep. Dom.

Telf.: 809-582-4343

[www.coraasan.gov.do](http://www.coraasan.gov.do)

RNC-402006238

GRATIS

Solicitud No.	1	292877
Fecha Recepción de Muestra	2018/06/08	
Fecha Entrega de Resultado	2018/06/13	

## DATOS CLIENTE

Número del Cliente : 4644

Nombre...: PLAN YAQUE

Teléfono.: - - 0

Celular...: 829-343-7440

Dirección: LA VEGA 1

LA VEGA, LA VEGA

Contacto Empresa : ENMANUEL VARGAS

Email: enmanuelvs@hotmail.es

## TIPO DE SOLICITUD

Tipo de análisis : AGUA RESIDUALES

Físicoquímico  Microbiológico

Procedencia Muestra: La Empresa

Muestra tomada por : CLIENTE

En atención a su solicitud, me permito remitirle los resultados correspondientes a los servicios de su interés, los cuales, están sujetos al reglamento y a las disposiciones legales que rigen estos servicios públicos.

PUNTO MUESTREO 153 ESCUELA AMB. RECINTO II ENT.

PARAMETRO	UNIDAD	RESULTADO
DEMANDA BIOLOGICA DE OXIGENO	mg/l	56.00
DEMANDA QUIIMICA DE OXIGENO	mg/l	128.00
ORTO-FOSFATOS	mg/l	7.40

Ver los parámetros de referencia en la Norma de Calidad de Agua y Control de Descargas del Ministerio de Medio Ambiente.

Aprobado Por



## RESULTADOS SERVICIOS LABORATORIO Pag. 1 de 3

CORPORACION DEL ACUEDUCTO Y ALCANTARILLADO DE SANTIAGO  
(CORAASAN)

Av. Circunvalación #123, Nibaje, Santiago, Rep. Dom.

Telf.: 809-582-4343

[www.coraasan.gov.do](http://www.coraasan.gov.do)

RNC-402006238

Solicitud No.	1 287685
Fecha Recepción de Muestra	2018/03/21
Fecha Entrega de Resultado	2018/03/26

**GRATIS**

### DATOS CLIENTE

Número del Cliente : 4644

Nombre...: PLAN YAQUE

Teléfono.: - - 0

Celular....: 829-343-7440

Dirección: LA VEGA 1

LA VEGA, LA VEGA

Contacto Empresa : ENMANUEL

Email: enmanuelvs@hotmail.es

### TIPO DE SOLICITUD

Tipo de análisis : **AGUA RESIDUALES**

Físicoquímico

Microbiológico

Procedencia Muestra: La Empresa

Muestra tomada por : **CLIENTE**

En atención a su solicitud, me permito remitirle los resultados correspondientes a los servicios de su interés, los cuales, están sujetos al reglamento y a las disposiciones legales que rigen estos servicios públicos.

#### PUNTO MUESTREO 121 EL ARCA ENTRADA

PARAMETRO	UNIDAD	RESULTADO
DEMANDA BIOLOGICA DE OXIGENO	mg/l	40.00
DEMANDA QUIMICA DE OXIGENO	mg/l	140.00
COLIFORMES TOTALES	nmp/100 ml	930,000.00
COLIFORMES FECALES	nmp/100 ml	930,000.00
ORTO-FOSFATOS	mg/l	8.30

#### PUNTO MUESTREO 122 EL ARCA SALIDA

PARAMETRO	UNIDAD	RESULTADO
DEMANDA BIOLOGICA DE OXIGENO	mg/l	30.00
DEMANDA QUIMICA DE OXIGENO	mg/l	58.00
COLIFORMES TOTALES	nmp/100 ml	930,000.00
COLIFORMES FECALES	nmp/100 ml	430,000.00
ORTO-FOSFATOS	mg/l	9.20



## RESULTADOS SERVICIOS LABORATORIO

Pag. 2 de 3

CORPORACION DEL ACUEDUCTO Y ALCANTARILLADO DE SANTIAGO  
(CORAASAN)

Av. Circunvalación #123, Nibaje, Santiago, Rep. Dom.  
Telf.: 809-582-4343  
[www.coraasan.gov.do](http://www.coraasan.gov.do)  
RNC-402006238

Solicitud No.	1	287685
Fecha Recepción de Muestra	2018/03/21	
Fecha Entrega de Resultado	2018/03/26	

