

Universidad Nacional
Facultad de Ciencias de la Tierra y el Mar
Escuela de Ciencias Ambientales
Licenciatura en Ingeniería en Gestión Ambiental

Título:

Evaluación del estado de la calidad del agua del río Bermúdez en la parte media de la microcuenca,
en el cantón de San Pablo de Heredia, para la generación de estrategias de mejora de su calidad,
2021-2022

Trabajo Final de Graduación

Modalidad:

Proyecto de Graduación

Estudiante:

Nicole Andrea Mainieri Moya

Comité asesor:

Tutor: Dr. Sergio Molina Murillo

Lector: Lic. David González Ovares

Lector: M.Sc. Clemens Ruedert

Heredia, Costa Rica

Febrero, 2024

Trabajo de graduación aprobado por el Tribunal Examinador de la Escuela de Ciencias Ambientales de la Universidad Nacional de Costa Rica, para optar al grado de Licenciatura en **Ingeniería en Gestión Ambiental**.

1. MIEMBROS DEL TRIBUNAL EXAMINADOR

.....

M. Sc. Silvia Echeverría Saénz

Representante Decanato de la Facultad de Ciencias de la Tierra y el Mar

.....

M. Sc. Melissa Blandón Naranjo

Dirección de EDECA

.....

Dr. Sergio Molina Murillo

Tutor

.....

M.Sc. Clemens Ruepert Ruepert

Lector

.....

Lic. David González Ovares

Lector

.....

Nicole Andrea Mainieri Moya

Postulante del trabajo

Resumen

En Costa Rica el recurso hídrico es sometido a grandes presiones antropogénicas, lo que ocasiona un decremento de su calidad. A nivel país existe normativa que regula las áreas de protección de los cuerpos de agua, la gestión integral de los residuos sólidos y el vertido de las aguas residuales. No obstante, estas han resultado insuficientes para garantizar la calidad y protección del recurso hídrico que actualmente enfrenta problemáticas que ponen en riesgo a sus ecosistemas y a los habitantes presentes y futuros. Surge de esta forma la necesidad de generar información sobre la calidad de los cuerpos de agua desde el ámbito local.

Por lo tanto, mediante la presente investigación se evaluó el estado de la calidad del agua del río Bermúdez en la parte media de la microcuenca en el cantón de San Pablo de Heredia por medio de la identificación de aspectos que inciden en ella y el conocimiento del nivel de contaminación, para así crear estrategias que le permitan al municipio una mejor gestión de la misma.

Para lograrlo se establecieron tres fases metodológicas, en la primera se realizó una caracterización de aspectos clave ambientales y socioeconómicos mediante el análisis y la sistematización de información, de lo que se obtuvo que a nivel de microcuenca las actividades económicas y de gestión de residuos de los cantones limítrofes de San Rafael y Santo Domingo de Heredia pueden generar impactos en el recurso hídrico compartido. Para el cantón de San Pablo, las áreas de protección son principalmente invadidas por infraestructura, además de que existe una escasa cobertura de alcantarillado sanitario, mientras que el servicio de recolección de residuos sólidos cubre el 100 % del territorio.

La segunda fase buscó determinar el estado del agua superficial a través del análisis de información de los estudios fisicoquímicos y biológicos, donde el Índice Holandés indicó, para todos los periodos de muestreo, contaminación que varía entre moderada y severa, con presencia de macroinvertebrados como *Chironomidae*. Asimismo, se incluyeron recorridos en campo para la identificación de focos de contaminación por residuos sólidos, encontrando cinco puntos críticos en época lluviosa y seis en época seca.

En la tercera fase se efectuó una priorización de problemáticas y la consulta a actores clave sobre las estrategias de mejoramiento, quienes indicaron que estas debían orientarse principalmente a mejorar los mecanismos de monitoreo de los residuos sólidos, la ejecución de campañas de limpieza, el monitoreo y control de los desfuegos, todo esto sin dejar de lado el involucramiento de la sociedad.

Finalmente, se concluye que la mejora de la calidad requiere no solo de iniciativas a nivel local, sino, también, de un enfoque integral mediante alianzas para la gobernanza del recurso hídrico, con la participación de instituciones gubernamentales y priorizando el involucramiento de la sociedad.

Dedicatoria

A mi papá Carlos Mainieri y a mi mamá Amapola Moya.

Esto es de ustedes, porque su amor, su apoyo y su guía son lo que me han permitido llegar hasta acá.

Agradecimiento

A Dios, por darme la sabiduría y fortaleza para afrontar y culminar este proceso.

A mis, padres por su apoyo incondicional, sin su ayuda no lo hubiera logrado. En especial a mi mamá por ser un ejemplo de vida y perseverancia, por enseñarme que ningún esfuerzo es muy pequeño, que todo lo que se proponga y se deje en manos de Dios se puede alcanzar.

A Abo y a tía, por estar presentes, por su amor y su apoyo en todo momento.

A mis amistades más cercanas que estuvieron conmigo en todo el proceso, solo puedo decirles: ¡gracias!

A mi tutor el Dr. Sergio Molina, por asumir este reto conmigo, por su guía, sus conocimientos y por todo el tiempo invertido en hacer este proyecto una realidad.

Al M.Sc. Clemens Ruepert, por su apoyo, su tiempo y por siempre retarme a dar un paso más.

Al Lic. David González, por creer en mí y abrirme las puertas, por compartir sus conocimientos y vivir conmigo cada fase, desde el trabajo en campo hasta la virtualidad.

A la Municipalidad de San Pablo de Heredia, gracias por la oportunidad brindada, por su apoyo y por destinar tiempo y recursos que me permitieron alcanzar esta meta.

Tabla de contenido

Capítulo I: Introducción	14
1.1. Antecedentes.....	14
1.2. Problema.....	16
1.3. Justificación	17
1.4. Localización espacial y temporal.....	18
1.5. Objetivos.....	18
Objetivo general.....	18
Objetivos específicos	18
Capítulo II: Marco conceptual.....	20
2.1 Cuenca Hidrográfica.....	20
2.2 Gestión de Cuencas	20
2.3 Fuentes de contaminación e impacto a la microcuenca.....	21
2.3.1 Residuos sólidos.....	21
2.3.3 Invasión de áreas de protección.....	23
2.3.4 Coberturas y uso del suelo	24
2.4 Calidad del agua superficial.....	25
2.5 Legislación vinculante a las aguas superficiales	26
2.6 Estrategias para el mejoramiento de los ríos	29
Capítulo III: Marco metodológico.....	30
3.1 Área de estudio	30
3.2 Metodología.....	31
3.2.1 Recopilación y preprocesamiento de información.....	31
3.2.2 Trabajo de campo.....	34
3.2.3 Análisis de información	38
Capítulo IV: Resultados	44

4.1	Caracterización	44
4.2	Determinación del estado del agua superficial	65
4.3	Formulación de estrategias	84
Capítulo V: Conclusiones.....		91
Capítulo VI: Recomendaciones.....		93
Capítulo VII: Referencias.....		95
Capítulo VIII: Anexos.....		106

Índice Figuras

Figura 1 Área de estudio	30
Figura 2 Ecuación 1. Determinación del agua consumida anualmente.....	33
Figura 3 Inspección en campo para la definición y reconocimiento de los puntos de muestro	35
Figura 4 Toma de parámetros fisicoquímicos in situ	36
Figura 5 Proceso de muestreo de macroinvertebrados.....	36
Figura 6 Ecuación 2. Estimación del puntaje total para la asignación de categorías de contaminación	41
Figura 7 Microcuenca del río Bermúdez.....	44
Figura 8 Percepción del sector domiciliario y comercial sobre el servicio de recolección de residuos no valorizables.....	47
Figura 9 Percepción del sector domiciliario sobre el servicio de recolección de residuos valorizables	48
Figura 10 Tecnología para el tratamiento y gestión de las aguas residuales en el cantón de San Pablo de Heredia	53
Figura 11 Desfogues presentes en el río Bermúdez y sus quebradas en el cantón de San Pablo de Heredia	54
Figura 12 Desfogue de aguas de apariencia jabonosa al cauce del río Bermúdez en el cantón de San Pablo.....	55
Figura 13 Uso de la tierra en el cantón de San Pablo de Heredia	56
Figura 14 Distribución porcentual del tipo de coberturas presentes en las áreas de protección del río Bermúdez	58
Figura 15 Distribución porcentual de los tipos de coberturas presentes en las áreas de protección del río Bermúdez en San Pablo de Heredia.....	59
Figura 16 Ejemplificación de invasión de las áreas de protección por infraestructura.....	59
Figura 17 Distribución porcentual de los sectores económicos presentes en el cantón de San Pablo de Heredia	63
Figura 18 Distribución porcentual de las patentes autorizadas para el funcionamiento de actividades comerciales para el 2014.....	64
Figura 19 Ubicación de los puntos de muestreo de aguas y macroinvertebrados en el río Bermúdez en San Pablo de Heredia durante la época de transición, noviembre de 2021.....	66
Figura 20 Puntos críticos de contaminación por residuos sólidos en el río Bermúdez en el cantón de San Pablo de Heredia	74

Figura 21 Mapa de calor para la época lluviosa según los criterios de abundancia y categorías.....	78
Figura 22 Mapa de calor para la época lluviosa según el criterio de abundancia de puntos.....	79
Figura 23 Mapa de calor para la época seca según los criterios de abundancia y categoría.....	80
Figura 24 Mapa de calor para la época seca según el criterio de abundancia de puntos	81
Figura 25 Cantidad de sitios en los que se identifican los residuos según la época de muestreo	82
Figura 26 Priorización de las propuestas para el mejoramiento de la calidad del agua del río Bermúdez	85

Índice de tablas

Tabla 1 Clasificación de los principales residuos de interés para la investigación	22
Tabla 2 Principales coberturas y usos de suelo de interés para la investigación.....	25
Tabla 3 Principales parámetros fisicoquímicos y biológicos contemplados en el Reglamento para la Evaluación y Clasificación de la Calidad de Cuerpos de Agua Superficiales N.º 33903	27
Tabla 4 Criterios bajo los cuales se seleccionaron los sitios de muestreo del primer semestre de 2021	34
Tabla 5 Asignación de puntajes según el Sistema Holandés de Valoración de la Calidad del Agua para cuerpos receptores	38
Tabla 6 Asignación de clases de calidad del agua según el Sistema Holandés.....	39
Tabla 7 Clasificación de la calidad del agua en función del puntaje total obtenido	40
Tabla 8 Puntaje para la asignación de las categorías de contaminación	41
Tabla 9 Asignación de la categoría según el puntaje total	42
Tabla 10 Actores clave considerados en la retroalimentación de las propuestas de mejoramiento ...	43
Tabla 11 Campañas de recolección de residuos electrónicos realizadas en el cantón de San Pablo de Heredia, al mes de octubre de 2021	50
Tabla 12 Cantidad de viviendas en el cantón de San Pablo de Heredia según el método de gestión de las aguas residuales	52
Tabla 13 Distribución porcentual del uso de la tierra en el cantón de San Pablo de Heredia.....	57
Tabla 14 Cantidad de fincas de acuerdo con el tipo de cobertura presente en las áreas de protección del río Bermúdez y dos quebradas, en el cantón de San Pablo de Heredia.....	60
Tabla 15 Cantidad de habitantes por cantón para el 2021.....	61
Tabla 16 Población del cantón de San Pablo de Heredia según sexo para el 2021.....	61
Tabla 17 Registros históricos de población, residuos y aguas en el cantón de San Pablo de Heredia	62
Tabla 18 Identificación de los puntos de muestreo para la campaña del segundo semestre 2021	65
Tabla 19 Distancia aproximada entre los puntos de muestreo para la campaña del segundo semestre 2021	66
Tabla 20 Parámetros de análisis para la determinación de la calidad de las aguas del río Bermúdez	67
Tabla 21 Índice Holandés durante la época seca febrero 2021	67
Tabla 22 Índice Holandés durante la época lluviosa, mayo de 2021	68
Tabla 23 Índice Holandés durante la época de transición noviembre 2021	68
Tabla 24 Índice BMWP-CR durante la época seca febrero 2021	69

Tabla 25 Índice BMWP-CR durante la época lluviosa mayo 2021	70
Tabla 26 Índice BMWP-CR durante la época de transición, noviembre de 2021	71
Tabla 27 Resultados de potencial de hidrógeno, temperatura y porcentaje de saturación de oxígeno para cada punto de muestro según la época de estudio	73
Tabla 28 Resultados del oxígeno disuelto medido in situ durante la campaña de muestreo de época de transición, noviembre de 2021	74
Tabla 29 Características de los puntos críticos de contaminación por residuos sólidos identificados durante la época lluviosa 2021	76
Tabla 30 Características de los puntos críticos de contaminación por residuos sólidos identificados durante la época seca 2021-2022.....	77
Tabla 31 Matriz de priorización de las principales problemáticas identificadas	84

Índice de anexos

Anexo 1. Mapa de la cuenca grande de Tárcoles y sus subcuencas.....	106
Anexo 2. Mapa de los puntos muestreados por la municipalidad en el primer semestre de 2021 ...	107
Anexo 3. Puntajes para las familias identificadas en Costa Rica.....	108
Anexo 4. Instrumento N.º 1. Plantilla para el registro de los residuos presentes en el río Bermúdez, San Pablo de Heredia	110
Anexo 5. Instrumento N.º 2. Registro para el levantamiento de los puntos críticos de contaminación por residuos	111
Anexo 6. Instrumento N.º 3. Protocolo de campo para la toma de muestras de aguas del río Bermúdez	112
Anexo 7. Instrumento N.º 4. Registro de definición de los puntos de muestreo.....	113
Anexo 8. Instrumento N.º 5. Matriz de priorización de las problemáticas y los criterios de evaluación	114
Anexo 9. Instrumento N.º 6. Determinación de los índices de calidad del agua.....	115
Anexo 10. Sitios propuestos para la recolección de los residuos de manejo especial	115
Anexo 11. Descripción de los tipos de actividades económicas según la cantidad de patentes registradas para el 2014.....	117
Anexo 12. Registro fotográfico para el reconocimiento de los puntos de muestreo.....	118
Anexo 13. Registro fotográfico de algunos macroinvertebrados identificados en la época de transición	120
Anexo 14. Registro fotográfico de los puntos de contaminación por residuos sólidos en época lluviosa 2021	122
Anexo 15. Registro fotográfico de los puntos de contaminación por residuos sólidos en época seca 2021-2022.....	125
Anexo 16. Resultados de estudios fisicoquímicos y biológicos para el río Bermúdez.	127
Anexo 17. Instrumento 7. Validación de las estrategias de mejoramiento de la calidad del agua superficial	128

Capítulo I: Introducción

1.1. Antecedentes

Se estima que en las próximas décadas la demanda del recurso hídrico incrementará, por lo que el deterioro de su calidad es una realidad que aqueja a los países alrededor del mundo y que pone en riesgo su disponibilidad (Programa Mundial de Evaluación de los Recursos Hídricos de las Naciones Unidas WWAP, 2017). Ante ello, la necesidad de generar información sobre el estado de los cuerpos de agua ha sido evidenciada a nivel mundial, surgiendo como respuesta múltiples informes y estudios que presentan los principales retos y problemáticas que enfrenta el recurso en la actualidad.

Al respecto, se pueden destacar investigaciones internacionales orientadas a conocer la situación hídrica de un país en particular, tal como el escrito de Hasan et al. (2019), quienes recopilaron información bibliográfica sobre los cuerpos de agua en Bangladesh, encontrándose con que las aguas superficiales del país son mayoritariamente contaminadas por efluentes de origen industrial, como también por descargas de aguas residuales y residuos sólidos.

Mientras que en China se ha documentado la contaminación de los ríos con nitrato, cuyas fuentes principales corresponden a las descargas sépticas, el estiércol y los fertilizantes inorgánicos. A la vez que los estudios de correlación efectuados permitieron establecer una correlación positiva entre las concentraciones de nitrato en las aguas superficiales de los ríos y el uso de fertilizantes nitrogenados, así como la descarga de aguas residuales (Zhang et al., 2021).

A nivel centroamericano, en el informe presentado por Global Water Partnership GWP se enfatiza que, en la región, la disponibilidad y calidad del recurso hídrico se ve amenazada por factores como la contaminación derivada de la inadecuada gestión de las aguas residuales, lo que puede relacionarse con la baja cobertura de los sistemas de saneamiento en algunos países, ya que en Nicaragua es de aproximadamente un 68 %, mientras que en El Salvador alcanza el 70 % (GWP, 2017, pp. 20-26).

Por cuanto al panorama nacional, desde el año 2015 el país cuenta con el Plan Nacional de Monitoreo de la Calidad de los Cuerpos de Agua Superficiales, que comprende 160 puntos de monitoreo distribuidos en 32 cuencas hidrográficas del país (Dirección de Aguas y MINAE, 2021). Aunado a ello, se presentan investigaciones relacionadas con los cuerpos de agua superficiales, entre los que se destaca el de Hernández y Ulate (2016), en el que no solo se determinó, mediante análisis fisicoquímicos y microbiológicos, aspectos de la calidad del agua de la parte alta de la microcuenca del río Porrosatí, como, por ejemplo, la presencia de coliformes fecales, sino que, además, se

demuestra la importancia de conocer la percepción de la población sobre el recurso, pues un 68 % de los encuestados indicó que el río se encontraba contaminado.

De igual manera, se tiene la Propuesta de Plan de Gestión Integral del Recurso Hídrico (GIRH) en la microcuenca Maravilla-Chiz, Cartago, Costa Rica, en la que, mediante un diagnóstico en el área de estudio, Alvarado et al. (2019) concluyeron que “de acuerdo con el índice biológico de calidad de las aguas, la cuenca alta de Quebrada Honda se encuentra extremadamente contaminada” (p. 66). Estos autores generaron indicadores y establecieron una propuesta de un plan para la gestión integral del recurso, procurando la mitigación, adaptación y recuperación de la microcuenca. Mientras que Solano (2011) elaboró un estudio en el que no solo analiza la calidad del agua de la parte media-alta de la microcuenca del río Damas, sino que, también, reconoce que la inadecuada gestión de los residuos sólidos es un factor que disturba el cauce del río.

El río Virilla también ha sido objeto de estudio con investigaciones como la Mena et al., (2018) mediante las cual se realizó un monitoreo durante los años 2014 al 2016, obteniendo altas concentraciones de contaminantes como nitrógeno y E. Coli. Mientras que dentro de los macroinvertebrados predominantes se encuentran Baetidae, Chironomidae, Leptohiphidae, Autores que también destacan el decremento en la calidad del agua en zonas de mayor presencia urbana.

Ahora bien, respecto a los antecedentes a nivel local, se identifica que el río Bermúdez fue estudiado por Castro et al. (1996) con la finalidad de determinar parámetros como el oxígeno disuelto, pH, conductividad y temperatura y su relación con el uso del suelo; concluyendo que en la cuenca los usos de suelo predominantes correspondían a cultivo de café y uso urbano, con un 53 % y 30 % respectivamente; a la vez que en las zonas urbanas se registraron los valores de oxígeno disuelto más bajos, inclusive cercanos al cero en algunos periodos. Segura y Fernández (2015) estudiaron las aguas de la microcuenca del río Bermúdez, en el cantón de Belén, donde realizaron un diagnóstico fisicoquímico y biológico, y el modelado de posibles escenarios para la reducción de contaminantes; siendo uno de sus hallazgos que, de acuerdo con el Índice Holandés, el agua superficial de la parte baja de la microcuenca es catalogada con contaminación severa.

Además, se menciona la investigación en el río Bermúdez que comprendió los cantones de Santo Domingo y San Pablo, en la que el diagnóstico de las áreas de protección del río para cada cantón permitió identificar las principales problemáticas que estas enfrentan, entre las que se destacan la contaminación por residuos sólidos y la invasión urbana (Chaves, 2015).

Finalmente, Anchía (2021) estudió la calidad del agua del río Bermúdez en el cantón de San Rafael de Heredia, estableciendo según el índice Holandés que todos los puntos de muestreo se

clasifican con contaminación incipiente. A la vez que el índice BMWP clasificó a la mayoría de los puntos muestreados como aguas de mala calidad, destacando el efecto que el poco caudal del río pudo tener en la disponibilidad de macroinvertebrados.

1.2. Problema

En Costa Rica, una de las principales causas de contaminación de las aguas superficiales corresponde al vertido de aguas residuales (GWP, 2017), a lo que se suma la problemática que la inadecuada gestión de los residuos sólidos representa, puesto que su deposición en los ríos es una práctica común en el territorio nacional (Ministerio de Salud MS, 2016).

Si bien, existen tecnologías para el tratamiento de las aguas residuales, Mora et al., (2022) indican que para 2019 en Costa Rica únicamente un 22,9 % de las aguas residuales generadas son gestionadas mediante alcantarillado sanitario seguido de planta de tratamiento. A su vez, el Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados AyA et al. (2016) reconoce que la inversión en el sistema de alcantarillado y tratamiento de estas aguas continúa siendo menor que la destinada al servicio de agua potable.

Esta realidad agobia al país, a pesar de la existencia de normativa que busca la adecuada gestión del recurso hídrico, destacándose la Ley de Aguas N.º 276, el Reglamento de Vertido y Reúso de Aguas Residuales N.º 33601 y la Ley Forestal N.º 7575, cuyo artículo 33 establece las áreas de protección aplicables a fuentes hídricas (Ley 7575, 1996). Adicionalmente, está normado por la Ley para la Gestión Integral de Residuos N.º 8839 y su Reglamento N.º 37567. Entonces, resulta evidente que el problema de contaminación que sufren los cuerpos de agua nacionales no se debe a la carencia de normativa, sino más bien a la poca fiscalización de su cumplimiento, reforzado con lo mencionado por GWP (2017) que señala, por ejemplo, la débil estructura a nivel organizacional que posee el Ministerio de Salud afectando al adecuado monitoreo de los efluentes.

Ahora bien, el río Bermúdez no se ve exento de esta situación, pues como lo mencionan Cambronero et al. (2019, p. 27): “drena o recorre un área donde existen fuertes presiones sobre los recursos y ecosistemas naturales”, esto se debe a que su microcuenca, se distribuye en los cantones de Alajuela, Belén, Flores, Barva, Heredia, Santo Domingo, San Isidro, San Rafael y San Pablo de Heredia (Hernando y Orozco, 2015), siendo su cauce afectado por la descarga de contaminantes provenientes de actividades domésticas, industriales y agrícolas (Castro et al., 1996).

Específicamente, en el cantón de San Pablo de Heredia, la municipalidad ha reconocido que el río Bermúdez, se ve amenazado por la disposición de residuos sólidos y aguas residuales domésticas (Municipalidad de San Pablo de Heredia, s.f.). Pese a esto, existe una carencia de información técnica

local que permita conocer la calidad de sus aguas y que sea una herramienta clave para que el municipio genere estrategias para su mejoramiento y adecuada gestión.

Es por ello que, con el apoyo de la Municipalidad de San Pablo de Heredia, se efectuó este proyecto de investigación durante el periodo 2021-2022, con la fin de evaluar la calidad del agua del río Bermúdez en la cuenca media, identificando los principales contaminantes líquidos y sólidos que inciden en su degradación, y así proponer al municipio estrategias que procuren una mejora en su calidad, lo que contribuye de esta manera a solventar la carencia de información integral y creando las bases para que el gobierno local cuente con insumos que contribuyan a la adecuada planificación y gestión del recurso. El estudio se ejecutó únicamente en la cuenca media porque esta es la que se localiza dentro de los límites del cantón de San Pablo.

1.3. Justificación

El agua es un recurso indispensable para el desarrollo de todas las actividades humanas, desde las domésticas hasta las de carácter industrial (Arroyave et al., 2012). Por esta razón, su demanda se incrementa a medida que la población y la economía lo hacen, dejando en evidencia la necesidad de efectuar un manejo integral del recurso (Martínez y Villalejo, 2018).

Costa Rica está conformada por 34 cuencas hidrográficas (PNUD, IMN, MINAET, 2011), una de ellas es la cuenca del río Grande de Tárcoles. Esta se distribuye por las provincias de Alajuela, Puntarenas, Cartago, San José y Heredia y está compuesta por el río Grande y el río Virilla (Ríos Limpios, 2020). El río Bermúdez es parte de la cuenca del río Virilla (Buzolich et al., 2007), cuya microcuenca es objeto de estudio de esta investigación (Anexo 1).

En este sentido, la cuenca de Tárcoles es víctima de un alto grado de contaminación, “concentra más del 50 % de la población nacional, un 80 % de las industrias y más del 50 % de las actividades agrícolas y pecuaria” (Ríos Limpios, 2020, p. 30). Ante esta realidad, en el 2007 se declaró un recurso de amparo contra el presidente de la República, Ministerio de Ambiente y Energía, y otras instituciones estatales, en el que se destaca la elevada degradación de la cuenca, las serias repercusiones para las otras regiones del país, sus habitantes y las futuras generaciones, lo que, a su vez, plasma la necesidad de tomar acciones para corregir el daño (Corte Suprema de Justicia, 2007). Dicha resolución, conocida como Voto Garabito, es uno de los principales pilares de este proyecto, puesto que deja en evidencia la necesidad que existe en los gobiernos locales de generar información sobre los cursos de agua superficiales que tienen confluencia con la cuenca Grande de Tárcoles y establecer estrategias que contribuyan a su recuperación.

Asimismo, la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y Alimentación FAO (2009) menciona que las cuencas hidrográficas proporcionan diversos servicios, como la prevención de inundaciones al estabilizar los caudales de agua, la reducción de la erosión del suelo gracias a sus bosques y vegetación, además de ser fuentes de embellecimiento natural y coadyuvan al abastecimiento del agua dulce requerida en actividades agrícolas, industriales y domésticas. Siendo un claro ejemplo de la importancia de conocer los principales retos que estas enfrentan, de manera que se establezcan acciones concretas en pro de su bienestar.

Por consiguiente, la realización de este trabajo resultó de importancia no solo para la Municipalidad de San Pablo, los pobladores y ecosistemas del cantón, sino, también, para todos aquellos habitantes del país, presentes y futuros, que se verán beneficiados de manera indirecta por las acciones de mejora que del proyecto derivaron que pueden impactar positivamente a la microcuenca y a sus interacciones con la sociedad.

1.4. Localización espacial y temporal

Esta investigación se realizó durante el periodo 2021 y 2022, específicamente en la zona de estudio ubicada en la parte media de la microcuenca del río Bermúdez, localizada dentro de los límites del cantón de San Pablo de Heredia.

1.5. Objetivos

Objetivo general

Evaluar el estado de la calidad del agua del río Bermúdez en la parte media de la microcuenca en el cantón de San Pablo de Heredia mediante la identificación de amenazas y determinación del nivel de contaminación para la generación de estrategias que le permitan al municipio gestionarla de mejor forma.

