



**CENTRO AGRONÓMICO TROPICAL
DE INVESTIGACIÓN Y ENSEÑANZA**

DIVISIÓN DE EDUCACIÓN

PROGRAMA DE POSGRADO

**“Análisis de calidad de agua y fuentes de contaminación del
arroyo Yerba Buena en Jarabacoa, República Dominicana”**

**Proyecto de Tesis sometido a consideración de la División de
Educación y el Programa de Posgrado como requisito para
optar al grado de**

MAGISTER SCIENTIAE

en Manejo y Gestión Integral de Cuencas Hidrográfica

Ana Cristina Moreno Bereguete

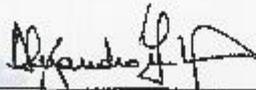
Turrialba, Costa Rica

2020

Esta tesis ha sido aceptada en su presente forma por la División de Educación y la Escuela de Posgrado del CATIE y aprobada por el Comité Consejero de la estudiante, como requisito parcial para optar por el grado de

**MAGISTER SCIENTIAE EN MANEJO Y GESTIÓN INTEGRAL
DE CUENCAS HIDROGRÁFICAS**

FIRMANTES:



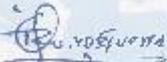
Alejandro Imbach, Dr.H.C.
Director de tesis



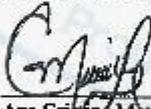
Laura Bonagas, Ph.D.
Miembro Comité Consejero



Ruth Bastardo, M.Sc.
Miembro Comité Consejero



Roberto Quiroz Guerra, Ph.D.
Decano, Escuela de Posgrado



Ana Cristina Moreno Bareguez
Candidata

DEDICATORIA

A mis padres, quienes con todo su apoyo y esfuerzo, me motivan a seguir adelante en cada meta que emprenda.

A mi esposo, por sus consejos, por su entusiasmo mostrado por mis logros y su apoyo incondicional para este trabajo.

De manera muy especial, a Dios, por darme las fuerzas para seguir adelante cada día y darme la confianza de encomendarle a Él todos mis proyectos.

AGRADECIMIENTO

A mis padres, Hipólito José Moreno y Ana Mercedes Bereguete, por educarme con amor y paciencia, y encaminarme como profesional, inspirándome confianza en momentos difíciles y motivándome a seguir estudiando.

A mi hermano, Pablo José Moreno, porque sus sugerencias siempre han sido oportunas.

A Raudy Rodríguez Arias, por siempre estar pendiente de los avances de este trabajo y ayudar incondicionalmente las veces que fue necesario.

A los miembros del Comité Asesor, por poner a disposición sus conocimientos en el tema de esta investigación y guiarme de la mejor manera para culminar con éxito este proceso.

Al Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales, por conceder el permiso laboral para cursar esta maestría.

A Ramón Díaz, por mostrar su interés en el tema de la investigación y siempre estar dispuesto a apoyarme.

A Benedito Faña, por su gran interés y colaboración en este proceso de investigación.

A Tony Núñez, por responder cada una de mis preguntas en el tema de esta investigación y hacer posible la obtención de información.

A Alfredo Mena, por creer en esto, por apoyarme profesionalmente en todo este proceso.

Al Ministerio de Educación Superior Ciencia y Tecnología, por darme la oportunidad de financiamiento para la maestría.

Al proyecto *Adaptación de los índices Biological Monitoring Working Party (BMWP) e Índice Biótico de Familias (IBF) para la República Dominicana y su uso como herramienta de monitoreo de la calidad biológica de los cuerpos de agua dulce* (FONDOCYT No. 2016-2017-075) del Instituto de Investigaciones Botánicas y Zoológicas, Universidad Autónoma de Santo Domingo, por aportar los recursos y personal necesarios para el muestreo de identificación de macroinvertebrados acuáticos.

A Plan Yaque, por su colaboración en el proceso de recolección de datos.

Al CATIE, por proveer el espacio y las herramientas necesarias para la realización de esta maestría.

A mis compañeros.

¡Muchas gracias a todos!

CONTENIDO

DEDICATORIA	iii
AGRADECIMIENTO.....	iv
ARTÍCULO. ANÁLISIS DE CALIDAD DE AGUA Y FUENTES DE CONTAMINACIÓN DEL ARROYO YERBA BUENA EN JARABACOA, REPÚBLICA DOMINICANA	viii
1. INTRODUCCIÓN	1
2. MATERIALES Y MÉTODOS	3
2.1. Área de estudio.....	3
2.2. Parámetros físico-químicos y análisis bacteriológico	6
2.3. Muestreo de macroinvertebrados acuáticos	7
2.3.1. Procedimiento para tomar muestras de bioindicadores	7
2.4. Protocolo de evaluación visual de quebradas para Puerto Rico	9
2.5. Percepción social.....	10
2.5.1. Análisis.....	10
3. Resultados	13
3.1 Parámetros físico-químicos	13
3.2. Macroinvertebrados acuáticos.....	14
Percepción social.....	20
3.3.1. Potencialidad de recuperación de arroyo.....	22
4. DISCUSIÓN	26
Parámetros físico-químicos	26
Macroinvertebrados acuáticos.....	27
Percepción social.....	27
5. CONCLUSIONES	29
6. RECOMENDACIONES	30
7. BIBLIOGRAFÍA.....	31

LISTA DE CUADROS

Cuadro 1. Parámetros físicos, químicos y bacteriológico que se tomaron en cuenta.....	6
Cuadro 2. Resultado de los parámetros físico-químicos y bacteriológico.	13
Cuadro 3. Resultados de la calidad de agua con el IBF-PR.	16
Cuadro 4. Comparación de BMWP de Cuba y Puerto Rico.	17
Cuadro 5. Valores asignados para la evaluación visual del arroyo en las tres estaciones de muestreo.	18
Cuadro 6. Índice de evaluación de quebradas de Puerto Rico.	19
Cuadro 7. Comparación de los resultados en cada índice, análisis fisicoquímicos y bacteriológicos y evaluación visual.....	¡Error! Marcador no definido.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Ubicación geográfica de la cuenca del río Yaque del Norte, República Dominicana. ..	3
Figura 2. Ubicación de la microcuenca del arroyo Yerba Buena, en l cuenca del río Yaque del Norte, República Dominicana	4
Figura 3. Estación 1 en la comunidad Palo Blanco, en la microcuenca del arroyo Yerba Buena.5	
Figura 4. Estación 2 en El Sifón en la microcuenca del arroyo Yerba Buena.....	5
Figura 5. Estación 3 en La Poza.	6
Figura 6. Resumen de la metodología para muestreo e identificación de macroinvertebrados acuáticos	9
Figura 7. Abundancia de macroinvertebrados por órdenes en el arroyo Yerba Buena.	16
Figura 8. Número de familias de macroinvertebrados por Estación	16
Figura 9. Porcentaje de las entrevistados por sexo, de las 193 entrevistas aplicadas en la microcuenca del arroyo Yerba Buena, Jarabacoa.	20
Figura 10. Respuestas a la pregunta sobre voluntad política municipal para remediar la problemática de contaminación.....	20
Figura 11. Respuestas de los entrevistados a la pregunta sobre las condiciones de contaminación del arroyo Yerba Buena.	21
Figura 12. Destino de los residuos sólidos domésticos inorgánicos e inorgánicos.	21

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Tabla de abundancia de familias de macroinvertebrados por estación	14
Tabla 3. Puntaje de diversidad de acuerdo con el número de opciones mencionadas de la pregunta.....	22
Tabla 4. Puntajes asignados por frecuencia de menciones.....	23
Tabla 5. Puntaje de diversidad obtenido por la sumatoria de frecuencias.....	23
Tabla 6. Resultado de la potencialidad de recuperación para la pregunta sobre destino de residuos sólidos.	23
Tabla 7. Potencialidad de recuperación de acuerdo con el conocimiento sobre técnicas de reciclaje.	24
Tabla 8. Respuestas sobre los cambios que ha tenido el arroyo Yerba Buena.....	24
Tabla 9. Potencialidad de recuperación en el aspecto físico del arroyo.....	25
Tabla 10. Acciones propuestas por los entrevistados para mejorar el estado de contaminación del arroyo.	25
Tabla 12. Resultado final de la potencialidad de recuperación del arroyo.....	26

ARTÍCULO. ANÁLISIS DE CALIDAD DE AGUA Y FUENTES DE CONTAMINACIÓN DEL ARROYO YERBA BUENA EN JARABACOA, REPÚBLICA DOMINICANA

Ana Cristina Moreno*, Alejandro Imbach*, Laura Benegas*, Ruth H. Bastardo¹

* Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE), Turrialba, Costa Rica.
E-mail: ana.moreno@catie.ac.cr

¹ Instituto de Investigaciones Botánicas y Zoológicas Prof. Rafael M. Moscoso, Universidad Autónoma de Santo Domingo, Av. Alma Máter, Santo Domingo, 10105, República Dominicana; rbastardo40@uasd.edu.do; orcid.org/0000-0003-1564-0724.

RESUMEN

Se realiza un muestreo en tres secciones del arroyo Yerba Buena, en la cuenca del río Yaque del Norte, República Dominicana. El estudio estuvo orientado al análisis de la calidad del agua y conocer las fuentes de contaminación en el arroyo Yerba Buena. En cada una de las estaciones se tomaron muestras para el análisis de macroinvertebrados acuáticos y para la evaluación de parámetros físico-químicos y coliformes fecales, a fin de determinar la calidad del agua de dicho arroyo, a través de la comparación de los índices de calidad del agua como Biological Monitoring Working Party (BMWP) para Cuba y Puerto Rico, el Índice Biótico de Familias (IBF); asimismo la comparación de los parámetros físico-químicos y bacteriológicos con la norma de calidad de aguas superficiales de República Dominicana y la norma internacional de calidad de agua de la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (EPA). Se aplicó el Protocolo de Evaluación Visual de Quebradas para Puerto Rico, y se evaluó la potencialidad de recuperación del arroyo de acuerdo con las respuestas de 193 entrevistas realizadas a lo largo de todo el arroyo. Los resultados del análisis bacteriológico muestran que los coliformes fecales, superan el límite máximo permisible por las normas en comparación en cada una de las estaciones de muestreo, con 3,600 nmp/L en la Estación 1 con 930,000 nmp/L, en la Estación 2 y 15,000nmp/L en la Estación 3; el resto de los parámetros químicos, en este estudio, no se consideran como contaminantes, ya que se encuentran entre los rangos permisibles por ambas normas de calidad de agua, sin embargo, el ortofosfato mostró un aumento que va de 0.3 en la Estación 1 hasta 1.6 en la Estación 3, lo cual sugiere contaminación por las descargas de aguas residuales domésticas sin previo tratamiento. Se encontraron 13 órdenes y 31 familias de macroinvertebrados acuáticos, dentro de las cuales se destaca Chironomidae, del orden Diptera, principalmente en la Estación 3. Se determina que el arroyo Yerba Buena sufre contaminación puntual por descargas de aguas residuales domésticas, provenientes de 4 comunidades, mientras que la potencialidad de recuperación resultó ser mediana, desde el punto de vista de las acciones que se pueden realizar para revertir o controlar los impactos negativos al arroyo.

Palabras clave: Arroyo Yerba Buena, Calidad biológica del agua, arroyo urbano.

ABSTRACT

The sampling has been made in three section of Yerba Buena's brook, at the river basin of Yaque del Norte, Dominican Republic. The study was oriented towards the analysis of the water's quality, and to know the sources of contamination in the Yerba Buena's brook. In each stage of the sampling, samples were taken to analyze the aquatic macroinvertebrates and to evaluate the physicochemical and fecal coliforms parameters, in order to determinate the water's quality of the already mentioned brook through the comparison of the water quality index like Biological Monitoring Working Party (BMWP) for Cuba and Puerto Rico, the Índice Biótico de familias (Biotic index of families) (IBF) also the comparison of the physicochemical and bacteriological parameters with the quality standard of surface waters of the Dominican Republic and the international standard of water quality of the United States Environmental Protection Agency (EPA). The Quebradas Visual Evaluation Protocol for Puerto Rico was applied, and the recovery potential of the stream was evaluated, according to the responses of 193 interviews carried out in the urban area, along the entire brook. The results of the bacteriological analysis show that fecal coliforms exceed the maximum permissible limit by the standards mentioned in each of the sampling stations, with 3,600 nmp / L in Stage 1 with 930,000 nmp / L, in Stage 2 and 15,000nmp / L in Stage 3; The rest of the chemical parameters, in this study, are not considered as pollutants since they are among the allowable ranges by both water quality standards, however orthophosphate showed an increase of 0.3 mg / L in the Stage 1 up to 1.6mg / L in Stage 3, which suggests contamination by domestic wastewater discharges without prior treatment. There were 13 orders and 31 families of aquatic macroinvertebrates, among which Chironomidae stands out, of the Diptera order, mainly in Stage 3. It was determined that the Yerba Buena's brook suffers occasional contamination by discharges of domestic waters, coming from four communities and waste from the municipal slaughterhouse near the riverbed, while the potential for recovery turned out to be medium, from the point of view of the actions that can be taken to reverse or control the negative impacts on the brook.

