**Sistemas Comunitarios Sostenibles**

# MANEJO DE LAS AGUAS RESIDUALES CON SISTEMAS ECOLÓGICOS SOSTENIBLES Y SU ESTUDIO PARA LA IMPLEMENTACIÓN EN LA REPÚBLICA DOMINICANA, CASO: MUNICIPIO DE JARABACOA

**José Santiago Vásquez Guerra**

Universidad Católica del Cibao-UCATECI
Av. Universitaria, Esq. Av. Pedro A. Rivera, Apartado No. 401, La Vega, República Dominicana.
Tel.: 1-809-573-1020 Ext. 2329 y 2224 | Fax: 1-809-573-6194
e-mail: jvasquez@ucateci.edu.do

**RESUMEN**

En el presente trabajo evaluó siete sistemas ecológicos sostenibles 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 Multimodal, un diseño lógico de investigación, iniciando por el reconocimiento de los sistemas ecológicos sostenibles, 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 cualitativa, se obtuvo información de fuentes primarias y secundarias, mediante entrevistas y encuestas aplicadas a actores clave.

El estudio revela que existe una problemática con respecto al manejo de las aguas residuales, provocando enfermedades de las 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 semi urbana 48.38% y la rural 28.7%. Concluyéndose que este tipo de tecnología es eficiente, constituye una alternativa viable, económica, social y ambientalmente para el manejo de las aguas residuales en la República Dominicana.

**PALABRAS CLAVES:** Sistemas ecológicos sostenibles, Aguas residuales, Evaluación, Plantas de tratamiento, Sistema subsuperficial, Humedales, ingeniería verde, Estudio, Jarabacoa, PTAR.

# MANAGEMENT OF WASTEWATER WITH SUSTAINABLE ECOLOGICAL SYSTEMS AND ITS STUDY FOR THE IMPLEMENTATION IN THE DOMINICAN REPUBLIC, CASE: MUNICIPALITY OF JARABACOA

**ABSTRACT**

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 zone.

A multimodal 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 qualitative research study, information was obtained from primary and secondary sources, through 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 region, 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. Concluding that this type of technology is efficient, it constitutes a viable, economic, social and environmental alternative for the management of wastewater in the Dominican Republic.

**KEY WORDS:** Sustainable ecological systems, Wastewater, Evaluation, Treatment plants, Subsurface system, Wetland, Green engineering, Study, Jarabacoa, WWTP.

## 1. INTRODUCCIÓN

El tratamiento de las aguas residuales es de alta relevancia en el país y es una necesidad que tiene la sociedad para proteger su medio ambiente y garantizar el bienestar humano, pues éstas configuran un peligro potencial para la salud pública, ya que a través de estas se pueden transmitir innumerables enfermedades; lo cual genera grandes impactos a la población y a la economía de los países. De 56 plantas de tratamiento que existen en la República Dominicana, solo 14 funcionan en las 393 ciudades [Mazara, 2014].

A pesar de que alrededor del 65% del agua que se produce en el país nace en la región norte, el municipio de Jarabacoa tiene un precario abastecimiento del preciado líquido, según manifestó el presidente del Consejo de Apoyo a Jarabacoa, José Tejeda. La petición de la construcción de un acueducto, alcantarillado y planta de tratamiento de aguas residuales para la zona, se ha realizado por varias vías al presidente de la República Dominicana, sin embargo, las respuestas no han llegado [Mazara, 2017].

El problema principal en la zona de estudio es el manejo inadecuado de las aguas residuales, las cuales atraviesan la ciudad a través de canales para luego ser vertidas a los ríos, arroyos y cañadas 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: contaminacion ambiental, de los ríos, del subsuelo, suelo, aire, enfermedades 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).

La situación antes descrita, motivó a escribir este artículo para proponer sistemas ecológicos, económicos y sostenibles en el manejo de las aguas residuales. Se utilizó el método de prospectivo, dedutivo-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.

Los resutados expresan que la zona de estudio carece de plantas convencionales de tratamiento de guas residuales (55.17%), el 58.62% de la poblacion piensa de que el gobierno ha cooperado para resolver el problema, el 89.66% de los entervistados opinan que no se le da buen manejo al agua residual. Sobre las plantas de tratamientos con sistemas ecológicos 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. El aspecto ambiental y económico los entrevistados coinciedieron que es bajo para la ingeniería verde, mientras que en la parte social coinciden en que tienen impacto positivo.

Concluyendose 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 ecológicos son más adecuados que los sistemas convencionales y que es factible su aplicación en el país.