GRATIS

### DATOS CLIENTE

Número del Cliente : 4644  
Nombre...: PLAN YAQUE  
Teléfono.: - - 0  
Celular....: 829-343-7440  
Dirección: LA VEGA 1  
LA VEGA, LA VEGA  
Contacto Empresa : ENMANUEL  
Email: enmanuelvs@hotmail.es

### TIPO DE SOLICITUD

Tipo de análisis : AGUA RESIDUALES

Fisicoquímico  SI      Microbiológico  SI

Procedencia Muestra: La Empresa

Muestra tomada por : CLIENTE

En atención a su solicitud, me permito remitirle los resultados correspondientes a los servicios de su interés, los cuales, están sujetos al reglamento y a las disposiciones legales que rigen estos servicios públicos.

#### PUNTO MUESTREO 123 BUENOS AIRES ENTRADA

PARAMETRO	UNIDAD	RESULTADO
DEMANDA BIOLOGICA DE OXIGENO	mg/l	90.00
DEMANDA QUIMICA DE OXIGENO	mg/l	320.00
COLIFORMES TOTALES	nmp/100 ml	75,000,000.00
COLIFORMES FECALES	nmp/100 ml	75,000,000.00
ORTO-FOSFATOS	mg/l	24.20

#### PUNTO MUESTREO 124 BUENOS AIRES SALIDA

PARAMETRO	UNIDAD	RESULTADO
DEMANDA BIOLOGICA DE OXIGENO	mg/l	30.00
DEMANDA QUIMICA DE OXIGENO	mg/l	161.00
COLIFORMES TOTALES	nmp/100 ml	9,300,000.00
COLIFORMES FECALES	nmp/100 ml	9,300,000.00
ORTO-FOSFATOS	mg/l	25.90



## RESULTADOS SERVICIOS LABORATORIO

Pag. 3 de 3

CORPORACION DEL ACUEDUCTO Y ALCANTARILLADO DE SANTIAGO  
(CORAASAN)

Av. Circunvalación #123, Nibaje, Santiago, Rep. Dom.  
Telf.: 809-582-4343  
[www.coraasan.gov.do](http://www.coraasan.gov.do)  
RNC-402006238

Solicitud No.	1	287685
Fecha Recepción de Muestra	2018/03/21	
Fecha Entrega de Resultado	2018/03/26	

GRATIS

### DATOS CLIENTE

Número del Cliente : 4644  
 Nombre...: PLAN YAQUE  
 Teléfono.: - - 0  
 Celular...: 829-343-7440  
 Dirección: LA VEGA 1  
 LA VEGA, LA VEGA  
 Contacto Empresa : ENMANUEL  
 Email: enmanuelvs@hotmail.es

### TIPO DE SOLICITUD

Tipo de análisis : AGUA RESIDUALES

Fisicoquímico  Microbiológico

Procedencia Muestra: La Empresa

Muestra tomada por : CLIENTE

En atención a su solicitud, me permito remitirle los resultados correspondientes a los servicios de su interés, los cuales, están sujetos al reglamento y a las disposiciones legales que rigen estos servicios públicos.

#### PUNTO MUESTREO 140 LA CIGUA

PARAMETRO	UNIDAD	RESULTADO
DEMANDA BIOLÓGICA DE OXÍGENO	mg/l	0.60
DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO	mg/l	16.00
COLIFORMES TOTALES	nmp/100 ml	23,000.00
COLIFORMES FECALES	nmp/100 ml	23,000.00
ORTO-FOSFATOS	mg/l	0.30

#### PUNTO MUESTREO 141 ARROYO GRANDE

PARAMETRO	UNIDAD	RESULTADO
DEMANDA BIOLÓGICA DE OXÍGENO	mg/l	0.70
DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO	mg/l	10.00
COLIFORMES TOTALES	nmp/100 ml	2,400.00
COLIFORMES FECALES	nmp/100 ml	930.00
ORTO-FOSFATOS	mg/l	0.20

Ver los parámetros de referencia en la Norma de Calidad de Agua y Control de Descargas del Ministerio de Medio Ambiente.