Key Words: Brook Yerba Buena, water's biological quality, Urban brook.

1. INTRODUCCIÓN

El agua es un compuesto vital para el desarrollo humano y los ecosistemas en la biosfera, por ser tan importante para la naturaleza y de interés social, se denomina el recurso integrador de una cuenca hidrográfica. De acuerdo con Global Water Partnership GWP¹ (2011), una cuenca hidrográfica se puede definir como un espacio natural geográficamente delimitado por parteaguas formado por cadenas montañosas, donde toda el agua que cae en sus límites se escurre hacia un punto específico que es el cauce principal; también puede ser vista como una unidad mínima de conservación, prevención y desarrollo sostenible.

El agua constituye una necesidad primordial para la salud por lo cual, debe considerarse como un derecho de todos los seres humanos. Este líquido vital tiene la capacidad natural de purificación, sin embargo, la capacidad de autorrecuperación de un cuerpo de agua se puede ver limitada por a la alta cantidad de vertidos contaminantes provenientes de actividades productivas humanas (Camacho et al. S.f.). En Latinoamérica, es común encontrar que los ríos que corren a través de las áreas urbanas, por lo general, se utilizan como receptores de residuos líquidos de origen doméstico e industrial y una gran parte de ellos llegan sin aplicarles un tratamiento previo (Valencia et al. 2007).

De acuerdo con el Ministerio de Economía, Planificación y Desarrollo MEPyD (2018), el tema de agua potable y saneamiento en República Dominicana, actualmente, no es regularizado debidamente. La gestión de residuos sólidos no está actualizada, sino que se encuentra dispersa en estudios regionales e informes puntuales que resultan de proyectos desarrollados de manera local en algunas comunidades (Hernández et al. 2017).

Según el Instituto Nacional de Aguas Potables y Alcantarillados de República Dominicana (INAPA), el vertido incontrolado de residuos sólidos y la inadecuada disposición final de estos, se encuentra dada por la limitación de cobertura de sistemas de saneamiento, alcantarillado y pluvial y sumado a eso el poco tratamiento de las aguas residuales, causan un impacto negativo en los ríos, aguas subterráneas, costas, la salud de las personas y en general los recursos naturales (INAPA 2016).

La cuenca del río Yaque del Norte representa la cuenca más importante en la República Dominicana por ser el río más largo del país, comprendiendo un área de 5,000 km² abasteciendo a cientos de familias en la región Norte del país, y contribuyendo a la irrigación del valle del Cibao, el cual es el más productivo de República Dominicana, por su desarrollo agropecuario, turístico, energético e industria (Díaz B. 2009).

En los últimos años, el río Yaque ha sufrido seriamente los efectos de la contaminación por vertido de desechos sólidos y líquidos por parte de los grupos urbanos establecidos próximos al cauce, lo cual afecta no sólo al ecosistema, sino también a las personas de dichas comunidades (Whipple. 2017).

El Plan para el Desarrollo de la Cuenca del río Yaque del Norte, Inc. (Plan Yaque) es una Organización No Gubernamental sin fines de lucro, que une esfuerzos gubernamentales y de la sociedad civil para la protección, conservación y manejo de los

¹ <https://www.gwp.org>

recursos naturales existentes en dicha cuenca (Plan Yaque. 2018). Para este estudio se han coordinado esfuerzos con Plan Yaque, con el fin de coleccionar informaci3n ya existente de resultados obtenidos mediante el desarrollo de programas como el Programa de Agua y Saneamiento, bajo el cual se toman datos de calidad de agua y se aplican tecnologías que permiten tomar decisiones concretas para el buen manejo y conservaci3n de los recursos de la cuenca.

Una de las problemáticas ambientales que tiene el municipio de Jarabacoa es que el casco urbano vierte sus desechos s3lidos y l3quidos en el arroyo Yerba Buena, el cual es un curso de agua que va directo al cauce principal, el r3o Yaque del Norte, contribuyendo a la contaminaci3n de éste, por tanto, este estudio se pretende ampliar la informaci3n sobre la calidad del agua dicho arroyo.

Tal y como expresa Castillo (2014), la contaminaci3n del r3o Yaque del Norte, tambi3n est3 relacionada directamente con la construcci3n de las infraestructuras de riego Bajos Yaque del Norte y las Presas Tavera y Maguaca. La primera provoc3 una ola de inmigraci3n desde toda la geografía nacional: diversos grupos humanos se movilaron a lo interno del municipio de Las Matas de Santa Cruz en busca de trabajo o de una parcela en el Proyecto Agrario Bajos Yaque del Norte (BYN), provocando as3 una expansi3n demogr3fica con un consiguiente desarrollo socioecon3mico y urbano descontrolado.

El asentamiento de personas en las áreas marginales pr3ximas al r3o Yaque del Norte, est3 aportando contaminantes de todo tipo al arroyo Yerba Buena; la contaminaci3n en este cuerpo de agua se puede apreciar a simple vista, ya que el volumen de basura y aguas servidas de los grupos urbanos cercanos al cauce aumenta proporcionalmente con el crecimiento de la poblaci3n. Esto trae como consecuencias numerosas enfermedades como trastornos intestinales, afecciones en la piel y malos olores que afectan a los moradores del lugar.

Por lo anterior, este estudio estuvo orientado a estudiar el estado actual de la calidad del agua del arroyo Yerba Buena en el municipio de Jarabacoa, con el fin de contribuir a la toma de decisiones para remediar la problemática.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1. Área de estudio

De acuerdo con el Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales, la cuenca del río Yaque del Norte se ubica en la región Norte y Noroeste de la República Dominicana, con una superficie de 6,891.13 km² (Ministerio Ambiente. 2003). Geográficamente, se localiza en el noroeste del país como se muestra en la Fig. 1. En lo referente a la división política-administrativa, la cuenca comprende 37 municipios que incluyen territorio de las provincias Santiago, Monte Cristi, Santiago Rodríguez, La Vega, Valverde, Dajabón.

Limita al Norte con las cuencas de los ríos Bajabonico, Yásica y La Jaiba, al Este con la cuenca del río Yuna, hacia el Oeste con las cuencas de los ríos Chacuey y Masacre y el arroyo Caño Hondo, hacia la parte Sur y Sureste limita con las cuencas de los ríos Yaque del Sur y Artibonito.

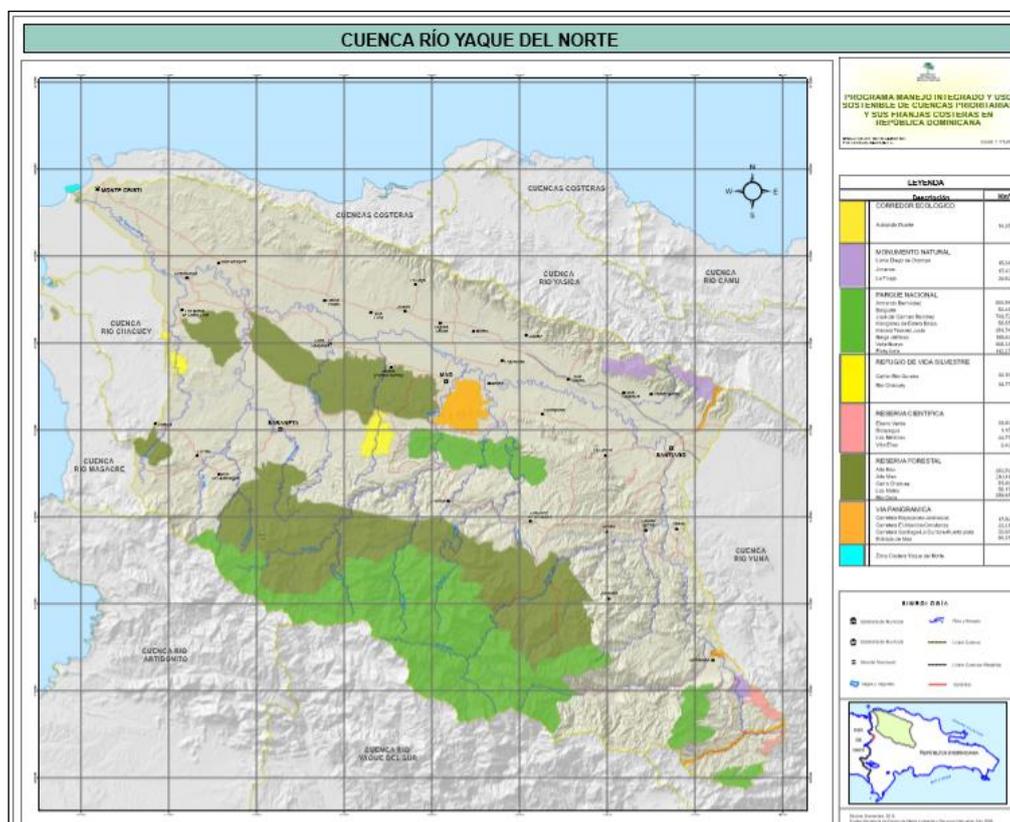


Figura 1. Ubicación geográfica de la cuenca del río Yaque del Norte, República Dominicana.

Fuente: Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales, 2015.

El arroyo Yerba Buena es un afluente del río Yaque del Norte, con un recorrido de aproximadamente 5.27 km. Tiene su nacimiento en la comunidad de Palo Blanco y continua su curso por las comunidades La Yautía, Ercilia Pepín (en esta comunidad, parte de su caudal fue desviado mediante un canal al río Yaque de Norte, debido a que en sus

crecidas causaba inundaciones a varias comunidades), luego con menos caudal, pasa por la Urbanización Hidaka, Sector Yerba Buena hasta desembocar en La Poza haciendo confluencia con el río Yaque del Norte (JarabacoaTeve. 2016).

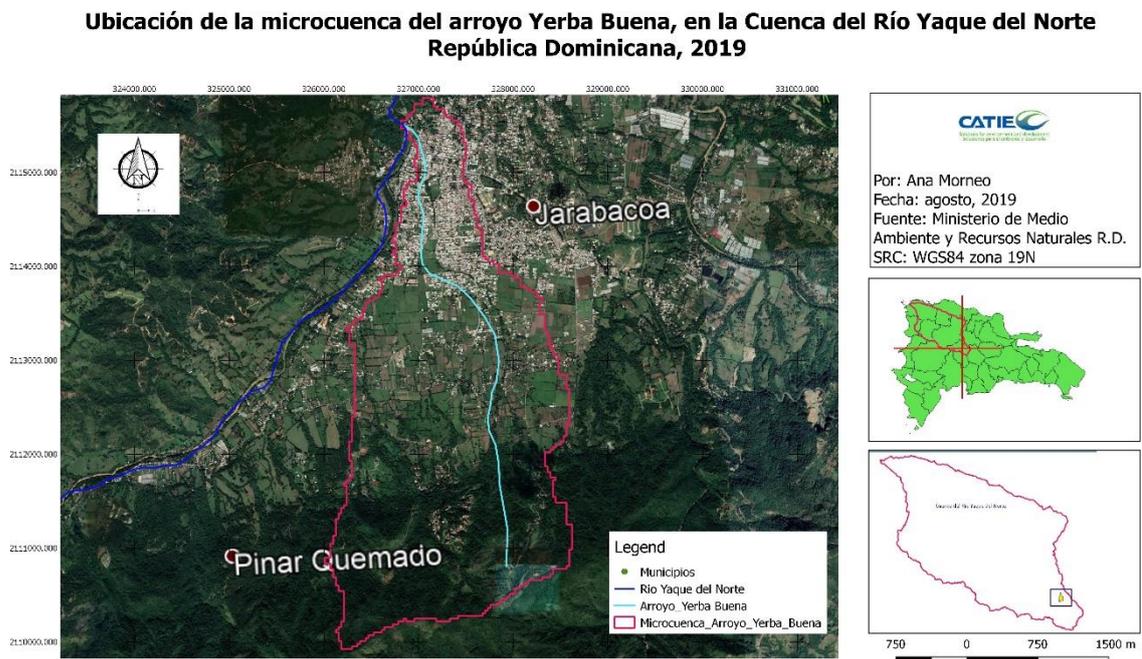


Figura 2. Ubicación de la microcuenca del arroyo Yerba Buena, en la cuenca del río Yaque del Norte, República Dominicana

Se realizó un recorrido previo a lo largo del arroyo para conocer la posible ubicación de los puntos de muestreo, en tres secciones en el curso de agua (en lo adelante, denominadas estaciones), tomando como referencia los puntos de muestreo, establecidos previamente por Plan Yaque, en el año 2014. Para este trabajo se seleccionaron sólo tres estaciones de muestreo, donde se tomó una Estación en la parte más alta del arroyo, con menor impacto de contaminación y otras dos con impactos de contaminación en la parte urbana de Jarabacoa.