## 2. OBJETIVOS

### General

Estudiar los sistemas ecológicos sostenibles implementados 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

Caracterizar los sistemas implementados en Jarabacoa.
Comparar económica, social y ambientalmente los sistemas ecológicos implementados en Jarabacoa frente a los sistemas convencionales en el Cibao Norte-Sur.
Evaluar el nivel de eficiencia de los sistemas ecológicos sotenibles implementados en el Cibao Norte-Sur.
Determinar la situación actual del tratamiento de las aguas residuales en el Cibao Norte-Sur.
Diseñar alternativas de tratamiento de aguas residuales con sistemas ecológicos sotenibles para el Municipio de Jarabacoa y otras áreas.

## 3. METODOLOGÍA

El método utilizado fue prospectivo, deductivo y analítico. El estudio tiene un alcance descriptivo/correlacional. Se utilizaron instrumentos como el protocolo de observación de los sistemas, consultas a expertos, encuestas y entrevistas a gerentes, especialistas y técnicos del área de aguas potable y del alcantarillado sanitario, así como técnicos preparados en los sistemas de ingeniería verde para conocer la realidad de este tipo de tecnología; así como, la zona de estudio. Los instrumentos fueron validados con expertos, pruebas piloto y análisis de fiabilidad.

Para el tamaño de la muestra prevaleció el criterio de inclusión con 6 puntos de observación y 29 gerentes y/o técnicos. Las plantas tratamiento de aguas residuales con sistemas ecológicos sotenibles que fueron estudiadas en Jarabacoa son: Buenos Aires #2, Escuela Ambiental #2, Escuela Ambiental #1, La Trinchera, El Dorado, El Arca y Pollo Cibao, de las cuales se caracterizaron las primeras seis. El tipo de diseño es No experimental y transversal, el tipo de estudio es documental, basado en un caso de estudio que se corresponde con los sistemas de Ingeniería Verde implementados.

**Prueba de hipótesis** (Cruce de variables y prueba de hipótesis Chi-cuadrado)

### Formulación de hipótesis

$H_i$. Los sistemas ecológicos sotenibles constituyen una alternativa viable, económica, social y ambientalmente para el manejo de las aguas residuales en la República Dominicana.

$H_0$. Los sistemas ecológicos sotenibles no constituyen una alternativa viable, económica, social ni ambientalmente para el manejo de las aguas residuales en la República Dominicana.

### Establecer el nivel de significancia (Límite de tolerancia para el error)

$\alpha = 5\% = 0.05$ (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.

La metodología utilizada para la recolección de muestras en los sistemas de tratamientos, 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 y transporte de las muestras al laboratorio.

Para la determinación de la relación agua-medio, se utilizaron dos probetas en el campo, una con agua y la otra con el medio poroso del humedal (grava, grava media, grava fina). Para medir la temperatura del agua, temperatura del ambiente, conductividad (mS/cm), oxígeno disuelto (OD), oxígeno disuelto % (OD), turbidez, amonio (N-NH3), conductividad eléctrica específica (mS/cm) y la presión atmosférica los siguientes equipos fueron utilizados:
Miltiparamétrico: Instrumentos YSI aprobado por la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos para el análisis de aguas residuales bajo: USA Federal Register 40 CFR Part 136. Este equipo proporciona una flexibilidad extrema para la medición de una variedad de combinaciones de oxígeno disuelto, conductividad, conductancia específica, salinidad, resistividad, sólidos totales disueltos (TDS), pH, ORP (Potencial de Reducción-Oxidación), combinación de pH / ORP, amonio (amoníaco), nitrato, cloruro y temperatura . También es un instrumento de laboratorio muy poderoso para DBO, pH y ORP [YSI, 2018].
Turbidímetro: Orion™ AQ4500 Turbidimeter. Aprobado por la EPA de los EE. UU. Para el Informe de Agua Potable. Parte 141, vol. 74, No. 147. Reglas y regulaciones pg. 38351-38356. Fuente dual para cumplir con EPA 180.1 e ISO 7027 [Thermo Fisher Scientific, 2014].

Peachímetro: Orion™ Star A Series Portable Meter Protective Armor. Mide pH, Conductividad iónica y Oxígeno [Thermo Fisher Scientific, 2014].

**Metodología empleada en el laboratorio:**

Determinación de DQO: Método: SM5210B4500 O-C
Determinación $DBO_{5.}$ Técnica: Incubación a 5 días
Determinación de Coliformes (NMP/100 ml): Método de tubos múltiples. Técnica: Filtración de membrana
Determinación de Orto fosfato: Método: SM4500 P, B, D. Técnica: Ácido vanadomolibdofosfórico.

Las variables estudiadas fueron: Situación actual de las aguas residuales el en Cibao Norte-Sur, Instituciones encargadas de manejo de aguas residuales en las provincias, proyectos implementados con sistemas ecológicos sotenibles (ingenieria verde), caracterización de los sistemas ecológicos y convencionales, funcionabilidad de los sistemas, factibilidad de implementación, diferencia de funcionamiento según el clima, costo económico, impacto ambiental, impacto social.