Objetivos específicos

- Caracterizar ambiental y socioeconómicamente la cuenca media del Río Bermúdez, mediante análisis y sistematización de información sobre aspectos clave que inciden sobre la calidad del agua.
- Determinar la calidad actual del agua del río Bermúdez en la cuenca media por medio del análisis de información de estudios fisicoquímicos y biológicos, y la identificación de focos de contaminación por residuos sólidos, para el conocimiento de su grado de contaminación.

- Formular estrategias que permitan al municipio dar respuesta a las problemáticas identificadas mediante consulta a actores claves y el análisis de información, procurando el mejoramiento del agua del río Bermúdez en la cuenca media.

Capítulo II: Marco conceptual

2.1 Cuenca Hidrográfica

El término cuenca hidrográfica ha sido abordado de forma distinta por múltiples autores, al respecto, se encuentran perspectivas con un enfoque territorial como lo expuesto por Ramakrishna (1997, p. 19) quien lo denomina como el “área natural en la que el agua proveniente de la precipitación forma un curso principal de agua”. Mientras que, el Reglamento a la Ley de Uso, Manejo y Conservación de Suelos, en su artículo 6 indica que esta se ve “delimitada por la línea divisoria de aguas y puede constituir una unidad para la planificación integral del desarrollo socioeconómico y la utilización y conservación de los recursos agua, suelo, flora y fauna” (Decreto 29375, 2000).

Por tanto, haber determinado la definición previa es fundamental para esta investigación, puesto que señala que la planificación del cantón y sus recursos no deben regirse únicamente por los límites territoriales, sino, más bien, partir de la cuenca como la unidad bajo la cual planear acciones y estrategias para la mejora de las condiciones ambientales, sociales, entre otras.

Así, la cuenca puede ser explicada desde un enfoque de sistema, ya que agrupa factores que interactúan y se interrelacionan entre sí. Algunos son los sistemas ambientales, entre los que se encuentran recursos como el agua, el suelo, la flora y la fauna, también presentes otros sistemas de índole social, económica y cultural (Ramakrishna, 1997; Aguirre, 2007).

Faustino y Jiménez (2000), indican que existen las subcuencas, las cuales corresponden a un área que drena de manera directa al curso principal de la cuenca y que a su vez pueden estar integradas por varias microcuencas, cuyas aguas confluyen al cauce principal de la subcuenca.

Dentro de una cuenca hidrográfica se pueden distinguir tres partes, la cuenca alta, media y baja. Siendo la cuenca media “una zona de mezcla y transición hidrológica hacia las zonas de desembocadura o salida del sistema” (Cotler et al., 2010, p.17)

Según el Decreto 33903 (2007) se denomina cuerpo de agua superficial a “todo aquel manantial, río, quebrada, arroyo permanente o no, laguna, embalse natural o artificial, turbera o, pantano de agua dulce” (artículo 3).

2.2 Gestión de Cuencas

SEMARNAT (2013) indica que el manejo integral de cuencas “es un proceso adaptativo mediante el que se atienden las diversas problemáticas que en ella inciden”.

De acuerdo con lo expuesto por Cotler y Caire (2009) y SEMARNAT (2013) engloba las siguientes etapas: 1) Diagnóstico (caracterización de la cuenca), 2) Planeación (definición de

objetivos, zonas de trabajo, entre otros), 3) Implementación (definición de los aspectos de un plan) y 4) Evaluación (determinar si los resultados obtenidos se alinean con lo esperado).

La Gestión Integrada del Recurso Hídrico (GIRH), consiste en administrar de manera coordinada los recursos que conforman la cuenca, como lo son la tierra y el agua, procurando un equilibrio entre los ecosistemas y la sociedad (GWP e INBO, 2009).

2.3 Fuentes de contaminación e impacto a la microcuenca

2.3.1 Residuos sólidos

Se denomina residuo a todo “material sólido, semisólido, líquido o gas, cuyo generador o poseedor debe o requiere deshacerse de él y que puede o debe ser valorizado o tratado responsablemente o, en su defecto, ser manejado por sistemas de disposición final adecuados” (Ley 8839, 2010). No obstante, en este apartado se enfatiza en los materiales sólidos.

Sociedad Peruana de derecho Ambiental SPDA (2009), divide los residuos en tres grandes categorías, la primera de acuerdo con el origen: domiciliarios, comerciales, industriales, agropecuarios, entre otros; la segunda agrupación se da con base en la peligrosidad: peligrosos y no peligrosos; mientras que la tercera corresponde a su gestión: ámbito municipal o ámbito no municipal.

El Reglamento sobre el manejo de residuos sólidos ordinarios N.º 36093-S reconoce que existen residuos de tipo peligrosos, ordinarios, valorizables y de manejo especial. Estos últimos tres de especial son de interés para este proyecto (Tabla 1).

Tabla 1
Clasificación de los principales residuos de interés para la investigación

Categoría	Definición	Referencia
Ordinarios	“Residuo de origen principalmente domiciliario o que proviene de cualquier otra actividad comercial, de servicios, industrial, limpieza de vías y áreas públicas”	(Decreto 36093, 2010, artículo 3).
Valorizables	“Son aquellos residuos que pueden ser recuperados de la corriente de los residuos sólidos ordinarios para su valorización”	(Decreto 36093, 2010, artículo 3).
De manejo especial	“Son aquellos residuos sólidos ordinarios que, por su volumen, cantidad, necesidades de transporte, condiciones de almacenaje o valor de recuperación requieren salir de la corriente normal de recolección de residuos sólidos ordinario”	(Decreto 36093, 2010, artículo 3).

Nota: Elaboración con datos del Decreto 36093 (2010).

La Organización Panamericana de la Salud OPS et al. (2011) que menciona que el inadecuado manejo de los residuos puede ocasionar serios efectos adversos para la salud poblacional, al ser una fuente de vectores de enfermedades. A su vez, generan impactos a las distintas matrices ambientales, destacándose la degradación de la calidad de aguas superficiales.

La gestión integral de residuos se define como un “conjunto articulado e interrelacionado de acciones regulatorias, operativas, financieras, administrativas, educativas, de planificación, monitoreo y evaluación para el manejo de los residuos, desde su generación hasta la disposición final” (Ley 8839, 2010). Para ello, el acompañamiento gubernamental en la prestación de servicios relacionados a su recolección, la formulación de políticas y la promoción de actividades relacionadas al reciclaje, reducción desde la fuente y educación ambiental, son pilares que sientan las bases de una adecuada gestión (Cruz y Ojeda, 2013).

En Costa Rica, la Ley para la Gestión Integral de Residuos N.º 8839 (2010) establece en su artículo 8 la competencia de los gobiernos locales en la materia, dictaminando que “las municipalidades serán responsables de la gestión integral de los residuos generados en su cantón”. Inciso en el que se le atribuye a estas instituciones una serie de tareas en pro de la gestión integral, enfatizando impulsar la recolección selectiva de materiales valorizables y, por supuesto, proporcionar de forma periódica el servicio de recolección de residuos (Ley 8839, 2010).

2.3.2 Aguas residuales

Al hablar de aguas residuales se hace referencia al “agua que ha recibido un uso y cuya calidad ha sido modificada por la incorporación de agentes contaminantes” (Decreto 33601, 2006). Con base en el Decreto 33601, se establece entre sus clasificaciones a las ordinarias, siendo estas el producto de actividades de índole doméstico. Mientras que el resto se cataloga como de tipo especial. Respecto a las ideas anteriores, Romero (2010) explica que también se puede llamar aguas grises a las que son generadas en lavadoras, duchas y otros, o bien aguas negras, si provienen de inodoros.

Las distintas actividades humanas dan paso a la generación de aguas residuales y como parte de su composición pueden contener sustancias contaminantes que al ser vertidas a los cuerpos de agua degradan su calidad alteran el uso potencial que se les puede dar y son, también, fuente de diversas problemáticas para la salud humana y el ambiente (Sierra, 2011).

La incorporación de aguas residuales genera impactos a los cuerpos receptores, ya que se pueden introducir contaminantes como materia orgánica que ocasiona una desoxigenación del agua; microorganismos patógenos que son vectores de enfermedades, materia en suspensión que una vez sedimenta perturba las dinámicas alimenticias y reproductivas de los peces, entre otros (Romero, 2010).

2.3.3 Invasión de áreas de protección

Las áreas de protección corresponden a los “retiros dentro de las fincas privadas en las que colinden o contengan cuerpos de agua (definidos por la legislación) en su terreno, en los cuales el particular encuentra limitado su derecho de propiedad sobre dicha área” (Zamora et al., 2013, p. 21).

La normativa nacional, en la Ley 7575 establece cuáles son las áreas de protección y los respectivos retiros. Lo que resulta relevante para la investigación el tener presente que existe una zona protectora relacionada con los ríos, tal como lo enuncia el inciso b del artículo 33, de la Ley 7575 (1996):

Una franja de quince metros en zona rural y de diez metros en zona urbana, medidas horizontalmente a ambos lados, en las riberas de los ríos, quebradas o arroyos, si el terreno es plano, y de cincuenta metros horizontales, si el terreno es quebrado.

Su importancia radica en que permiten conservar una cobertura boscosa que favorece los servicios ecosistémicos que las cuencas otorgan a la población; pues favorece a los suelos y contribuye a mantener las reservas de agua (Valdés, 2010, p. 31).

Sin embargo, a pesar de su relevancia por mantener la integridad de los ecosistemas y la existencia de normativa para su regulación, La Nación (2010) explica que a nivel nacional la invasión de las áreas de protección, especialmente de los cuerpos de agua superficiales tal como ríos, es una práctica común, revelando que esta sucede, por ejemplo, al destinar el área para cultivos o bien al desarrollar edificaciones.

Ante ello, en el 2020, el país emitió la Política Nacional de Áreas de Protección de Ríos, Quebradas, Arroyos y Nacientes 2020-2040, con la que busca la recuperación, rehabilitación y resguardo de las áreas de protección de los distintos cuerpos de agua en el territorio nacional. Esto evidencia que los gobiernos locales tienen un rol fundamental en la ejecución y cumplimiento de sus objetivos (Ministerio de Ambiente y Energía MINAE, 2020).

2.3.4 Coberturas y uso del suelo

De acuerdo con el Instituto de Investigaciones Económicas (2010), el uso de suelo a nivel de cuenca juega un papel importante en la calidad de sus aguas. Lo anterior se atribuye principalmente a las fuentes contaminantes que los usos agrícolas, industriales, urbanos, entre otros, repercuten para el recurso (p.13).

Las coberturas y usos de suelo que existen en el territorio nacional y que pueden estar presentes en el área de estudio se presentan en la Tabla 2.

Tabla 2
Principales coberturas y usos de suelo de interés para la investigación

Tipo	Descripción	Referencia
Charral o tacotal	Son aquellas áreas que presentan una mezcla de herbáceas y arbustos (Instituto Geográfico Nacional, 2016). Estas pueden ser temporales, entendiéndose como aquellas que se producen posterior a una perturbación; o bien o de tipo permanente.	(Buzolich et al., 2007).
Pastos	Superficies cubiertas principalmente de gramíneas.	(Instituto Geográfico Nacional, 2016, p.2)
Cultivos	Plantación sistemática y uniforme.	(Buzolich et al., 2007.)
Plantaciones forestales	Son las “áreas conformadas por especies exclusivamente arbóreas, plantadas para la extracción de madera y otros subproductos”.	(Instituto Geográfico Nacional, 2016, p. 10)
Urbanización	Áreas que han sido sometidas a algún tipo de construcción, tal es el caso de las viviendas, edificios y carreteras.	(Buzolich et al., 2007)
Suelo desnudo	Se refiere a los terrenos que no poseen ningún tipo de cobertura vegetal	(Buzolich et al., 2007.).

Nota: Elaborado con datos de Instituto Geográfico Nacional (2016) y Buzolich et al. (2007).

2.4 Calidad del agua superficial

La calidad del agua puede ser descrita de dos maneras distintas, la primera corresponde al estado de la biota presente en el cuerpo de agua y la segunda hace referencia a las concentraciones y aspectos físicos de las sustancias ya sean orgánicas o inorgánicas presentes (Sierra 2011).

Para Hart et al. (1999), citado por Instituto de Investigaciones Económicas (2010, p. 12), el concepto de calidad del agua implica una perspectiva integral, donde también se contemplen los usos brindados al recurso, el valor que tiene para la sociedad y el contexto ecológico.

En Costa Rica es indudable que el valor y uso del recurso juega un rol crítico en la degradación de su calidad, puesto que, como lo describe Ministerio de Ambiente, Energía y Telecomunicaciones MINAET (2008), la contaminación de las aguas producto de descargas contaminantes como aguas residuales, residuos sólidos, entre otras, provenientes tanto de fuentes puntuales como difusas es una realidad que agobia al país. Con esto se hace referencia, también, a la falta de estrategias efectivas contra la problemática y al inmenso reto financiero que implica para el país el accionar en pro de su calidad.

2.5 Legislación vinculante a las aguas superficiales

Si bien existe diversa legislación vinculada al recurso hídrico, tal como la Ley de Aguas, el Reglamento de Vertido y Reúso de Aguas Residuales N.º 33601. Para esta investigación se tomó en consideración que en el 2007 se promulgó normativa para evaluar los cuerpos de agua superficiales del territorio nacional, siendo este el Reglamento para la Evaluación y Clasificación de la Calidad de Cuerpos de Agua Superficiales N.º 33903, logrando normar la metodología y criterios específicos que se utilizan para determinar la calidad de las aguas superficiales y establecer sus usos potenciales (Decreto 33903, 2007).

Para cumplirlo, el Decreto 33903 (2007) establece una serie de parámetros fisicoquímicos y biológicos que deben ser analizados. Por tanto, se encuentra en primer lugar, aquellos de tipo obligatorio, el nitrógeno amoniacal, el porcentaje de saturación de oxígeno y la demanda bioquímica de oxígeno, mediante los cuales se puede clasificar el cuerpo de agua; aunado a ello, se establecen los parámetros fisicoquímicos y biológicos complementarios, cuyo estudio permite obtener información más detallada sobre la calidad de las aguas. Los principales parámetros para tomar en consideración, así como su descripción se detallan en la Tabla 3.

Tabla 3

Principales parámetros fisicoquímicos y biológicos contemplados en el Reglamento para la Evaluación y Clasificación de la Calidad de Cuerpos de Agua Superficiales N.º 33903

Parámetro	Descripción	Referencias
Demanda bioquímica de oxígeno (DBO ₅)	“Se define por la cantidad de oxígeno requerido por los microorganismos aeróbicos presentes en la muestra para oxidar la materia orgánica a una forma inorgánica estable. Debe ser medido a los cinco días y a 20 grados centígrados”.	(Decreto 33903, 2007, artículo 3)
Demanda química de oxígeno (DQO)	“Es una medida equivalente al oxígeno requerido para oxidar la materia orgánica, en una muestra de agua que es susceptible a oxidación por un oxidante químico fuerte como el dicromato (en medio ácido y en presencia de una fuente de calor)”.	(Decreto 33903, 2007, artículo 3)
Turbiedad	Es “una medida óptica del material suspendido en el agua”.	(Romero, 2010, p. 70)
Nitrógeno amoniacal (N-NH ₄ ⁺):	Este parámetro es considerado como un indicador de la contaminación orgánica; el mismo, dependiendo del pH, puede estar presente en las aguas como de ion amonio o como amoníaco.	(Sierra, 2011, pp. 71-72)
Porcentaje de saturación de oxígeno	Es el producto de la relación entre el oxígeno disuelto real del sitio de muestreo y el oxígeno disuelto teórico correspondiente a la condición de agua limpia a la presión	(Decreto 33903, 2007, apéndice 1)

Parámetro	Descripción	Referencias
	atmosférica y la temperatura en el mismo lugar de muestreo.	
Sólidos suspendidos totales (SST)	“Corresponden a la fracción de los sólidos totales que quedan retenidos en un filtro de 0,45 μm de tamaño de poro”.	(Beita, 2008, p. 1)
Temperatura	Propiedad termodinámica que influye en las propiedades físicas, químicas y biológicas de los cuerpos de agua.	Solano, 2011
Potencial de hidrógeno (pH)	Medida de la concentración de ion hidrógeno en el agua.	(Romero, 2010, p. 66)
Coliformes fecales	Es un “indicador indirecto del riesgo potencial de contaminación con bacterias o virus de carácter patógeno”.	(Sierra, 2011, p. 82)
Macroinvertebrado bentónico	“Organismo acuático perteneciente al grupo de los invertebrados que vive adherido al sustrato y con un tamaño tal que puede ser observado sin necesidad de equipo óptico de aumento”.	(Decreto 33903, 2007, artículo 3).

Además, esta normativa estipula que la clasificación de sus aguas se efectuará mediante el Índice Holandés de Valoración de la Calidad, considerando como insumo los parámetros obligatorios indicados. Mientras que la clasificación biológica se hará empleando el índice Biological Monitoring Working Party modificado para Costa Rica por Astorga, Martínez, Springer y Flowers (BMWP-CR), que utiliza organismos macroinvertebrados para evaluar la calidad de las aguas. Para ello, se establece en el decreto un puntaje para cada una de las familias de estos organismos que han sido identificadas en el país, que responde al nivel de sensibilidad a la contaminación que poseen (Auquilla citado por Segura y Fernández, 2015; Decreto 33903, 2007).

Torres et al. (2009, p. 82) mencionan que los índices de calidad del agua (ICA) son una herramienta que facilita la interpretación de los datos de monitoreo de las aguas, pues transforma la información de diversas variables a una expresión que puede ser entendida tanto por profesionales en la materia como por la población sin formación técnica.

El país ha reconocido la degradación de los ríos urbanos, promulgando así la Estrategia Nacional para la Recuperación de Cuencas Urbanas 2020-2030, cuya misión es ser aplicada en 2 subcuencas o microcuencas cada cuatro años (Ríos Limpios, 2020).

Costa Rica cuenta con una Política Hídrica Nacional que reconoce como parte de sus lineamientos y objetivos la importancia de velar por los cuerpos de agua superficiales del país, asimismo, señala la necesidad de reducir y prevenir la contaminación de estos, estableciendo mecanismos y acciones desde la unidad de cuenca hidrográfica (MINAET, 2009).

2.6 Estrategias para el mejoramiento de los ríos

La investigación realizada en la cuenca del río Kebena, en Addis Abeba, Etiopía demostró que la definición de los objetivos para la recuperación del río debe basarse en los hallazgos del diagnóstico del área de estudio, de modo que las estrategias contribuyan a solventar de manera concreta los retos que el río enfrenta (Asnake et al., 2021).

A nivel mundial se han formulado planes o programas orientados al mejoramiento de los ríos, tal como el Plan Maestro de Recuperación del Río Rímac en Perú, que actúa como un instrumento integral para la recuperación de la calidad del agua (ANA, 2017). Sobre este, se denota un eje orientado a recuperar el recurso mediante el fomento de infraestructura adecuada para el tratamiento de las aguas residuales y los residuos sólidos, así como un tercer eje que pretende que la ejecución de actividades, como la reforestación, la mejora paisajística del río e inclusive el fomento de los espacios de recreación en el mismo, permitan alcanzar su restauración (ANA, 2017).

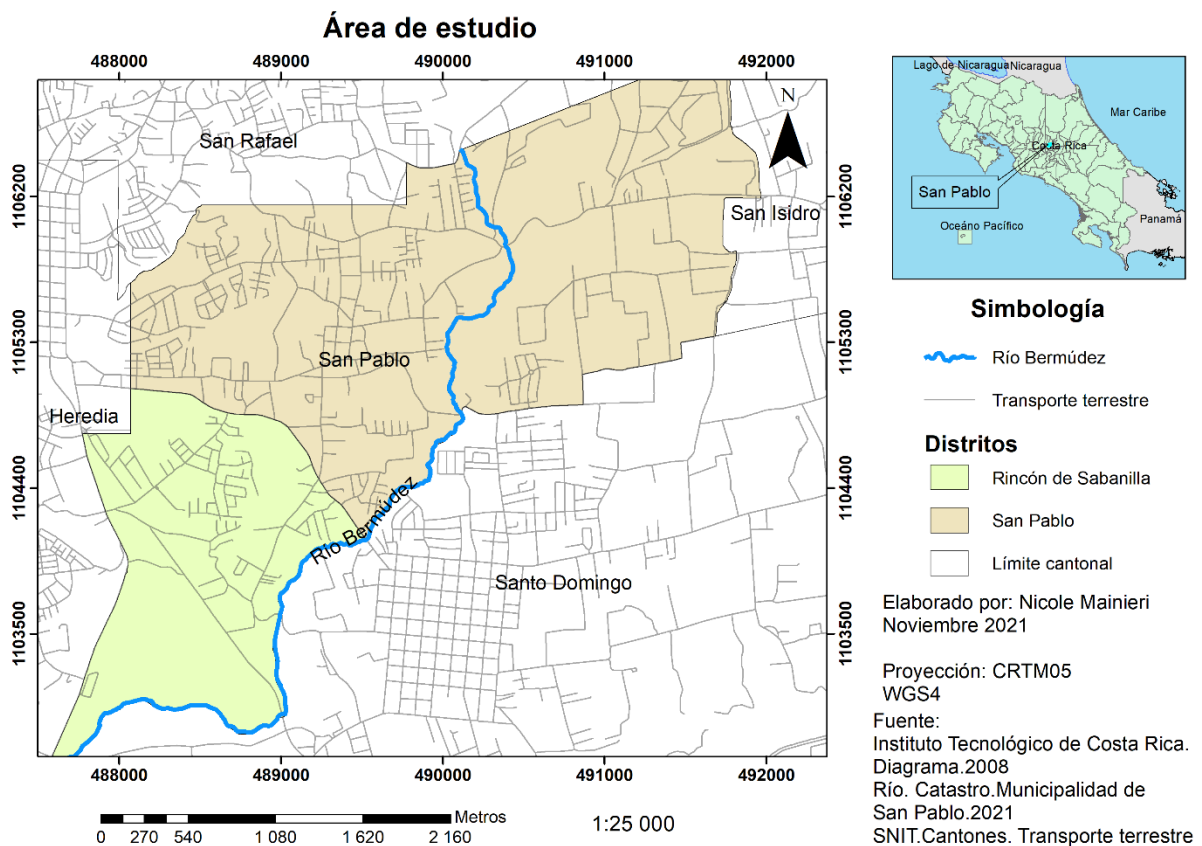
Existen otras estrategias que deben ser consideradas y un ejemplo concreto es el presentado por Michel y Graizbord (2002), con el caso de la cuenca del río Tecate, donde se evidenció la relevancia de incorporar dentro de los instrumentos de gestión de la cuenca, estrategias orientadas a la restauración y conservación de la vegetación ribereña, mediante los parques ribereños, ya que acarrear beneficios sociales al convertirse en áreas para la recreación de los ciudadanos, al mismo tiempo que se obtienen beneficios ambientales como la disminución de la carga de contaminantes en las aguas.

Capítulo III: Marco metodológico

3.1 Área de estudio

El área de estudio fue definida en junto con la unidad de gestión de ambiental (UGA) del municipio y corresponde a la parte media de la microcuenca del río Bermúdez, localizada dentro de los límites del cantón de San Pablo de Heredia. La misma es seleccionada porque contiene al río de mayor importancia en el territorio y tiene confluencia con la cuenca Grande de Tárcoles, por lo que generar información sobre la calidad ambiental y la toma de acciones para su mejoramiento es sumamente importante. Específicamente, se trabajó con el río Bermúdez que posee una longitud aproximada de 6,6 km (González, 2021) y recorre ambos distritos del cantón (Figura 1).

Figura 1
Área de estudio



Fuente: Elaboración propia

3.2 Metodología

3.2.1 Recopilación y preprocesamiento de información

- Municipal

El jueves 9 de setiembre de 2021 se visitó el departamento de gestión ambiental del municipio y se recolectó la documentación disponible sobre la temática, entre lo que se destaca: 1) estudio de generación y composición de residuos sólidos ordinarios (estudio contratado por el municipio), 2) informes sobre la optimización de rutas del servicio de recolección de Residuos Sólidos ordinarios del cantón (estudio contratado por el municipio), 3) archivos históricos en Excel, 4) programas de residuos de manejo especial.

Estos fueron estudiados y mediante Excel se sistematizó la información de relevancia: porcentaje de cobertura, percepciones poblacionales, campañas de electrónicos, entre otros. Se elaboraron tablas y gráficas que fueron incorporados en el documento escrito en Word.

El 23 de setiembre del 2021 por medio de una reunión presencial con el Lic. David González Ovares, se recaudó un informe previo del área de estudio, de Peña y Benavides (2021), titulado: Proyecto de monitoreo de la calidad de aguas superficiales del río Bermúdez para el cantón de San Pablo, etapa dos levantamientos de áreas de protección y desfuegos en el río Bermúdez; como también los respectivos shapefiles.

Se revisó el documento y se sistematizó la información pertinente empleando Excel para elaborar tablas y gráficas que plasmaran de manera visual los datos.

Para delimitar la cantidad de fincas que se encuentran invadiendo las áreas de protección, acorde al tipo de invasión, se utilizó el software de sistemas de información geográfica (SIG), ArcGIS versión 10.8.1. En este se empleó la herramienta de geoprocésamiento recorte, como entidad de entrada se empleó el shapefile del mapa catastral (facilitado por el municipio) y para la entidad de recorte la capa shapefile de invasión de áreas de protección (de Peña y Benavides, 2021b). Se obtuvo una tabla de atributos que integró tanto el número de finca como el tipo de invasión de cada una, que se exportó a Excel.

Utilizando ArcGIS versión 10.8.1, se colocó el shapefile de invasión de áreas de protección y sobre ella la del mapa catastral. Se emplearon las herramientas de buscador e identificador para localizar la finca respectiva y verificar la información obtenida en la base de datos de Excel.

Mediante Excel, se determinó la cantidad de predios que presenta cada uno de los tipos de invasión y se elaboró una tabla que se integró a este documento de Word, en el que se describen los

principales hallazgos. Debido a la naturaleza y sensibilidad de la información en el presente informe no se indica el número de cada finca.

Utilizando ArcGIS versión 10.8.1 y el shapefile de puntos de desfogue (de Peña y Benavides, 2021a), se elaboró un mapa que mostrara la ubicación de los desfogues.

Durante la visita del 23 de setiembre se recopiló el shapefile de uso de suelo del cantón, actualizado al 2019 (González, 2021). Se utilizó ArcGIS versión 10.8.1 para elaborar un mapa que representara visualmente los usos existentes, según las categorías municipales.

El proceso de recaudación de información para determinar la cantidad de viviendas con tanque sépticos, alcantarillado y plantas de tratamiento requirió de la verificación de información cruzada. El Lic. David González Ovaes solicitó al Ministerio de Salud la base de datos de las edificaciones con plantas de tratamiento, que fue suministrada a la investigadora para su respectivo análisis.