Estación 1 (E1). Esta zona está ubicada en las coordenadas 19Q 0327623 m Este, 2111669 m Norte, en la comunidad de Palo Blanco, aproximadamente a unos 100m del nacimiento del arroyo Yerba Buena, con formación de pequeñas pozas y una vegetación compuesta por especies latifoliadas a una densidad de aproximada 80 %, sin descargas de aguas residuales, aunque con una ligera presencia de ganado.



Figura 3. Estación 1 en la comunidad Palo Blanco, en la microcuenca del arroyo Yerba Buena.

Estación 2 (E2). Esta zona está ubicada en las coordenadas 19Q 0326979 m Este, 2113996 m Norte, a 545 msnm en el sector Ercilia Pepín (El Sifón), aproximadamente a unos 3.12 km de la Estación 1, con descarga de aguas residuales provenientes de las comunidades Ercilia Pepín, El Mirador, Palo Blanco y Rescate. El cauce está canalizado por bancos endurecidos de concreto, con desviación del canal a otra vertiente diferente al río Yaque del Norte y una vegetación ribereña escasa o dosel abierto, con cubierta de herbáceas en ambas orillas del cauce (Fig. 4).



Figura 4. Estación 2 en El Sifón en la microcuenca del arroyo Yerba Buena.

Estación 3 (E3). Esta zona está ubicada en las coordenadas 19Q 0326975 m Este, 2115433 m Norte, a 528 msnm, en la comunidad La Poza, a unos 2.10 km de la Estación 2, con ligera sombra, causada por un dosel mixto entre 20-80 %. El canal está modificado con taludes endurecidos y recibe las descargas de aguas residuales domésticas, desechos

de comercios como polleras y otros provenientes del matadero municipal, que se encuentra aproximadamente a 10 m del arroyo (Fig. 5).



Figura 5. Estación 3 en La Poza.

2.2. Parámetros físico-químicos y análisis bacteriológico

En cada una de las tres estaciones de muestreo seleccionadas, se tomó una muestra de agua una sola vez para el análisis de los parámetros físico-químicos. Se utilizaron reactivos para las pruebas químicas en campo y una sonda multiparamétrica.

Los parámetros físicos, químicos y bacteriológicos del agua, que se tomaron en cuenta se presentan a continuación.

Cuadro 1. Parámetros físicos, químicos y bacteriológicos que se tomaron en cuenta.

Físico-químicos		Bacteriológico
<ul style="list-style-type: none"> • Temperatura del agua (°C) • pH • Turbidez (NTU) • Conductividad eléctrica ($\mu\text{S}/\text{cm}$) • Conductividad específica ($\mu\text{S}/\text{cm}$) • Dureza (mg/L) • Sólidos totales disueltos (mg/L) 	<ul style="list-style-type: none"> • Ortofosfatos (mg/L) • Nitrato (mg/L) • Amonio (mg/L) • Demanda Biológica de Oxígeno (mg/L) • Oxígeno disuelto (mg/L) 	<ul style="list-style-type: none"> • Coliformes fecales (NMP/100 ml)

Para determinar algunos parámetros, se utilizaron instrumentos de medición como YSI Professional Plus y un kit Hach (Cuadro 2). Para la determinación de los parámetros: DBO, coliformes fecales y fosfatos, las muestras de agua fueron procesadas en el laboratorio de agua potable de CORAASAN, en la ciudad de Santiago.

La toma de muestras inició en la Estación 3 (La Poza), continuando con la Estación 1 (Palo Blanco) y culminando en la Estación 2 (El Sifón). Las muestras de agua fueron recolectadas en galones y etiquetadas, respectivamente, con la ubicación, número de muestra, fecha y el tipo de preservante en el que se transportaron (hielo). Para las muestras de análisis microbiológico se utilizaron bolsas Whirl-pack Nasco 120 ml, conservadas en una hielera pequeña con ice packs Koolit Gel².

La primera muestra se tomó en horas de la mañana, en la E3, a las 7:15 a. m.; la segunda muestra fue en la E1 a las 11:00 a. m. y la E2 se muestreó a 1:15 p. m. Una vez extraídas las muestras, fueron conservadas en hielo para el transporte hacia el laboratorio el mismo día. Para ejecutar el muestreo se procuró que las muestras de agua para físico químicos se tomaran primero que las muestras de macroinvertebrados, pues se tuvo el cuidado de tener contacto con el agua antes de ser extraídas, ya que esto puede alterar los resultados, por lo que también se emplearon envases estériles, guantes, y botas de hule.

Para el análisis de los datos, se hizo la comparación de los resultados de cada parámetro con la Norma ambiental de calidad de aguas superficiales y costeras, elaborada por el Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales de República Dominicana y la norma de la Agencia de Protección ambiental de Estados Unidos (EPA 2001).

2.3. Muestreo de macroinvertebrados acuáticos

Se tomaron tres réplicas por estación, cada una con un tiempo de tres minutos a lo largo de 50 m de distancia. Esta parte del proceso metodológico estuvo enmarcado bajo el proyecto *Adaptación de los Índices Biological Monitoring Working Party e Índice Biótico de Familia para la evaluación de la calidad del agua en ríos dominicanos* de la Universidad Autónoma de Santo Domingo, del cual esta investigación recibió apoyo en el trabajo de campo y laboratorio.

2.3.1. Procedimiento para tomar muestras de bioindicadores

Para el muestro se utilizó una red de mano tipo “D” de con una malla de 300 μ , y en cada estación, se escogió una sección del arroyo, de 50 m donde se tomaron tres replicas. Las réplicas consistieron en la entrada al arroyo por un tiempo de 3 minutos, donde se introdujo la red en contra de la corriente, abarcando los puntos de corriente lenta y rápida, según se encontraba en el tramo, tratando siempre de muestrear todos los hábitats posibles.

Una vez recolectada la muestra se hizo una primera separación de especímenes durante 15 minutos. Esta actividad se hizo para responder a la pregunta de si es suficiente el dato obtenido a partir de la misma para determinar la calidad de agua utilizando los índices bióticos escogidos. Sin embargo, el análisis realizado, tomó como base la muestra

² Paquetes de gel que consisten en almidón soluble en agua o celulosa en una bolsa de plástico. <https://www.coldchaintech.com/koolit-and-kooltemp-disposal/>

total por réplica y por estaciones. Se hizo de esta manera porque era un requerimiento del proyecto mencionado arriba. Una vez acabados los 15 minutos, los especímenes se guardaron en frascos con alcohol etílico al 95 %. Al resto de la muestra se le retiró la mayor cantidad de material posible.

Una vez en laboratorio, se procedió con la limpieza del resto de las muestras de campo, haciendo uso de una lupa Leica Zoom 2000 y segregando los macroinvertebrados con pinzas suaves en una placa de Petri. Posteriormente, se hizo la separación por morfo o semejanzas a simple vista, para facilitar la identificación de los individuos agrupándolos por familias. Al momento de identificar dichos grupos taxonómicos, se contó con el apoyo de los asistentes e investigadores del proyecto en el laboratorio del Instituto de Investigaciones Botánicas y Zoológicas (IIBZ), siguiendo las claves de Merritt et al. (2008), Thorp y Covich (1991) y McCafferty y Provonsha (1981).

Para determinar la calidad biológica del agua, se aplicaron el Índice Biótico de Familias (IBF), el cual fue desarrollado por Hilsenhoff en el 1988 (Cárdenas-Castro et al. 2018), con el objetivo de resumir rangos de tolerancia de los macroinvertebrados acuáticos, asignando un único valor ponderado por familia taxonómica (Durán-Martínez 2019), y el Índice del Biological Monitoring Working Party (BMWP), que está en proceso de calibración para la República Dominicana.

El índice BMWP está basado en la presencia de grupos taxonómicos, con diferentes niveles de tolerancia a las perturbaciones ambientales, sin tomar en cuenta el número de individuos por grupo (Gutiérrez-Fonseca y Ramírez 2016), por lo cual, fue suficiente llegar hasta el nivel taxonómico de familia para la clasificación y se tomaron como referencia los índices calibrados para Cuba y Puerto Rico. Debido a que en Cuba se tiene una diversidad de especies mayor que en la isla de Puerto Rico, sus rangos son más amplios y permite separar con facilidad las clases establecidas que determinan la calidad del agua. Para establecer los rangos de valores del BMWP en República Dominicana, se tomaron como referencia los valores del BMWP-Cu.

Una vez identificadas las familias, se organizaron en una tabla para asignarles los valores de tolerancia, tomando como referencia las puntuaciones asignadas para las familias de macroinvertebrados en Puerto Rico (Gutiérrez, Fonseca y Ramírez 2016) y la investigación de Durán-Martínez (2019). Asimismo, en la tabla se aplicó la fórmula de IBF para obtener un sólo valor por estación.

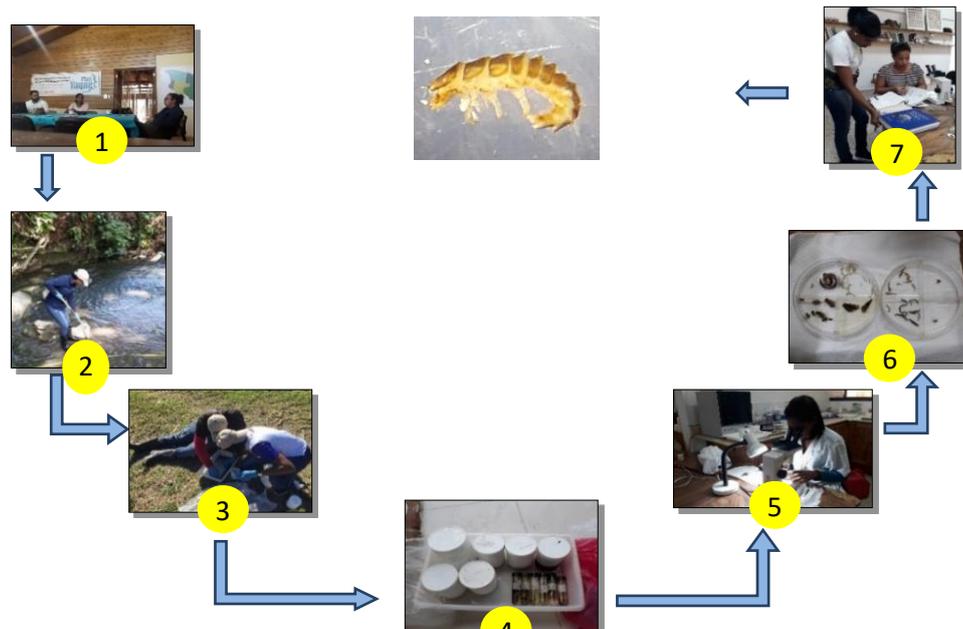


Figura 6. Resumen de la metodología para muestreo e identificación de macroinvertebrados acuáticos.