Se realizó un análisis de estadística descriptiva, distribuciones de frecuencias, promedios, medidas de tendencias central, medidas de variabilidad, medidas de posición, medidas de forma, medidas de tendencia central, diagrama de cajas y bigote, valores atípicos, tabla de frecuencia. Se utilizó el software SPSS Statistics y Chi Cuadrado para cruces de variables. Se obtuvo un record de temperatura, tanto del agua como del ambiente en la oficina del Instituto Nacional de Recursos Hidraúlicos (INDRHI). Más, se tomaron muestras in situs (26.5 ºC y 25.1 ºC, respectivamente). Para la determinación de la eficiencia de las plantas de tratamiento se utilizó la fórmula de Abwassertechnische [Vereinigung, 1994].

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

En donde:
η= Grado de eficiencia en %
FZ= Sumatoria de las cargas que ingresan a la planta
FA= Sumatoria de las cargas en el flujo de salida de la planta

**Cálculos de diseño de humedales artificiales Subperficiales (SFS)**

Para el diseño de humedales se utilizarón las ecuaciones de reportes de artículos de la Agencia de Protección Ambiental de los EEUU (EPA), de diferentes instituciones Europeas, así como del texto de Metcalf & Eddy. Wastewater Engineering. Treatment, Disposal and Reuse. Third Edition. McGraw-Hill Publishing Co. Ltd. New Delhi. Chapter 13. Pág. 992. Así como el modelo de diseño RAS 2000.

## 4. RESULTADOS

Los resultados de la investigación están presentados por orden y según las preguntas de investigación formuladas en este estudio.

**¿Cuáles son las características de los sistemas implementados en Jarabacoa?**

Se estudiaron siete sistemas de los implementados en el Municipio de Jarabacoa para su carecterización (Región Cibao Norte-Sur). También se les cuestionó a los expertos en Ingeniería verde y a los gerentes de instituciones encargadas del agua potable y saneamiento, así como a los técnicos especialistas. A continuación, se presentan los resultados.

**Humedal El Dorado, Jarabacoa, R.D.**

Diseñada para 75 habitantes, dotación de 110 L/hab/d, Temperatura ambiental de 28 ºC, área del humedal es de 70 $m^2$ , Largo 10 m. ancho 7 m, profundidad 0.60 m, la relación L/W= 10:1, carga material orgánico de 300 mg/l, cuenta con dos cámaras sépticas de 6 $m^3$ y 4.84 $m^3$, relación agua-medio de 0.67%. Volumen genarado 7.5 $m^3$/d, granulometría 7/8", medio grava, estructura geotextil, vegetación: Vetiver (Vetiveria zizanioides L.); Enea (Typha latifolia L.) y Papiro (Cyperus papirus L.). Fue construida en abril 2018 y la misma no cumple con los criterios de diseño, en la relación L/W ≤ 3:1 para lechos de 0.6 m de profundidad [Márquez, 2009].

**Humedal Escuela Ambiental #1, Jarabacoa, R.D.**

Diseñada para 28 habitantes, dotación de 80 L/hab/d, Temperatura ambiental de 24 ºC, área del humedal es de 21.85 $m^2$ , Largo 6.83 m. ancho 3.20 m, profundidad 1.40 m, la relación L/W= 6.82:1, carga material orgánico no fue considerada, cuenta con una cámara séptica de 4.48 $m^3$, relación agua-medio de 0.33%. Volumen genarado 27.73 $m^3$/d, granulometría 7/8", medio grava, estructura geotextil, vegetación: Vetiver (Vetiveria zizanioides L.); Enea (Typha latifolia L.) y Papiro (Cyperus papirus L.). Esta planta se diseñó con un método diferente de dimensionamiento, el cual consistía en asignar 1 $m^3$ de construcción por residencia. Fue construida en el 2016 y se observa que la profundidad del humedal supera los criterios de diseño estudiados por diferentes autores hasta el momento.

**Humedal El Arca, Jarabacoa, R.D**

Diseñada para 75 habitantes, dotación de 85 L/hab/d, Temperatura ambiental de 26 ºC, área del humedal es de 61.25 $m^2$ , Largo 9.8 m. ancho 6.5 m, profundidad 0.60 m, la relación L/W= 9.42:1, carga material orgánico no fue considerada, cuenta con dos cámaras sépticas de 6 $m^3$ y de 4.82 $m^3$, relación agua-medio de 0.67%. Volumen genarado 30 $m^3$/d, granulometría 7/8", medio grava, estructura geotextil, vegetación: Vetiver (Vetiveria zizanioides L.); Enea (Typha latifolia L.) y Papiro (Cyperus papirus L.). Esta planta se diseñó con un

método diferente de dimensionamiento, el cual consistía en asignar 1 $m^3$ de construcción por residencia. Fue construida en el 2017 y la misma no cumple con los criterios de diseño, en la relación L/W ≤ 3:1 para lechos de 0.6 m de profundidad [Márquez, 2009].