Aprobado Por



# RESULTADOS SERVICIOS LABORATORIO

Pag. 1 de 2

CORPORACION DEL ACUEDUCTO Y ALCANTARILLADO DE SANTIAGO  
(CORAASAN)

Av. Circunvalación #123, Nibaje, Santiago, Rep. Dom.  
Telf.: 809-582-4343  
[www.coraasan.gov.do](http://www.coraasan.gov.do)  
RNC-402006238

Solicitud No.	1 285767
Fecha Recepción de Muestra	2018/02/19
Fecha Entrega de Resultado	2018/02/22

GRATIS

## DATOS CLIENTE

Número del Cliente : 4644  
Nombre...: PLAN YAQUE  
Teléfono.: - - 0  
Celular....: 829-343-7440  
Dirección: LA VEGA 1  
LA VEGA, LA VEGA  
Contacto Empresa : ENMANUEL VARGAS  
Email: enmanuelvs@hotmail.es

## TIPO DE SOLICITUD

Tipo de análisis : AGUA RESIDUALES

Físicoquímico  Microbiológico

Procedencia Muestra: La Empresa

Muestra tomada por : CLIENTE

En atención a su solicitud, me permito remitirle los resultados correspondientes a los servicios de su interés, los cuales, están sujetos al reglamento y a las disposiciones legales que rigen estos servicios públicos.

### PUNTO MUESTREO 119 ESCUELA AMBIENTAL ENTRADA

PARAMETRO	UNIDAD	RESULTADO
COLIFORMES TOTALES	nmp/100 ml	9,300,000.00
COLIFORMES FECALES	nmp/100 ml	9,300,000.00
ORTO-FOSFATOS	mg/l	3.00

### PUNTO MUESTREO 120 ESCUELA AMBIENTAL SALIDA

PARAMETRO	UNIDAD	RESULTADO
COLIFORMES TOTALES	nmp/100 ml	2,400,000.00
COLIFORMES FECALES	nmp/100 ml	230,000.00
ORTO-FOSFATOS	mg/l	4.90

### PUNTO MUESTREO 121 EL ARCA ENTRADA

PARAMETRO	UNIDAD	RESULTADO
COLIFORMES TOTALES	nmp/100 ml	4,300,000.00
COLIFORMES FECALES	nmp/100 ml	4,300,000.00
ORTO-FOSFATOS	mg/l	13.50



# RESULTADOS SERVICIOS LABORATORIO

Pag. 2 de 2

CORPORACION DEL ACUEDUCTO Y ALCANTARILLADO DE SANTIAGO  
(CORAASAN)

Av. Circunvalación #123, Nibaje, Santiago, Rep. Dom.

Tel.: 809-582-4343

[www.coraasan.gov.do](http://www.coraasan.gov.do)

RNC-402006238

Solicitud No.	1 285767
Fecha Recepción de Muestra	2018/02/19
Fecha Entrega de Resultado	2018/02/22

GRATIS

## DATOS CLIENTE

Número del Cliente : 4644  
 Nombre...: PLAN YAQUE  
 Teléfono.: - - 0  
 Celular.....: 829-343-7440  
 Dirección: LA VEGA 1  
 LA VEGA, LA VEGA  
 Contacto Empresa : ENMANUEL VARGAS  
 Email: enmanuelvs@hotmail.es

## TIPO DE SOLICITUD

Tipo de análisis : AGUA RESIDUALES

Físicoquímico

Microbiológico

Procedencia Muestra: La Empresa

Muestra tomada por : CLIENTE

En atención a su solicitud, me permito remitirle los resultados correspondientes a los servicios de su interés, los cuales, están sujetos al reglamento y a las disposiciones legales que rigen estos servicios públicos.

### PUNTO MUESTREO 122 EL ARCA SALIDA

PARAMETRO	UNIDAD	RESULTADO
COLIFORMES TOTALES	nmp/100 ml	930,000.00
COLIFORMES FECALES	nmp/100 ml	930,000.00
ORTO-FOSFATOS	mg/l	8.60

### PUNTO MUESTREO 123 BUENOS AIRES ENTRADA

PARAMETRO	UNIDAD	RESULTADO
COLIFORMES TOTALES	nmp/100 ml	4,300,000.00
COLIFORMES FECALES	nmp/100 ml	4,300,000.00
ORTO-FOSFATOS	mg/l	19.60

### PUNTO MUESTREO 124 BUENOS AIRES SALIDA

PARAMETRO	UNIDAD	RESULTADO
COLIFORMES TOTALES	nmp/100 ml	2,400,000.00
COLIFORMES FECALES	nmp/100 ml	2,400,000.00
ORTO-FOSFATOS	mg/l	11.50

Ver los parámetros de referencia en la Norma de Calidad de Agua y Control de Descargas del Ministerio de Medio Ambiente.