Detalle:

- 1 Planificación
- 2 Recolección
- 3 Limpieza previa
- 4 Muestras para laboratorio
- 5 Limpieza total de la muestra
- 6 Separación por morfo
- 7 Clasificación por familia

2.4. Protocolo de evaluación visual de quebradas para Puerto Rico

Al momento de recolectar las muestras de agua en cada estación, se completó un formulario de evaluación visual, para conocer el valor del índice que determina la calidad de la quebrada según el Protocolo de Evaluación Visual de Quebradas de Puerto Rico, elaborado por Rodríguez y Ramírez (2014), basado en un protocolo similar desarrollado por el Servicio de Conservación de Recursos Naturales de Estados Unidos en el 1998, el cual consiste en la evaluación rápida de quebradas con el menor esfuerzo.

El protocolo tiene como objetivo evaluar usualmente 10 variables del espacio físico de la quebrada, para determinar de forma básica el estado en que se encuentra la quebrada. Para esta investigación se hizo énfasis en el Apéndice 3 (Evaluación física del tramo de la quebrada), que consta de la evaluación de algunas variables a las cuales el observador les coloca una puntuación de acuerdo a su criterio y posteriormente, son sumados y divididos en el entre el número de elementos para obtener un promedio.

2.5. Percepción social

Finalmente, para conocer la percepción de los pobladores de la microcuenca respecto a las condiciones del arroyo Yerba Buena, se aplicaron 193 entrevistas, distribuidas a lo largo del arroyo, abarcando ambos lados del cauce, esto con el fin de recabar información que ayude a encontrar las principales fuentes de contaminación que tiene dicho cuerpo de agua.

El número de las entrevistas se definió en función de la disponibilidad de tiempo y capacidad de esfuerzo. Las entrevistas se condicionaron de acuerdo con el domicilio o comercio donde se aplicaron.

El contenido del formulario constó de 18 items, en su mayoría, preguntas abiertas sobre la opinión respecto a las condiciones actuales del arroyo y, el uso final que tienen los residuos sólidos orgánicos e inorgánicos y aguas domésticas.

Para el diseño del instrumento se utilizó la aplicación Survey123 for Arc Gis³, la cual es parte de la nube geoespacial de Esri, y permite subir los datos en tiempo real, así como facilitar el proceso de digitalización y análisis de los mismos. Cada formulario tenía una breve descripción del trabajo de investigación y la parte que autorizaba recolectar la información por parte del entrevistado.

Para el trabajo de campo se contó con el apoyo de los estudiantes del Instituto del Ambiente, en Jarabacoa, quienes utilizaron sus teléfonos celulares para bajar la Aplicación móvil y poder aplicar las entrevistas. Previo al trabajo, se impartió una orientación a los estudiantes sobre el propósito de la investigación y la forma en cómo debían dirigirse a los entrevistados.

La distribución de las entrevistas se hizo a lo largo del arroyo, en dos días para el buen manejo y control de los grupos de trabajo. Se organizaron en parejas, procurando el acompañamiento y apoyo de cada estudiante a la hora de hacer las preguntas. Cada una de las parejas estaba debidamente identificada, y contó con la supervisión de al menos un maestro del Instituto del Ambiente, para garantizar la seguridad de los estudiantes y el buen cumplimiento de trabajo.

2.5.1. Análisis

Para identificar las potencialidades de recuperación del arroyo y su entorno físico, con las acciones ambientales implementadas por los lugareños, se evaluaron las respuestas de cinco preguntas incluidas en el formulario de las entrevistas para este estudio, las cuales se procesaron tomando como base la metodología de Aguirre (2020), que consiste en la ponderación de los valores obtenidos a partir de la asignación de un número (peso) a las categorías de una pregunta. La metodología propuesta establece 5 niveles de clasificación que va desde “Muy alta” hasta “Muy baja potencialidad”. El mayor peso se aplicó a las categorías con mayor potencialidad de recuperación.

³ Survey123 for Arc Gis, está basada en formularios que permite crear, compartir y analizar encuestas. <https://www.esri.com/es-es/arcgis/products/survey123/overview>

Para el desarrollo del análisis se utilizaron hojas de cálculo Microsoft Excel. Las respuestas de dichas preguntas fueron agrupadas en categorías y se procesaron de acuerdo con la facilidad de selección múltiple, selección única, o respuestas de Sí o No. Se tomaron en cuenta las preguntas sobre las acciones que se deberían implementar para resolver la problemática de contaminación que tiene el arroyo, si ha recibido capacitación sobre técnicas de reciclaje, la voluntad política municipal para implementar acciones y la percepción sobre algún cambio en el estado general del arroyo. La metodología para el análisis de estas preguntas se muestra a continuación.

2.5.1.1. Preguntas de opción múltiple donde el entrevistado puede contestar sólo una opción.

Para estas preguntas, el procesamiento de los datos se realiza haciendo una ponderación de acuerdo con el peso que se le otorga a cada una de las opciones.

En primer lugar, se definió el peso de cada opción que tenga la pregunta, para ello se procuró asignar el mayor peso a la opción que representó mayor potencialidad de recuperación y menor peso a la de menor potencialidad.

En segundo lugar, se establecieron los puntajes máximos y mínimos que pudo obtener la pregunta. El puntaje máximo posible sería si todas las personas entrevistadas marcaran la opción que tiene mayor peso, mientras que el puntaje mínimo posible se obtendría si todas las personas entrevistadas marcaran la opción con menor peso. Por lo tanto, el puntaje máximo en el producto del peso máximo por el número de personas entrevistadas y así mismo el puntaje mínimo.

En tercer lugar, se calculó el puntaje obtenido por cada opción y se obtuvo el producto del número de personas entrevistadas por el peso de la opción.

En cuarto lugar, se estableció la amplitud de puntaje de las opciones, el ancho de intervalo y los intervalos de puntuación para cada nivel de potencialidad.

- La amplitud de puntaje de las opciones de la pregunta, se obtuvieron restando el puntaje máximo posible con el puntaje mínimo posible.
- El ancho de intervalo se obtuvo dividiendo la amplitud de puntaje de las opciones entre en número de niveles de potencialidad de recuperación, que en este caso son cinco.
- Los intervalos de puntuación para cada nivel de potencialidad de recuperación se obtienen a partir del el ancho de intervalo y el puntaje mínimo posible.
- Finalmente, se estableció el puntaje y nivel de potencialidad de recuperación.

2.5.1.2. Preguntas de Sí o No

En este caso, se calcula el porcentaje que obtuvo cada opción. Luego se establecieron los intervalos de porcentaje de cada potencialidad de recuperación, para esto se divide el 100% entre los 5 indicadores. Finalmente se estableció el puntaje y nivel de potencialidad de recuperación para los 5 indicadores.

2.5.1.3. Preguntas de opción múltiple donde el entrevistado puede responder más de una opción

En primer lugar, se determinó cuántas opciones del total de opciones que tiene la pregunta fueron mencionadas por los encuestados.

El ancho del intervalo resultó de dividir la cantidad de opciones de la pregunta entre los 5 niveles de potencialidad.

En este caso, para calcular el intervalo del primer puntaje de diversidad a cero se le suma el ancho de intervalo. El valor máximo del último intervalo debe coincidir con el número de opciones que tiene la pregunta.

Para esta valoración se consideraron las veces que fueron mencionadas las opciones por los entrevistados; a esta cantidad se le denominó frecuencia de menciones. Se normalizó la frecuencia de menciones asignando a cada opción de la pregunta un pre-puntaje en función de la frecuencia de menciones que obtuvo.

En esta propuesta metodológica se proponen cinco pre-puntajes posibles. Luego, se determina el ancho de intervalo y el intervalo de cada pre-puntaje:

- El ancho de intervalo se obtuvo al dividir el número total de entrevistados entre la cantidad de pre-puntajes posibles, que son cinco.
- Para establecer los intervalos de cada pre-puntaje, se sumaron el ancho de intervalo al límite superior del intervalo anterior.
- Luego, a cada opción se asignó un pre-puntaje. Se sumaron el pre-puntaje, para determinar el puntaje de frecuencia.
- La amplitud de puntaje de las opciones se obtuvo restando el pre-puntaje máximo posible con el pre-puntaje mínimo posible. El puntaje máximo posible resultó de multiplicar el máximo valor de pre-puntaje, es decir, cinco multiplicado por el número de alternativas de la pregunta. El puntaje mínimo posible resulta de multiplicar el mínimo valor de pre-puntaje por el número de alternativas de la pregunta.
- El ancho de intervalo se obtuvo dividiendo la amplitud de puntaje de las opciones entre el número de puntajes de frecuencia.
- Los intervalos de puntaje de frecuencia se obtuvieron a partir del ancho de intervalo y el pre-puntaje mínimo posible.
- Luego se determina el puntaje de frecuencia.
- Finalmente se ponderan el puntaje de diversidad y el puntaje de frecuencia, aplicando la fórmula de ponderación, donde se le asigna un peso a cada puntaje:

Ecuación 1. Ponderación de puntajes

$$\text{Potencialidad de recup.} = (\text{puntaje de diversidad} \times 0.3) + (\text{Puntaje de frecuencia} \times 0.7)$$

Aquí a la frecuencia se le asigna mayor peso, porque ofrece una idea más clara de la importancia que tiene la opción de la pregunta. Finalmente, el resultado de la ecuación se coloca en la tabla de puntaje y potencialidad de recuperación, que va del uno al cinco.

3. Resultados

3.1 Parámetros físico-químicos

El Cuadro 4 muestra que la cantidad de Coliformes fecales en la E2 es mayor que en las otras dos estaciones, superando el límite máximo permisible en aguas superficiales por las normas de calidad de agua en comparación, con 930,000 nmp/L, seguido por la E3 (La Poza), donde también superó el límite con una diferencia de 14,000 nmp/L y la E1 (Palo Blanco) con una diferencia de 2,600 nmp/L. Estos resultados destacan la incidencia de las descargas de aguas negras en la parte baja del arroyo y quizá, el tránsito de animales e intervención humana en la zona de Palo Blanco.

La calidad de agua en cada estación, según la comparación de los resultados del estudio con las normas de calidad de agua establecidas en República Dominicana y la norma de la (EPA), se muestran en el (Cuadro 2).

Cuadro 2. Resultado de los parámetros físico-químicos y bacteriológicos.

Parámetro	Instrumento de medición	Método	Resultados			Valores máximos permisibles	
			E1	E2	E3	RD	EPA
Amonio (mg/L)	YSI Professional Plus	<i>In situ</i>	0.01	0.06	0.3	0.50	0.20
Coliformes fecales (NMP/100 ml)	Laboratorio	Laboratorio	3,600.00	930,000.00	15,000.00	1,000.00	1,000.00
Conductividad eléctrica (µS/cm)	YSI Professional Plus	<i>In situ</i>	245.20	213.70	234.00	1,000.00	250.00
Conductividad eléctrica esp. (7µS/cm)	YSI Professional Plus	<i>In situ</i>	233.30	216.30	250.90	-	-
DBO (mg/L)	Laboratorio	Laboratorio	5.00	3.00	6.00	5.00	5.00
Dureza (mg/L)	Kit Hach	<i>In situ</i>	171.00	153.90	136.80	-	300.00
Nitrato (mg/L)	YSI Professional Plus	<i>In situ</i>	1.45	3.22	4.50	10.00	50.00
Ortofosfato (mg/L)	Laboratorio	<i>Laboratorio</i>	0.30	1.20	1.60	-	-
Oxígeno disuelto (% sat.)	YSI 2030	<i>In situ</i>	62.00	78.00	44.00	70.00	>60
pH	YSI Professional Plus	<i>In situ</i>	7.94	8.40	7.81	6.5-9.0	5.5-8.5
Sólidos totales disueltos (mg/L)	YSI Professional Plus	<i>In situ</i>	152.10	141.40	163.15	1,200.00	-
Temperatura del agua (°C)	YSI Professional Plus	<i>In situ</i>	20.80	24.40	21.60	35.00	25.00
Turbidez (NTU)	YSI Professional Plus	<i>In situ</i>	3.36	12.60	4.84	-	-

El nitrato se mantiene por debajo de los límites permisibles de ambas normas de calidad de agua, sin embargo presenta un aumento desde la E1 hasta la E3, mientras que el porcentaje de saturación de oxígeno disuelto se mantiene en un rango de 78-44 % en las tres estaciones. La temperatura del agua se mantuvo en un rango de 20.8-24.4 °C y así mismo, la DBO, en las tres estaciones se encontró en el rango permisible, con valores entre 5-6 mg/L.