**Humedal Buenos Aires #2, Jarabacoa, R.D**

Diseñada para 150 habitantes, dotación de 100 L/hab/d, Temperatura ambiental de 27 ºC, área del humedal es de 24.58 $m^2$ , Largo 6.70 m. ancho 3.67 m, profundidad 1.50 m, la relación L/W= 6.70:1, carga material orgánico 300 mg/l, cuenta con dos cámaras sépticas de 12 $m^3$ y de 10.33 $m^3$, relación agua-medio de 0.67%. Volumen genarado 10 $m^3$/d, granulometría 7/8", medio grava, estructura geotextil, vegetación: Vetiver (Vetiveria zizanioides L.). Fue construida en el 2017 y se observa que la profundidad del humedal supera los criterios de diseño estudiados por diferentes autores hasta el momento.

**Humedal Escuela Ambiental #2, Jarabacoa, R.D**

Diseñada para 50 habitantes, dotación de 200 L/hab/d, Temperatura ambiental de 26 ºC, área del humedal es de 42.63 $m^2$ , Largo 10.50 m. ancho 4.06 m, profundidad 1.50 m, la relación L/W= 10.5:1, carga material orgánico no considerada, cuenta con una cámara séptica de 6.09 $m^3$, relación agua-medio de 0.33%. Volumen genarado 40 $m^3$/d, granulometría 3", medio arena y gransote, estructura blocks y hormigón, vegetación: Vetiver (Vetiveria zizanioides L.). Fue construida en el 2015 y se observa que la profundidad del humedal supera los criterios de diseño estudiados por diferentes autores hasta el momento.

**Humedal La Trinchera, Jarabacoa, R.D.**

Diseñada para 75 habitantes, dotación de 200 L/hab/d, Temperatura ambiental de 22.9 ºC, área del humedal es de 82.08 $m^2$ , Largo 18.24 m. ancho 4.50 m, profundidad 1.50 m, la relación L/W= 18:1, carga material orgánico 300 mg/l, cuenta con una cámara séptica de 6.75 $m^3$. Volumen genarado 73.97 $m^3$/d, granulometría 7/8", medio 75/25 arena y 85/15 gransote, 60/40 grava, estructura blocks y hormigón, vegetación: Vetiver (Vetiveria zizanioides L.) y Papiro (Cyperus papirus L.). Fue construida en el 2015 y se observa que la profundidad del humedal supera los criterios de diseño estudiados por diferentes autores hasta el momento.

**Humedal Villas Poppy, Contanza, R.D.**

Diseñada para 312 habitantes, dotación de 175 L/hab/d, Temperatura mínima ambiental de 10.5 ºC, área del humedal es de 391 $m^2$ , Largo 23 m. ancho 17 m, profundidad 0.60 m, la relación L/W= 23:1, carga material orgánico 300 mg/l, cuenta con dos cámaras sépticas de 55 $m^3$ y 44 $m^3$. Volumen genarado 55 $m^3$/d, granulometría 1/2", medio de arena, gransote, grava, vegetación: Vetiver (Vetiveria zizanioides L.). Fue construida en el 2018 y la misma no cumple con los criterios de diseño, en la relación L/W ≤ 3:1 para lechos de 0.6 m de profundidad.

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

**Aspecto Económico**

*Costo Actual de una Planta Convencional y una con sistema ecológico para el Tratamiento de Aguas Residuales*

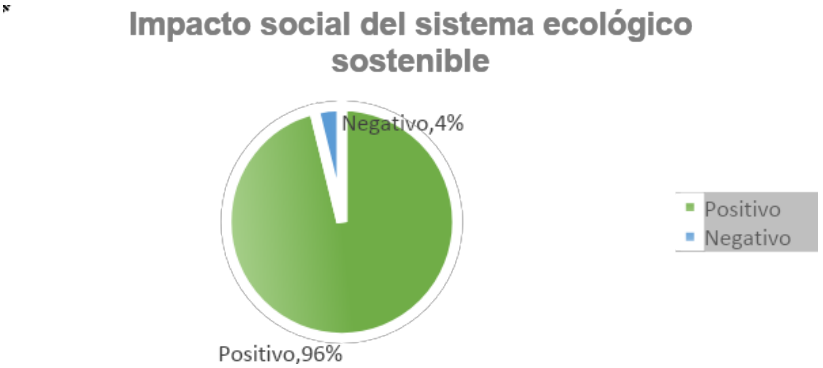
A continuación, se presentan los resultados de dicho estudio: Tabla 1 expresa el costo de una planta de PTAR convencional para Jarabacoa (Casco Urbano) de RD$680,000,000.00 (USD$13,737,373.70), para un barrio el costo es de RD$$206,275,510.00 (USD$4,167,182.02) y una planta de tratamiento de aguas residuales con sistema ecologico sostenible (Ingeniería Verde) para una comunidad de 150 habitantes RD$ 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 1: 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 | | | | |

**Aspecto social de los sistemas ecológicos sostenibles y convencional**

En la figura 4 se observa que el 96% de los encuestados expresan que tiene un impacto positivo, mientras que el 4% piensa que es negativo. Esta positiva respuesta obedece a que el 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.