Aprobado Por



# RESULTADOS SERVICIOS LABORATORIO

Pag. 1 de 4

CORPORACION DEL ACUEDUCTO Y ALCANTARILLADO DE SANTIAGO  
(CORAASAN)

Av. Circunvalación #123, Nibaje, Santiago, Rep. Dom.

Telf.: 809-582-4343

[www.coraasan.gov.do](http://www.coraasan.gov.do)

RNC-402006238

Solicitud No.	1 288943
Fecha Recepción de Muestra	2018/04/11
Fecha Entrega de Resultado	2018/04/16

GRATIS

## DATOS CLIENTE

Número del Cliente : 4644

Nombre...: PLAN YAQUE

Teléfono.: - - 0

Celular...: 829-343-7440

Dirección: LA VEGA 1

LA VEGA, LA VEGA

Contacto Empresa : ENMANUEL

Email: enmanuelvs@hotmail.es

## TIPO DE SOLICITUD

Tipo de análisis : AGUA RESIDUALES

Físicoquímico

Microbiológico

Procedencia Muestra: La Empresa

Muestra tomada por : CLIENTE

En atención a su solicitud, me permito remitirle los resultados correspondientes a los servicios de su interés, los cuales, están sujetos al reglamento y a las disposiciones legales que rigen estos servicios públicos.

### PUNTO MUESTREO 119 ESCUELA AMBIENTAL ENTRADA

PARAMETRO	UNIDAD	RESULTADO
DEMANDA BIOLÓGICA DE OXÍGENO	mg/l	30.00
COLIFORMES FECALES	nmp/100 ml	9,300,000.00
ORTO-FOSFATOS	mg/l	4.10

### PUNTO MUESTREO 120 ESCUELA AMBIENTAL SALIDA

PARAMETRO	UNIDAD	RESULTADO
DEMANDA BIOLÓGICA DE OXÍGENO	mg/l	8.00
COLIFORMES FECALES	nmp/100 ml	93,000.00
ORTO-FOSFATOS	mg/l	5.70

### PUNTO MUESTREO 121 EL ARCA ENTRADA

PARAMETRO	UNIDAD	RESULTADO
DEMANDA BIOLÓGICA DE OXÍGENO	mg/l	38.00
COLIFORMES FECALES	nmp/100 ml	7,500,000.00
ORTO-FOSFATOS	mg/l	3.50



## RESULTADOS SERVICIOS LABORATORIO

Pag. 2 de 4

CORPORACION DEL ACUEDUCTO Y ALCANTARILLADO DE SANTIAGO  
(CORAASAN)

Av. Circunvalación #123, Nibaje, Santiago, Rep. Dom.  
Telf.: 809-582-4343  
[www.coraasan.gov.do](http://www.coraasan.gov.do)  
RNC-402006238

Solicitud No.	1 288943
Fecha Recepción de Muestra	2018/04/11
Fecha Entrega de Resultado	2018/04/16

GRATIS

### DATOS CLIENTE

Número del Cliente : 4644  
 Nombre...: PLAN YAQUE  
 Teléfono.: - - 0  
 Celular....: 829-343-7440  
 Dirección: LA VEGA 1  
 LA VEGA, LA VEGA  
 Contacto Empresa : ENMANUEL  
 Email: enmanuelvs@hotmail.es

### TIPO DE SOLICITUD

Tipo de análisis : AGUA RESIDUALES

Físicoquímico  Microbiológico

Procedencia Muestra: La Empresa

Muestra tomada por : CLIENTE

En atención a su solicitud, me permito remitirle los resultados correspondientes a los servicios de su interés, los cuales, están sujetos al reglamento y a las disposiciones legales que rigen estos servicios públicos.