El número más probable de Coliformes fecales por litro, en cada una de las estaciones, supera los límites establecidos en las normas de calidad de agua superficial de República Dominicana y la EPA, esto sugiere que existe una frecuencia de descargas de aguas residuales por parte de los pobladores cercanos al arroyo.

El orden y la hora en que se tomaron las muestras para este tipo de análisis pudo influir en los resultados como el número más probable de Coliformes fecales en 100 ml, dado que las principales actividades productivas de la zona urbana de Jarabacoa inician después de las 7:00 am.

3.2. Macroinvertebrados acuáticos

Como se muestra en la Tabla 1, la composición de individuos registra un total de 13 órdenes y 31 familias de macroinvertebrados acuáticos, siendo la mayoría de las familias de los órdenes Coleoptera y Diptera.

Tabla 1. Tabla de abundancia de familias de macroinvertebrados por estación

Orden/familia	Abundancia/Estación			Abundancia/ Familia
	E1	E2	E3	
Annelida				
Hirudinea	0	66	23	89
Oligocheta	1	4	3	8
Hydrachnidia				
Acari	1	0	0	1
Decapoda				
Pseudotelphusidae	8	12	0	20
Coleoptera				
Dytiscidae	89	0	0	89
Elmidae	0	5	0	5
Gyrinidae	3	0	0	3
Hydraenidae	2	0	0	2
Hydroptilidae	0	1	1	2
Scirtidae	1	0	0	1
Diptera				
Ceratopogonidae	15	2	0	17
Chironomidae	122	491	1137	1750
Empididae	0	1	0	1
Psychodidae	0	7	18	25
Simuliidae	0	4	0	4

Tabla 1. Tabla de abundancia de familias de macroinvertebrados por estación. Cont.

Orden/familia	Abundancia/Estación			Abundancia/ Familia
	E1	E2	E3	
Ephemeroptera				
Baetidae	76	4	0	80
Caenidae	186	13	0	199
Leptohyphidae	0	27	0	27
Hemiptera				
Mesoveliidae	1	0	0	1
Veliidae	12	1	0	13
Lepidoptera	0	0	0	
Crambidae	14	0	0	14
Odonata				
Coenagrionidae	11	40	3	54
Gomphidae	0	1	0	1
Libellulidae	78	82	0	160
Trichoptera				
Calamoceratidae	1	0	0	1
Helicopsychidae	0	1	0	1
Hydropsychidae	0	13	0	13
Polycentropodidae	25	0	0	25
Basommatophora				
Physidae	0	5	3	8
Sphaeriida				
Sphaeriidae	0	3	0	3
Neotaenioglossa				
Thiaridae	0	28	1	29
Abundancia/Estación	646	811	1189	2646
Familias por Estación	18	22	8	

Del orden Díptera, la familia más abundante fue Chironomidae, con 1,750 individuos en total y con mayor presencia en la Estación 3 (La Poza), debido a la gran disponibilidad de hábitat y su capacidad de tolerancia a niveles altos de contaminación.

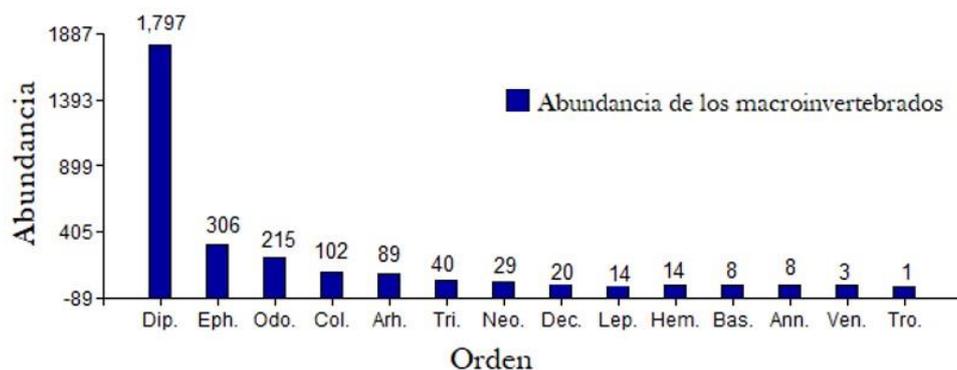


Figura 7. Abundancia de macroinvertebrados por órdenes en el arroyo Yerba Buena.

El lugar de muestreo que resultó con mayor número de familias fue la E2, con 22 familias (Fig. 8).

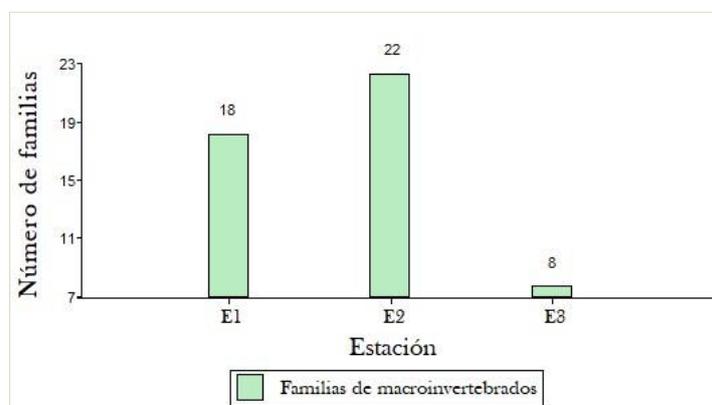


Figura 8. Número de familias de macroinvertebrados por Estación

Los resultados de la calidad del agua por Estación, estimados con el IBF-RD, se muestran en el Cuadro 3, lo cual sugiere que en la E1 existe contaminación leve, que puede ser causada por la afluencia de personas y ganado, ya que en el lugar se encontraron restos de basura y animales pastando, mientras que en las otras estaciones la contaminación del agua resultó ser muy sustancial y severa, respectivamente, por las descargas directas de aguas residuales domésticas.

Cuadro 3. Resultados de la calidad de agua con el IBF-RD.

Índice				Resultado	
IBF	Calidad de agua	Interpretación del grado de contaminación	Categoría		
0.00 - 4.24	Excelente	Contaminación orgánica poco posible	1	E1 (Palo B.) E2 (El Sifón) E3 (La Poza)	5.28
4.25 - 5.11	Muy buena	Contaminación orgánica leve	2		7.68
5.12 - 5.98	Buena	Alguna contaminación orgánica	3		8.93
5.99 - 6.85	Regular	Contaminación orgánica sustancial	4		
6.8 - 7.72	Regular pobre	Contaminación orgánica muy sustancial	5		
7.73 - 8.59	Pobre	Contaminación orgánica severa	6		
8.60 - 9.46	Muy pobre	Contaminación orgánica muy severa	7		

Al comparar los índices de Cuba y Puerto Rico (Cuadro 4), se encuentra que el primero tiene rangos de clase más amplios, sin embargo, no permite separar las clases para las Estaciones 1 y 2. Aunado a eso, la E2 tiene un mayor número de familias en comparación con las otras estaciones, lo cual ubica la calidad del agua, para ese lugar, en la Clase II en ambos índices, esto es por razones de abundancia en ambas estaciones. Aunque el BMWP-Cuba la define la calidad de agua encontrada para las E1 y E2 como: agua con efectos de contaminación evidentes. El segundo índice la ubica como: agua de calidad regular, eutrófica, contaminación moderada, sin embargo, en campo, las condiciones físicas y visuales de la quebrada son deplorables.

Cuadro 4. Comparación de BMWP de Cuba y Puerto Rico.

Índices				Resultados	
Clases	Calidad	BMWP-Cu (Valor)	Significado		
I	Buena	>101-120	Aguas muy limpias, aguas no contaminadas o no alteradas de modo sensible	E1 (Palo B.)	90
II	Aceptable	61-100	Algunos efectos de contaminación evidentes	E2 (El Sifón)	94
III	Dudosa	36-60	Aguas contaminadas	E3 (La Poza)	25
IV	Crítica	16-35	Aguas muy contaminadas		
V	Muy crítica	<16	Aguas fuertemente contaminadas		
Fuente: Naranjo López et al. (2003)					
BMWP-PR	CALIDAD DE AGUA				
≥ 97	Aguas de calidad excelente.				
77 - 96	Aguas de calidad buena, no contaminadas o no alteradas de manera sensible.				
57 - 76	Aguas de calidad regular, eutrófica, contaminación moderada.				
37 - 56	Aguas de calidad mala, contaminadas.				
18 - 36	Aguas de calidad mala, muy contaminadas.				
≤ 17	Aguas de calidad muy mala, extremadamente contaminadas.				
Fuente: Gutiérrez-Fonseca y Ramírez (2016)					

Para la evaluación visual de las condiciones físicas del entorno en cada estación de muestreo, se asignaron valores por nivel de importancia, basados en las especificaciones del Apéndice 3 del protocolo⁴, los cuales se presentan en el siguiente cuadro.

Cuadro 5. Valores asignados para la evaluación visual del arroyo en las tres estaciones de muestreo.

Estación	1. Turbidez	2. Crecimiento de algas	3. Condición del canal	4. Alteración de flujo	5. Encrustamiento	6. Estabilidad de los bancos	7. Dosel	8. Condición de la zona	9. Disponibilidad de hábitat	10. Presencia de basura	Σ	Cálculo del índice	Observaciones
E 1 (Palo Blanco)	2	2	2	1.8	0.9	2	1.5	1.8	1	1.75	16.8	1.7	Esta estación está en un límite de propiedad privada, el cauce es pequeño debido a que se estanca el agua arriba. Para la variable # 9, se valoraron: hojaras y pozas.
E 2 (El Sifón)	0.7	1.5	1.1	0.5	0.4	0	0	0	1	1.25	6.45	0.6	Esta sección del arroyo está canalizada y presenta mucha basura en ambas orillas del cauce, producto de los asentamientos urbanos cerca del mismo. Para la variable # 9, se valoraron: hojaras y pozas.
E 3 (La Poza)	1	1	0.8	0.5	1.5	0.2	1.3	0.2	0.25	1	7.75	0.8	Existe una cobertura parcial del cauce y presencia abundante de basura en el área mojada y en ambas orillas. Esta sección está ubicada en la confluencia con el río Yaque a unos 50m aproximadamente. Para la variable # 9, se valoraron: hojaras y pozas.

⁴ (Rodríguez & Ramírez, 2014), disponible en <https://www.researchgate.net/publication/264974050> Protocolo de evaluación visual de quebradas para Puerto Rico

Los resultados del índice de quebradas, para cada Estación, es el promedio de los valores asignados a las variables evaluadas, este número se ubica en la tabla de clasificación de la quebrada (Cuadro 6), obteniendo que, las condiciones físicas del entorno del arroyo en la E1.

Cuadro 6. Índice de evaluación de quebradas de Puerto Rico.

Índice			Resultado
Índice	Calificación	Interpretación	
1.8 – 2.0	Muy alto	Quebrada en excelentes condiciones físicas, sin señales de degradación.	
1.5 – 1.7	Alto	Quebrada en buenas condiciones físicas, pero con algunas señales de degradación.	1.7
1.1 – 1.4	Regular	Quebrada con claras señales de degradación física en el cauce y orillas.	0.6
0 – 1.0	Bajo	Quebrada severamente degradada en sus aspectos físicos.	0.8

Fuente: Rodríguez y Ramírez (2014).

Los valores asignados para cada variable dependen mucho del criterio que tenga el observador. Las E2 y E3 presentan una clasificación baja principalmente por la poca estabilidad de los taludes y la escasa o nula vegetación en las orillas del arroyo. Los resultados de este índice se acercan muy bien a la realidad del estado actual del entorno físico del arroyo en cada una de las estaciones de muestreo.

El Cuadro 7, muestra la comparación entre los resultados de la aplicación de los índices propuestos y el análisis de los parámetros fisicoquímicos y bacteriológicos. Aunque la E1 es la menos impactada por asentamientos urbanos, presenta una cifra importante de coliformes fecales y esto se debe a la presencia de ganado en el área de muestreo y la instalación de una toma de agua a pocos metros del nacimiento, sumado al caudal escaso al momento del muestreo, por ende, este resultado de la E1 se pudo ver afectado por la concentración de agua.