La figura 1: El impacto social del sistema ecológico sostenible

**Aspecto social del sistema convencional**

El impacto social del sistema convencional en el tratamiento de aguas residuales (TAR), el 89.29% de los encuestados opinaron que es positivo y el 10.71% 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 deschos y este sistema puede procesar el material sin problemas.

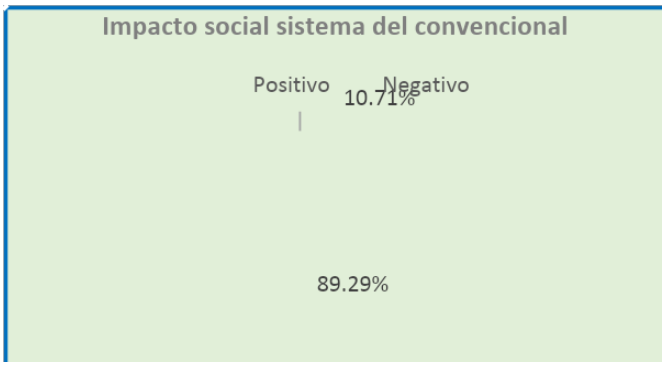



Figura 2. Impacto social del sistema convencional de TAR

**Aspecto ambiental de los sistemas ecológicos sostenibles**

El impacto causado por estos es bajo (73.08%), según expresan los encuestados, o sea, expresa una destrucción mínima al medioambiente. El 23.08% dice tener un impacto medio (expresa una destrucción considerable), mientras que 3.85% afirman que es alto, es decir que tiene un efecto importante sobre el medio ambiente o sobre los recursos naturales.

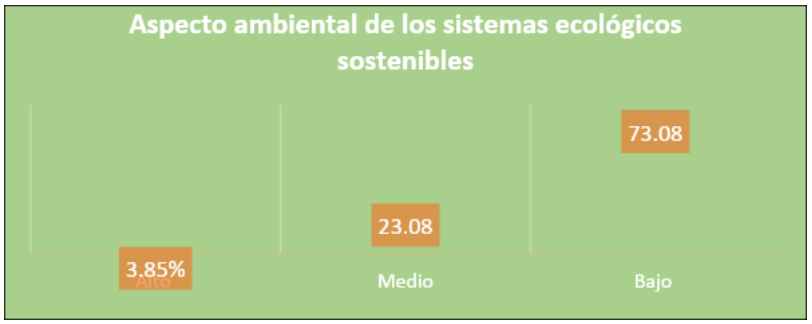



Figura 3. Aspecto ambiental del sistema de ingeniería verde

La figura 4 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. Registros de dos centros de salud del municipio [Hospital Octavia B. Gautier y Clínica Los Ríos, 2018].

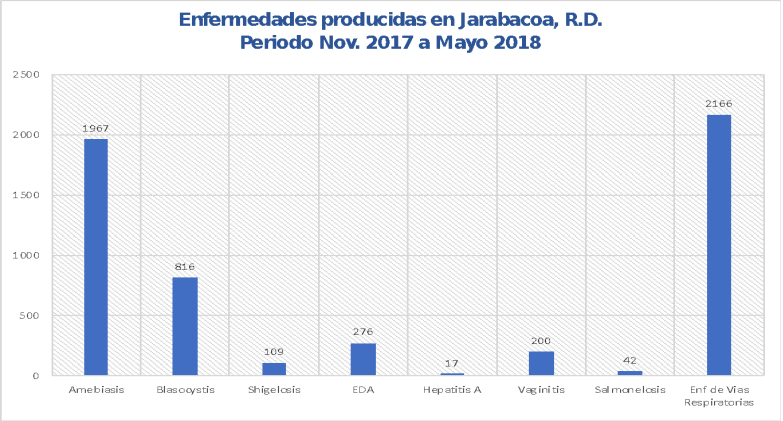



Figura 4. Enfermedades producidas en Jarabacoa noviembre 2017-diciembre 2018

**Aspecto ambiental del sitema convencional**

En la figura 5, se observa que el 48.28% de los encuestados opinan que el impacto ambiental es medio, los que significa un efecto considerable al medioambiente. El 34.48% expresan que es alto (efecto importante sobre el medio ambiente o sobre los recursos naturales) y el 17.24% dicen ser bajo (expresa una destrucción mínima del medioambiente).