#### PUNTO MUESTREO 122 EL ARCA SALIDA

PARAMETRO	UNIDAD	RESULTADO
DEMANDA BIOLOGICA DE OXIGENO	mg/l	22.00
COLIFORMES FECALES	nmp/100 ml	930,000.00
ORTO-FOSFATOS	mg/l	3.20

#### PUNTO MUESTREO 123 BUENOS AIRES ENTRADA

PARAMETRO	UNIDAD	RESULTADO
DEMANDA BIOLOGICA DE OXIGENO	mg/l	76.00
COLIFORMES FECALES	nmp/100 ml	15,000,000.00
ORTO-FOSFATOS	mg/l	9.00

#### PUNTO MUESTREO 124 BUENOS AIRES SALIDA

PARAMETRO	UNIDAD	RESULTADO
DEMANDA BIOLOGICA DE OXIGENO	mg/l	4.00
COLIFORMES FECALES	nmp/100 ml	9,300,000.00
ORTO-FOSFATOS	mg/l	10.70



# RESULTADOS SERVICIOS LABORATORIO Pag. 3 de 4

CORPORACION DEL ACUEDUCTO Y ALCANTARILLADO DE SANTIAGO  
(CORAASAN)

Av. Circunvalación #123, Nibaje, Santiago, Rep. Dom.

Telf.: 809-582-4343

[www.coraasan.gov.do](http://www.coraasan.gov.do)

RNC-402006238

Solicitud No.	1 288943
Fecha Recepción de Muestra	2018/04/11
Fecha Entrega de Resultado	2018/04/16

**GRATIS**

## DATOS CLIENTE

Número del Cliente : 4644

Nombre...: PLAN YAQUE

Teléfono.: - - 0

Celular....: 829-343-7440

Dirección: LA VEGA 1

LA VEGA, LA VEGA

Contacto Empresa : ENMANUEL

Email: enmanuelvs@hotmail.es

## TIPO DE SOLICITUD

Tipo de análisis : **AGUA RESIDUALES**

Fisicoquímico  Microbiológico

Procedencia Muestra: La Empresa

Muestra tomada por : **CLIENTE**

En atención a su solicitud, me permito remitirle los resultados correspondientes a los servicios de su interés, los cuales, están sujetos al reglamento y a las disposiciones legales que rigen estos servicios públicos.

### PUNTO MUESTREO 142 VILLA POPPY ENTRADA

PARAMETRO	UNIDAD	RESULTADO
DEMANDA BIOLÓGICA DE OXÍGENO	mg/l	22.00
COLIFORMES FECALES	nmp/100 ml	2,300,000.00
ORTO-FOSFATOS	mg/l	3.50

### PUNTO MUESTREO 143 VILLA POPPY SALIDA

PARAMETRO	UNIDAD	RESULTADO
DEMANDA BIOLÓGICA DE OXÍGENO	mg/l	7.00
COLIFORMES FECALES	nmp/100 ml	230,000.00
ORTO-FOSFATOS	mg/l	0.40

### PUNTO MUESTREO 144 EL DORADO ENTRADA

PARAMETRO	UNIDAD	RESULTADO
DEMANDA BIOLÓGICA DE OXÍGENO	mg/l	115.00
COLIFORMES FECALES	nmp/100 ml	43,000,000.00
ORTO-FOSFATOS	mg/l	6.40



# RESULTADOS SERVICIOS LABORATORIO

Pag. 4 de 4

CORPORACION DEL ACUEDUCTO Y ALCANTARILLADO DE SANTIAGO (CORAASAN)

Av. Circunvalación #123, Nibajo, Santiago, Rep. Dom.  
Telf.: 809-582-4343  
[www.coraasan.gov.do](http://www.coraasan.gov.do)  
RNC-402006238

Solicitud No.	1 288943
Fecha Recepción de Muestra	2018/04/11
Fecha Entrega de Resultado	2018/04/16

GRATIS

## DATOS CLIENTE

Número del Cliente : 4644  
 Nombre...: PLAN YAQUE  
 Teléfono.: - - 0  
 Celular....: 829-343-7440  
 Dirección: LA VEGA 1  
 LA VEGA, LA VEGA  
 Contacto Empresa : ENMANUEL  
 Email: enmanuelvs@hotmail.es

## TIPO DE SOLICITUD

Tipo de análisis : AGUA RESIDUALES

Físicoquímico  Microbiológico

Procedencia Muestra: La Empresa

Muestra tomada por : CLIENTE

En atención a su solicitud, me permito remitirle los resultados correspondientes a los servicios de su interés, los cuales, están sujetos al reglamento y a las disposiciones legales que rigen estos servicios públicos.

PUNTO MUESTREO 145 EL DORADO SALIDA

PARAMETRO	UNIDAD	RESULTADO
DEMANDA BIOLÓGICA DE OXIGENO	mg/l	8.00
COLIFORMES FECALES	nmp/100 ml	460,000.00
ORTO-FOSFATOS	mg/l	2.70

Ver los parámetros de referencia en la Norma de Calidad de Agua y Control de Descargas del Ministerio de Medio Ambiente.