Se utilizaron los SIG para localizar los condominios, residenciales, urbanizaciones o locales comerciales o industriales con el servicio, los cuales fueron integrados a un shapefile de puntos. Para los domicilios se sobrepuso la capa de catastro para contar la cantidad de viviendas existentes.

Se consultó en la página web de la Empresa de Servicios Públicos de Heredia ESPH (2020) el mapa de cobertura del servicio de alcantarillado sanitario. En los SIG se utilizó la capa de catastro y se creó un shapefile de puntos para marcar cada una de las viviendas beneficiadas con el servicio.

Se consultó el número total de viviendas del cantón según Municipalidad de San Pablo de Heredia, citado en Peña (2019). Al total de viviendas del área de estudio restarle aquellas que poseen planta de tratamiento y las viviendas que poseen alcantarillado sanitario, dando como resultado el total de viviendas con tanque séptico.

Se revisó el Plan Cantonal de Desarrollo Humano Local 2011-2016 y el informe de las actividades económicas del cantón disponible en la página web del municipio. Se utilizó Excel y Word para sistematizar la información mediante gráficas.

- Externa

Se consultaron las Estadísticas demográficas. 2011-2025. Proyecciones nacionales. Población total proyectada al 30 de junio por grupos de edades, según provincia, cantón, distrito y sexo del Instituto Nacional de Estadística y Censos de Costa Rica (INEC, 2011a). Los datos de mayor relevancia se tabularon en Excel y se estimaron los porcentajes de crecimiento poblacional. Tanto para el cantón de San Pablo, San Rafael y Santo Domingo de Heredia.

Se consultaron los registros históricos de recolección de residuos sólidos ordinarios para determinar el porcentaje de incremento respecto al 2011. Para establecer una relación del aumento poblacional y su posible incidencia en la calidad del agua del río bajo estudio.

Utilizando el consumo mínimo de agua por una persona en Costa Rica de 200 litros diarios (AyA citado por Herrera, 2011) y la cantidad de habitantes en el cantón de San Pablo para los años 2011, 2016 y 2020 de INEC (2011a) y con la Figura 2 se estimaron los litros de agua consumidos anualmente. Con estos resultados se calcularon los porcentajes de crecimiento en la demanda de agua que para esta investigación se asume como producción de agua residual. Ya que se trabajó bajo el supuesto de que la totalidad de agua consumida por la población se transforma en agua residual que puede ser desfogada al cauce del río.

Figura 2

Ecuación 1. Determinación del agua consumida anualmente

$$\text{Consumo de agua (L)} = A * B * 365$$

Nota: Donde: A: Cantidad de habitantes para el año deseado; B: Consumo mínimo de agua por persona (L/día); 365: Cantidad de días en un año.

En el caso de San Rafael de Heredia, la información de residuos sólidos provino la página web del municipio y el 4 de noviembre 2021 se realizó una llamada telefónica y se conversó con colaboradores de la municipalidad, quienes proporcionaron insumos sobre porcentajes de cobertura del servicio y los días de recolección.

Para el cantón de Santo Domingo se hizo una revisión de la información disponible en línea, que fue enriquecida con elementos evidenciados durante las visitas al área de estudio. Esto gracias a que limita con San Pablo.

Para las actividades económicas de San Rafael y Santo Domingo de Heredia se hizo una revisión de literatura disponible en internet. Y para la gestión de aguas residuales se consultó literatura, el mapa de cobertura de la Empresa de Servicios Públicos de Heredia y el 4 de noviembre de 2021 se llamó a la ESPH para corroborar la información disponible en la página web.

3.2.2 Trabajo de campo

- **Parámetros fisicoquímicos y biológicos**

Se tomaron como base los sitios muestreados en el primer semestre 2021 por la municipalidad (Anexo 2). Estos fueron definidos por el criterio experto del Gestor Ambiental Municipal, al considerar la aparente contaminación del cuerpo de agua y al valorar la densidad poblacional y las actividades económicas. Además de considerar las denuncias recibidas producto de problemas de contaminación y la facilidad de acceso. Por último, se seleccionó una ubicación estratégica que permitiera obtener información de la calidad de las aguas que ingresan al cantón, el comportamiento medio y la calidad de salida del cantón (González, 2021). Es decir, la selección de puntos se hizo mediante un muestreo a conveniencia. En la Tabla 4 se detallan los criterios de selección para cada uno de estos sitios monitoreados en el primer semestre 2021.

Tabla 4

Criterios bajo los cuales se seleccionaron los sitios de muestreo del primer semestre de 2021

Identificación	Nombre	Características
Punto 1	Punto común	Es la entrada de aguas al cantón, por lo que posee un aporte proveniente del cantón de San Rafael de Heredia y de la población de San Pablo. Además, presenta una problemática de denuncias por contaminación.
Punto 2	El matadero	Se ubica en el centro del cantón, es la zona más poblada, e inicia el límite del cantón con Santo Domingo.
Punto 3	Hacienda las Flores	Es la zona del cantón con industria y actividad agrícola. Aunado a ello, es el punto de salidas de aguas del cantón.

Nota: Elaborado con datos de David González, comunicación personal, 15 de setiembre de 2021.

El 23 de setiembre de 2021 se visitó la UGA para consultar el mapa catastral y mediante las herramientas de medición del SIG, se estimó el distanciamiento entre los puntos de muestreo del primer semestre 2021, valorando la posible ubicación de un cuarto punto.

Se coordinó con el Lic. David González Ovarés, Gestor Ambiental Municipal, una visita a campo, que se realizó el día 29 de setiembre de 2021. En esta, en un vehículo municipal, la presente investigadora, el Gestor Ambiental y su asistente, visitaron los puntos muestreados en el primer semestre 2021, el nuevo punto de muestreo definido y se verificaron las condiciones de acceso (Figura 3).

Durante la visita al área de estudio se completó el Anexo 7 en el que se registraron las características de los sitios de muestreo para posteriormente hacer una revisión contra los comunicados por el gestor ambiental en la Tabla 4. Simultáneamente, se tomaron fotografías para obtener una caracterización visual de cada sitio.

Figura 3

Inspección en campo para la definición y reconocimiento de los puntos de muestro



Nota: Fotografía tomada en la ubicación conocida como Hacienda las Flores.

Fuente: Arce, A. Comunicación personal, 29 de setiembre de 2021.

Los parámetros por analizados fueron establecidos considerando como base el Reglamento N.º 33903, donde son obligatorios el porcentaje de saturación de oxígeno, la demanda bioquímica de oxígeno y el nitrógeno amoniacal. Se seleccionaron los parámetros complementarios al considerar las actividades que circundan el área de estudio y los analizados en ambas campañas del primer semestre 2021, para contar con información comparable.

El 16 de noviembre de 2021 junto con la UGA, se acompañó a la bióloga Susana Gutiérrez Acuña y LabServices, equipo contratado para la toma de muestras, para formar parte del proceso y garantizar el seguimiento de la metodología.

El muestreo y análisis de laboratorio se realizó bajo lo promulgado en el Decreto 33903 (2007), que indica que se debe seguir la última edición de Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. El personal de laboratorio rotuló cada muestra indicando código de muestra y la fecha de toma. Fueron almacenadas a una temperatura no mayor a 6 °C para su traslado hasta la sede del laboratorio.

Figura 4
Toma de parámetros fisicoquímicos in situ



Fuente: Elaboración propia

El monitoreo biológico se efectuó en concordancia con el Reglamento, en el que se establece que debe ser realizado por un biólogo, siguiendo la metodología tipo A para ríos y quebradas con profundidades iguales o menores a 1 m, y ancho igual o menor a 15 m. Muestreando con la técnica de red de mano con malla de 500 μm y apertura de 20 cm a 25 cm. Y su análisis a través de la metodología establecida en la última edición de los Rapid Assesment Biological Protocols, empleándose para la identificación de los taxones el índice BMWP-CR.

Figura 5
Proceso de muestreo de macroinvertebrados



Fuente: Elaboración propia

Se tomaron las coordenadas de los puntos de muestreo utilizando un Garmin GPSmap 62s. Se registró en el protocolo de muestreo (Anexo 6) la fecha, la hora de toma de las muestras, las condiciones ambientales y parámetros medidos en sitio.

La toma de muestras se realizó en un solo día y que para el traslado a cada punto de muestro se utilizó un vehículo municipal a cargo del Lic. David González Ovares, mientras que el equipo de profesionales contratados se trasladó en un vehículo propio, en el que hicieron resguardo de las muestras para su transporte al laboratorio, donde fueron almacenados para los respectivos análisis. Para el ingreso al río se empleó equipo como botas de hule, guantes y mascarilla.

- Puntos de contaminación por residuos sólidos

Se realizó un muestreo durante época lluviosa y época seca, al considerar que las variaciones climáticas podrían influenciar la cantidad de residuos sólidos presentes en el cuerpo de agua.

Los recorridos de época lluviosa se efectuaron el 29 de setiembre de 2021 y 28 de octubre de 2021, en compañía del Lic. David González Ovares y sus asistentes, utilizando un vehículo institucional para el desplazamiento hasta el área de estudio. En sitio se inició el recorrido, que tuvo que ser adaptado debido a que durante este periodo existe un alto nivel de agua en el río, por lo que el acceso y movilización dentro del mismo es limitado.

Empleando la técnica de observación se identificaron los sitios con mayor presencia de residuos sólidos, ya fuera dentro del río (cuando el acceso lo permitió) o bien en las franjas ribereñas. Se utilizó de manera física el Instrumento N.º 2 que se observa en el Anexo 5, mediante un Garmin GPSmap 62s se registraron de las coordenadas de cada sitio y se incorporó una descripción del sitio, hora de visita, entre otros detalles.

Los recorridos de época seca se realizaron en diciembre 2021, los días 27, 28 y 29; en enero de 2022, los días 5, 11, 12, 18, 19, 26 y en febrero el día 10; en compañía del Lic. David González o su asistente. La recopilación de información se realizó mediante la técnica de observación y el Anexo 5 descrito con anterioridad.

El periodo seco facilitó el acceso al río durante los primeros kilómetros, con lo que fue necesario en ocasiones transitar por las franjas ribereñas debido a la topografía del cauce. Después del punto de muestreo Hacienda Las Flores, la topografía y acceso se presentaron como una limitante para la investigación, pues este último trayecto del río no pudo ser recorrido en su totalidad y se desconoce la presencia de residuos en esta zona.

De forma simultánea al levantamiento de puntos críticos en ambas épocas, se registró en el anexo 4 el tipo de residuo que se encontró en cada punto de muestreo. El registro en la plantilla se

hizo de manera física, por lo que se imprimió y se llevó a campo en una tabla para apuntes. Durante el recorrido se observaron los residuos y se colocó en la casilla de punto el número del sitio visitado (1, 2, 3, etc.) y, seguidamente, se marcó una X en la casilla de los tipos de residuo presentes (biodegradable, papel, etc.) (ver Anexo 4). Se utilizó la cámara del celular para tomar fotografías del tipo de residuo observado.

3.2.3 Análisis de información

- Parámetros fisicoquímicos y biológicos

Se extrajeron las coordenadas de los puntos de muestreo del dispositivo GPS y se importaron al ArcGIS versión 10.8.1 donde se elaboró el mapa, acogiéndose a los lineamientos de la Escuela de Geografía.

Índice Holandés

Si bien para todos los periodos de muestreo los laboratorios a cargo hicieron su propia estimación del Índice Holandés, en esta investigación se utilizaron los valores de los parámetros fisicoquímicos reportados y se procedió a calcular el índice para cada periodo, como se indica a continuación:

Se realizó un análisis de los datos utilizando el Anexo 9, que contiene una hoja de Excel previamente programada utilizando la función SI.CONJUNTO, que asigna un puntaje a los valores de variables obligatorias de acuerdo con el Índice Holandés Tabla 5 (Decreto 33903, 2007).

Tabla 5
Asignación de puntajes según el Sistema Holandés de Valoración de la Calidad del Agua para cuerpos receptores

Puntos	PSO (%)	DBO (mg/L)	N-NH ₄ (mg/L)
1	91 - 100	<= 3	<0.50
2	71 - 90	3,1 – 6,0	0,50 – 1,0
	111 - 120		
3	51 - 70	6,1 – 9,0	1,1 – 2,0
	121 - 130		
4	31 - 50	9,1 – 15	2,1 – 5.0
5	<= 30 y >	>15	> 5,0
	130		

Nota: Decreto 33903 (2007).

Esta hoja de cálculo efectuó una sumatoria de los puntos e indicó la escala de color y grado de contaminación correspondiente con base en la Tabla 6 (Decreto 33903, 2007).

Tabla 6
Asignación de clases de calidad del agua según el Sistema Holandés

Clase	Sumatoria de puntos	Código de color	Interpretación de Calidad
1	3	Azul	Sin contaminación
2	4 – 6	Verde	Contaminación incipiente
3	7 – 9	Amarillo	Contaminación moderada
4	10 - 12	Anaranjado	Contaminación severa
5	13 - 15	Rojo	Contaminación muy severa

Nota: Decreto 33903 (2007).

Se revisó la información de los estudios del primer semestre 2021 para establecer una línea base más detallada de la calidad de estas aguas. Para el análisis de parámetros complementarios se consultó literatura y los resultados del objetivo 1.

Índice BMWP

Si bien, para todos los periodos de muestreo los profesionales contratados hicieron su propio cálculo del índice BMWP, para esta investigación se utilizaron los puntajes reportados y se procedió a realizar el propio cálculo del índice como se indica a continuación.

La identificación de las muestras la realizó la profesional o laboratorio contratado, al clasificar cada taxón y brindarle el puntaje respectivo (Anexo 3).

Los resultados fueron proporcionados a la presente investigadora quien, empleando una hoja de Excel programada con la función SI.CONJUNTO, contrastó el puntaje total con la normativa nacional (Tabla 7) de manera que esta herramienta proporcionó el color representativo y clasificó el nivel de calidad de las aguas (Anexo 9) (Decreto 33903,2007).

Tabla 7
Clasificación de la calidad del agua en función del puntaje total obtenido

Nivel de calidad	BMWP	Color representativo
Aguas de calidad excelente	>120	Azul
Aguas de calidad buena, no contaminadas o no alteradas de manera sensible	101-120	Azul
Aguas de calidad regular, eutrófia, contaminación moderada	61-100	Verde
Aguas de calidad mala, contaminadas	36-60	Amarillo
Aguas de calidad mala, muy contaminadas	16-35	Naranja
Aguas de calidad muy mala extremadamente contaminadas	<15	Rojo

Nota: Decreto 33903 (2007).

En época lluviosa para el punto de muestreo del Matadero, CHEMLABS (2021) reportó un puntaje de 15, cifra que no figura dentro de las categorías del Decreto 33903 (Tabla 7). El 18 de marzo de 2022 se consultó, vía correo electrónico, cómo definir la categoría y calidad de aguas correspondiente a este caso particular a la profesional Silvia Echeverría de la Universidad Nacional (ECOTOX-IRET),

- Puntos de contaminación por residuos sólidos

Se extrajeron las coordenadas de los puntos de contaminación por residuos sólidos del dispositivo GPS y se importaron al ArcGIS versión 10.8.1 donde se elaboró el mapa, acogiéndose a los lineamientos de la Escuela de Geografía.

Para los mapas con representación a color se importó el archivo con coordenadas al software libre Qgis versión 3.10 A Coruña, haciendo uso de la herramienta mapa de calor, elaborando dos tipos diferentes: uno que considera únicamente la cantidad de puntos y otro que muestra abundancia (cantidad de puntos) y categoría.

Para el primer tipo mapa de calor que considera la cantidad de puntos o abundancia de puntos, se utilizó un radio de 500 y pixeles de 0,10. El archivo fue guardado en formato shapefile y trasladado

a ArcGis para la elaboración del mapa final. El procedimiento se realizó tanto para la época seca como lluviosa.

Para el segundo tipo de mapa de calor que muestra abundancia y categoría, se asignó una categoría de contaminación a cada uno de los puntos, de manera que este valor pudiera ser considerado en la variable peso de campo del mapa de calor. La asignación de dichas categorías de contaminación consideró la tipología de los residuos presentes, de manera que en los sitios donde se tuvo de 1 hasta 7 tipos de residuos distintos (Anexo 4) se asignó un puntaje de 1, y así sucesivamente, según la Tabla 8.

Se evaluó la cantidad aproximada de residuos observados durante la visita a campo, que se realizó con base al criterio profesional de investigadora a cargo, quien determinó si los residuos observados en el sitio eran pocos, moderados o abundantes como lo muestra la Tabla 8. Esto, debido a que por el tipo de trabajo en campo a realizar se imposibilitaba transportar una balanza para pesarlos en el sitio.

Tabla 8

Puntaje para la asignación de las categorías de contaminación

Tipología de residuos presentes		Cantidad de residuos presentes	
Rango*	Puntaje	Rango	Puntaje
1-7	1	Poco	1
8-14	2	Moderado	2
15-21	3	Abundante	3

Nota: * Cantidad de categorías de residuos presentes según anexo 4.

Seguidamente, se obtuvo el puntaje total utilizando la Ecuación 2 (Figura 6).

Figura 6

Ecuación 2. Estimación del puntaje total para la asignación de categorías de contaminación

$$\text{Puntaje total} = \text{Puntaje tipología} * \text{Puntaje Cantidad}$$

El puntaje obtenido fue comparado contra lo presentado en la Tabla 9.

Tabla 9
Asignación de la categoría según el puntaje total

Color	Puntaje total
Verde	1-3
Amarillo	4-6
Rojo	7-9

Estos puntajes totales y colores de categoría obtenidos fueron incorporados al shapefile de los puntos críticos de contaminación y empleando QGis se utilizó el mapa de calor con un radio de 300 y un píxel de 0,10. El archivo de heat map fue guardado en formato shapefile y trasladado a ArcGis para la elaboración del mapa final. Este procedimiento se realizó tanto para la época seca como para la época lluviosa.

Por otra parte, se digitalizó el registro (Anexo 4) y se establecieron las categorías de residuos predominantes, que fueron contrastadas con los datos recopilados sobre el servicio de recolección de residuos municipal determinando si existe relación entre los residuos mayoritarios y una posible deficiencia de recolección. Se descargaron las fotografías tomadas y se incorporaron en los anexos del informe escrito.

- Planteamiento de estrategias

Se sistematizó la información generada en etapas previas, de modo que se priorizaron las problemáticas que requieren atención y se formularon las posibles estrategias de mejoramiento. Utilizando una matriz de priorización (Anexo 8), en la que se registraron las problemáticas identificadas y se sometieron a una evaluación con base en criterios previamente definidos, los cuales se puntúan con una escala de 1 a 3. Se efectuó una sumatoria de los puntos y se determinó el orden de prioridad de estas.

Se revisó literatura orientada al mejoramiento de la calidad del agua de los ríos y cuencas para reconocer posibles estrategias que respondan a las necesidades identificadas y se adapten a las capacidades del municipio.

Las estrategias preliminares planteadas fueron incorporadas a un formulario de Google con preguntas de tipo mixto que fue aplicado por correo electrónico a profesionales de diversas áreas (Anexo 17) con el fin de obtener una retroalimentación.

La selección de estos actores se realizó de manera no aleatoria, pues se considera el criterio experto del Gestor Ambiental Municipal y el conocimiento de las instituciones inmersas en la regulación del cuerpo de agua dentro del cantón, como también de profesionales con conocimientos técnicos en la materia. Por lo que se consultó a representantes de instituciones, funcionarios municipales y asociación de desarrollo (Tabla 10).

Tabla 10

Actores clave considerados en la retroalimentación de las propuestas de mejoramiento

Organización	Puesto
Municipalidad de San Pablo de Heredia	Gestor Ambiental
Municipalidad de San Pablo de Heredia	Trabajadora Social
SINAC	Encargado de vida silvestre y educación ambiental.
Ministerio de Salud	Regulación
Asociación de Desarrollo Integral de Miraflores	Presidente

Fuente: Elaboración propia

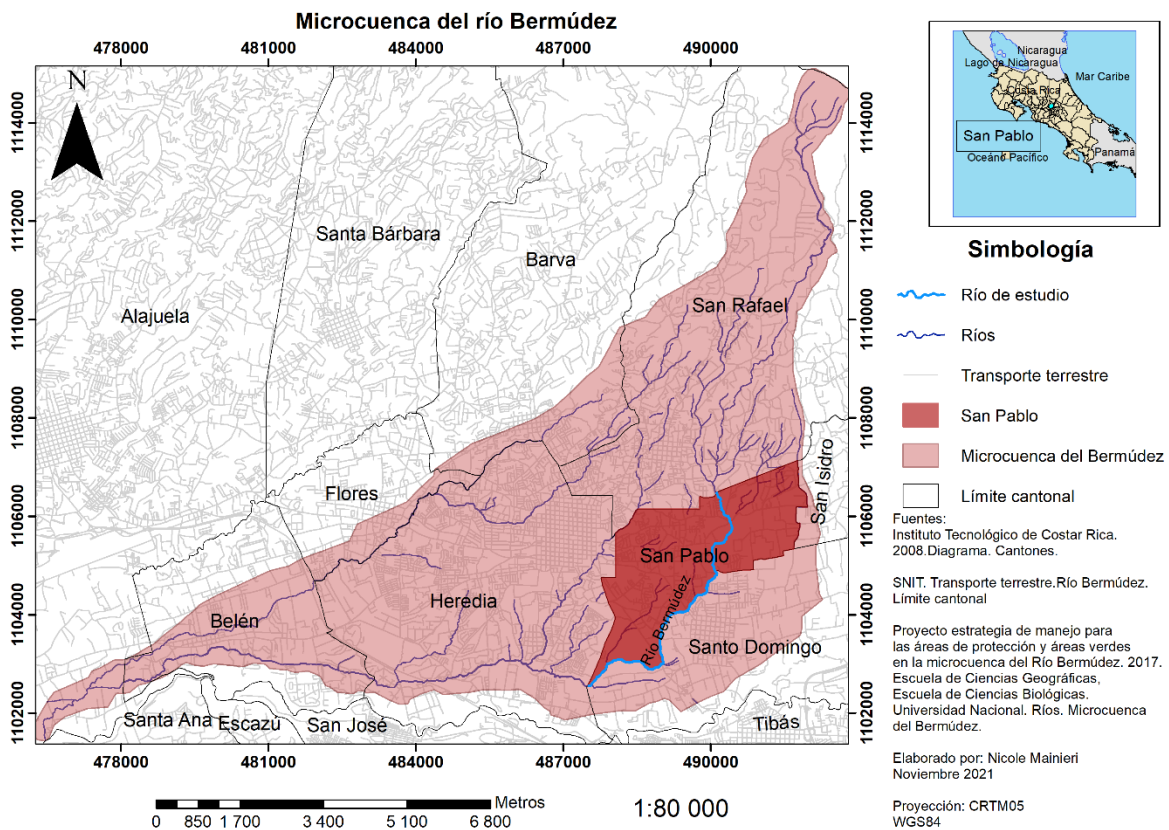
Con la consideración de la información recopilada durante la fase de investigación y consulta de actores, se redactaron las estrategias para el mejoramiento de la calidad del agua del río Bermúdez en San Pablo de Heredia, según el orden de prioridad recomendable para la UGA.

Capítulo IV: Resultados

4.1 Caracterización

La microcuenca del río Bermúdez comprende los cantones de Alajuela, Belén, Flores, Barva, Heredia, Santo Domingo, San Isidro, San Rafael y San Pablo de Heredia. Por eso, además de presentar los aspectos clave ambientales y socioeconómicos correspondientes al área de estudio (Figura 1). Se abordarán en los apartados de residuos sólidos, aguas residuales, actividades económicas y población aspectos generales de los cantones de San Rafael y Santo Domingo de Heredia ya que tienen injerencia en la calidad de las aguas que drenan hacia San Pablo (Figura 7).

Figura 7
Microcuenca del río Bermúdez



Fuente: Elaboración propia

- Residuos solidos

De acuerdo con Carvajal Flórez (2009), el bajo porcentaje en la cobertura del servicio de recolección de residuos es una de las principales causas que impulsa a la población a recurrir a métodos inadecuados para la disposición final de los materiales producidos en los hogares.

Para San Rafael de Heredia la gestión de los residuos ordinarios se realiza mediante rutas de recolección sectorizadas para cada uno de los distritos. Con ello, los lunes se recolecta en el central, los martes en Concepción, los miércoles en Santiago, los jueves en Los Ángeles y los viernes en San Josecito y comercios. De esta manera se alcanza una cobertura mayor al 100 % (Comunicación personal, Zúñiga, 2021).

Desde el 2002 el territorio cuenta con un centro de acopio que funciona de lunes a sábado y cuya finalidad es la promoción de un adecuado manejo de los materiales valorizables, contribuyendo así con el mantenimiento de una comunidad limpia (Municipalidad de San Rafael de Heredia, 2018a). Al tratarse de recolección en un punto específico, los habitantes deben movilizar los materiales hasta el lugar, además de almacenarlos en sus viviendas por un periodo de tiempo mayor. Estos elementos pueden incitar a prácticas como la disposición en sitios no autorizados.

En caso de que la población no cuente con los medios para trasladar los residuos hasta el centro de acopio, el municipio posee un servicio de recolección con frecuencia quincenal, con una cobertura de aproximadamente un 75 % del territorio (W. Zúñiga y M. Hernández, comunicación personal, 4 de noviembre del 2021).

El municipio tiene un proyecto piloto para el manejo de residuos orgánicos en el distrito central, por medio de este se recolectan los residuos orgánicos de una muestra del sector residencial para trasladarlos al Paradero Turístico Monte de la Cruz donde se transformará en abono orgánico (Municipalidad de San Rafael de Heredia, 2018b). Además, desde el 2021 comenzó un proyecto de composteras domiciliarias (Municipalidad de San Rafael de Heredia, 2018 c). Este es un eje de relevancia, pues los residuos orgánicos son una fracción importante de los materiales producidos en comercios y hogares, mismos que poseen características que los convierten en fuentes de malos olores, vectores, entre otros. Por estos motivos, el almacenamiento prolongado puede ser fuente de molestia en la población. No obstante, estas iniciativas no comprenden el 100 % de las viviendas ni el comercio, por lo que existe todavía un sector que debe recurrir a otras prácticas para disponer sus residuos orgánicos, como lo son la recolección ordinaria o bien buscar soluciones alternas, que no en todos los casos son las más adecuadas.

La Municipalidad de Heredia (citada en INDER), para el año 2016, mencionó que Santo Domingo contaba con 11496 viviendas individuales ocupadas, de las cuales 11418 gestionaban sus residuos mediante el camión recolector, 30 mediante quemas, 27 la enterraban, 13 recurrían a otros métodos, 5 lo disponían en lotes baldíos y 3 la botaban en cuerpos de agua.