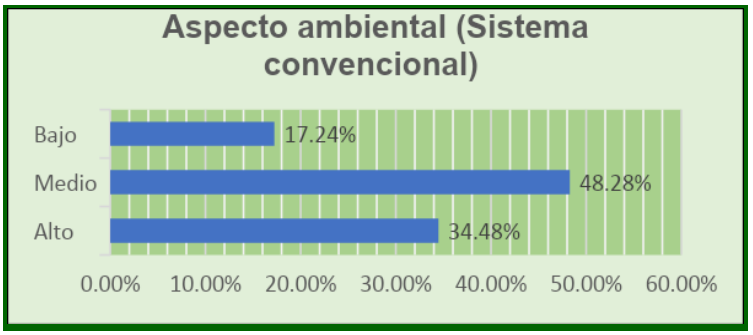



Figura 5. Aspecto ambiental del sistema convencional

**¿Cuál ha sido la funcionalidad o eficiencia de los sistemas implementados y su variación de acuerdo con el clima?**

En la figura 6, se observa el comportamiento de las diferentes plantas de tratamiento de aguas residuales con sistemas ecológicos de tratamiento, según análisis realizados en el periodo mayo - junio del 2018. La PTAR El Arca solo presenta eficiencia en la reducción Coliformes fecales y totales de 78%, respectivamente, La Escuela Ambiental No.1 presenta una eficiencia >60% en la reducción de coliformes fecales, $DBO_5$, Coliformes totales, y DQO.

La PTAR Buenos Aires #2, con eficiencia en la reducción DBO5 >70%, Coliformes totales, DQO. La Escuela Ambiental #2 cuenta con eficiencia >60% en la reduccion de $DBO_5$, coliformes totales y DQO . El Dorado resultó con un 99% de eficiencia en la reducción de coliformes fecales, un 93% $DBO_5$, un 90% en DQO, un 63% en ortofosfato. La Trinchera resultó con eficiencia de 98% en coliformes fecales y totales, un 62% en nitrito.

Pollo Cibao presentó eficiencia de 100% en la reducción de coliformes fecales y totales, respectivamente. un 95% en DQO y un 91% en $DBO_5$. Se puede observar que lucen sistemas eficientes en la redución de la materia orgánica y muy atractivos para proyectos comunitarios.

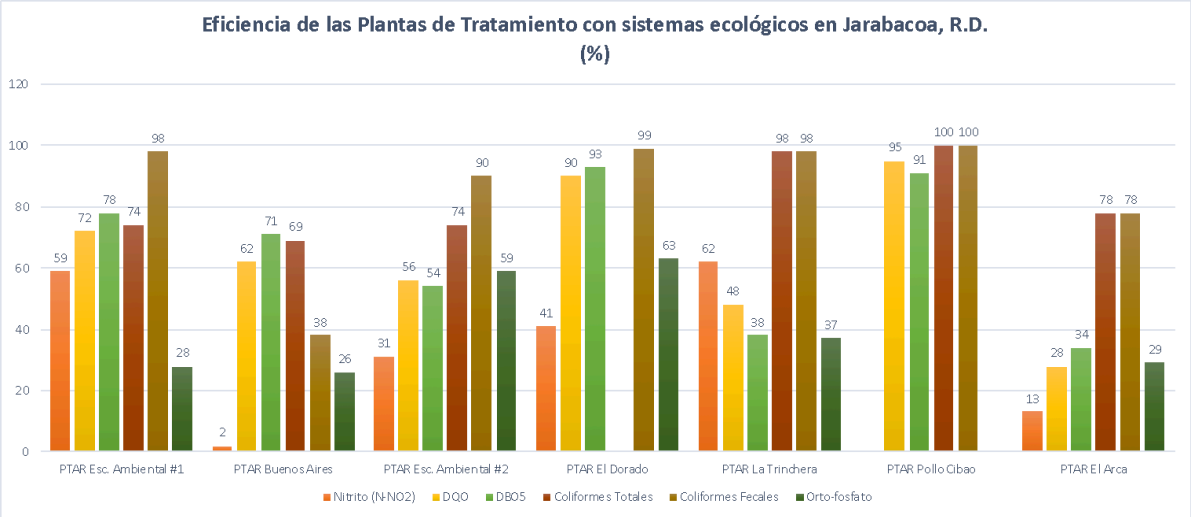



Figura 6. Eficiencia de las plantas de tratamiento de aguas residuales con ingeniería verde

**¿Cuál es la situación actual de las aguas residuales en la región de desarrollo Norte-Sur de la República Dominicana?**

**Plantas Convencionales de Tratamiento de Aguas Residuales**

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 o siempre y el 35.3% respondió no o nunca.

En el municipio de Santiago de los Caballeros, 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].

El 90% de las aguas residuales domésticas generadas en el país no se tratan, lo que implica que diariamente vierten alrededor de 2.40 millones de metros cúbicos por segundo de líquido contaminante. 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].