Estaciones de muestreo	IBF-RD	BMWP-Cu	Físico-químicos y bacteriológico		Evaluación de quebradas
			Coliformes fecales (NMP/L)	Ortofosfato (mg/L)	
E1 (PaloB.)	5.28 (Buena) Alguna contaminación orgánica	90 (Aceptable) Algunos efectos de contaminación evidente	3,600.00	0.30	1.7 (Alto) quebrada en buenas condiciones físicas, pero con algunas señales de degradación
E2 (El Sifón)	7.68 (Regular pobre) Contaminación orgánica muy sustancial	94 (Aceptable) Algunos efectos de contaminación evidente	930,000.00	1.20	0.6 (Bajo) Quebrada severamente degradada en sus aspectos físicos
E3 (La Poza)	8.93 (Muy pobre) Contaminación orgánica muy severa	25 (Crítica) Aguas muy contaminadas	15,000.00	1.60	0.8 (Bajo) Quebrada severamente degradada en sus aspectos físicos

Cuadro 7. Comparación de los resultados en cada índice, análisis fisicoquímicos y bacteriológicos y evaluación visual.

El IBF fue sensible para identificar las condiciones del agua, separando las clases en las tres estaciones, lo cual se corresponde con los parámetros físico-químicos y con el protocolo de evaluación visual de quebradas.

Percepción social

Los pobladores manifestaron buena colaboración para responder las preguntas voluntariamente. De las 193 entrevistas, 56% fueron mujeres (Fig. 9), entrevistados en lugares como: casas, barberías, vidrierías, oficina de servicios públicos, centros de comida, ventorrillos, puestos de comida ambulantes, bancas de lotería, carnicerías, colmados/pulperías, repuestos de mecánica y tiendas pequeña de ropa.

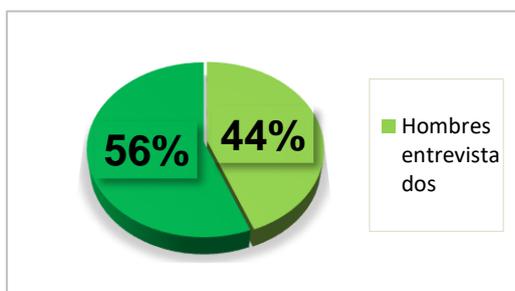


Figura 9. Porcentaje de los entrevistados por sexo, de las 193 entrevistas aplicadas en la microcuenca del arroyo Yerba Buena, Jarabacoa.

De acuerdo con las respuestas a la pregunta sobre la voluntad política que tiene el ayuntamiento municipal, para buscar alternativas de solución a la problemática de contaminación al arroyo (Fig. 10), un 47% mencionó que el ayuntamiento municipal no hace “nada” al respecto, sumado a un 22% que también afirmó que la gestión es “mala”, sin embargo, se encontró que un 8% percibe que “sí resuelven”. Un 18% prefirió no hacer comentarios al respecto, mientras que otro 5% dijo que sólo se presentan por la zona en tiempos de campaña política y un 1% no tenía conocimiento sobre esfuerzos realizados por el ayuntamiento para disminuir la contaminación del arroyo.

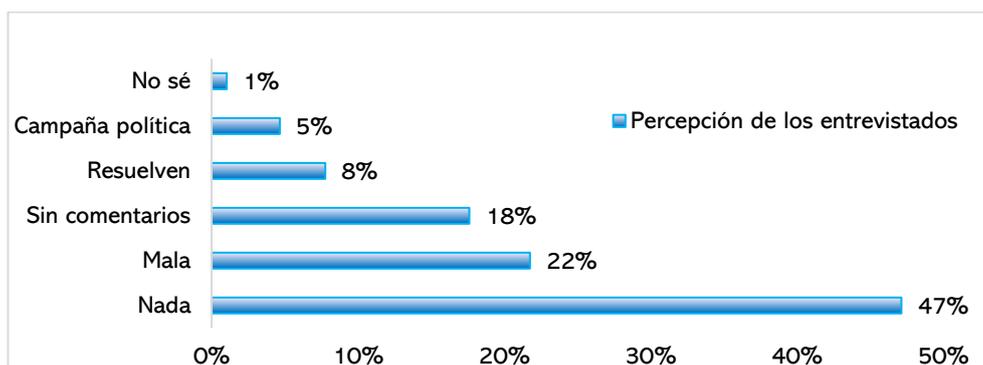


Figura 10. Respuestas a la pregunta sobre voluntad política municipal para remediar la problemática de contaminación.

En la visita a las oficinas del ayuntamiento municipal, se refirió esta misma pregunta al Alcalde, quien respondió que el sistema de recogida de basura de las viviendas y negocios, en la zona de arroyo, se realizaba semanalmente, pero está consciente que hay personas que, aun con todo eso, no depositan la basura en su lugar. Mencionó también que la construcción de una planta de tratamiento es un proyecto que conlleva una gran inversión económica y debe gestionarse desde el gobierno central, pero está en proceso de planificación.

El 26% de los entrevistados califica el arroyo como “muy contaminado”, por las condiciones del entorno físico en el que se encuentra, mientras que un 22% definió las condiciones como “Mal” entendiéndolo que el agua del arroyo no está en condiciones de ser aprovechada para consumo humano y uso doméstico. Un 9% mencionó que el arroyo se veía afectado por la gran cantidad de basura en sus orillas, lo cual se corrobora con otro 9% que afirmó que la contaminación de dicho cuerpo de agua provoca plagas y enfermedades (Fig. 11). Sin embargo, un 12% de los entrevistados afirma hacer uso del agua del arroyo, generalmente para actividades domésticas, mientras que 88% no.

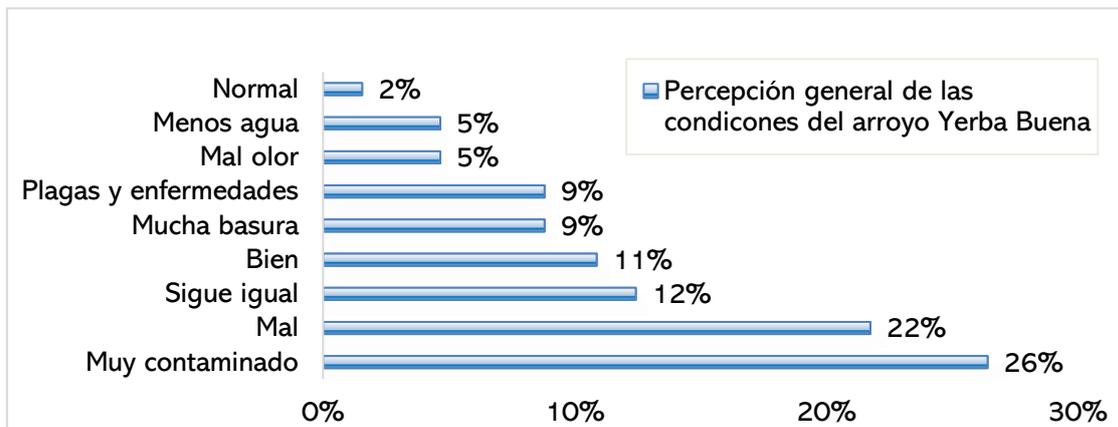


Figura 11. Respuestas de los entrevistados a la pregunta sobre las condiciones de contaminación del arroyo Yerba Buena.

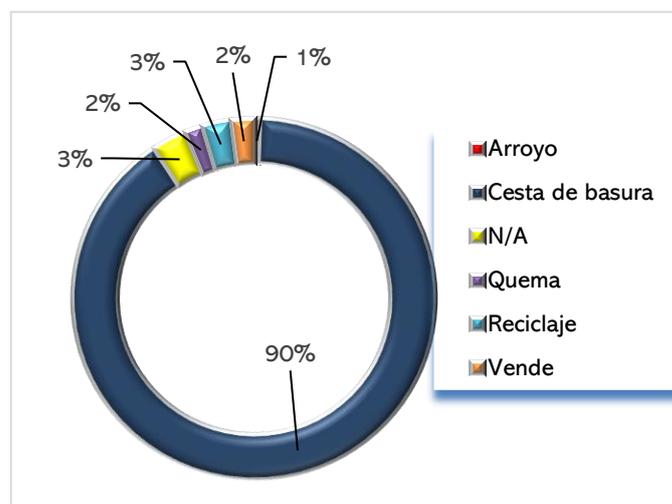


Figura 12. Destino de los residuos sólidos domésticos orgánicos e inorgánicos.

La Figura 12 muestra el porcentaje de las respuestas sobre el destino de los residuos sólidos e inorgánicos, resultando en un 90% de que estos van a la cesta de basura y sólo un 1% es depositado en las orillas del arroyo, lo cual no se corresponde con las respuestas sobre la percepción general de la contaminación del arroyo (Fig. 11), que menciona la basura como fuente de contaminación significativa.

3.3.1. Potencialidad de recuperación de arroyo

Se analizaron 4 preguntas del formulario de entrevista, para tener una idea de la potencialidad de recuperación que tiene el arroyo de acuerdo con las acciones que implementen los moradores y la percepción respecto a la problemática.

En el caso de la pregunta número siete sobre el destino final de la basura doméstica, residuos orgánicos de la cocina y otros inorgánicos como: botellas plásticas y de vidrio, cajas de cartón, pañales etc., se definieron 9 opciones de respuesta, donde el entrevistado pudo elegir más de una opción. La Tabla 2 muestra la frecuencia por cada opción y nos da una idea de las acciones más aplicadas por los entrevistados.

Tabla 2. Frecuencia de menciones para el uso final de residuos domésticos.

Uso final de residuos	Frecuencia de menciones
Cesta de basura	182
Animales	14
Recicla	26
Quema	13
Compostera	6
Vende	4
Tubería	3
Patio	2
Arroyo	2

El puntaje de diversidad asignado en primer lugar fue cinco debido a que las nueve opciones de la pregunta fueron mencionadas por los entrevistados (Tabla 3).

Tabla 3. Puntaje de diversidad de acuerdo con el número de opciones mencionadas de la pregunta.

Diversidad	Intervalos
1	Cuando el número de opciones elegidas está entre 0-2
2	Cuando el número de opciones elegidas está entre 3-4
3	Cuando el número de opciones elegidas es 5
4	Cuando el número de opciones elegidas esté entre 6-7
5	Cuando el número de opciones elegidas está entre 8-9

En el caso de los pre-puntajes para las frecuencias, se asignaron los valores uno y cinco, de acuerdo con los intervalos establecidos para la frecuencia de menciones (Tabla 4).

Tabla 4. Puntajes asignados por frecuencia de menciones.

Pre puntaje	Intervalo de frecuencia de cada pre puntaje
1	Cuando la frecuencia de menciones va de 0-38.6
2	Cuando la frecuencia de menciones va de 38.7-77.2
3	Cuando la frecuencia de menciones va de 77.3-115.8
4	Cuando la frecuencia de menciones va de 115.9-154.4
5	Cuando la frecuencia de menciones va de 154.5-193

El puntaje de diversidad asignado resultó con un valor de uno, ya que la sumatoria de los puntajes asignados (Tabla 4), en cada una de las opciones de la pregunta según su intervalo, fue de 13 puntos (Tabla 5).

Tabla 5. Puntaje de diversidad obtenido por la sumatoria de frecuencias.

Puntaje de diversidad	Condición
1	Cuando la suma de prepuntajes va de 9-16.2
2	Cuando la suma de prepuntajes va de 16.3-23.4
3	Cuando la suma de prepuntajes va de 23.5-30.6
4	Cuando la suma de prepuntajes va de 30.7-37.8
5	Cuando la suma de prepuntajes va de 37.9-45

Finalmente, para esta pregunta, se aplicó la ecuación para obtener la potencialidad de recuperación ($Potencialidad\ de\ recup. = (Puntaje\ de\ diversidad \times 0.3) + (Puntaje\ de\ frecuencia \times 0.7)$) y se obtuvo un valor de tres igual a mediana potencialidad (Tabla 6).

- Puntaje de diversidad =5
- Puntaje de frecuencia = 1
- Resultado= 2.2

Tabla 6. Resultado de la potencialidad de recuperación para la pregunta sobre destino de residuos sólidos.