Estos últimos dos métodos de eliminación de residuos implican un riesgo a la calidad de las aguas del río Bermúdez, ya que este es un recurso compartido entre cantones. Esto se evidenció en campo durante el recorrido efectuado en San Pablo de Heredia, pues se visualizaron residuos en zonas ribereñas pertenecientes a Santo Domingo. No obstante, se localizaban en regiones con pendiente pronunciada y de difícil acceso, factor por lo que únicamente se observaron de lejos.

Ordinarios y Valorizables

En el caso San Pablo, se identifica que el servicio de recolección de los residuos sólidos ordinarios y valorizables cuenta con cobertura del 100 % a nivel domiciliario y comercial (Peña, 2019). Esto implica que no deberían existir problemáticas asociadas al vertido de los residuos en matrices ambientales, como el río Bermúdez, producto de las viviendas o las empresas de zonas remotas, donde las condiciones de acceso o infraestructura vial impida que se les brinde este servicio.

La recolección de los residuos ordinarios es proporcionada 2 veces a la semana (Quesada et al., 2019). Esto significa que los habitantes y comercios del cantón no se ven obligados a almacenar por un lapso amplio los residuos ordinarios que generan, lo que reduce la aparición de molestias como malos olores, vectores y otros. Por lo tanto, esto no debe actuar como motivante para recurrir a su disposición directamente en el río o bien en vías públicas u riberas del cuerpo de agua, en las que pueden ser arrastrados por escorrentía.

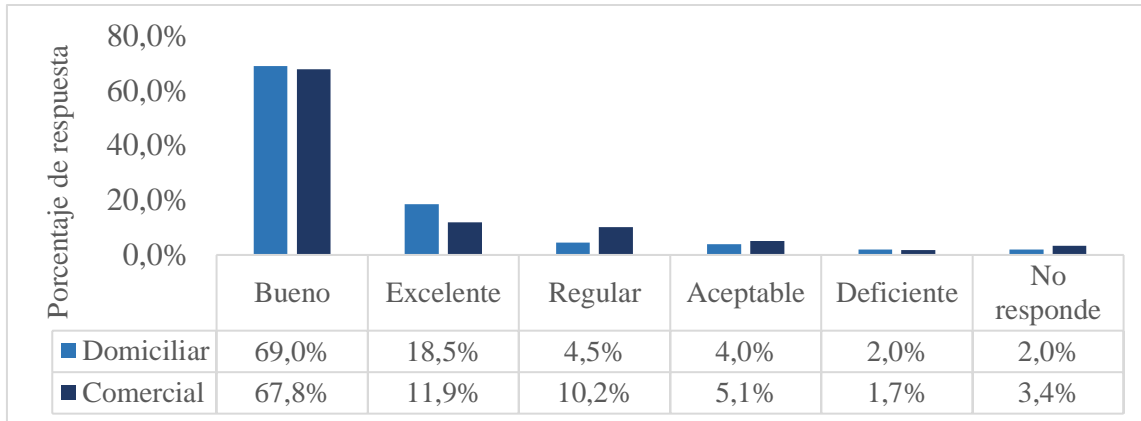
A pesar de que los datos previos muestran que el cantón posee un servicio de recolección de residuos ordinarios periódico y eficiente, la percepción poblacional puede diferir de estos hallazgos, pues, como parte del estudio de generación y composición de residuos sólidos del cantón efectuado en el año 2019, se encuestó a 200 viviendas del cantón y 59 comercios con el objetivo de conocer la percepción sobre el servicio de recolección de residuos recibido (Peña, 2019).

La Figura 8, muestra que para los sectores domiciliario y comercial el servicio prestado es mayoritariamente bueno, mientras que únicamente un 2,0 % de los encuestados en domicilios y el 1,7 % en comercios lo consideran deficiente. Entre los aspectos que la población indica como justificante de su conformidad o disconformidad se encuentra que el servicio no falla (17,5 %), la puntualidad (8,0 %), a veces quedan residuos en la calle (4,5 %), buena frecuencia (3,5 %) (Peña, 2019). El sector

comercio menciona que el servicio es constante y no falla (22,0 %), existe una buena frecuencia de recolección (10,2 %), quedan residuos en la calle (3,4 %) (Peña, 2019).

Figura 8

Percepción del sector domiciliario y comercial sobre el servicio de recolección de residuos no valorizables



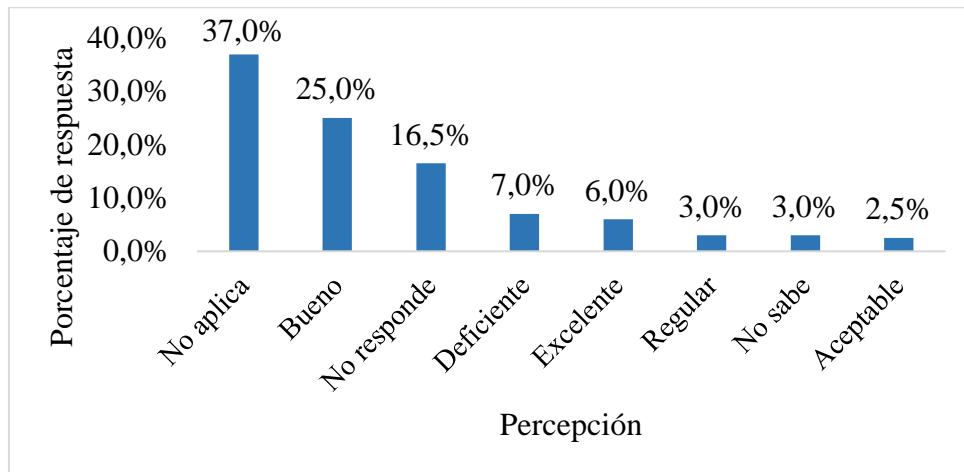
Nota: Elaborado con datos de Peña (2019).

Lo concerniente a la frecuencia de recolección de los valorizables, esta se otorga de manera quincenal. Los datos obtenidos evidencian que la población y el sector productivo o de servicios en el cantón debe hacer un acopio de los residuos por un periodo de tiempo mayor, aunque se efectúe un adecuado almacenamiento, debido a las características de este tipo de residuos, no deberían desprenderse malos olores que puedan generar disconformidad en los habitantes.

De acuerdo con Peña (2019), en la Figura 9, desde la perspectiva domiciliar el servicio de recolección de valorizables es mayoritariamente catalogado como bueno, mientras que la diferencia entre la percepción deficiente y excelente es de apenas un 1,0 %. El porcentaje de respuesta más alto se atribuye a la categoría de no aplica, debido a que este sector de la población indica no separar sus residuos para la recolección selectiva. Entre los justificantes para las respuestas de percepción brindadas son que el servicio es puntual y constante (7,0 %), no se brinda información sobre el proyecto (4,0 %), el servicio debería ser más frecuente (2,5 %), entre otros.

Figura 9

Percepción del sector domiciliario sobre el servicio de recolección de residuos valorizables



Nota: Elaborado con datos de Peña (2019).

De estos datos se deduce que un alto porcentaje de los habitantes y comerciantes del cantón consideran que se cuenta con un servicio bueno e inclusive excelente, lo que respalda los resultados de cobertura y frecuencia, mostrando un alineamiento con las responsabilidades atribuidas por la normativa nacional. Los resultados muestran un panorama en el que la falta de mecanismos para la adecuada gestión de los residuos de tipo ordinarios y valorizables no debe actuar como un factor que incida en la calidad del agua del río Bermúdez. No obstante, pese a que dichas prácticas no deberían ocurrir, posteriormente, se constatará en campo la existencia de focos de contaminación por residuos a lo largo del río Bermúdez para determinar si pese a los esfuerzos municipales por ofrecer un servicio de calidad, sigue existiendo la problemática de falta de educación y sensibilización respecto a la adecuada gestión de estos materiales repercutiendo en la calidad de las aguas.

Manejo especial

Para el periodo 2017 y 2018, el mecanismo de recolección consistió en seleccionar un único sitio en todo el cantón al que los habitantes debían llevar sus residuos para posteriormente ser entregados a un gestor autorizado, según González (2021). Desde el año 2019 la municipalidad de San Pablo cuenta con un programa de residuos de manejo especial que funciona mediante recolección por medio de campañas sectorizadas, es decir, se establecen las fechas y sitios del cantón por los que pasará el camión recolector (Anexo 10). En los años 2019 y 2020, se realizaron 9 campañas,

recolectándose en el 2020 un total 334,42 toneladas de residuos, mientras que para el año 2021 se espera efectuar 11 campañas (Municipalidad de San Pablo de Heredia, 2021a).

Durante estas campañas se recaudan materiales como llantas, muebles, metales ferrosos, madera, colchones, chatarra (Municipalidad de San Pablo de Heredia, 2021a), pero no se incluyen otros como escombros o residuos de construcción o remodelaciones (Municipalidad de San Pablo de Heredia, 2021a). Esto coincide con la legislación nacional, ya que el anexo 1 del Reglamento para la Declaratoria de Residuos de Manejo Especial N.º 38272 no incluye estas categorías. Este tipo de residuos tampoco es catalogado como ordinario ni valorizable, por lo que no se estaría brindando una recolección específica para ellos.

La falta de mecanismos para su gestión puede ser un factor de incidencia en la calidad de agua del río bajo estudio, pues investigaciones previas como la efectuada por Carvajal Flórez (2009), en el río Medellín y sus afluentes, han determinado que en ocasiones se generan vertidos de escombros en las inmediaciones de cuerpos de agua, lo que trae consigo impactos que comprenden desde una degradación de su calidad estética hasta afectaciones a nivel fisicoquímico.

Se le consulta al gestor municipal qué opciones tiene la población para disponer de los escombros o residuos de construcción que producen. La respuesta proporcionada es que, si bien la finalidad de estas campañas no es la recolección de escombros, en vastas ocasiones estos sí son recolectados, debido a que son dispuestos junto con el resto de los residuos de manejo especial (González, 2021). Asimismo, se destaca que cuando los habitantes efectúan remodelaciones de sus viviendas o comercios, como parte del proceso de obtención de permisos, los interesados deben indicar cuál es la gestión que darán a los residuos generados, según González (2021). Por tanto, el servicio de recolección de residuos de manejo especial no contempla recolectar residuos y escombros producidos durante la remodelación de viviendas o locales, puesto que esto es responsabilidad de quienes lo solicitan y ejecutan las obras constructivas.

Se debe valorar que la periodicidad con que se presta el servicio es limitada, pues los habitantes se ven obligados a almacenar los residuos en sus viviendas o comercios durante lapsos amplios, lo que puede llegar a generar disconformidad e inclusive incentivar prácticas como su vertido en sitios no autorizados o su disposición mediante recolectores informales. Sin embargo, el gestor municipal indica que se trabaja arduamente en eliminar este tipo de prácticas. La Unidad de Gestión Ambiental cuenta con la apertura para que cualquier habitante que tenga una situación extraordinaria pueda llamar al departamento y coordinar una recolección específica de los materiales, tal como lo indica González (2021).

Las afirmaciones anteriores aún dan cabida a la posibilidad de que no todos los ciudadanos que efectúan remodelaciones hagan la adecuada gestión de los residuos producidos durante las actividades, lo que puede ser visualizado con mayor detalle durante la visita a campo como parte de la identificación de los puntos críticos de contaminación por residuos.

Residuos de aparatos eléctricos y electrónicos (RAEE)

De acuerdo con el Reglamento para la Declaratoria de Residuos de Manejo Especial N.º 38272, los residuos electrónicos son considerados como de manejo especial, sin embargo, desde el 2021 la Municipalidad de San Pablo tomó la decisión de efectuar campañas de recolección específicas para este tipo de residuos, por lo que se evalúan en este documento como una categoría adicional.

Para el mes de octubre de 2021 el municipio había realizado 4 campañas de recolección en las que recaudaron un total de 1849 kg de aparatos eléctricos cuya vida útil había finalizado y que fueron proporcionados a un gestor autorizado para su valorización y adecuada disposición (Tabla 11).

Tabla 11

Campañas de recolección de residuos electrónicos realizadas en el cantón de San Pablo de Heredia, al mes de octubre de 2021

Periodo	Cantidad (kg)
Enero	348
Febrero	765
Junio	408
Setiembre	328
Total	1849

Nota: Elaborado con datos de D. González, comunicación personal, 28 de setiembre de 2021.

De esta iniciativa se denotan dos aspectos, el primero es que la estrategia de recolección mediante campañas específicas es de reciente incorporación, por lo que puede que no todos los habitantes del cantón cuenten con la educación necesaria o el hábito de separar sus residuos desde la fuente y acopiarlos en sus hogares hasta la fecha respectiva. El segundo elemento es que las campañas se realizan en un punto común del cantón, lo que implica que los ciudadanos deben trasladar los aparatos electrónicos en desuso por sus propios medios hasta el punto designado, lo que puede representar una problemática para quienes no cuentan con los medios necesarios.

Estos aspectos pueden actuar como motivantes para que los residuos, siempre y cuando sus dimensiones lo permitan, sean gestionados mediante la corriente de residuos ordinarios o bien que se recurra a estrategias como su disposición en vertederos clandestinos, ya sea mediante recolectores informales que circunden por los barrios, cuyas técnicas de disposición final se desconocen. No obstante, como se mencionó, la Unidad de Gestión Ambiental señala tener disposición para coordinar con los habitantes que requieran apoyo en el traslado de estos materiales (González, 2021), aunque se desconoce con certeza cuantos habitantes recurren a esta oportunidad que brinda la UGA, lo que denota una posible fuente de incidencia en el recurso bajo análisis.

- Aguas residuales

Respecto a la gestión de las aguas residuales no se encuentran datos específicos para los cantones de San Rafael y Santo Domingo. No obstante, en el informe de Mora y Portuguesez (2020) titulado Agua para uso y consumo humano y saneamiento en Costa Rica al 2019: brechas y desafíos al 2023 se indica que en la zona central las excretas son manejadas un 67,9 % por tanque séptico, un 31 % por alcantarilla o cloaca, un 0,7 % por letrina y un 0,2 % no posee ninguno de los anteriores.

Al consultar el mapa de cobertura de alcantarillado sanitario de la Empresa de Servicios Públicos de Heredia (ESPH), disponible en su página web, se identificó que a la fecha ninguno de estos dos cantones cuenta con cobertura. Esto se corroboró con la ESPH, vía llamada telefónica con D. Montero (2021). Por consiguiente, se infiere que son los otros métodos de gestión son los que prevalecen.

La predominancia de tanques sépticos en el país como método de gestión de aguas residuales ordinarias es una realidad que pone en riesgo tanto aguas subterráneas como superficiales. Segura, citado por Solano, explica que muchos de los tanques sépticos utilizados tienen fallas de tipo estructural, lo que incita a desarrollar conexiones ilegales de aguas negras en el alcantarillado pluvial.

Sobre la gestión de las aguas residuales ordinarias generadas en San Pablo, únicamente un 6,87 % de las viviendas cuenta con cobertura del servicio de alcantarillado sanitario de la ESPH (Mapa 4), estando todas concentradas en el distrito de Rincón de Sabanilla. En la misma región también se ubica un centro educativo que se beneficia.

De acuerdo con la información suministrada por el Ministerio de Salud, para el año 2019 existían aproximadamente 14 condominios, residenciales o urbanizaciones con plantas de tratamiento de aguas residuales (PTAR) operando, en los que se albergaba cerca del 14,58 % de las viviendas del

cantón (Tabla 12). Adicionalmente, se reconocen unas 7 PTAR relacionadas a comercios o industrias (Figura 10).

La escasa cobertura de alcantarillado sanitario y PTAR pueden ser causantes de efectos adversos en el río Bermúdez, y/o las dos quebradas que a este drenan, pues la literatura ya ha reconocido que la falta de sistemas apropiados, como plantas de tratamiento, conlleva al vertido de aguas con altas cargas contaminantes a cuerpos de agua, ocasionando serias repercusiones ambientales (Rodríguez, 2017).

Con estos datos, se permite inferir que en el resto del cantón predominan los tanques sépticos como método de tratamiento y gestión de aguas residuales, lo cual implica un 78,56 % de las viviendas (Tabla 12). Esto es preocupante si se observa que es el sistema predominante en gran parte del trayecto del río y sus quebradas (Figura 10).

Tabla 12

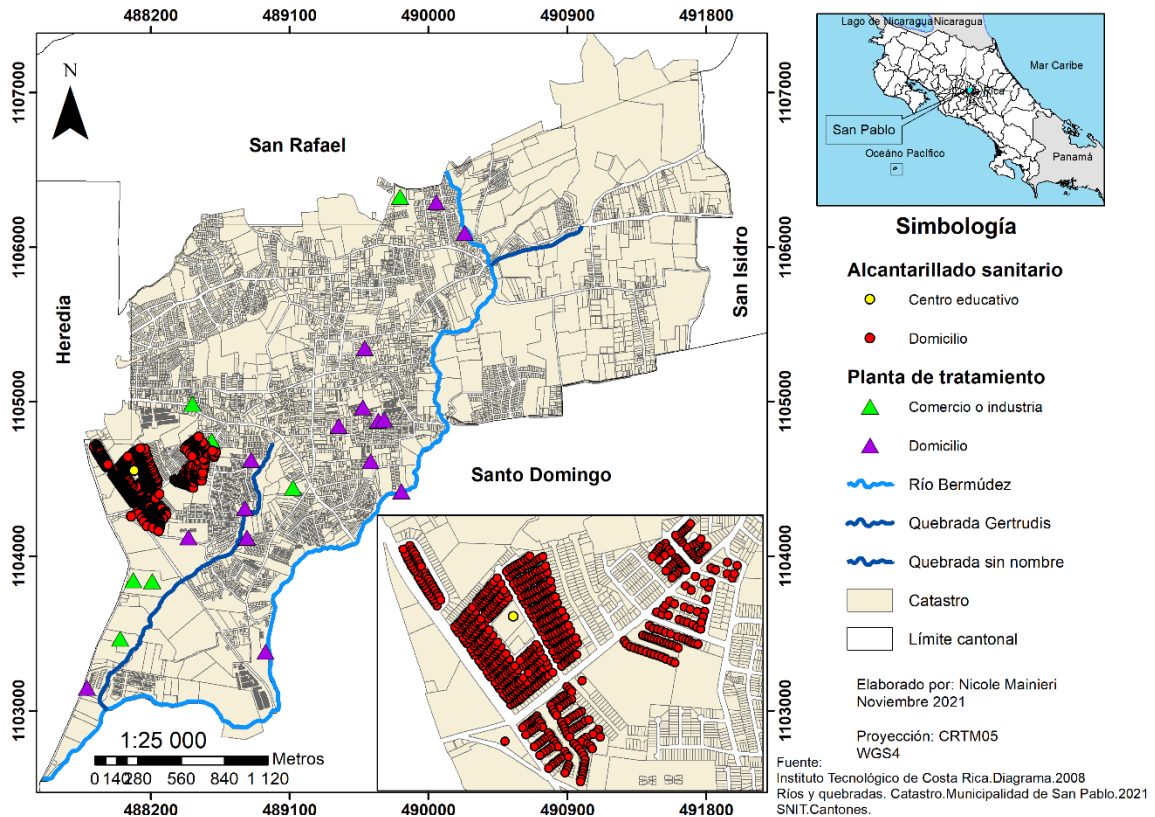
Cantidad de viviendas en el cantón de San Pablo de Heredia según el método de gestión de las aguas residuales

Cantidad de viviendas con cobertura de alcantarillado ESPH	Cantidad de viviendas con PTAR	Cantidad de viviendas con tanque séptico	Total
659	1 399	7 540	9 598

Nota: Elaborado con datos de Ministerio de Salud (s.f.), Municipalidad de San Pablo (2021c) y Municipalidad de San Pablo (citada en Peña, 2019).

La problemática del uso de tanques sépticos reside en la frecuencia de que estos sistemas únicamente reciben las aguas negras y las aguas grises descargadas al alcantarillado pluvial y drenando así hasta las aguas superficiales de ríos y quebradas (Ruiz, 2012). A esto se deben sumar otros factores, como las posibles fallas estructurales que conllevan a conexiones ilegales de aguas negras al alcantarillado pluvial (Segura citado por Solano) y que una vez allí son movilizadas hasta los cuerpos de agua. Esto enfatizando exclusivamente al recurso hídrico superficial (objeto de estudio), puesto que existen otra serie de elementos que comprometen la calidad de las aguas subterráneas.

Figura 10
Tecnología para el tratamiento y gestión de las aguas residuales en el cantón de San Pablo de Heredia



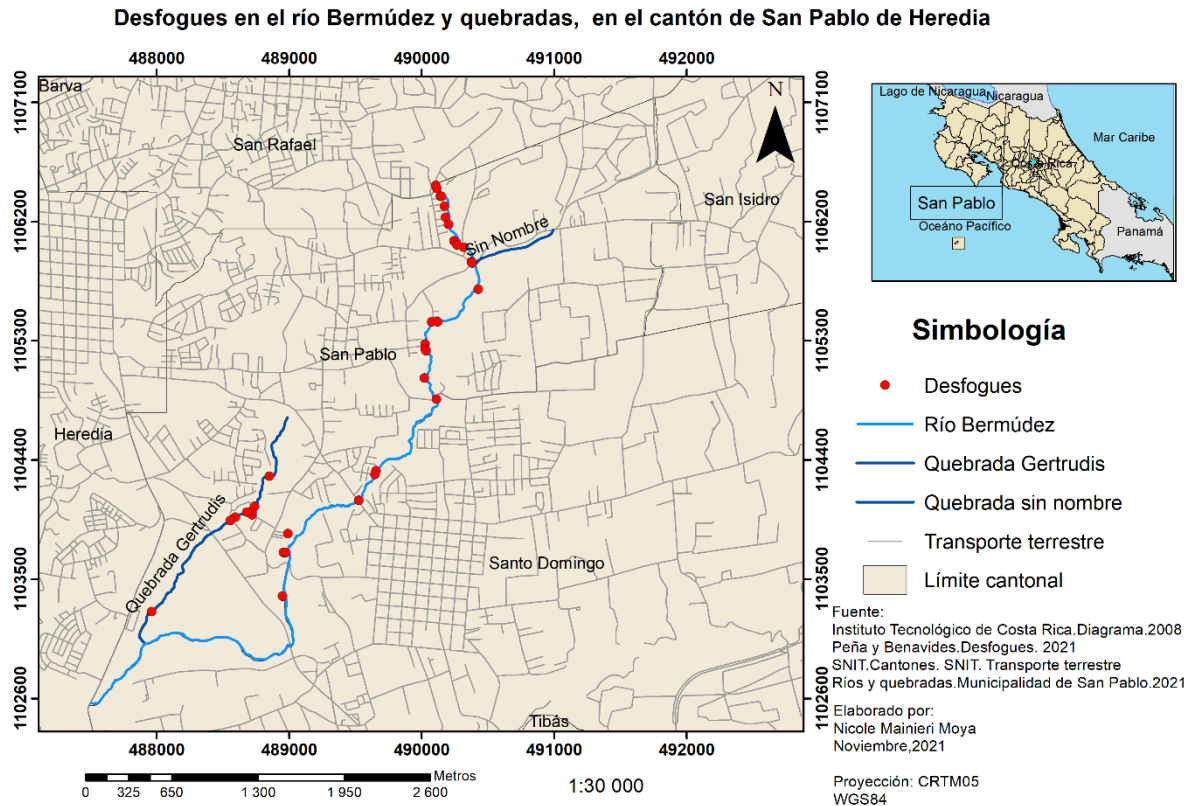
Fuente: Elaboración propia

- Desfogues

Dejando claro que las aguas residuales del cantón son mayoritariamente gestionadas mediante tanques sépticos y que la posibilidad de que se den conexiones ilegales a cuerpos de agua o alcantarillados pluviales, entonces, resulta importante evaluar a mayor grado de detalle la situación de los desfogues.

Peña y Benavides (2021) ejecutaron un levantamiento en campo de los desfogues que inciden en el río Bermúdez y dos de sus tributarios (Quebrada sin nombre y Quebrada Gertrudis), y encontraron 37 desfogues, recalando la posibilidad de que existan más que no fueron localizados producto del difícil acceso (Figura 11).

Figura 11
Desfogues presentes en el río Bermúdez y sus quebradas en el cantón de San Pablo de Heredia



Fuente: Elaboración propia

Los vertidos ilegales son catalogados como un factor de contaminación de los ríos urbanos de Costa Rica (MINAE, GEF y PNUD, 2019). Esta situación no es ajena al cantón de San Pablo, de donde Peña y Benavides (2021) destacan la posibilidad de que en algunos de los desfogues identificados existan conexiones ilegales de aguas residuales, puesto que durante su investigación visualizaron aguas de apariencias distintas a las pluviales.

Estas sospechas también le surgen a la investigadora de este proyecto, quien durante el recorrido al cauce del río observó desfogues con aguas con características jabonosas y cuyos colores y olores sugieren que se trata de descargas no pluviales (Figura 12). Adicionalmente, las visitas en campo se realizaron en días con clima soleado y sin lluvia, y se encontraron algunos desfogues directos al río donde cae una gran cantidad de aguas con estas condiciones, por lo que se sospecha que estas no son aguas pluviales.