Aprobado Por



## GERENCIA DE AGUAS RESIDUALES

CONTROL CALIDAD AGUAS RESIDUALES

REPORTE DE LABORATORIO

Solicitado por: PLAN YAQUE

Fecha recepción de muestras: 10/10/2017

Fecha de reporte: 16/10/2017

Puntos de monitoreo	DQO mg/l	DBO-5 mg/l	O- fosfatos mg/l	Coliformes Totales NMP/100ML	Coliformes Fecales NMP/100ML	Normas descarga	
						DBO5	DQO
Entrada La Trinchera	156	60	4.7	9,300,000	9,300,000	45	150
La Trinchera salida	12	8	4.3	140,000	140,000		
Escuela Ambiental Cámara séptica	419	100	26.0	9,300,000	9,300,000		
Escuela Ambiental registro de salida	47	7	17.6	1,500,000	930,000		
Arca cámara séptica	156	43	1.0	93,000,000	21,000,000		
Arca l registro de salida	39	23	8.5	4,600,000	4,600,000		
Entrada Buenos Aires	124	28	3.0	43,000,000	9,100,000		
Salida Buenos Aires	15	7	1.2	2,400,000	430,000		

\*\*Las muestras fueron suministradas por Enmanuel Vargas Sánchez.

CCAR

**GERENCIA DE AGUAS RESIDUALES**

CONTROL CALIDAD AGUAS RESIDUALES

REPORTE DE LABORATORIO

Solicitado por: PLAN YAQUE

Fecha recepción de muestras: 10/10/2017

Fecha de reporte: 16/10/2017

Puntos de monitoreo	DQO mg/l	DBO-5 mg/l	O- fosfatos mg/l	Coliformes Totales NMP/100ML	Coliformes Fecales NMP/100ML	Normas descarga	
						DBO5	DQO
Entrada La Trinchera	156	60	4.7	9,300,000	9,300,000	45	150
La Trinchera salida	12	8	4.3	140,000	140,000		
Escuela Ambiental Cámara séptica	419	100	26.0	9,300,000	9,300,000		
Escuela Ambiental registro de salida	47	7	17.6	1,500,000	930,000		
Arca cámara séptica	156	43	1.0	93,000,000	21,000,000		
Arca l registro de salida	39	23	8.5	4,600,000	4,600,000		
Entrada Buenos Aires	124	28	3.0	43,000,000	9,100,000		
Salida Buenos Aires	15	7	1.2	2,400,000	430,000		

\*\*Las muestras fueron suministradas por Emmanuel Vargas Sánchez.

CCAR

**GERENCIA DE AGUAS RESIDUALES**

CONTROL CALIDAD AGUAS RESIDUALES

REPORTE DE LABORATORIO

Solicitado por: PLAN YAQUE

Fecha recepción de muestras: 05/9/17

Fecha de reporte: 10/10/2017

Puntos de monitoreo	DQO mg/l	DBO-5 mg/l	Coliformes Totales NMP/100ML	Coliformes Fecales NMP/100ML	Normas descarga	
					DBO5	DQO
Entrada La Trinchera	179	52	23,000,000	23,000,000	45	150
La Trinchera salida	59	14	930,000	930,000		
Escuela Ambiental Cámara séptica	162	43	7,500,000	7,500,000		
Escuela Ambiental registro de salida	41	13	2,400	930		
Arca cámara séptica	237	100	23,000,000	23,000,000		
Arca l registro de salida	65	22	1,400,000	1,400,000		
Entrada Buenos Aires	474	108	7,300,000	7,300,000		
Salida Buenos Aires	74	16	91,000	91,000		

\*\*Las muestras fueron suministradas por Emmanuel Vargas Sánchez.