**Apoyo del Gobierno Dominicano al Sector Agua Residuales en la Zona**

Los encuestados respondieron de la siguiente manera: el 62% afirmó que sí o siempre, mientras que no o nunca fue externado por el 38%. En algunas provincias el gobierno ha apoyado, pero en el área de estudio (Jarabacoa), aun no, pues no existe sistema de alcantarillado sanitario, lo que se convierte en una seria dificultad, ya que solo existen filtrantes, sépticos y un largo canal que se pasea por el centro de la ciudad para conectarse al sistema pluvial descansando en los ríos y arroyos del lugar.

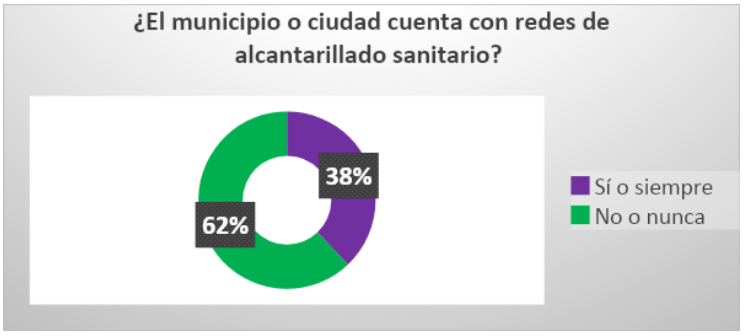



Figura 2: Apoyo del Gobierno Dominicano al Sector Agua Residuales en la Zona

**¿Sería conveniente diseñar sistemas ecológicos alternativos a los existentes para el tratamiento de aguas residuales 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). Esta tipología de humedales fue desarrollada en Europa como alternativa a los humedales horizontales para producir efluentes nitrificados. En general los sistemas verticales se combinan con horizontales para que se sucedan de forma progresiva los procesos de nitrificación y desnitrificación y se consiga así eliminar nitrógeno [Estrada, 2010]; citado por [Espinosa, 2014].

El diseño del humedal artificial del tipo subsuperficial (SFS), que se recomienda construir es pequeño y se llevará a cabo asumiendo dos metodologías basado 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. Wastewater Engineering. Treatment, Disposal and Reuse. Third Edition. McGraw-Hill Publishing Co. Ltd. New Delhi. Chapter 13. Pág. 992. Citado por [Márquez, 2009].

Se eligió el elemento que requiere mayor área.

**El área requerida para la nitrificación en el humedal SFS usando las ecuaciones (19, 20 y 25).**

Datos hidraúlicos

Población: 300 hab
Dotación: 250 L/hab/d

$Q_m = 60\ m^3/d$
$Q_m = 2{,}500\ L/h$

$$A_S = \frac{60\ m^3/d * ln(\frac{12\ mg/l}{0.63\ mg/l})}{0.9825*0.45*0.65} = 615.26\ m^2 \quad Ec.\ 25 \tag{2}$$

$$TRH = \frac{615.26*0.45*0.65}{60} = 3\ d \tag{3}$$

$$W = \frac{1}{0.60}\left[\frac{60*615.26}{0.05*8333}\right]^{0.5} = 15.69\ m \quad Ec.\ 19 \tag{4}$$

$$L = \frac{615.26}{15.69} = 39.21\ m\ \ Ec.\ 20 \tag{5}$$

$$L/W = 2.5:1$$

**Determinación de la eficiencia del sistema, a través de la Ecuación 5 del MODELO DE DISEÑO RAS 2000.**

$$E\% = \frac{C_o - Ce}{C_o} X100 = 94.75\% \tag{6}$$

**Tratamiento preliminar (Séptico circular)**

Se proponen dos cámaras sépticas circulares, la #1 con un radio de 3.09 m, altura 2 m y volumen interior de 60 $m^3$; la #2 con un radio de 2.99 m, altura 2 m, volumen interior de 56.18 $m^3$, para un volumen total de 116 $m^3$.

## 5. CONCLUSIONES

De acuerdo con los resultados obtenidos en este estudio y considerando los antecedentes bibliográficos en relación con el tema, se han establecido las siguientes conclusiones:

***Conclusión.*** 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%, se niega hipótesis de trabajo ($H_o$) y se ecepta la del investigador ($H_i$). Por lo que significa que, los sistemas ecológicos sostenibles constituyen una alternativa viable, económica, social y ambientalmente para el manejo de las aguas residuales en la República Dominicana.

***Conclusión.*** 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 los sistemas ecológicos sostenibles y a los que trabajan el sistema convencional, coinciden que económica, social y ambientalmente sistemas ecológicos son más adecuados que los sistemas convencionales.

***Conclusión.*** Los sistemas de tratamiento de aguas residuales con sistemas ecológicos sostenibles son eficientes en la remoción DBO5, DQO, Nitrógeno, Sólidos solubles totales.