Puntaje	Condición	Nivel de potencialidad de recuperación
1	Cuando la potencialidad de recuperación va de 0-1	Muy baja potencialidad
2	Cuando la potencialidad de recuperación va de 1.1-2	Baja potencialidad
3	Cuando la potencialidad de recuperación va de 2.1-3	Mediana potencialidad
4	Cuando la potencialidad de recuperación va de 3.1-4	Alta potencialidad
5	Cuando la potencialidad de recuperación va de 4.1-5	Muy alta potencialidad

De acuerdo con la pregunta número nueve del formulario de la entrevista, que buscaba saber si la persona entrevistada había recibido capacitación en el tema de reciclaje, se encontró que sólo un 21% de 193 personas, había recibido capacitación, lo cual coloca la potencialidad de recuperación en el puntaje de diversidad más bajo (Tabla 7).

Tabla 7. Potencialidad de recuperación de acuerdo con el conocimiento sobre técnicas de reciclaje.

Diversidad	Intervalo de puntuación (%)	Potencialidad de recuperación
1	0-39	Muy baja potencialidad
2	40-77	Baja potencialidad
3	78-116	Mediana potencialidad
4	177-154	Alta potencialidad
5	155-193	Muy alta potencialidad

Esta pregunta es de “Sí o No”, es decir, que sólo tiene una respuesta por persona y fue respondida por 193, por ende, los cálculos se hicieron con base en este número.

La pregunta número 15 que buscaba conocer si los moradores circundantes al arroyo, habían notado algún cambio en el aspecto del agua o en el entorno del mismo, fue respondida por los 193 entrevistados, de los cuales el 44% respondió que sigue igual, refiriéndose a que las condiciones de contaminación del arroyo no han aumentado, sino que se mantienen, sin embargo un 4% mencionó que el arroyo “ha mejorado” (Tabla 8), y ubica la potencialidad de recuperación en el nivel de diversidad medio (Tabla 9).

Tabla 8. Respuestas sobre los cambios que ha tenido el arroyo Yerba Buena.

Cambios apreciados	Peso	Respuestas	Puntaje
Ha mejorado	6	7	42
Sigue igual	5	84	420
Más sucia	4	20	80
Más contaminada	3	34	102
Menos agua	2	24	48
Cada vez peor	1	24	24
Total		193	716

Diversidad	Intervalos de puntuación	Potencialidad de recuperación
1	193-425	Muy baja potencialidad
2	359-656	Baja potencialidad
3	524-888	Mediana potencialidad
4	889-1120	Alta potencialidad
5	1121-1352	Muy alta potencialidad

Tabla 9. Potencialidad de recuperación en el aspecto físico del arroyo.

Acciones	Peso	Resultados	Puntaje
No tirar basura	5	92	460
Sistema de alcantarillado sanitario	4	19	76
Planta de tratamiento	3	12	36
Educación ambiental	2	8	16
Autoridades resuelvan	1	23	23
Total		154	611

Tabla 10. Acciones propuestas por los entrevistados para mejorar el estado de contaminación del arroyo.

Este resultado muestra el análisis de las respuestas de la pregunta, pero no describe ciertamente lo que se puede apreciar en campo, dado que las condiciones reales del arroyo ameritan una intervención temprana para evitar que se contamine aún más.

Para la pregunta número 19, sobre las acciones que se pueden realizar para remediar la problemática de contaminación en el arroyo, los entrevistados mencionaron cinco posibles acciones de las cuales, la de mayor peso apunta hacia la responsabilidad social de “no tirar basura” en el arroyo y la de menor peso a ceder la responsabilidad a las autoridades municipales (Tabla 10). Esta pregunta fue respondida por 154 personas.

Este resultado coloca la potencialidad de recuperación del arroyo en un nivel alto debido a que un 60 % respondió la opción de la pregunta con mayor peso.

Tabla 11. Potencialidad de recuperación en base a las acciones propuestas.

Diversidad	Intervalo de puntuación	Potencialidad de recuperación
1	154-277	Muy baja potencialidad
2	278-400	Baja potencialidad
3	401-525	Mediana potencialidad
4	526-647	Alta potencialidad
5	648-770	Muy alta potencialidad

Finalmente se ponderaron los resultados de cada pregunta y se obtiene la potencialidad general del arroyo.

Tabla 12. Resultado final de la potencialidad de recuperación del arroyo.

Aspectos	Resultado	Puntaje	Potencialidad de recuperación
Acciones que realizar	4	5	Muy baja
Destino final de los residuos	5	4	Baja
capacitación en reciclaje	1	3	Mediana
Cambios en el entorno de arroyo	3	2	Alta
Promedio	3.25	1	Muy alta

4. DISCUSIÓN

Parámetros físico-químicos

De acuerdo con Sardiñas Peña et al. (2006), el oxígeno disuelto en el agua es un indicador de la posible contaminación por materia orgánica, procedente de vertidos de aguas domésticas e industriales; es fundamental para evaluar los efectos potenciales de algunos agentes contaminantes y sustentar las formas superiores de vida según Marañón-Reyes et al. (2014). Los resultados de este parámetro para la E2 sugieren que la contaminación orgánica en el arroyo proviene de las descargas domésticas de las comunidades cercanas al arroyo, ya que dicho parámetro superó el límite máximo establecido en la norma de aguas residuales de República Dominicana.

Los parámetros temperatura, dureza, conductividad eléctrica, nitrato, pH, DBO y los sólidos totales disueltos, de acuerdo con las muestras tomadas para este estudio, en las tres estaciones de muestreo, se encuentran por entre de los rangos de valores máximos establecidos por la norma nacional.

En Latinoamérica, es común encontrar que los ríos que corren a través de las áreas urbanas, por lo general, se utilizan como receptores de residuos líquidos de origen doméstico e industrial y a una gran parte de ellos llegan se les aplica un tratamiento previo (Valencia et al. 2007), en este caso, el arroyo Yerba Buena no es la excepción, sin embargo, no sólo se vierten residuos líquidos sino también la basura de muchas casas y establecimientos comerciales cercanos a él como polleras y el matadero municipal, que aportan contaminación orgánica por desechos de plumas, restos de carne, sangre de los animales sacrificados, excremento de animales, etc.

Los niveles de fósforo en el agua son de suma importancia, ya que éste es un tipo de nutriente que puede contribuir con el crecimiento excesivo de algas y provocar eutrofización de cuerpos de agua. Aunque el arroyo Yerba Buena es de flujo constante, se vierte una gran cantidad de residuos orgánicos domésticos y existen estudios como el de Bolaños-Alfaro et al. (2017), que muestra el impacto negativo en el Lago Erie en Estados Unidos donde hubo un incremento considerable del ion fosfato, en la década de los 70's que provocó la muerte de peces y otras especies marinas por la gran cantidad de polifosfatos procedentes de los detergentes que tenían las aguas residuales que llegaban allí. Las aguas residuales domésticas generalmente contienen fosfatos que se derivan de

detergentes y estos son los principales contaminantes de los cuerpos de agua (Rueda-Jasso et al. 2014).

Macroinvertebrados acuáticos

Los resultados muestran la presencia de 13 órdenes y 31 familias, de las cuales Chironomidae es la más abundante, indicando un nivel de contaminación significativo, principalmente en las E2 y E3. De acuerdo con Marques et al. (1999), todos los géneros de esta familia son comunes y a su vez, tolerantes a muchas condiciones ambientales y pueden presentar un aumento significativo en respuesta a los contenidos de materia orgánica.

Aunado a lo anterior, la investigación de Durán-Martínez, (2019), en el arroyo El Arroyazo, ubicado en la Reserva Científica Ébano Verde, República Dominicana, muestra una comunidad y abundancia muy distinta de familias por ser un cuerpo de agua que está dentro de un área de protección estricta, con rango de altura que va desde los 800 hasta los 1,565 msnm; en dicho estudio se encontraron 11 órdenes y 44 familias de las cuales la mayor abundancia se encuentra en los órdenes Ephemeroptera, Diptera y Trichoptera. Esto discrepa un poco de los hallazgos en el arroyo Yerba Buena, donde las condiciones climáticas y la disponibilidad de hábitat son diferentes y un rango de altitud de 528 hasta 1,200 msnm y el orden con mayor abundancia fue Diptera, que se caracteriza por tener familias tolerantes a altos niveles de contaminación como la familia Chironomidae (Bello-González et al. 2013).

De acuerdo con Sotelo-Casas, et al. (2014), los quironomidos forman parte de la dieta de peces, insectos y algunas aves, por lo que son comunes en ecosistemas acuáticos, además que son consumidores de la materia orgánica particulada; son los organismos que se encuentran con mayor frecuencia en el sedimento de los sistemas dulceacuicolas (Navarrete-Salgado et al. 2004).

Los resultados de ambos análisis, macroinvertebrados y fisicoquímicos se corresponden perfectamente para la E2, donde el de oxígeno disuelto, supera el límite máximo establecido por la norma de calidad de agua Clase B para República Dominicana, y asimismo, la cantidad de familias encontradas es mayor que en la E3 sugiriendo una mayor disponibilidad de hábitats para el desarrollo de organismos que se benefician de este hecho.

El BMWP-Cu sugiere que existe contaminación en las tres estaciones de muestreo a diferencia del BMWP-PR, que sólo determinó contaminación para la E3, en este caso, el primero de estos dos índices explicó de forma más completa las condiciones de la calidad biológica del agua.

Percepción social

El 78 % de los entrevistados define el concepto de la calidad de agua como “agua buena”, mientras que un 10% expresó que se refiere al “agua que viene embotellada”, el resto de las personas añadió términos como: “agua sin mal olor”, “de la montaña”, “cristalina”. Esto muestra que la mayoría de los entrevistados consideran que el agua que se puede beber es la de calidad, sin embargo, Alba-Tercedor (1996), comparó los conceptos de calidad de agua, indicando que el agua que se considera sanitaria y buena para tomar, generalmente, es clorada, lo cual se opone al concepto de calidad biológica del

agua, ya que ésta mantiene sus características naturales que le permite el desarrollo de comunidades de organismos propios del ecosistema.

De acuerdo con lo expresado por los entrevistados en este estudio, un 94 % expresó que como contribuir con no tirar basura es una de las posibles soluciones a la contaminación del arroyo. Algo muy parecido ocurrió con el estudio de Pradilla-Villamizar (2019), realizado en Jarabacoa muestra los resultados de 160 entrevistas, donde el 88 % expresó que las condiciones del arroyo Yerba Buena son malas o muy malas y destaca la contaminación por basura como la principal causa del mal estado de este cuerpo de agua. El 71 % de los encuestados estuvo dispuesto a apoyar acciones de restauración del arroyo en campañas de voluntariado.

5. CONCLUSIONES

El arroyo Yerba Buena muestra un perfil de contaminación creciente a medida que avanza, desde su nacimiento hasta su confluencia con el río Yaque del Norte, alcanzando niveles significativos de contaminación (principalmente de coliformes fecales) en la zona cercana a la desembocadura.

Esta contaminación es puntual, principalmente, de origen doméstico, proveniente de las comunidades Yerba Buena, El Bolsillo, El Ercilia Pepín y Rescate. Este hecho representa una problemática importante que afecta directa e indirectamente, a los moradores cercanos al arroyo por las plagas y enfermedades, producto de las condiciones críticas en las que se encuentra.

Las características físico-químicas del agua del arroyo se pueden ver alteradas en distintos niveles a lo largo de todo el día, este hecho se ve influenciado por el volumen de vertidos provenientes de las actividades domésticas que inician desde las primeras horas de la mañana y se van intensificando con el pasar de las horas.

La aplicación del IBF, el análisis de parámetros fisicoquímicos y el protocolo de evaluación visual de quebradas para Puerto Rico, son complementarios a la hora de determinar la calidad biológica del agua y las condiciones del espacio físico de la sección de muestreo.

No existe una planta de tratamiento para las aguas residuales que llegan al arroyo Yerba Buena, lo cual se refleja en el elevado conteo de coliformes y contenido de fosfatos y representa una amenaza para la salud de la población y el mantenimiento en buen estado de este ecosistema.

Las acciones municipales de recogida semanal de basura funcionan bien, pero es de señalar que los resultados del análisis social muestran que, al menos la población entrevistada, necesita reforzar sus conocimientos en cuanto a la educación ambiental, para reducir la descarga de basura en el arroyo.