CCAR



**GERENCIA DE AGUAS RESIDUALES**  
CONTROL CALIDAD AGUAS RESIDUALES  
REPORTE DE LABORATORIO

Solicitado por: PLAN YAQUE

Fecha recepción de muestras: 01/8/17

Fecha de reporte: 07/08/2017

Puntos de monitoreo	DQO mg/l	DBO-5 mg/l	Coliformes Totales NMP/100ML	Coliformes Fecales NMP/100ML	Normas descarga	
					DBO5	DQO
Entrada La Trinchera	220	67	93,000,000	43,000,000	45	150
La Trinchera salida	63	15	1,500,000	1,500,000		
Escuela Ambiental Cámara séptica	247	37	360,000	360,000		
Escuela Ambiental registro de salida	30	18	2,300	2,300		
Arca cámara séptica	206	70	7,500,000	7,500,000		
Arca I registro de salida	57	18	2,400,000	930,000		
Entrada Buenos Aires	411	120	24,000,000	24,000,000		
Salida Buenos Aires	91	21	24,000	24,000		

\*\*Las muestras fueron suministradas por Emmanuel Vargas Sánchez.

CCAR



**GERENCIA DE AGUAS RESIDUALES**  
CONTROL CALIDAD AGUAS RESIDUALES  
REPORTE DE LABORATORIO

Solicitado por: PLAN YAQUE

Fecha recepción de muestras: 25/04/2017

Fecha de reporte: 03/05/2017

Puntos de monitoreo	DQO mg/l	DBO-5 mg/l	Coliformes Totales NMP/100ML	Coliformes Fecales NMP/100ML	Normas descarga	
					DBO5	DQO
La Trinchera cámara séptica	22	5	6,200,000	3,100,000	45	150
La Trinchera registro de salida	5	4	230,000	230,000		
Escuela Ambiental Cámara séptica	137	24	9,100,000	< 3.0		
Escuela Ambiental registro de salida	60	22	1,200,000	150,000		
Arca cámara séptica	203	61	3,000,000	< 3.0		
Arca I registro de salida	62	21	2,400,000	2,400,000		
Entrada Buenos Aires	373	88	3,600,000	< 3.0		
Salida Buenos Aires	59	20	36,000	< 3.0		

\*\*Las muestras fueron suministradas por Emmanuel Vargas Sánchez.

\*\*\*Posible inhibición del crecimiento de coliformes fecales por alteración del pH.

CCAR

## Anexo L.- Hoja de recolección de data



### Equipo pro-limpieza ríos de Jarabacoa Hoja de Data del Equipo Técnico

# SITIO: \_\_\_\_\_

UBICACION: \_\_\_\_\_

FECHA: \_\_\_\_\_ TIEMPO DE LLEGADA AL SITIO DE MUESTREO: \_\_\_\_\_

CLIMA: \_\_\_\_\_

OBSERVADORES: \_\_\_\_\_

BASURA PRESENTE?  MUCHA  MINIMA  NINGUNA

EVENTO DE CAMPO DUPLICADO?  SI (Complete 2<sup>da</sup> Página)  NO

**MEDICIONES DE AGUA**

TEMPERATURA DEL AGUA (al decimal más cercano en grados C): \_\_\_\_\_

TEMPERATURA DEL AMBIENTE (al decimal más cercano en grados C): \_\_\_\_\_

PROFUNDIDAD (a los 5cm más cercanos): \_\_\_\_\_

PROFUNDIDAD SECCHI (a los 5cm más cercanos): \_\_\_\_\_

**MEDICION Y LECTURA DEL KIT DE MUESTREO**

CONDUCTIVIDAD ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ): \_\_\_\_\_

OXIGENO DISUELTO (mg/L): \_\_\_\_\_ (%) : \_\_\_\_\_

TURBIDEZ (NTU): \_\_\_\_\_ pH: \_\_\_\_\_

NITRATO/NITROGENO (ppm): \_\_\_\_\_ AMONIO (ppm): \_\_\_\_\_

SÓLIDOS TOTALES DISUELTOS (mg/L): \_\_\_\_\_

DBOS (mg/L) \_\_\_\_\_ FOSFORO TOTAL (mg/L) \_\_\_\_\_

E-COLI (UCF) \_\_\_\_\_

CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA ESPECIFICA ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ): \_\_\_\_\_

**COMENTARIOS DE CAMPO/OBSERVACIONES:** \_\_\_\_\_

**NOTAS SOBRE LOS EQUIPOS** \_\_\_\_\_

Hoja de Data del Equipo Técnico Pro-limpieza de Jarabacoa, Plan Yaque - Revisado 1/2014

Nota: Plan Yaque, 2016

Anexo M. Recolección de data y muestras de laboratorio



*Nota:* elaboración propia

Anexo N. Planta Tratamiento Aguas Residuales (SFS) El Dorado, Jarabcoa, R.D. Año, 2018.



*Nota:* elaboración propia.