Figura 12

Desfogue de aguas de apariencia jabonosa al cauce del río Bermúdez en el cantón de San Pablo



Fuente: Elaboración propia

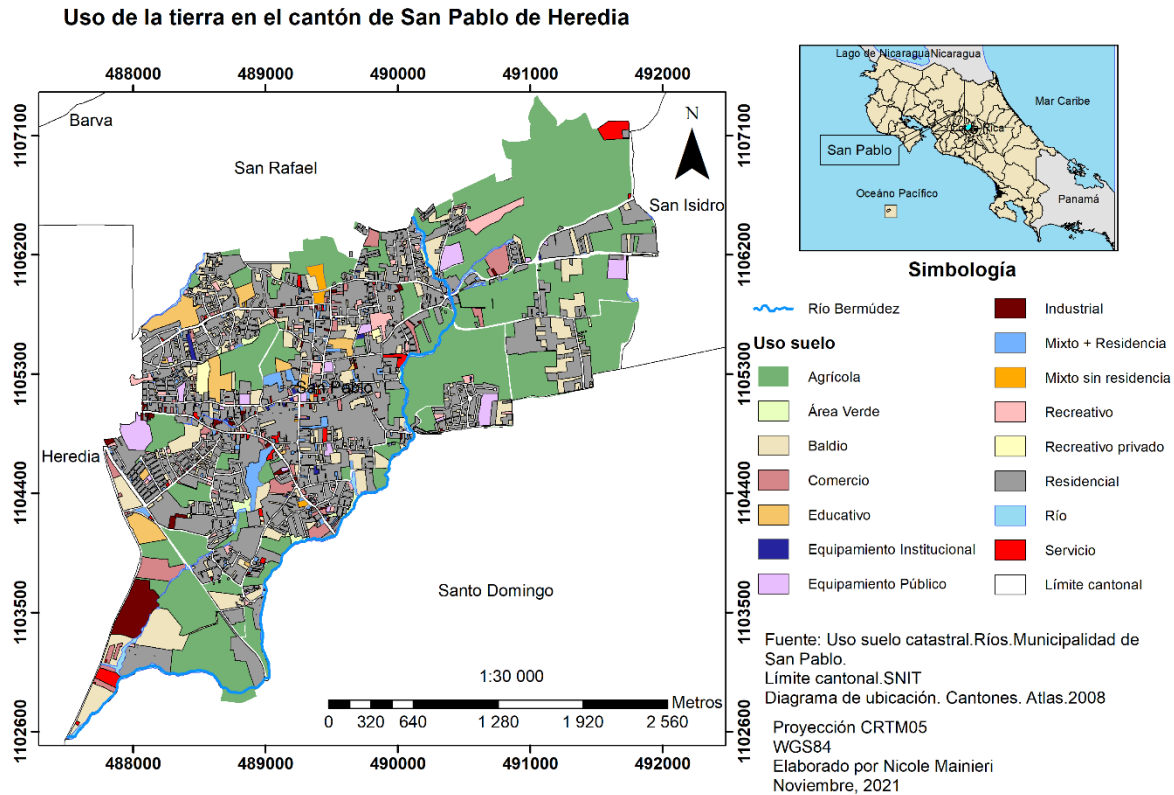
Con esta evidencia, cabe la posibilidad de que el vertido de aguas jabonosas al río sea un factor que incida en la degradación de su calidad, pues los detergentes disminuyen la tensión superficial del agua, inhibir la actividad biológica, reducir la solubilidad del oxígeno y ocasionar problemáticas de eutrofización (Romero, 2010). Por lo que esto es un elemento a considerar durante el análisis de resultados fisicoquímicos de las aguas superficiales del río.

- Uso de la tierra

De acuerdo con Cambronero et al. (2019), la cobertura predominante en la microcuenca del río Bermúdez corresponde a las edificaciones (47,91 %), destacando que estas se concentran en la parte media y baja de la microcuenca, por lo que incluye al cantón de San Pablo de Heredia.

Específicamente en San Pablo, se determina que para el 2019, el uso de mayoritario correspondía al agrícola (39,96 %) (Figura 13 y Tabla 13). Sin embargo, estos usos de la tierra corresponden a los existentes en el año 2019, por lo que a la fecha pueden haberse generado algunas modificaciones, como lo es una mayor presencia de infraestructura en estos espacios, siguiendo a González (2021). Y es que la misma institución reconoce que en los últimos años los cultivos cafetaleros característicos de la zona se han reducido producto de cambios en el uso de la tierra por una mayor expansión urbana (Municipalidad de San Pablo, s.f.b).

Figura 13
Uso de la tierra en el cantón de San Pablo de Heredia



Fuente: Elaboración propia

El uso residencial que alcanza el 33,99 %, si a esto se le añaden los usos mixtos con residencia, se alcanza un 35,64 %. Esto se alinea con los hallazgos de Cambronero et al. (2019) que mencionó un alto porcentaje de cobertura por infraestructura en la microcuenca, incluyendo el territorio de San Pablo de Heredia.

Este tipo de usos urbanos puede ser causante de degradación en la calidad del recurso hídrico, ya que, siguiendo investigación de Alvarado et al. (2019), se denota que en centros poblacionales suelen darse descargas de aguas residuales que afectan el recurso hídrico.

La distribución porcentual de todos los usos de la tierra identificados para el cantón puede ser visualizada en la Tabla 13.

Tabla 13
Distribución porcentual del uso de la tierra en el cantón de San Pablo de Heredia

Uso	Porcentaje
Agrícola	39,96
Residencial	33,99
Baldío	9,87
Comercio	2,74
Educativo	2,45
Equipamiento publico	2,01
Recreativo	1,83
Mixto con residencia	1,65
Industrial	1,64
Rio	1,36
Servicio	0,95
Área verde	0,61
Mixto sin residencia	0,36
Recreativo privado	0,34
Equipamiento institucional	0,24

- Áreas de Protección

De acuerdo con Chaves (2015), la cobertura predominante correspondía, primeramente, a los charrales, los cuales caracterizó por contener zacate, arbustos y arboles aislados; seguida de zonas boscosas y, en tercer lugar, las obras urbanas (Figura 14).

De estos hallazgos se evidencia los siguientes elementos, el primero, el estudio de Chaves (2015) comprendió también áreas de protección del río dentro del cantón de Santo Domingo, por lo que los resultados no son únicamente aplicables a San Pablo. No obstante, al ser un recurso hídrico compartido, importa comprender cual es el estado de las zonas de protección en este cantón vecino, ya que puede ser fuente de indicios de presiones en el mismo.

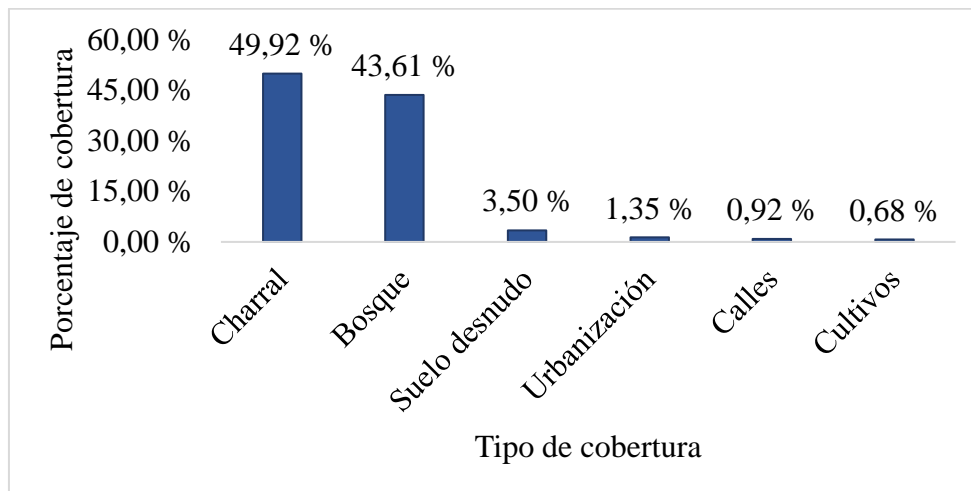
En segundo lugar, la manera en que se recopila la información, pues para la clasificación y estimación de las áreas respectivas la autora emplea la fotointerpretación mediante ortofotos del 2012

y únicamente algunos puntos de muestreo en físico (Chaves, 2015). Por lo que esto implica que el estudio estuvo principalmente sujeto a una interpretación personal de las imágenes, que pudo verse afectada por su resolución. Elementos que pueden ocasionar sesgos en los resultados.

La presencia de mayores coberturas vegetales puede relacionarse a que en dichos años la expansión urbana no se encontrara en su apogeo, por lo que el cuerpo de agua todavía contaba con vegetación circundante que implicaba una menor presión antropogénica. La existencia de vegetación ribereña otorga múltiples beneficios como la disminución de la erosión, la retención de sedimentos, incremento de biodiversidad e inclusive contribuye a una mejora de la calidad del agua (Cepeda y Navarro, 2010).

Figura 14

Distribución porcentual del tipo de coberturas presentes en las áreas de protección del río Bermúdez



Nota: Elaborado con datos de Chaves (2015).

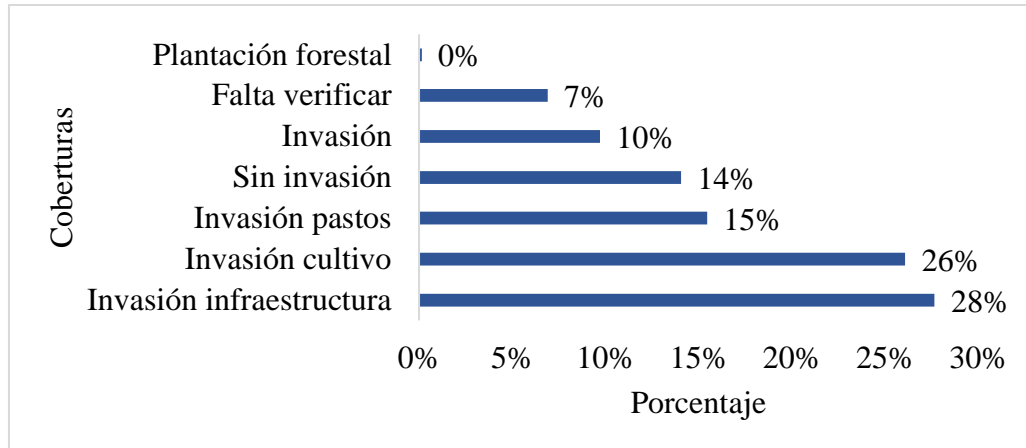
El panorama difiere en 2021, pues Peña y Benavides (2021) efectuaron una verificación de campo en las áreas de protección del cauce principal del río Bermúdez y dos de sus quebradas en el cantón de San Pablo, con las que determinaron que la principal problemática que estas enfrentan es la presencia de infraestructura, mientras que apenas un 14 % se encuentra libre de invasiones (Figura 15).

Esto puede relacionarse al alto desarrollo urbano que ha presentado el cantón en los últimos años. Para Peña y Benavides (2021) se trata principalmente de viviendas o áreas de empresas, torres de condominios o residenciales. Ministerio de Ambiente y Energía (2020), expuso que a nivel país se

ha dado un crecimiento urbano no planificado que ha venido a ser una de las causas de grandes presiones a las áreas de protección.

Figura 15

Distribución porcentual de los tipos de coberturas presentes en las áreas de protección del río Bermúdez en San Pablo de Heredia



Nota: Elaborado con datos de Peña y Benavides (2021)

Estas afirmaciones fueron constatadas durante la ejecución de las actividades en campo, pues al recorrer el cauce del río se encontraron viviendas en las inmediaciones de este (Figura 16). La presencia de este tipo de infraestructura implica la existencia de desfogues que no en todas las ocasiones aparentan ser de tipo pluvial, así como practicas inadecuadas en la gestión de residuos, siendo estos elementos contaminantes los que inciden de forma directa en la calidad de las aguas.

Figura 16

Ejemplificación de invasión de las áreas de protección por infraestructura



Fuente: Elaboración propia

El análisis de información cruzada de Peña y Benavides e información catastral municipal facultó la identificación de 224 fincas en las inmediaciones del cauce principal del río Bermúdez y dos de sus quebradas, las cuales deben respetar los retiros promulgados en el artículo 33 de la Ley Forestal. Sin embargo, en múltiples ocasiones estas presentan más de un tipo de cobertura (Tabla 14). Si bien las quebradas no son parte del área de estudio de esta investigación, tienen injerencia en la calidad del cauce principal, puesto que es a este donde sus aguas drenan, por lo que su identificación y posible accionar resulta en pro de su bienestar.

Tabla 14

Cantidad de fincas de acuerdo con el tipo de cobertura presente en las áreas de protección del río Bermúdez y dos quebradas, en el cantón de San Pablo de Heredia

Tipo de cobertura	Cantidad de fincas
Invasión infraestructura	141
Invasión cultivos	57
Sin invasión	53
Invasión	36
Invasión pastos	32
Falta verificar	12
Invasión plantación forestal	3

Nota: Elaborado con datos de Municipalidad de San Pablo (2021c) y Peña y Benavides (2021b).

De esta información se infiere que la recuperación de estos espacios urbanizados representa solicitar a los dueños de las fincas invasoras efectuar modificaciones en la infraestructura que se encuentra en sus terrenos, lo que implica un reto de gran magnitud para el municipio y que pareciera no ser viable a corto plazo, pues esta situación tiene presencia en más de 100 predios (Tabla 14). Caso contrario con las coberturas por cultivos (mayoritariamente café y tomate) o bien por pastos (principalmente zacate), cuya intervención podría darse con mayor facilidad.

- Población

El cantón de San Rafael de Heredia posee una extensión de 48,4 km² (Instituto Nacional de Estadística y Censos INEC, 2011 b), territorio que al año 2021 alberga una población un 14,3 % mayor que la existente en el 2011 (Tabla 15).

Dentro de la red hídrica que nace de sus montañas se ubica el río Bermúdez, que drena hacia cantones como Santo Domingo, cuya extensión geográfica es de 24,8 km² (INEC, 2011 b) y para el presente año (2021) contiene un 11,0 % más de habitantes que en el año base (2011).

Estos crecimientos poblacionales se acompañan de mayores presiones para los recursos naturales de los territorios, pues implican una mayor producción de residuos sólidos y vertido de efluentes líquidos, cuya inadecuada gestión puede degradar la calidad de las aguas del río cuyas aguas drenan al cantón de San Pablo.

Tabla 15
Cantidad de habitantes por cantón para el 2021

Cantón	Cantidad de habitantes
San Rafael	55 923
Santo Domingo	49 461

Nota: Elaborado con datos del INEC (2021 a).

De acuerdo con las estimaciones del INEC, para el 2021 el cantón de San Pablo posee una población total de 31368 habitantes (Tabla 16) que se cataloga como urbana en su totalidad.

Tabla 16
Población del cantón de San Pablo de Heredia según sexo para el 2021

Hombres	Mujeres	Total
15 484	15 884	31 368

Nota: Elaborado con datos de INEC (2011a).

El cantón muestra un crecimiento poblacional con los años, lo que puede ser fuente de mayores presiones en el recurso hídrico, debido al aumento en la generación de contaminantes como los residuos sólidos y las aguas residuales.

Lo anterior se evidencia en la Tabla 17, en la que se observa que, aunque en el 2016 la población era únicamente un 4,6 % mayor que la existente en el 2011, el crecimiento en la generación de residuos sólidos ordinarios fue de un 13,1 %. Esta realidad se presentó también en el 2020, donde la cantidad de habitantes era de un 7,5 % superior que la existente en el año base; mientras que los residuos sólidos ordinarios incrementaron un 29,9 %. La relación entre dichas variables ha sido evidenciada en la literatura, puesto que autores como Rodríguez (2002) han señalado que una mayor cantidad de habitantes conlleva a una mayor producción de residuos.

En el caso de las aguas residuales, según lo que expone Rodríguez (2017), uno de los retos a nivel mundial es la adecuada eliminación de las aguas utilizadas, pues al ser vertidas al recurso hídrico, sin tratamiento previo, ocasionan serios efectos en la flora y fauna. En San Pablo se estimó un incremento de estas aguas de 4,6 % para el 2016 y 7,5 % para 2020.

Tabla 17
Registros históricos de población, residuos y aguas en el cantón de San Pablo de Heredia

Año	Cantidad de habitantes	Residuos sólidos (Ton/año)	Aguas residuales (L/año)
2011*	29 026	7 783	2 118 898 000
2016	30 370	8 801	2 217 010 000
2020	31 200	10 109	2 277 600 000

Nota: *tomado como año base. Elaborado con datos de INEC (2011 a); Municipalidad de San Pablo (2021 b) y AyA (citado en Herrera Cervantes, 2011)

Hay que añadir a estos datos que el crecimiento en la cantidad de habitantes implica un mayor desarrollo de la infraestructura. Esto en un territorio que ya muestra problemáticas asociadas a la expansión urbana desordenada, al contar con un 28 % de invasión por infraestructura en las áreas de protección del río Bermúdez dentro del cantón de estudio.

- Actividades económicas

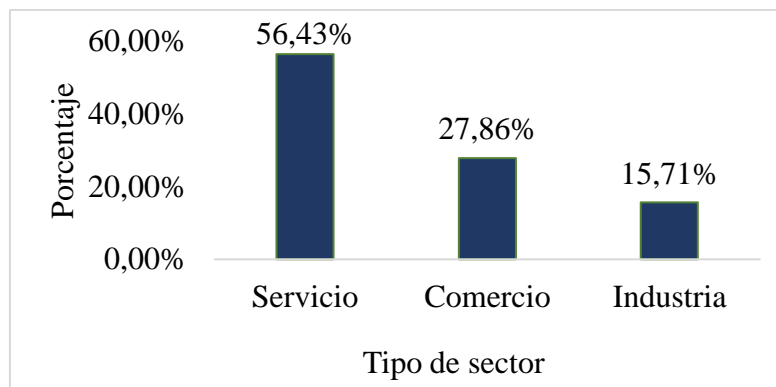
De acuerdo con el Instituto de Desarrollo Rural de Costa Rica Dirección Central INDER (2016), algunos sectores rurales de San Rafael tienen presencia de actividades agrícolas de cultivos como café, lechuga, apio, culantro, cebolla, chile y tomate, como también actividades de ganadería lechera. El reconocimiento de estas actividades es de relevancia, pues brindan indicios del tipo de contaminantes que se pueden encontrar en las aguas que ingresan a San Pablo. No obstante, San Rafael es drenado por otros cuerpos de agua, mismo que pueden recibir parte de las presiones por actividades industriales, comerciales y agrícolas, ya que estas se distribuyen por todo el territorio.

De acuerdo con INDER (2016), en algunas zonas rurales del cantón de Santo Domingo todavía se tiene presencia de actividades productivas como los cultivos de chile, café y tomate. Sobre este último se destaca que, durante las visitas al cauce del río en San Pablo, se visualizó en los límites con Santo Domingo la existencia de cultivos de tomate, por lo que es un factor que considerar durante el análisis de resultados fisicoquímicos de las aguas.

Una de las actividades económicas de mayor predominancia en el cantón de San Pablo de Heredia ha sido el cultivo de café, sin embargo, en los últimos años, este ha perdido posicionamiento producto de una mayor expansión residencial (Municipalidad de San Pablo de Heredia, s.f. b). Por esta razón, actualmente se caracteriza por la presencia de actividades del sector servicios (Figura 17) como lo son restaurantes, bares, pulperías, bazares; seguido por el área de comercial y en último lugar la industria (Municipalidad de San Pablo de Heredia, 2011).

Figura 17

Distribución porcentual de los sectores económicos presentes en el cantón de San Pablo de Heredia

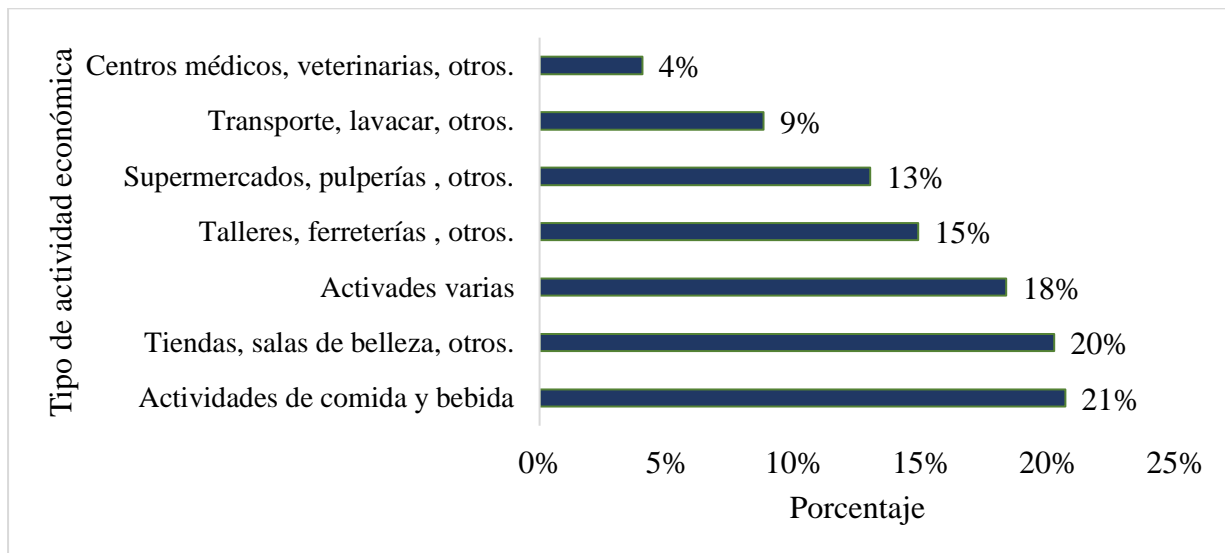


Nota: Elaborado con datos de MEIC (2006, citado en Municipalidad de San Pablo de Heredia, 2011).

La información obtenida señala que en la actualidad San Pablo no registra una fuerte presencia del sector agrícola, además, el sector industrial no es uno de los pilares de esta economía, por lo que no es de esperar grandes presiones en la calidad del río producto del vertido de aguas residuales de tipo especial. Por esta causa, es de relevancia identificar en mayor grado de detalle cuáles pueden ser las actividades que componen el área de servicios y comercios protagonistas de la economía en el territorio.

De acuerdo con informes municipales, para el año 2014 se registró un total de 629 patentes, que se agrupan en 7 categorías distintas (Municipalidad de San Pablo de Heredia, s.f. b). La descripción detallada de las actividades pertenecientes a cada categoría se puede consultar en el Anexo 11. Del total de patentes autorizadas, el porcentaje mayoritario estuvo relacionado a la venta de productos alimenticios en establecimientos como sodas, bares, restaurantes, discotecas, panaderías, licoreras, seguido de servicios y comercios como salones de belleza, librerías, copiadoras y zapaterías, mientras que el porcentaje más bajo se atribuye a la prestación de servicios relacionados con la salud humana y animal (Figura 18).

Figura 18
Distribución porcentual de las patentes autorizadas para el funcionamiento de actividades comerciales para el 2014



Nota: Elaborado con datos de Municipalidad de San Pablo de Heredia (s.f.b).

De la naturaleza de las actividades, se infiere que los residuos generados son mayoritariamente de tipo ordinario y valorizable, que son gestionados mediante el servicio de recolección brindado por el municipio, como ya se abordó, con una cobertura y periodicidad adecuada por lo que se esperaría que estos no sean una fuente de impacto al cuerpo de agua bajo estudio.

4.2 Determinación del estado del agua superficial

- Parámetros fisicoquímicos y biológicos

Mediante la revisión catastral y la visita en campo se define que se cuenta con las condiciones de acceso y seguridad para mantener los sitios de muestreo de las campañas efectuadas durante el primer semestre 2021, lo que, a su vez, determina que es posible la inclusión de un nuevo punto.

Para efectos de esta investigación, los sitios a muestrear responden a la identificación presentada en la Tabla 19; de donde se evidencia que el nuevo sitio de muestreo corresponde al conocido como El puente de La Vigui. Este fue seleccionado con el fin de obtener más información respecto a la zona urbana del cantón, al añadir un punto adicional en el distrito de San Pablo, de manera que se contara con dos sitios de muestreo en cada distrito y se redujeran las distancias de monitoreo (Tabla 18).

Tabla 18

Identificación de los puntos de muestreo para la campaña del segundo semestre 2021

Identificación utilizada I semestre	Identificación utilizada en esta investigación	Nombre	Distro
Punto 1	Punto 1	Calle El Común	San Pablo
No existía	Punto 2	El puente de La Vigui	San Pablo
Punto 2	Punto 3	El Matadero	Rincón de Sabanilla
Punto 3	Punto 4	Hacienda las Flores	Rincón de Sabanilla

Fuente: Elaboración propia

De los sitios anteriores, se señala que los primeros tres puntos de muestreo se ubican bajo puentes, de estos, 2 poseen gradas que facilitan el acceso. Para el sitio de Hacienda Las Flores es necesario atravesar una zona de cultivo de tomate para llegar al cuerpo de agua. Las fotografías que permiten un reconocimiento visual de cada uno de estos sitios pueden ser consultadas en el Anexo 12.

Tabla 19

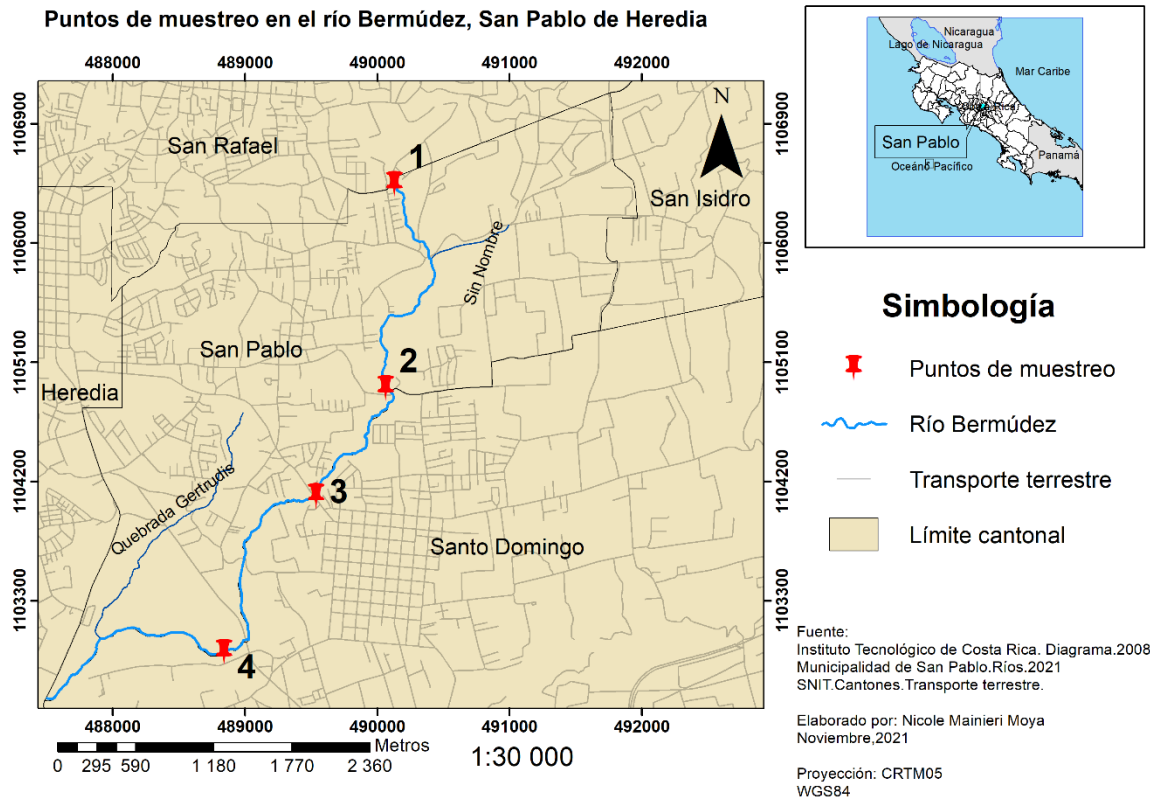
Distancia aproximada entre los puntos de muestreo para la campaña del segundo semestre 2021

Puntos	Distancia (km)
1-2	2,1
2-3	1,1
3-4	2,3

Fuente: Elaboración propia

Figura 19

Ubicación de los puntos de muestreo de aguas y macroinvertebrados en el río Bermúdez en San Pablo de Heredia durante la época de transición, noviembre de 2021



Fuente: Elaboración propia

Se decidió mantener la totalidad de parámetros analizados durante las campañas del primer semestre 2021 (Tabla 20), pues estos permiten contar con información comparable para el establecimiento de una línea base robusta sobre la calidad de estas aguas durante el 2021.