***Conclusión.*** Existe una problemática seria con respecto al manejo de aguas residuales en la región Cibao Norte-Sur. La mayoría de las Provincias carecen de sistema de alcantarillado sanitario. En el Municipio de Jarabacoa, zona de focalización del estudio está provocando numerosas enfermedades a la población como las de las Vías Respiratorias, Amebiasis, Blasocystis, EDA, así como en menor proporción Vaginitis, Shigelosis, Salmonelosis y Hepatitis.

***Conclusión.*** Es factible la implementación de los sistemas ecológisos sostenibles en otras áreas del país, en proyectos habitacionales nuevos y/o en la zona rural, ya que hay disponibilidad de recursos como macrofitas, terreno, materiales como arena, grava, gransote, metales, entre otros.

***Conclusión.*** Las PTAR a través de sistemas ecológicos implementados en Jarabacoa han resuelto problemas a muchas familias, aunque algunos no cumplen completamente con los criterios internacionales de diseño.

***Conclusión.*** Las PTAR con sistemas ecológicos al igual que el sistema convecional estudiado no efectuan remoción total de los Coliformes Fecales ni Coliformes Totales, segun exigen las Normas Ambientales, solo los reducen. Todas las plantas estudiadas presentan deficiencias para la descontaminación del fósforo.

## 6. RECONOCIMIENTOS

A Dios Todopoderoso, por ser el impulsor de esta iniciativa, el dador de paz, salud e inteligencia humana.
A mi esposa, Elisa Altagracia Abreu de Vásquez por todo el apoyo, comprensión y el amor brindado.
A Dr. Eduardo Márquez Canosa, por ser más que un director y asesor de tesis un amigo. Gracias por tus sabios consejos.
A 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.
Al Dr. Ulises Jáuregui Haza y el equipo coordinador por su desinteresada cooperación para presentar este trabajo en la 19 Convención Científica de Ingeniería y Arquitectura en la Habana, Cuba.
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.
Al Lic. Emiliano Castillo por el apoyo otorgado.

## 7. REFERECIAS

1. LISTÍN DIARIO. *Munícipes de Jarabacoa reclaman un acueducto* [en línea]. Jarabacoa, R.D.: Mazara, H. [ref. de 20 de enero de 2018]. Disponible en Web: https://www.listindiario.com/economia/2017/12/22/495928/municipes-de-jarabacoa-reclaman-un-acueducto
2. YSI. *Professional Plus (Pro Plus) Multiparameter Instrument* [en línea]. Brennan, OH, USA. [ref. de 14 de abril del 2018]. Disponible en Web: https://www.ysi.com/proplus
3. THERMO FISHER SCIENTIFIC. *Orion™ AQ4500 Turbidimeter* [en línea]. USA. [ref. de 12 mayo del 2018]. Disponible en Web: https://www.thermofisher.com/order/catalog/product/AQ4500
4. THERMO FISHER SCIENTIFIC. *Orion™ Star A Series Portable Meter Protective Armor* [en línea]. USA. [ref. de 17 de mayo de 2018]. Disponible en Web: https://www.thermofisher.com/order/catalog/product/STARA-AR
5. ANDESAPA/GTZ/OPS/CEPIS/CAPRE. *Determinación del Grado de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales.* [en línea]. San José, Costa Rica.: Abwassertechnische V. [ref. de 17 de abril de 2018]. Disponible en Web: http://www.bvsde.paho.org/bvsacd/scan2/026935/026935.pdf
6. MÁRQUEZ, EDUARDO. Tercer curso del diplomado fito-sistemas de tratamiento de aguas residuales para pequeñas comunidades. Universidad Agraria La Molina. Ciudad de Lima, Perú, 2009. 33 pp.
7. DOMÍNGUEZ, RAFAEL. Enfermedades de origen hídrico y atmosférica. Hospital Octavia B. Gautier. Ciudad de Jarabacoa, junio 2018. 18 pp.
8. CORAASAN. *Informe de Plantas de Tratamiento para Aguas Residuales* [en línea]. Santiago, República Dominicana: JICA. [ref. de 21 de febrero de 2018]. Disponible en Web: http://open_jicareport.jica.go.jp/pdf/11685211_09.PDF
9. INAPA/AECID/FCAS. *Programa Agua y Saneamiento* [en línea]. Santo Domingo, República Dominicana: Mercedes, L. [ref. de 23 abril de 2018]. Disponible en Web: http://hoy.com.do/el-90-aguas-residuales-domesticas-no-se-tratan-plantas-son-infuncionales/
10. ESPINOSA, Camilo. Factibilidad del diseño de un humedal de flujo subsuperficial para el tratamiento de aguas residuales municipales de 30.000 habitantes. Director: Jairo Romero. Tesis de maestría, Escuela Colombiana de Ingeniería-Julio Garabito. Bogotá, D.C., 2014.