6. RECOMENDACIONES

- Realizar un estudio más profundo de la contaminación del arroyo, donde se efectúen muestreos más detallados, y a diferentes horas del día y en distintas épocas del año, analizando parámetros fisicoquímicos, bacteriológicos y macroinvertebrados acuáticos para poder hacer comparaciones detalladas y determinar tendencias y comportamientos de la calidad de agua.
- En el formulario de entrevistas, se debe procurar que las preguntas sean más específicas de lo que interesa saber del arroyo.
- Dada la importancia del tratamiento de aguas servidas, se recomienda la construcción de una red de alcantarillado sanitario, para recoger gran parte de estas aguas de las comunidades cercanas, y procesarlas en una planta de tratamiento de aguas residuales, antes de su desembocadura en el río Yaque del Norte.
- Es necesario continuar investigando para ajustar los rangos de la calidad del agua del BMWP-RD, para que reflejen dicho estado, ya que con los datos de este estudio el índice no fue muy sensible para la estimación de la calidad del agua.
- Para contribuir con el mantenimiento en buen estado del arroyo, es necesario que los pobladores con influencia directa en el arroyo puedan unir fuerzas a través de la junta de vecinos, escuelas, el ayuntamiento, el sector privado y otras autoridades, para organizar brigadas de limpieza periódicas.
- Es necesario que los moradores del lugar comprendan la importancia de la conservación y protección los recursos de agua, por lo que se recomienda realizar talleres de educación ambiental centrados en las acciones concretas para lograr dicha protección (manejo de riberas, manejo de residuos sólidos, eliminación de las descargas directas al cauce y otros).

7. BIBLIOGRAFÍA

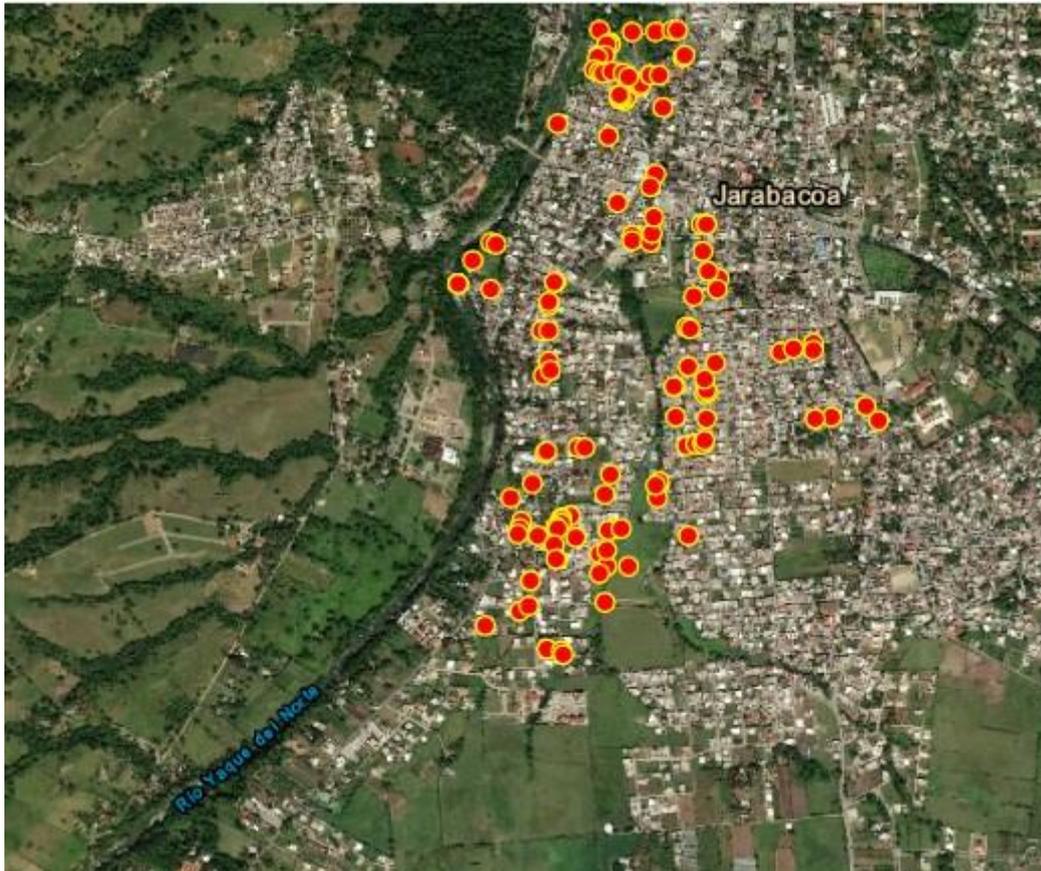
- Alba-Tercedor, J. (1996). Macroinvertebrados acuáticos y calidad de las aguas de los ríos. IV Simposio del Agua en Andalucía (SIAGA), Almería, 1996 (pág. 12). Andalucía: Departamento de Biología Animal y Ecología. Universidad de Granada.
- Bello González, O. C., Spies, M., & Téllez Martínez, B. (agosto de 2013). ResearchGate. Obtenido de https://www.researchgate.net/publication/298112323_Estado_del_conocimiento_de_la_familia_Chironomidae_Insecta_Diptera_en_Cuba.
- Bolaños-Alfaro, J. D., Cordero-Castro, G., & Segura-Araya, G. (2017). Determinación de nitritos, nitratos, sulfatos y fosfatos en agua potable como indicadores de contaminación ocasionada por el hombre, en dos cantones de Alajuela (Costa Rica). *Tecnología en Marcha*, Vol. 30, N.º 4, 13.
- Cárdenas-Castro, E., Lugo-Vargas, L., González-Acosta, J. A., & Tenjo-Morales, A. I. (2018). Application of the family biotic index of macroinvertebrates for water characterization of the Teusaca river, tributary of the Bogota river. *Revista U.D.C.A.*
- Díaz B., R. (2009). Mecanismos de compensación relacionando bosques con agua en Centroamérica y El Caribe de habla hispana. Santo Domingo: Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales.
- Durán-Martínez, Y. (2019). Estimación de la calidad del agua del arroyo El Arroyazo, Reserva Científica Ébano Verde, provincia La Vega, República Dominicana con base en la estructura de la comunidad de macroinvertebrados acuáticos. Santo Domingo D. N.: Universidad Autónoma de Santo Domingo. (pp. 20-27).
- EPA. (2001). Parameters of water quality. Ireland, Estados Unidos: Environmental Protection Agency.
- Gutiérrez-Fonseca, P. E., y Ramirez, A. (2016). Ecological evaluation of streams in Puerto Rico: major threats and evaluation tools. Obtenido de ResearchGate: https://www.researchgate.net/publication/318600924_Ecological_evaluation_of_streams_in_Puerto_Rico_Major_threats_and_evaluation_tools.
- Hernández A., Del Rosario J., Alcántara F. (2017). Residuos sólidos urbanos en República Dominicana. Desafíos y oportunidades para una gestión de desechos ambientales sostenible.
- INAPA. (2016). Propuesta de Estrategia Nacional de Saneamiento, República Dominicana. Santo Domingo.
- JarabacoaTeve. 2016. Obtenido de <http://www.jarabacoateve.com/local/arroyo-yerba-buena-principal-contaminante-del-rio-yaque-del-norte-en-jarabacoa-jarabacoateve-rafaelpeguero.html>.

- Marañón-Reyes, A., Pérez-Pompa, N., Dip-Gandarilla, A., González-Marañón, A., Pérez-Silva, R., & Ruiz-Estrella, A. (2014). Evaluación temporal de la calidad de aguas del río Los Guaos de Santiago de Cuba. *Revista Cubana de Química* Vol.26, 11. (pp. 115-125).
- Marques, M., Barbosa, F., & Callisto, M. (1999). Distribution and abundance of Chironomidae (Diptera, Insecta) in an impacted watershed in south-east Brazil. *Revista Brasileira de Biología*, (pp. 9).
- McCafferty, W., & Provonsha, A. (1981). *Aquatic Entomology*. Boston: Jones and Bartlett Publishers.
- MEPyD. (2018). Nota técnica. Contexto Actual del Agua en la República Dominicana. Santo Domingo.
- Merritt, R., Cummins, K., & Martin, B. (2008). *An Introduction to the Aquatic Insects of North America*. Departamento de Zoología, Instituto de Biología, Universidad Nacional Autónoma de México. Ciudad Universitaria 04510 México, D. F., México.
- Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales. (2012). Norma ambiental de calidad de aguas superficiales y costeras. Santo Domingo, República Dominicana.
- Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales. (2019). Obtenido de <https://ambiente.gob.do/cuencas-hidrograficas/>.
- Mondragón Aguirre, G. F. (2020). Propuesta metodológica para la evaluación de resiliencia climática en microcuencas. Turrialba, Costa Rica: Programa Nacional de Innovación Agraria – PNIA – PERÚ.
- Naranjo López, C., Muñoz Riveaux, S., Garcés González, G., González Lazo, D., Musle Cordero, Y. & Rodríguez Montoya, L. (2003). Evaluación de la Calidad del Agua utilizando los Macroinvertebrados bentónicos como bioindicadores. *Revista Chapingo. Serie Ciencias forestales y del ambiente*, Vol. 9, Núm. 2., (pp. 147-153).
- Navarrete-Salgado, N., Fernández-Guillermo, E. & Contreras-Rivero, G. (2004). Abundancia de Quironómidos (Diptera: Chironomidae) en el bordo “JC” del norte del Estado de México en el periodo de secas. *Hidrobiológica*, (pp. 157-160).
- Plan Yaque. (2018). Memoria anual. Plan para el Desarrollo Sostenible de la Cuenca del Río Yaque del Norte.
- Pradilla Villamizar, G. (2019). Social-Ecological Assessment of tropical Urban River and Restoration Opportunities: Blue-Green Infrastructure for Jarabacoa (Dominican Republic) IWRM - Integrated Water Resources Management. Jarabacoa, La Vega, República Dominicana: TH Köln (University of Applied Sciences).
- Prat, N., Rivera, M., Acosta, R., & Ríos, B. (2009). ResearchGate. Obtenido de https://www.researchgate.net/publication/255632705_Los_macroinvertebrados_como_indicadores_de_calidad_de_las_aguas.

- Rodríguez, N. &. (2018). Protocolo de evaluación visual de quebradas para Puerto Rico. Puerto Rico.
- Samboni, N. E., Carvajal, Y., & Escobar, J. C. (2007). Revisión de parámetros físico-químicos como indicadores de calidad y contaminación del agua. *Revista Ingeniería e Investigación* Vol. 27 No.3, 2007. (pp. 172-181).
- Sardiñas Peña, O., Chiroles Rubalcaba, S., Fernández Novo, M., Hernández Rodríguez, Y., & Pérez Cabrera, A. (2006). Evaluación físico-química y microbiológica del agua de la presa El Cacao (Cotorro, Cuba). *Higiene y Sanidad Ambiental*.
- Sotelo-Casas, R. C., Cupul-Magaña, A. L., & Rodríguez-Troncoso, A. P. (2014). Primer registro del género *Clunio* (Diptera: Chironomidae) asociado a las comunidades coralinas de islas Marietas, México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, (pp. 1-2).
- Thorp, J., & Covich, A. (1991). *Ecology and Classification of North American freshwater macroinvertebrates*. San Diego, United States: Elsevier Science Publishing Co Inc.
- Trishala, K., Parmar, T., Rawtani, D., & Agrawal, Y. (2016). Bioindicators: The natural indicator of. *Frontiers in Life Science*, (pp. 10).
- Valencia, R., Sánchez, J., Ortiz, E., & Gómez, J. (2007). La contaminación de los ríos, otro punto de vista Primera parte. *Revista de ciencia y tecnología de la UACJ Reserva No. 04-2007-030513570700-01*, (pp. 49).
- Whipple, E. (Marzo de 2017). Obtenido de El río Yaque del Norte y su importancia: <http://lainformacion.com.do/noticias/opinion/columnas/9469/el-rio-yaque-del-norte-y-su-importancia>.

Anexos

Anexo 1. Ubicación espacial de las entrevistas en la parte urbana de Jarabacoa



Anexo 2. Condiciones del entorno del arroyo Yerba Buena