Tabla 20

Parámetros de análisis para la determinación de la calidad de las aguas del río Bermúdez

Porcentaje de Saturación de Oxígeno*	Fluoruros	Sólidos suspendidos totales
Demanda bioquímica de oxígeno*	Grasas y aceites	Sulfato
Nitrógeno Amoniacal*	Nitrato	Temperatura
Cloruros	Potencial de hidrógeno	Turbiedad
Color	Sustancias activas al azul de metileno	Coliformes fecales
DQO	Sólidos disueltos totales	Macroinvertebrados

Nota: * Son parámetros obligatorios

Índice Holandés

Durante la época seca se determina que el sitio de muestreo Calle El Común posee una contaminación moderada (Tabla 21), comportamiento que se repite en todas las épocas de muestreo (Tabla 22 y Tabla 23). Este punto de monitoreo permitió obtener información sobre la calidad de las aguas que entran al cantón de San Pablo de Heredia, concluyendo de esta manera que el recurso ingresa con una afectación considerable. Al respecto, Anchía Leitón (2021) encontró que el agua del río Bermúdez en la parte alta de la microcuenca (San Rafael de Heredia) se cataloga como agua con contaminación incipiente, según el Índice Holandés.

Tabla 21

Índice Holandés durante la época seca febrero 2021

Sitio	Sumatoria puntos	Clase	Color	Interpretación calidad
Calle El Común	9	3	Amarillo	Contaminación moderada
Matadero	10	4	Anaranjado	Contaminación severa
Hacienda Las Llores	11	4	Anaranjado	Contaminación severa

Nota: elaborado con datos de CHEMLABS, 2021^a

La calidad de las aguas se agrava conforme se desciende en el territorio, debido a que en el Matadero se clasifica el recurso con una contaminación severa. Ahora bien, esta fluctuación de una calidad moderada a severa en el puntaje entre punto El Común y Matadero se debe principalmente a las variaciones en la DBO que incrementa de 9 mg/L a 38 mg/L (Anexo 16).

Mientras que en Hacienda Las Flores el Índice Holandés muestra un puntaje total de 11, un punto superior al obtenido en el Matadero. Este se atribuye principalmente a una disminución en el porcentaje de saturación de oxígeno (Anexo 16). Estos cambios en la puntuación no afectan a la clasificación respecto a calidad, pues se mantiene como de tipo severa (anaranjada).

Tabla 22
Índice Holandés durante la época lluviosa, mayo de 2021

Sitio	Sumatoria puntos	Clase	Color	Interpretación calidad
Calle El Común	9	3	Amarillo	Contaminación moderada
Matadero	10	4	Anaranjado	Contaminación severa
Hacienda Las Flores	9	3	Amarillo	Contaminación moderada

Nota: Elaborado con datos de CHEMLABS, 2021b

En la época lluviosa (Tabla 22), Calle El Común mantiene una contaminación moderada, pero se vuelve severa al llegar al Matadero. Al igual a como sucede en el periodo seco, este comportamiento se relaciona con las fluctuaciones en la DBO, pasando de 8 mg/L en El Común a 45 mg/L en el Matadero, afectando así el puntaje total.

En Hacienda Las Flores el panorama difiere, ya que el Índice Holandés indica que la calidad de las aguas presenta una mejoría. Esta diferencia con el puntaje obtenido en el Matadero se atribuye principalmente a los cambios en el porcentaje de saturación de oxígeno (Anexo 16).

Tabla 23
Índice Holandés durante la época de transición noviembre 2021

Sitio	Sumatoria puntos	Clase	Color	Interpretación calidad
Calle El Común	8	3	Amarillo	Contaminación moderada
La Vigui	7	3	Amarillo	Contaminación moderada
Matadero	10	4	Anaranjado	Contaminación severa
Hacienda Las Flores	10	4	Anaranjado	Contaminación severa

Nota: Elaborado con datos de LabServices, 2022a, b, c, d

En el periodo de transición, el sitio Calle El Común muestra nuevamente que las aguas ingresan a San Pablo de Heredia con una contaminación moderada (Tabla 23). En este caso, se cuenta con información del punto La Vigui, sitio para el que el Índice Holandés también determina con una contaminación moderada.

Con un comportamiento similar a los otros periodos de estudio, la calidad del agua empeora al llegar al punto de monitoreo el Matadero, aquí se cataloga con contaminación severa. En este caso, los principales cambios por cuanto al puntaje entre Calle El Común y El Matadero, se deben a una disminución en el porcentaje de saturación de oxígeno y un incremento en el Nitrógeno Amoniacal (Anexo 16).

Índice BMWP

En el caso de la evaluación biológica mediante macroinvertebrados, CHEAMLABS (2021c) indica que para los periodos de febrero y mayo se registró una abundancia total de 2875 individuos, de los cuales 222 se identificaron en Calle El Común, 1769 en el Matadero y 884 en Hacienda Las Flores. Del total de macroinvertebrados un 89,56 % correspondió al orden Diptera con la familia Chironomidae. Estos hallazgos brindan indicios sobre el estado de las aguas, ya que la literatura apunta que los individuos del orden Diptera actúan como indicadores de aguas de baja calidad (Gamboa et al., 2008).

Tabla 24
Índice BMWP-CR durante la época seca febrero 2021

Sitio	Puntaje	Color	Nivel de calidad
Calle El Común	44	Amarillo	Calidad mala, contaminadas
Matadero	34	Naranja	Calidad mala, muy contaminadas
Hacienda Las Flores	26	Naranja	Calidad mala, muy contaminadas

Nota: Elaborado con datos de CHEMLABS, 2021c

Específicamente para época seca (Tabla 24), el índice BMWP-CR muestra que las aguas que ingresan a San Pablo de Heredia lo hacen con una calidad mala, consideradas como contaminadas. Conforme se desciende en el territorio también decrece el puntaje obtenido para el índice biológico,

mostrando así un decremento en la calidad del recurso. Todo esto coincide con el diagnóstico fisicoquímico, en el que el Índice Holandés mostró un comportamiento similar.

Tabla 25
Índice BMWP-CR durante la época lluviosa mayo 2021

Sitio	Puntaje	Color	Nivel de calidad
Calle El Común	59	Amarillo	Calidad mala, contaminadas
Matadero	15	Rojo	Calidad muy mala, extremadamente contaminadas
Hacienda Las Flores	34	Naranja	Calidad mala, muy contaminadas

Nota: Elaborado con datos de CHEMLABS, 2021c

Durante el periodo lluvioso (Tabla 25), el índice BMWP-CR muestra resultados similares, pues, si bien en Calle El Común el puntaje obtenido es mayor al de época seca, las aguas todavía pertenecen a la categoría amarilla, que refleja que están contaminadas.

El panorama cambia al llegar a Matadero donde se obtiene un puntaje de 15 (CHEMLABS, 2021c), que pertenece a la categoría color rojo.

Dentro de los factores que afectan a las comunidades de macroinvertebrados, se tiene la eutrofización generada por el incremento de nutrientes en las aguas, principalmente en forma de nitratos y fosfatos (Ladrera Fernández, 2012). En este caso, el nitrato no aumentó entre Calle El Común y el Matadero, a la vez que el porcentaje de oxígeno disuelto incrementó en más de 7 puntos porcentuales (Anexo 16), por lo que este parece no ser un factor determinante.

Otros elementos que se pueden considerar acá son el vertido de contaminantes provenientes de centros urbanos e industriales y las alteraciones de tipo morfológico que ocasionan una reducción de los hábitats (Ladrera Fernández, 2012). Se observa que los coliformes fecales aumentan entre sitios (Anexo 17), problemática que puede tener relación con los métodos predominantes de gestión de aguas residuales, como también con los desfuegos documentados en este trayecto del río (Figura 12). Entre Calle El Común y El Matadero hay una mayor concentración de centros poblacionales, a lo que se suma que el recurso se vuelve limítrofe con el cantón de Santo Domingo, recibiendo también impactos de esta población.

El índice indica que la calidad de las aguas mejora al llegar al último sitio de muestreo (Hacienda Las Flores), siendo, en cierta forma, consistente con el Índice Holandés, pues como se

mostró en la Tabla 25 para el mes de mayo, el agua más contaminada se registró en el Matadero, aunque con un color naranja.

Según el artículo 20 del Decreto 33903 (2007), cuando la diferencia entre índices es mayor a una clase, el muestreo debe repetirse en un periodo no mayor a 30 días naturales. En el caso de El Matadero y Hacienda Las Flores, los resultados del Índice Holandés y BMWP presentan una diferencia de una clase. Asimismo, se tiene la limitante de que los muestreos se realizaron previo a la aprobación del presente trabajo final de graduación (TFG), por lo que se trabaja con los resultados brindados por el municipio. Con esto y con base en lo recomendado por dicho artículo, para estos sitios y periodo de análisis, el agua se clasificó con la calidad más baja (BMWP).

Para los muestreos de noviembre, Gutiérrez Acuña (2021) registró una abundancia de 691 individuos, de los cuales: 182 se identificaron en Calle El Común, 167 individuos en La Vigui, en Matadero 204 y 138 en Hacienda las Flores. En esto últimos tres puntos predominan la familia Chironomidae, con un 42,51 %; 69,61 % y 69,56 %, respectivamente.

Tabla 26
Índice BMWP-CR durante la época de transición, noviembre de 2021

Sitio	Puntaje	Color	Nivel de calidad
Calle El Común	53	Amarillo	Calidad mala, contaminadas
La Vigui	44	Amarillo	Calidad mala, contaminadas
Matadero	45	Amarillo	Calidad mala, contaminadas
Hacienda Las Flores	31	Naranja	Calidad mala, muy contaminadas

Nota: Elaborado con datos de Gutiérrez Acuña, 2021.

El índice BMWP para la última época de monitoreo (Tabla 26) muestra que Calle El Común continua con una clasificación amarilla (aguas contaminadas). Aquí, el 36,26 % de los individuos identificados perteneció al orden Ephemeroptera, específicamente Familia Leptohyphidae, género Tricorythodes (Gutiérrez Acuña, 2021). Respecto a esto, Flowers y de la Rosa (2010) explican que la literatura suele documentar al grupo Ephemeroptera como sensible a la contaminación de las aguas. No obstante, señalan que esto puede variar en cada familia y género. Tal es el caso de Leptohyphidae, una familia abundante en el país, que presenta cierta tolerancia a la contaminación (Flowers y de la Rosa, 2010).

Dentro del orden Ephemeroptera se registró Baetidae Baetodes (Gutiérrez Acuña, 2021), que suelen encontrarse en aguas limpias. Sin embargo, muestran cierta tolerancia a la contaminación de

tipo orgánico (Roldán Perez, 1996). Adicionalmente, Gutiérrez Acuña (2021) encontró familias como Chironomidae e Hydropsychidae Leptonema, siendo estos últimos tolerantes a “aguas con un poco de contaminación” (Roldán Perez, 1996, p. 148).

El nuevo punto de análisis (La Vigui) muestra un puntaje menor que Calle El Común, aunque las aguas se mantienen en color amarillo. Sobre las familias de mayor presencia, nuevamente están Chironomidae, Leptohiphidae Tricorythodes, Physidae y Baetidae Baetodes (Gutiérrez Acuña, 2021).

En El Matadero, el nivel de calidad continua como malo, es decir, aguas contaminadas. Respecto a los macroinvertebrados, se tiene menor presencia especies como Baetodes y Tricorythodes, pero Chironomidae muestra un aumento considerable Anexo 16 (Gutiérrez Acuña, 2021).

Camargo (2005) destaca el papel que juegan los núcleos urbanos en la contaminación orgánica de las aguas, ocasionando de esta forma una disminución en el oxígeno disuelto, que implica que aquellos individuos con alta sensibilidad ya no formen parte del ecosistema, caso contrario a organismos como los Chironomidae que tendrán un mayor protagonismo gracias a su tolerancia a este tipo de ambiente.

Esto puede ser el caso del lugar de estudio, pues el oxígeno disuelto registrado en el sitio muestra una disminución de aproximadamente 1 mg/L entre El Común y El Matadero, aspecto que se puede observar también en el Anexo 16 con los resultados del porcentaje de saturación de oxígeno.

En Hacienda Las Flores, el índice BMWP-CR denota aguas muy contaminadas (Tabla 26), en las que nuevamente se tiene el protagonismo de Chironomidae, Physidae y Leptohiphidae Tricorythodes (Gutiérrez, 2021).

Parámetros complementarios

Respecto al pH, el río Bermúdez en San Pablo muestra resultados dentro del rango óptimo de 6,5 a 8,2 presentado por Mata, citado por Gudiño (2014). Siendo estos muy similares a los documentados en el cantón de Belén, donde han oscilado entre 6,81 y 7,14 (Municipalidad de Belén, Universidad Nacional, Laboratorio de Análisis Ambiental, 2013). De igual forma, esto según el Reglamento 33903 (2007), los valores de pH registrados en San Pablo categorizan al río como clase 2.

Se tiene la temperatura del agua, parámetro que según Solano (2011) genera influencia en las características fisicoquímicas y biológicas del recurso hídrico. En este caso en todos los periodos de estudio el parámetro incrementa conforme se desciende en el cuerpo de agua (Tabla 27 y Figura 19).

En el periodo seco y de transición, el porcentaje de saturación de oxígeno disminuye. Esto tiene relación con una mayor presencia de contaminantes, pues, como lo expone Gudiño (2018), “la descomposición de la materia orgánica también se considera un factor que incrementa la temperatura del agua” (p. 22).

Las cifras registradas son inferiores a las que presenta el mismo río en el cantón vecino de Belén, ya que en este se han registrado temperaturas entre 24,1 °C y 24,9 °C (Municipalidad de Belén, Universidad Nacional, Laboratorio de Análisis Ambiental, 2013). Existe, además, la posibilidad de que en Belén la temperatura sea superior, porque el agua que ingresa a su territorio posee una mayor concentración de contaminantes, que ha transitado por los cantones de San Rafael, San Pablo, Santo Domingo y Heredia.

Tabla 27

Resultados de potencial de hidrógeno, temperatura y porcentaje de saturación de oxígeno para cada punto de muestro según la época de estudio

Punto	Época	Parámetros				
		pH	T (°C)	O ₂ (%)	CF UFC/100 ml	NH ₄ mg/L
El Común	Seca	7,61	17,3	63,3	34500	2,04
	Lluviosa	7,11	19,30	60,50	37400	1,51
	Transición	6,91	18,8	74,1	4500	0,98
La Vigui	Seca	-	-	-	-	-
	Lluviosa	-	-	-	-	-
	Transición	7,21	19,1	71,9	23000	1,1
El Matadero	Seca	7,55	20,1	55,3	54100	0,76
	Lluviosa	7,23	20,1	68,4	51400	0,98
	Transición	7,48	20,4	64,7	49000	2,98
Hacienda Las Flores	Seca	7,68	21,7	41,8	51200	0,8
	Lluviosa	7,20	21,10	71,6	53400	0,54
	Transición	7,71	21,8	67,1	540000	1,12

Nota: CF: Coliformes Fecales Elaborado con datos de CHEMLABS, 2021a, b, c; LabServices, 2022a, b, c, d.

Para el periodo de transición se cuenta con información del oxígeno disuelto en el sitio. Este es un factor determinante para la presencia de organismos como los macroinvertebrados bentónicos,

se debe a que un valor de oxígeno disuelto de 3 mg/L resulta crítico para la presencia de organismos acuáticos (Gudiño, 2014). El río Bermúdez durante el mes de noviembre mostró en todos los puntos de monitoreo cifras de oxígeno disuelto mayores a 5 mg/L (Tabla 28), motivo por el que la profesional en Biología encontró macroinvertebrados en todos los sitios. Claro está que la abundancia en cantidad y especie varió debido a la sensibilidad de estos ante la contaminación.

Tabla 28

Resultados del oxígeno disuelto medido in situ durante la campaña de muestreo de época de transición, noviembre de 2021

Punto	1	2	3	4
O ₂ disuelto (mg/L)	6,89	6,69	5,89	5,84

- Puntos de contaminación por residuos sólidos

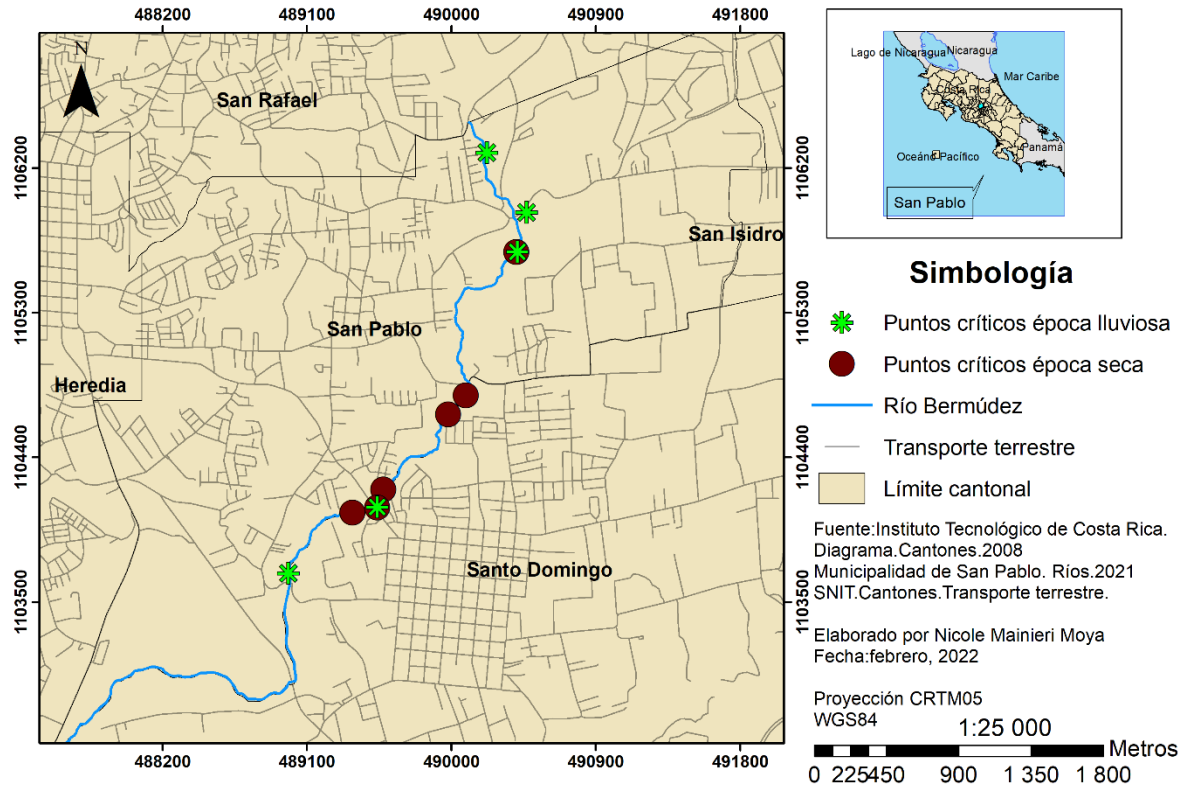
Durante los recorridos en campo se identificaron cinco puntos críticos por contaminación de residuos sólidos para la época lluviosa en el río y sus zonas aledañas, mientras que en época seca se obtuvieron seis (Figura 20). La presencia de estos materiales es un factor que repercute en la calidad de las aguas del río, al respecto, la literatura reconoce que “la descomposición de desechos sólidos en botaderos clandestinos o su disposición directa a las aguas superficiales contribuyen también a la contaminación de los cuerpos de agua” (Ureña, 2004, p. 76).

Las Tabla 29 y Tabla 30 muestran las características de cada uno de los sitios presentados en la Figura 20. De estas se evidencia que existen puntos que se mantienen como críticos en ambas épocas de estudio, principalmente aquellos relacionados a los asentamientos informales de El Vaticano y Las Joyas. Además, se identificó que el punto 5 de época lluviosa (Tanque del AyA) es de fácil acceso, por lo que se considera ideal para realizar una actividad de limpieza en la que se involucre a los habitantes del cantón. Se propone que el lote de El Vaticano requiere de intervención municipal para extraer los residuos allí presentes.

Figura 20

Puntos críticos de contaminación por residuos sólidos en el río Bermúdez en el cantón de San Pablo de Heredia

Puntos críticos de contaminación por residuos sólidos en el río Bermúdez en San Pablo de Heredia



Fuente: Elaboración propia

Tabla 29

Características de los puntos críticos de contaminación por residuos sólidos identificados durante la época lluviosa 2021

Punto	Descripción del sitio
1	Las Joyas, anteriormente era un sitio de fácil acceso, pero hace 2 años cerraron el paso por problemáticas como descargas de camiones (Anexo 14). Por ello, se considera que los residuos presentes son antiguos.
2	En el puente del río Bermúdez hay casas a la orilla del río, desfogues ilegales, invasión de AP (Figura 15); además, el agua tiene olor y color característico.
3	Ubicado en la cercanía de asentamientos informales en la comunidad de Las Cruces. Es una zona remota, para el ingreso se debe atravesar un puente improvisado. Se encuentra una quema de residuos a la orilla del río, posiblemente de dichas viviendas. Además, un árbol caído en el río genera una "presa" que acumula residuos varios.
4	El Matadero, existen gradas al costado del puente que facilitan el acceso al río. Sin embargo, los residuos aparentan llegar al río por escorrentía desde un lote que se usa como basurero clandestino, que colinda con el río y se encuentra circundante a los asentamientos informales en la comunidad conocida como El Vaticano. Dicho lote suele utilizarse para descarga de residuos de camiones (D. González, comunicación personal, 29 de setiembre del 2021); además, cuenta con portones que ocultan los residuos.
5	En Rincón Ricardo, detrás del pozo de AyA. Es un sitio solo, de fácil acceso para descarga de residuos mediante vehículos o a pie. Se identifica un desfogue ilegal.

Nota: Ver registro fotográfico en el Anexo 14.

Tabla 30

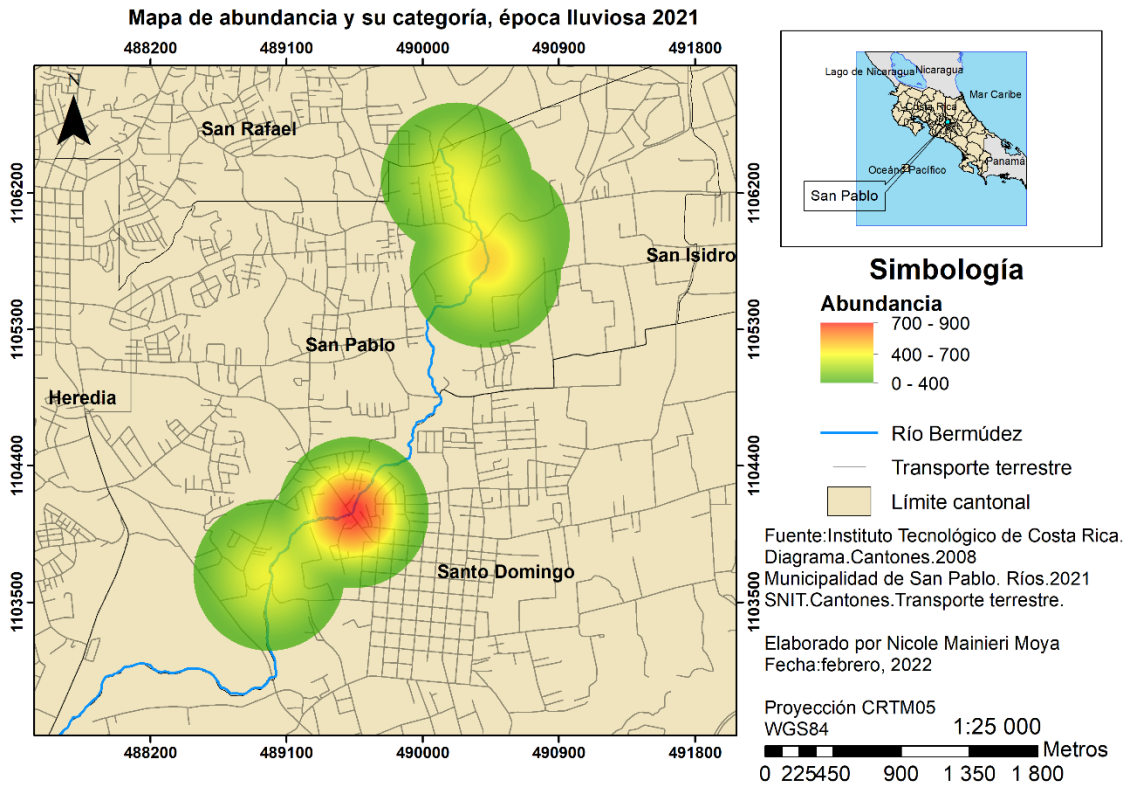
Características de los puntos críticos de contaminación por residuos sólidos identificados durante la época seca 2021-2022

Punto	Descripción del sitio
1	Ubicado en la cercanía de asentamientos informales en la comunidad de Las Cruces. Es una zona de acceso complicado (puente), por lo que los residuos deben provenir de las viviendas. Se encuentra quema de residuos y botadero clandestino.
2	Botadero clandestino en franja ribereña del río, los residuos pueden caer también por escorrentía.
3	Botadero clandestino en las riberas del río, se ubica cerca de un condominio/residencial perteneciente a Santo Domingo.
4	Antes de El Matadero, asentamiento informal.
5	El Matadero, se pudo visualizar los residuos en el bambú del lado del río. No se tuvo acceso al lote usado como basurero clandestino en asentamientos informales de El Vaticano. Esto por recomendación del Lic. David González, ya que los habitantes estaban vigilando afuera de sus casas y se deben evitar disconformidades con la población.
6	Es un botadero ilegal en zona ribereña. Es un sitio de difícil acceso, aunque en la parte superior parece existir un taller mecánico. Los residuos documentados parecen estar ahí hace tiempo (antiguos).

Estos puntos pueden ser clasificados mediante una escala de color que muestre de forma visual el grado de contaminación del río Bermúdez en el área de estudio.

Al considerar la cantidad de puntos existentes y las variables de cantidad de residuos y tipos de residuos presentes, se obtuvo para la época lluviosa lo presentado en el Figura 21. Se demuestra de esta manera que la intervención municipal del Matadero para extraer los residuos presentes debe ser prioritaria. Esta debe acompañarse de estrategias que permitan mantener tanto el lote como el río limpio a largo plazo.

Figura 21
Mapa de calor para la época lluviosa según los criterios de abundancia y categorías

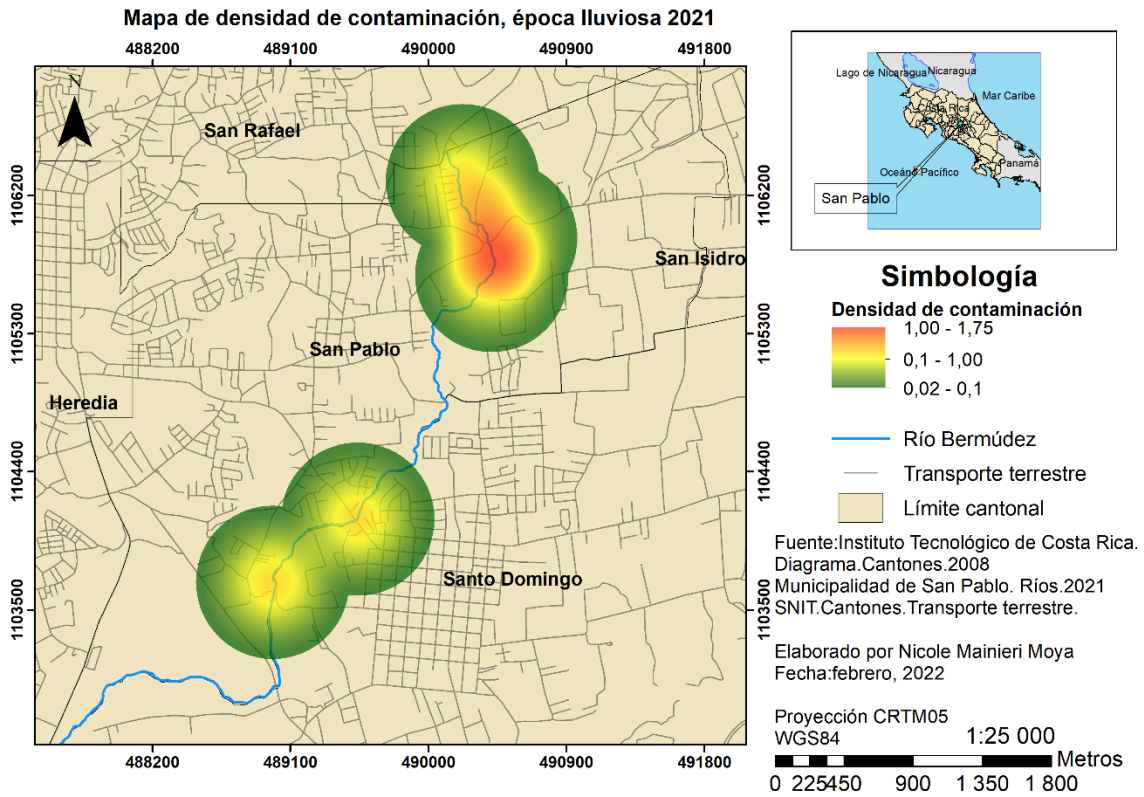


Fuente: Elaboración propia

Si se considera únicamente la cantidad de puntos de contaminación existentes, se visualiza que, en la época lluviosa, la mayor concentración de sitios se da en la parte alta del río Bermúdez (Figura 22).

Figura 22

Mapa de calor para la época lluviosa según el criterio de abundancia de puntos

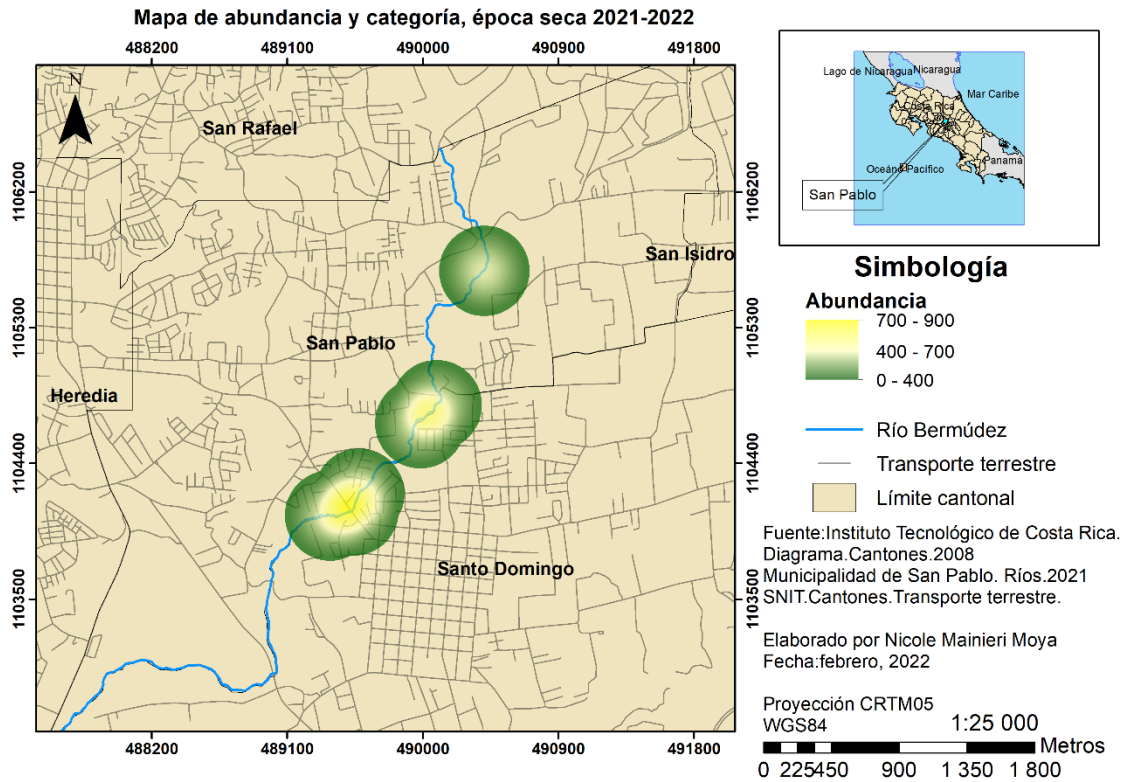


Fuente: Elaboración propia

Para época seca la Figura 23 refleja mediante una escala de color la severidad de los sitios de contaminación por residuos, al considerar la cantidad de puntos existentes y las variables de cantidad de residuos y tipos de residuos presentes. De donde se obtuvo que en este caso todos los sitios muestran un comportamiento similar (verde-amarillo).

Figura 23

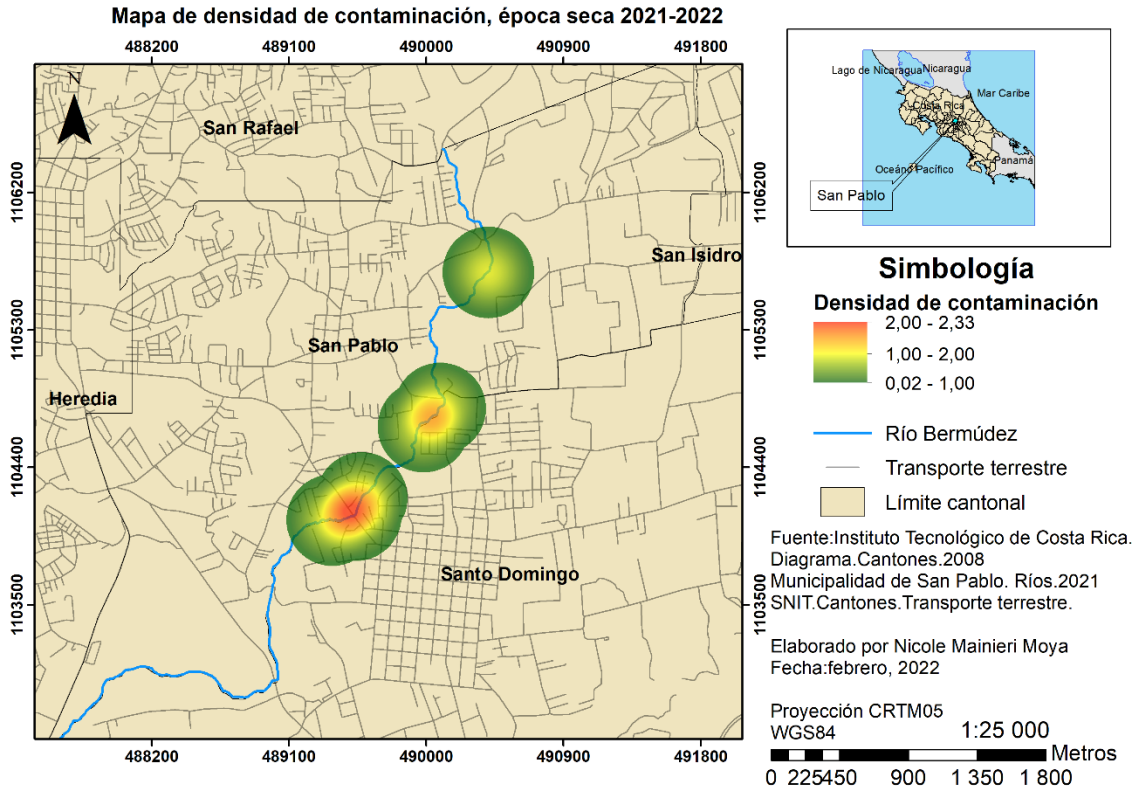
Mapa de calor para la época seca según los criterios de abundancia y categoría



Fuente: Elaboración propia

Si se considera únicamente la cantidad de puntos de contaminación existentes, se visualiza que, en la época lluviosa, la mayor concentración de sitios se da en la parte media del río Bermúdez (Figura 24).

Figura 24
Mapa de calor para la época seca según el criterio de abundancia de puntos

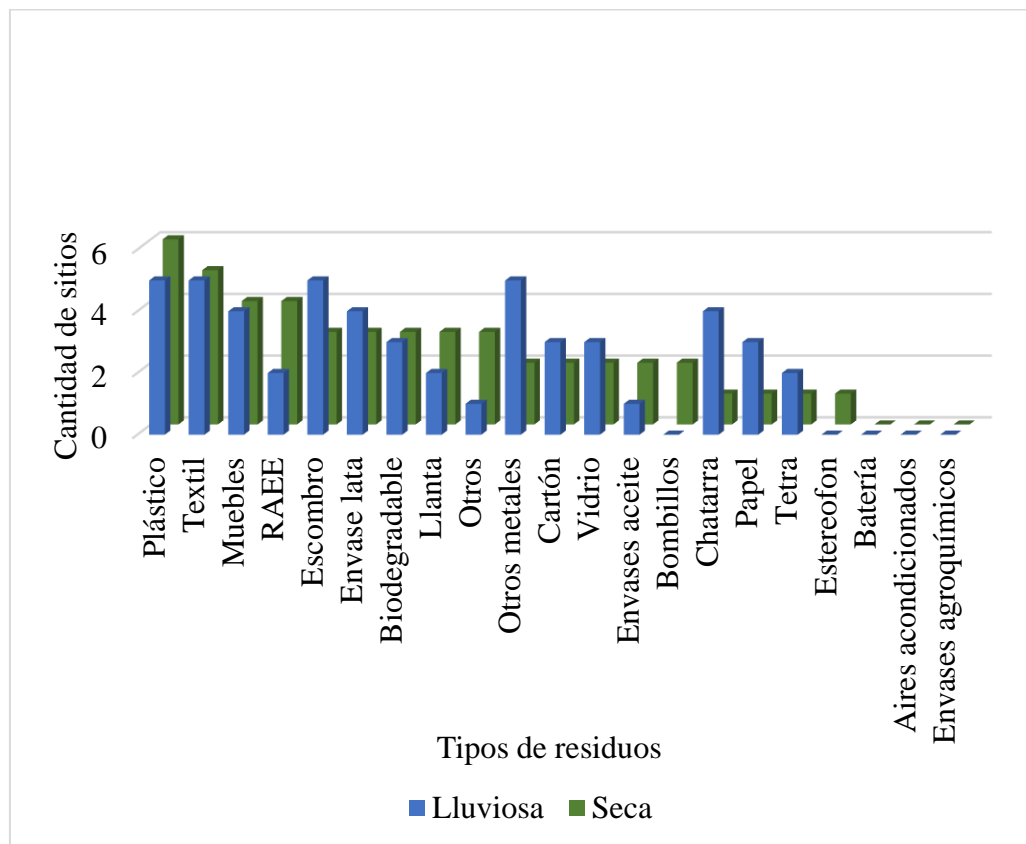


Fuente: Elaboración propia

De los recorridos en campo se obtuvo información sobre los tipos de residuos presentes, que se muestran en la Figura 25. En ocasiones estos aparentaban haber sido arrojados en el cauce o zonas aledañas sin ningún intento de ocultarlos, mientras que, en muchas ocasiones, los ordinarios habían sido dispuestos en bolsas plásticas, que eventualmente se rompen y su contenido se dispersa por las franjas ribereñas y el cuerpo de agua (Anexo 15).

Figura 25

Cantidad de sitios en los que se identifican los residuos según la época de muestreo



Fuente: Elaboración propia

De estos datos se determina que el plástico es el residuo con mayor protagonismo, pues se encuentra en seis puntos en época lluviosa y en cinco en el periodo seco (Figura 25). Este se identificó principalmente en forma de botellas, recipientes, bolsas y vajilla desechable (Anexo 14 y Anexo 15). Este tipo de materiales pertenecen a la corriente de residuos ordinarios y valorizables, a los que se suman otros como cartones, biodegradables, papel, envases de tetrabrik y de lata (Figura 25). Su vertido en sitios no autorizados persiste, a pesar de que el municipio brinda un servicio de recolección periódico y con cobertura total. Siendo una realidad a nivel nacional, pues, según PRODUS, citado por Ureña (2004), en las zonas que conforman la microcuenca del Río Ciruelas, el vertido de residuos sólidos al ríos o lotes baldíos es una realidad pese a contar con elevados porcentajes de cobertura de recolección.

Se infiere que este tipo de disposición se debe principalmente a prácticas poblacionales inadecuadas que pueden tener relación con una posible carencia de conciencia y educación ambiental.

Esto coincide con lo expuesto por Universidad San Carlos de Guatemala (2011), donde la disposición de residuos en botaderos puede ser fomentada por una falta de conciencia en los ciudadanos.

Se debe considerar que algunos puntos críticos de contaminación se localizaron en zonas conflictivas o con presencia de asentamientos informales, en lo que los factores como la lejanía de estos núcleos habitacionales de la carretera principal propicia en los habitantes la búsqueda de otros medios de disposición final, por ejemplo, su vertido en el cauce y/o zonas ribereñas con el objeto de que estos drenen aguas abajo o bien los desechos de las quemas.

Este tipo de soluciones alternas son realmente preocupantes, no solo por el impacto a la calidad del agua superficial del río Bermúdez, sino, también, por los efectos adversos para la salud de las personas. La literatura menciona que la incineración de residuos en este tipo de escenarios conlleva a la emisión de sustancias tóxicas y cancerígenas, como las dioxinas y furanos (OPS et al., 2011)

Se tiene a los textiles que se reconocieron en cinco sitios en ambas épocas de estudio (Figura 25), estos son alfombras, ropas, bolsos y demás. Se debe agregar que se observaron los conocidos tendederos (telas enredadas en las raíces de vegetación ribereña) en todo el recorrido del río, infiriendo de esta manera un arrastre de material textil desde zonas altas.

Se observaron residuos de mayores dimensiones, por ejemplo, muebles que tuvieron presencia en cuatro de los puntos de muestreo tanto en época seca como época lluviosa. Esta categoría engloba sillones, mobiliario como closet o similares y sillas. Además, se registró la predominancia de materiales de escombros, chatarra y otros metales (varillas, alambres, láminas de zinc, armazones de perlin, entre otros).

La chatarra, muebles, materiales ferrosos y madera identificada en el río Bermúdez, forman parte de los residuos de manejo especial que recolecta la Municipalidad. Estos hallazgos demuestran que proporcionar el servicio no es suficiente para la protección del recurso hídrico en estudio, por lo que es vital la búsqueda de oportunidades de mejora. La presencia de escombros reafirma la preocupación respecto a la falta de mecanismos municipales para su disposición final y su posible relación con el decrecimiento de la calidad del agua superficial del río Bermúdez. Carvajal Flórez (2009) encontró que, en el caso de la Quebrada la García, el depósito de escombros genera efectos adversos, como cambios en el paisaje, la erosión de laderas y el aporte de sedimentos.

En el área de estudio resaltaron los RAEE de gran volumen, como lavadoras y refrigeradoras (Anexo 14 y Anexo 15). Se debe recordar que las campañas de recolección de RAEE son recientes en el cantón de San Pablo y algunos los residuos encontrados en el río aparentan ser antiguos, como las lavadoras rodeadas de bambú. No obstante, su presencia confirma la sospecha presentada en el

apartado de gestión de residuos. De donde se determina que este tipo de materiales son una fuente de incidencia en el recurso hídrico.

Todos estos residuos de grandes dimensiones identificados en el río Bermúdez inciden directamente en su calidad, debido a que, como apunta Carvajal Flórez (2009), los “materiales más pesados generalmente se acumulan en las laderas aumentando los valores de parámetros como los sólidos suspendidos y turbiedad” (p. 233).

En este escenario particular, por ejemplo, para el muestreo de aguas del río Bermúdez realizado en noviembre el sitio El Común registró un valor de turbiedad <0,50 NTU, mientras que, al descender al Matadero, uno de los sitios críticos de contaminación por residuos, se evidenció la presencia de residuos voluminosos y la turbiedad alcanzó un valor de 20,1 NTU. A lo que se suma que los sólidos suspendidos incrementaron de <2 mg/L a 8 mg/L, respectivamente.

Se señala que no se puede atribuir la totalidad de la problemática de contaminación por residuos sólidos al cantón de San Pablo de Heredia, pues el río es un recurso compartido que es influenciado por las actividades y prácticas de los habitantes de todos los cantones que atraviesa. Es decir, el río puede arrastrar parte de los residuos de la cuenca alta (San Rafael) y recibir una descarga de contaminantes desde cantones limítrofes como Santo Domingo.

4.3 Formulación de estrategias

Con relación a las problemáticas que aquejan al área de estudio, se establece que los botaderos clandestinos y desfuegos ilegales requieren atención prioritaria.

Tabla 31
Matriz de priorización de las principales problemáticas identificadas

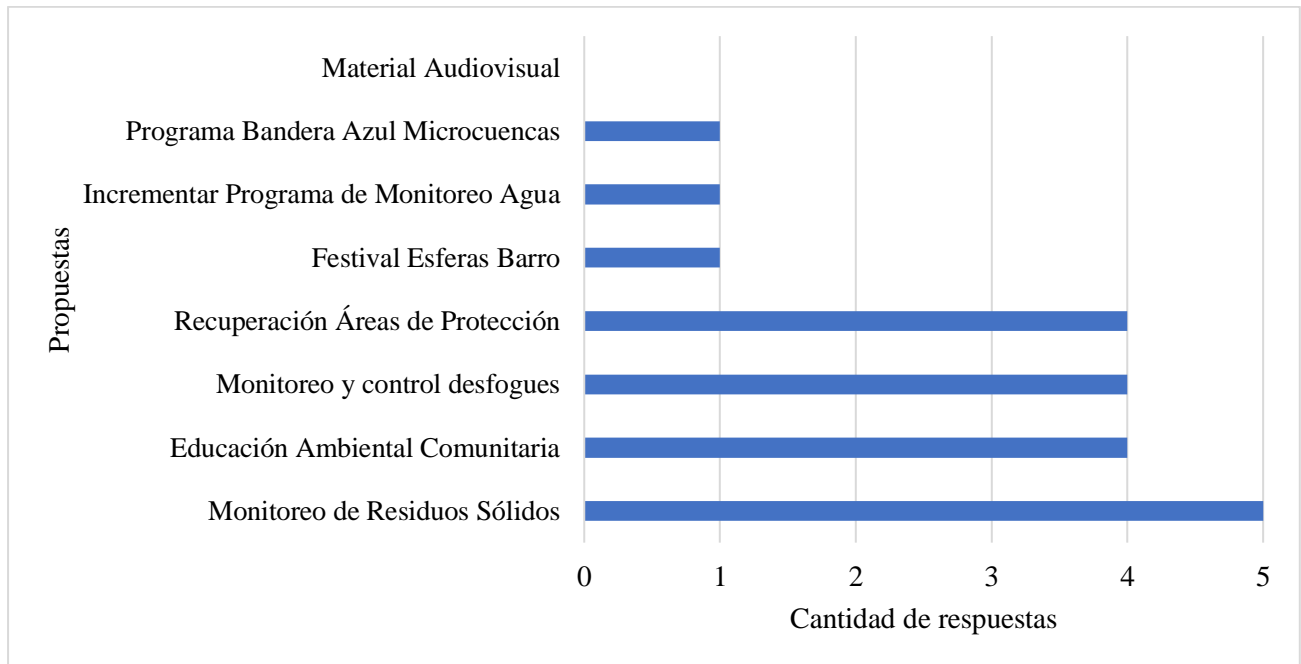
Problemáticas	Prioridad
Invasión de áreas de Protección por infraestructura	Media
Invasión de áreas de Protección por pastos o cultivos	Media
Desfuegos ilegales	Alta
Botaderos clandestinos de residuos sólidos	Alta
Contaminación del agua por materia orgánica y coliformes fecales	Alta

Fuente: Elaboración propia

- Consulta actores

Se solicitó a los actores seleccionar las cuatro propuestas prioritarias para el caso en cuestión, de donde se obtuvo lo que expone en la Figura 26.

Figura 26
Priorización de las propuestas para el mejoramiento de la calidad del agua del río Bermúdez



Fuente: Elaboración propia

De estos datos se extrae que todos los actores consideran importante mejorar los mecanismos de monitoreo de los residuos sólidos mediante la ejecución de campañas de limpieza, pues es una arista clave para alcanzar la mejora de la calidad del agua superficial del río. Estrategia que se alinea con el nivel de alta prioridad que los botaderos clandestinos representan (Tabla 31).

En la Tabla 31 se muestra que la contaminación orgánica y las coliformes fecales son una de las principales problemáticas que enfrenta el recurso hídrico. El Ministerio de Salud, Gestión Ambiental y Trabajo Social de la Municipalidad y la Asociación de Desarrollo Integral de Miraflores consideran que el monitoreo y control de los desfogues debe ser una acción prioritaria.

Cuatro de los actores consultados, entre los que se destaca la Unidad de Gestión Ambiental de la Municipalidad y el SINAC, reconocen que el trabajo conjunto para la recuperación de las áreas de protección actualmente invadidas por pastos y cultivos es preferente.

La Educación Ambiental Comunitaria debe ser una de las principales estrategias a implementar, así lo reconocen el SINAC, Gestión Ambiental, Trabajo Social y la Asociación de Desarrollo Integral de Miraflores.

Para la Asociación de Desarrollo Integral de Miraflores, las estrategias lideradas por comités locales y asociaciones como el Programa de Bandera Azul para microcuencas debe ser de las acciones principales. Todo esto determina que el accionar en pro de la calidad del recurso debe hacerse de manera integral y no limitarse a proyectos de carácter institucional, sino, más bien, buscar el compromiso e involucramiento de la sociedad, forjando el arraigo con el río y generar conciencia de los beneficios que la iniciativa trae consigo.

Los actores reconocen que existen otras recomendaciones a considerar en el planteamiento de estas acciones. Estas son las que mencionan:

- Colaborar con la Empresa de Servicios Públicos de Heredia para la implementación de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales.
- Unificar a las instituciones cantonales para alcanzar un objetivo común con fases establecidas.
- Realizar talleres socioeducativos para las familias que practican desfogues ilegales, cultivos y construcciones ilegales.
- Procurar el involucramiento de las comunidades cercanas al río y entes gubernamentales que trabajen en pro de la mejora del agua.
- Planteamiento de estrategias

De acuerdo con la priorización de problemáticas, la literatura consultada y la retroalimentación brindada por los actores se proponen las siguientes estrategias en orden de prioridad.

Alianzas para la gobernanza y cooperación

El primer paso para la mejora de la calidad del agua del río Bermúdez debe ser la articulación de esfuerzos. Por este motivo, se recomienda la ejecución de una mesa redonda, en la que se presente a las diversas instituciones los resultados de esta investigación para, posteriormente, empezar a generar los planes de acción para cada una de las iniciativas en las que se establezcan responsables, recursos y plazos de tiempo.

Se recomienda incluir a municipalidades y asociaciones de desarrollo con quienes se comparte el recurso hídrico, puesto que, por ejemplo, la Municipalidad de Belén estableció nueve medidas para el

mejoramiento de este río, de las que se destaca un convenio intermunicipal con las municipalidades de Heredia para recuperar el río Bermúdez (Surcos, 2021).

Este convenio de colaboración entre municipalidades implica una reunión al mes. No obstante, a la fecha no se han definido acciones colaborativas para la mejora del río Bermúdez (Comunicación personal, Benavides, 2023). Por lo que se presenta este espacio como de provecho para que la Municipalidad de San Pablo de Heredia pueda utilizar esta investigación como base y proponer las estrategias aquí recomendadas, obteniendo retroalimentación de las otras instituciones y fomentar el trabajo conjunto para generar un mayor impacto positivo en el río Bermúdez.

Monitoreo y limpieza de los botaderos clandestinos

Debido a la problemática de los residuos sólidos para el recurso hídrico, es importante la ejecución de acciones que permitan un mejor monitoreo de estos.

Actualmente los habitantes del cantón suelen denunciar los actos de descargas ilegales a la UGA (Comunicación personal, Benavides, 2023), sin embargo, es importante reforzar este acto mediante comunicaciones virtuales en las redes sociales de la municipalidad, como también por correo electrónico, afiches físicos y en los talles socioambientales, comunicando los mecanismos y procesos para la denuncia de estos actos, así como transmitir la información clave para los habitantes y que, a su vez, pueda utilizada por la UGA. Y de esta forma la población se convierte en un ente de reporte y monitoreo que está directamente involucrada en los procesos de mejoramiento de la calidad del agua

El municipio cuenta con un sistema de vigilancia durante el territorio, por lo que se debe valorar la posibilidad de colocar cámaras en los botaderos clandestinos ya identificados, principalmente en la zona conocida como El Vaticano, con lo que se obtiene un monitoreo en tiempo real que permite que la Unidad de Gestión Ambiental pueda atender las situaciones a la mayor brevedad, incluso con el involucramiento de unidades de policía municipal, que cuentan con un horario de trabajo más amplio, por lo que pueden atender descargas ilegales en fines de semana y altas horas de la noche.

Es importante fortalecer los mecanismos de control por parte de la UGA del municipio, de manera que puedan establecer un cronograma anual de visita a los sitios más críticos de contaminación, pues con mayor presencia municipal se contribuye a reducir los vertidos ilegales de residuos.

Se ha indicado que existen puntos de contaminación por residuos sólidos cuyas características facilitan la ejecución de campañas de limpieza, por lo que este tipo de actividades pueden ser

coordinadas por el municipio, motivando el involucramiento de la sociedad tanto de la población en general como de las asociaciones de desarrollo, grupos comunitarios organizados, centros educativos y otras organizaciones o empresas que apoyen este tipo de actividades, procurando un impacto ambiental positivo.

Educación ambiental

Para este punto se plantea que el área de Gestión Ambiental y el área de Trabajo Social del municipio puedan trabajar junto con la comunidad, priorizando a los miembros de asentamientos informales y áreas problemáticas en las que se documentaron los basureros ilegales, como también las prácticas inadecuadas de gestión de los residuos (quemados, vertido directo de residuos sólidos y aguas sucias). De manera que se puedan establecer talleres socioeducativos presenciales para así sensibilizar, mostrar la evidencia a los habitantes respecto a los problemas que enfrenta el río y que de los impactos que pueden generar efectos para ellos mismo y, además, mostrar posibles soluciones que generen un impacto positivo.

Esto se debe a que no basta con que el municipio brinde el servicio de recolección de residuos o capacitaciones ambientales virtuales, sino que se debe involucrar a todos los actores en el proceso de gestión de residuos y adaptar los métodos de educación a la realidad de la población. Esto se fundamenta en que el involucramiento de la comunidad es fundamental para alcanzar una óptima gestión de los residuos (Universidad de San Carlos Guatemala, 2011).

Monitoreo y control de desfuegos

Esta propuesta requiere del trabajo conjunto entre el Ministerio de Salud y la municipalidad para el monitoreo y eliminación de los desfuegos ilegales que ya se tienen documentados en el departamento de Gestión Ambiental del municipio.

Se requiere que la UGA y el Ministerio de Salud puedan realizar visitas en campo para verificar el estado de los desfuegos documentados para determinar así la existencia de cualquier otro, georreferenciándolos nuevamente. La información obtenida en campo debe ser contrastada con el mapa catastral para localizar las fincas que poseen los desfuegos ilegales y obtener de esta forma la información de contacto de los dueños de las fincas.

Las instituciones deben determinar el mecanismo de notificación que utilizarán, que debe acompañarse de propuesta sobre educación socioambiental, señalada arriba.

Es importante que estas instituciones establezcan un cronograma de monitoreo de los desfogues para que se puedan establecer visitas periódicas a campo, determinando si esta problemática se subsana, lo que permite mantener una base de datos actualizada.

Recuperación de áreas de protección

Las áreas de protección del río Bermúdez enfrentan una grave problemática de invasión, debido a que existen aproximadamente 57 fincas con cobertura de cultivos y 32 con pastos, no obstante, pueden ser recuperadas a un plazo de tiempo menor. Por lo que se propone la siembra de especies que permitan una regeneración del territorio y una mayor biodiversidad. Para esto, se propone que la Unidad de Gestión Ambiental busque el involucramiento de la dependencia del SINAC, de modo que puedan establecer el mecanismo para la notificación a cada uno de los dueños de las fincas, así como la selección de las mejores especies para la zona.

La invasión por infraestructura no es una problemática que pueda ser atacada en un periodo de tiempo corto. Sin embargo, la investigación de Peña y Benavides (2021) y este proyecto presentado establecen bases sólidas para que los departamentos de Gestión Ambiental, Catastro y Desarrollo Urbano y Trabajo Social inicien con el análisis de las 141 fincas con este tipo de invasión, de modo que establezca así el plan de acción a seguir.

Incrementar el alcance del programa de monitoreo del agua del río Bermúdez

Debido a la presencia de cultivos en zonas limítrofes al río Bermúdez e inclusive en la parte alta de la microcuenca, además de considerar los datos de esta investigación, no se incluye el análisis de otros contaminantes como plaguicidas, es que se plantea al municipio que incremente el alcance de su programa de monitoreo de la calidad del agua del río Bermúdez, agregando estas y cualquier otro parámetro que considere de importancia.

Festival de esferas de barro

Estas son actividades realizadas con la finalidad de mejorar las condiciones de los cuerpos de agua como ríos, lagunas quebradas y demás, en las que, mediante el involucramiento de la comunidad y su sensibilización, se vierten esferas de barro que contienen microorganismos eficientes (Alianza Nacional de Ríos y Cuencas de Costa Rica, s.f.). De acuerdo con Alianza Nacional de Ríos y Cuencas de Costa Rica (2022), este es un movimiento internacional con presencia en países como España, Grecia, Japón, Tailandia, y que se realiza en Costa Rica gracias al trabajo de la Red Nacional de los

Observatorios Ciudadanos del Agua, de la Alianza Nacional Ríos y Cuencas de Costa Rica, obteniendo en el año 2021 un alcance de 25 comunidades y sus respectivos recursos hídricos.

Ante la existencia de materia orgánica y coliformes fecales en el río Bermúdez, así como la falta de conciencia y sensibilización ambiental de la población, se recomienda a la Municipalidad de San Pablo generar alianzas estratégicas con este ente nacional, como también con las asociaciones de desarrollo y voluntarios de organizaciones inmersas en el territorio, procurando así el empoderamiento ciudadano del recurso hídrico y sensibilizando a los miembros de todas las edades mediante festivales de esta índole.

Programa Bandera Azul Ecológica

Otra de las estrategias planteadas en esta investigación corresponde a valorar la posibilidad de inscribirse en el Programa Bandera Azul Ecológica en la categoría de Microcuencas Hidrológicas. Esto lo explica el Decreto Ejecutivo 34777 en su artículo 2:

Establecer un incentivo para organizar a las comunidades ubicadas en los alrededores de quebradas, ríos y lagos, para evitar o mitigar la contaminación de los cuerpos de agua, mejorando así las condiciones higiénico - sanitarias de las microcuencas hidrológicas, en forma paulatina, mediante la implantación de comités locales con la participación de la sociedad civil (2008).

Esta es una iniciativa que puede desarrollarse con los grupos comunales organizados y con el apoyo de la municipalidad.

Material audiovisual

Si bien para los actores esta estrategia no es prioritaria, se recomienda que la municipalidad elabore material audiovisual como infografías, fotografías y un video, en los que se muestre la realidad del río Bermúdez. Estos pueden ser distribuidos mediante plataformas digitales como las redes sociales municipales o bien mediante asociaciones de desarrollo cantonales, para que la sensibilización alcance un mayor número de habitantes. Este material puede resultar útil en los procesos de educación ambiental, pues los actores los visualizan como prioridad.

Como parte de esta investigación, se tomaron fotografías del área de estudio y sus problemáticas, mismas que se ponen a disposición del departamento de Gestión Ambiental.

Capítulo V: Conclusiones

La caracterización de aspectos clave permitió identificar que el 28 % de las áreas de protección del río Bermúdez en San Pablo sufren de invasión por infraestructura, mientras que únicamente un 14 % se encuentra libre de invasión. Lo anterior, pone mayor presión en el recurso hídrico al disminuir la presencia de la vegetación ribereña que contribuye al mejoramiento de la calidad del agua. Trayendo a su vez impactos de índole socioambiental, como los relacionados con las viviendas sobre el cauce del río, que ponen en riesgo a los habitantes en caso de fenómenos como crecidas, pero que también implican desfuegos ilegales y una mayor presencia de residuos sólidos en el cauce influenciando el detrimento de su calidad. Por lo que la recuperación de los 141 predios urbanizados dentro de las áreas de protección se presenta como un reto para la municipalidad y actores involucrados.

Mediante el Índice Holandés, se estableció que para los periodos de muestreo el río posee una contaminación que varía entre moderada (clase 3) y severa (clase 4). Mientras que la caracterización con macroinvertebrados llevó a la identificación protagónica de organismos tolerantes a las aguas contaminadas como la familia Chironomidae. Estos hallazgos resultan preocupantes al considerar que San Pablo de Heredia es apenas el segundo cantón por el que drena el río Bermúdez. Resaltando que este es un recurso compartido y que el mismo no se rige por los límites establecidos por los seres humanos, por lo que las actividades y prácticas realizadas en territorios vecinos generan un impacto directo en el recurso hídrico. Como los desfuegos que aparentan ser de aguas no pluviales, que tienen presencia en el cantón de San Pablo y en el territorio de Santo Domingo que fueron identificados durante los recorridos en campo por el río. Aunado al arrastre de materiales desde la cuenca alta hasta la desembocadura en el cantón vecino. Dejando en evidencia la necesidad de generar alianzas para la gobernanza del recurso hídrico. Alianzas que deben ir más allá de un convenio municipal que hasta la fecha no ha generado acciones concretas, sino más bien deben ser un espacio en el que se fomente la participación ciudadana y la vinculación con entidades gubernamentales que tienen injerencia en la calidad del agua y el saneamiento en el país.

La Municipalidad de San Pablo de Heredia, ha velado por el cumplimiento de la legislación nacional, respecto a la responsabilidad de proporcionar mecanismos para una adecuada gestión de los residuos sólidos generados en su territorio, al proporcionar un servicio de recolección de residuos sólidos ordinarios y valorizables con una cobertura del 100 % y una frecuencia de recolección periódica, además de campañas sectorizadas para residuos de manejo especial. Los

resultados presentados muestran que todavía persisten prácticas poblacionales inadecuadas, como los vertidos en sitios no autorizados como franjas ribereñas del río y las quemas a la orilla del río, con mayor protagonismo en asentamientos informales. Donde se tiene el protagonismo de materiales como el plástico, textiles, escombros, chatarra y RAEE, repercutiendo todas estas en la contaminación de las aguas superficiales del río Bermúdez. Esto deja en evidencia que los mecanismos de recolección de residuos deben estar acompañados por procesos de educación socioambiental, en los que se genere cultura y conciencia ambiental en los habitantes.

En cuanto a las estrategias de mejoramiento la consulta a actores clave permitió determinar que las 4 estrategias prioritarias para el mejoramiento de la calidad del agua del río Bermúdez debe enfocarse en un monitoreo mayor y en la limpieza de los botaderos clandestinos, la educación ambiental, como también monitoreo y control de desfogues y la recuperación de áreas de protección. Esto evidencia la relevancia que tiene el involucramiento de la sociedad en la planeación e implementación de acciones, programas y proyectos. También, el trabajo conjunto entre los diversos entes gubernamentales que tienen injerencia en el tema.

Finalmente, esta investigación sirve de insumo tanto para la Municipalidad de San Pablo de Heredia como para entidades gubernamentales y no gubernamentales, que trabajan por la protección del recurso hídrico, pues proporciona una base científica que muestra con información veraz, específica y en detalle la problemática actual que enfrenta el río Bermúdez. A la vez que demuestra que las evaluaciones de la calidad del agua no deberían limitarse a análisis fisicoquímicos, sino poseer un enfoque integral al considerar el impacto que otros contaminantes, como los residuos sólidos, pueden generar en los cuerpos de agua, Asimismo, en esta se enfatiza en la atención e intervención inmediata que el río requiere. Por consiguiente, esta investigación se presenta como una oportunidad para que otros investigadores puedan ampliar y profundizar con evaluaciones, por ejemplo, de otros contaminantes como los plaguicidas, contaminantes emergentes, microplásticos u otros, que pueden llegar a estar presentes en el río objeto de estudio y que no se documentaron en esta investigación.

Capítulo VI: Recomendaciones

- Se recomienda que la Unidad de Gestión Ambiental de la Municipalidad de San Pablo de Heredia, pueda realizar un análisis de los parámetros fisicoquímicos que actualmente están dentro de su programa de monitoreo del agua del Río Bermúdez. Lo anterior, mediante el análisis de los parámetros establecidos en el Decreto 33903 del año 2007 y de los resultados de la presente investigación. A su vez, puede valorar con otros entes como el Ministerio de Salud y Municipalidades cercanas la información, con el objetivo de que puedan establecer una gama de parámetros de análisis más amplia al incluir datos relacionados con otros contaminantes que pueden estar presentes en las aguas bajo estudio, como lo son los agroquímicos. Además, se recomienda que el municipio valore el impacto que el cambio de empresa constante de empresa encargada de la ejecución de los estudios de aguas superficiales puede tener en la recaudación de información y el análisis de esta, producto de los diferentes métodos de análisis.
- A la municipalidad se le recomienda que los departamentos de Gestión Ambiental y Trabajo Social unan esfuerzos para el mapeo de las asociaciones de desarrollo y grupos comunales organizados que se tienen en el cantón. Esto mediante estudios cantonales previos, utilización de las redes sociales del cantón, entre otros. Una vez identificados, elaborar una base de datos con información mínima: nombre de la asociación o grupo comunal, sector o barrio, integrantes, función y medios de contacto. De manera, que se cuente con información actualizada que facilite la comunicación, coordinación e involucramiento de estas en las estrategias y en los futuros proyectos.
- A la Unidad de Gestión Ambiental de la Municipalidad de San Pablo se le recomienda analizar los resultados obtenidos en esta investigación y realizar reuniones para la presentación de resultados a otros departamentos del municipio y niveles jerárquicos superiores. Es preferible también generar espacios en las comunidades, mediante el trabajo en conjunto con las asociaciones de desarrollo y grupos comunitarios organizados, previamente mapeados. De manera que se la información suministrada deba ser divulgada a nivel externo, es decir, a la comunidad y otras instituciones, para lograr sensibilizar y empezar a generar acciones en conjunto. Mediante talleres, charlas, mesas redondas, entre otros espacios que pueden ser definidos en conjunto con el área social.
- A futuros investigadores se les recomienda la formulación de investigaciones y evaluaciones integrales que consideren otro tipo de contaminantes, como microplásticos o plaguicidas, de manera que se genere valor agregado a los diagnósticos de la calidad del agua y se puedan establecer nuevas propuestas de mejoramiento. Además, que las investigaciones por desarrollar

sean colaborativas para que puedan incluir a profesionales de diversas áreas tanto sociales como ambientales, de manera las diversas problemáticas puedan ser abordadas desde diversos ejes de acción con respuesta enfatizadas y propuestas multidisciplinarias.

Capítulo VII: Referencias

- Aguirre, N. (2007). Manual para el manejo sustentable de cuencas hidrográficas. [Folleto].
<http://arcgeek.com/descargas/MCuencas.pdf>
- Alianza Nacional de Ríos y Cuencas de Costa Rica. (2022). Festivales de Esferas de Barro 2021.
<https://static1.squarespace.com/static/5ede6f5665eb9856c72471b2/t/620c0f596d79e67eed470fad/1644957598626/Festivales+de+Esferas+de+Barro+2021-compressed.pdf>
- Alianza Nacional de Ríos y Cuencas de Costa Rica. (s.f.). Festival de las Esferas de Barro.
<https://www.riosy cuencas.com/festival-de-las-esferas-de-barro>
- Alvarado Sandoval, N., Rojas Quirós, L. y Sibaja Alvarado, J. (2019). Propuesta de Plan de Gestión Integral del Recurso Hídrico (GIRH) en la Microcuenca Maravilla-Chiz, Cartago, Costa Rica. [Tesis de Licenciatura]. Universidad Nacional de Costa Rica.
<http://hdl.handle.net/11056/18255>
- ANA. (2017). Así es el Plan Maestro de Recuperación del Río Rímac de Perú. iagua.
<https://www.iagua.es/noticias/ana-peru/asi-es-plan-maestro-recuperacion-rio-rimac-peru>
- Anchía Leitón, D. (2021). Caracterización y Diagnóstico de la Calidad de Agua en la Cuenca Alta del Río Bermúdez, Heredia, Costa Rica. [Trabajo Final de Graduación de Maestría]. CATIE.
<https://repositorio.catie.ac.cr/handle/11554/11052?show=full>
- Arroyave Rojas, J., Builes Jaramillo, L. y Rodríguez Gaviria, E. (2012). La gestión socio-ambiental y el recurso hídrico. *Journal of Engineering and Technology*, 1(1), 40-48.
<http://repository.lasallista.edu.co:8080/ojs/index.php/jet/article/view/212/383>
- Asnake, K., Worku, H. y Argaw, M. (2021). Integrating river restoration goals with urban planning practices: the case of Kebena river, Addis Ababa. *Heliyon*, 7(7), 1-9.
<https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2021.e07446>
- Beita Sandí, W. (2008). Caracterización fisicoquímica de las aguas superficiales de la cuenca del río Rincón en la Península de Osa, Puntarenas, Costa Rica. [Tesis de Licenciatura]. Universidad de Costa Rica.
http://www.kerwa.ucr.ac.cr/bitstream/handle/10669/334/TFG%20_%E2%80%9CCaracterizaci%C3%B3n%20fisicoqu%C3%ADmica%20de%20las%20aguas%20superficiales%20de%20la%20cuenca%20del%20r%C3%ADo%20Rinc%C3%B3n%20en%20la%20Pen%C3%ADnsula%20de%20Osa%2C%20Puntarenas%2C%20Costa%20Rica%E2%80%9D.pdf?sequence=1&isAllowed=y

- Buzolich, G., Dolnal, M., Reynolds Vargas, J. y Torres Corral, L. (2007). Capacidad potencial de las franjas ribereñas del río Bermúdez para reducir la erosión. *Recursos Naturales y Ambiente*, 51-52, 175-188.
http://repositorio.bibliotecaorton.catie.ac.cr/bitstream/handle/11554/5856/Capacidad_potencial_de_las_franjas.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Camargo, A. (2005). Estado actual y perspectivas en el empleo de la comunidad de macroinvertebrados bentónicos como indicadora del estado ecológico de los ecosistemas fluviales españoles. *Ecosistemas*, 14 (3), 87-99.
<https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=54058837011>
- Cambronero Chacón, E., Marín Marín, M. y Reyes Rojas, G. (2019). Análisis del capital natural y los servicios ecosistémicos para la definición de un corredor biológico interurbano en la microcuenca del Río Bermúdez [Tesis de Licenciatura]. Universidad Nacional de Costa Rica.
<http://hdl.handle.net/11056/18151>
- Carvajal Flórez, E. (2009). Impacto Ambiental y Social del Vertimiento de Residuos Sólidos y Escombros Sobre la Calidad del Río Medellín y Algunos de sus Afluentes. *EL ÁGORA USB*. 9 (1), 225-265. <https://www.redalyc.org/pdf/4077/407748994008.pdf>
- Castro, L., Fraile, J. y Reynold Vargas, J. (1996). Conductividad, Oxígeno disuelto, pH y Temperatura en el río Bermúdez (Costa Rica) y su relación con el uso del suelo en la cuenca. *Unidocencia*, 13(1), 27-34. <https://www.revistas.una.ac.cr/index.php/uniciencia/article/view/5475/5304>
- Cepeda, C. y Navarro, G. (2010). Protección del recurso hídrico en Costa Rica. Propuesta para la reforma de los artículos 33 y 34 de la Ley Forestal (3a ed.). CATIE.
https://repositorio.bibliotecaorton.catie.ac.cr/bitstream/handle/11554/8805/Proteccion_del_recurso_hidrico.pdf
- Chaves Casares, K. (2015). Análisis del estado del área de protección del Río Bermúdez en los cantones de San Pablo y Santo Domingo de Heredia. [Tesis de Licenciatura]. Universidad Nacional de Costa Rica. <https://catalogosiidca.csuca.org/Record/CR.UNA01000288601>
- CHEMLABS. (2021a). Informe de resultados químicos de febrero [PDF].
- CHEMLABS. (2021 b). Informe de resultados químicos de Mayo [PDF].
- CHEMLABS. (2021 c). Contratación de Estudio de Calidad de agua: Municipalidad de San Pablo [PDF].
- Corte Suprema de Justicia. Sala Constitucional. (2007) Resolución N.º 2007-05894.

- Cotler, H. y Caire, G. (2009). Lecciones aprendidas del manejo de cuencas en México (1a ed.). Instituto Nacional de Ecología (INE). https://agua.org.mx/wp-content/uploads/2013/04/lecciones_aprendidas_del_manejo_de_cuencas_en_mexico.pdf
- Cotler, H., Garrido, A., Luna, N., Enríquez, C y Cuevas, M. (2010). Las cuencas hidrográficas de México diagnóstico y priorización. <https://agua.org.mx/wp-content/uploads/2011/02/CuencasHidrograficas-1.pdf>
- Cruz Sotelo, S. y Ojeda Benítez, S. (2013). Gestión sostenible de los residuos sólidos urbanos. Revista Internacional de Contaminación Ambiental, 29 (3), 7-8. <https://www.redalyc.org/pdf/370/37029665017.pdf>
- Decreto 29375 del 2000. (2011). Reglamento la Ley de Uso, Manejo y Conservación de Suelos. Gaceta N.º 57 del 21 de marzo de 2001. https://www.inta.go.cr/Normativa/Reglamento_Ley_Suelos.pdf
- Decreto 33601 del 2006. (2007). Reglamento de Vertido y Reúso de Aguas Residuales. 19 de marzo de 2007. http://www.pgrweb.go.cr/scij/Busqueda/Normativa/Normas/nrm_texto_completo.aspx?nValor1=1&nValor2=59524
- Decreto 33903 del 2007. (2007). Reglamento para la Evaluación y Clasificación de la Calidad de Cuerpos de Agua Superficiales. 17 de setiembre del 2007. Gaceta N.º 178. http://www.digeca.go.cr/sites/default/files/de-33903reglamento_evaluacion_clasificacion_cuerpos_de_agua_0.pdf
- Decreto 36093. (2010). Reglamento sobre el manejo de residuos sólidos ordinarios. Gaceta N.º 158. http://www.digeca.go.cr/sites/default/files/reglamento_sobre_el_manejo_de_residuos_solidos_ordinarios.pdf
- Decreto Ejecutivo 34777. (2008). Ampliación del programa Bandera Azul Ecológica a microcuencas hidrológicas. http://www.pgrweb.go.cr/scij/Busqueda/Normativa/Normas/nrm_texto_completo.aspx?param1=NRTC¶m2=1&nValor1=1&nValor2=64169&nValor3=74294&strTipM=TC&lResultado=10&nValor4=1&strSelect=sel
- Dirección de Aguas y MINAE. (2021). Plan nacional de monitoreo de la calidad de los cuerpos de agua superficiales de Costa Rica. https://da.go.cr/wp-content/uploads/2017/01/Plan-Nacional-Monitoreo-Calidad-Cuerpos-Agua-Superficiales_2021-2024_VF.pdf
- Empresa de Servicios Públicos de Heredia. (2020). Servicio de Agua Residual. <https://www.esphsa.com/agua-residual/cobertura-del-servicio>

- Faustino, J. y Jiménez, F. (2000). Manejo de Cuencas Hidrográficas. [Folleto]. http://201.207.189.89/bitstream/handle/11554/8431/Manejo_de_cuencas_hidrograficas.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Flowers, R.W., & de la Rosa, C. (2010). Capítulo 4: Ephemeroptera. *Revista de Biología Tropical*, 58(Suppl. 4), 63-93. https://www.scielo.sa.cr/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0034-77442010000800004
- Gamboa, M., Reyes Gil, R. y Arrivillaga-Henríquez, J. (2008). Macroinvertebrados bentónicos como bioindicadores de la salud ambiental. *Boletín de Malariología y Salud Ambiental*, 48(2), 109-120. http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1690-46482008000200001&lng=es&tlng=es
- Global Water Partnership. (2017). La Situación de los Recursos Hídricos en Centro América: Hacia una gestión integrada. [Folleto]. https://www.gwp.org/globalassets/global/gwp-cam_files/situacion-de-los-recursos-hidricos_fin.pdf
- Global Water Partnership y Red Internacional de Organismos de Cuenca. (2009). Manual para la Gestión Integrada de Recursos Hídricos en Cuencas. [Folleto]. https://www.riob.org/IMG/pdf/RIOC_GWP_Manual_para_la_gestion_integrada.pdf
- Gudiño, L. (2018). Macroinvertebrados bentónicos y su relación con parámetros ambientales como indicadores de la calidad del agua en el río Cupatitzio Michoacán [Tesis de Maestría]. Instituto Politécnico Nacional. <https://tesis.ipn.mx/bitstream/handle/123456789/27196/Tesis%20Luis%20F.%20Gudi%c3%b1o%20Sosa%202018.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Gutiérrez Acuña, S. (2021). Resultados muestreo de noviembre [Documento WORD].
- Hasan, K., Shahriar, A. y Ullah Jim, K. (2019). Water pollution in Bangladesh and its impact on public health. *Heliyon*, 5(8), 1-23. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2019.e02145>
- Hernández Campos, A. y Ulate González, M. (2016). Determinación del impacto en la calidad del agua en la parte alta de la microcuenca del río Porrosatí, por vertido de aguas residuales, para la realización de planes y acciones de manejo de recursos hídricos [Tesis de Licenciatura]. Universidad Nacional de Costa Rica. <https://repositorio.una.ac.cr/handle/11056/13488>
- Hernando, L. y Orozco, R. (2015). Disponibilidad del recurso hídrico en la microcuenca del río Bermúdez. Región Central de Costa Rica. *Observatorio Medioambiental*, 18, 165-181. https://doi.org/10.5209/rev_OBMD.2015.v18.51289

- Herrera Cervantes, G. (2011). Propuesta para el uso eficiente del agua potable en el Distrito Oriental del Cantón Central de la Provincia de Cartago. [Trabajo Final de Licenciatura]. Instituto Tecnológico de Costa Rica. <https://repositoriotec.tec.ac.cr/bitstream/handle/2238/5673/propuesta-uso-eficiente-agua-potable.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados, Ministerio de Ambiente y Energía y Ministerio de Salud. (2016). Política Nacional de Saneamiento en Aguas Residuales 2016-2045 (1a ed.). AYA, MINAE y Ministerio de Salud. <https://www.aya.go.cr/Noticias/Documents/Politica%20Nacional%20de%20Saneamiento%20en%20Aguas%20Residuales%20marzo%202017.pdf>
- Instituto de Desarrollo Rural de Costa Rica Dirección Central. (2016). Informe de Caracterización Básica Territorio Barva-Santa Bárbara-San Isidro-San Rafael-Santo Domingo-Vara blanca. <https://www.inder.go.cr/heredia-rural/Caracterizacion-Barva-Santa-Barbara-San-Isidro-San-Rafael-Santo-Domingo-Vara-blanca.pdf>
- Instituto de Investigaciones Económicas. (2010). Calidad del agua: un enfoque multidisciplinario (1a ed.). <http://bibliotecavirtual.clacso.org.ar/Mexico/iiec-unam/20110804014021/Calidagua.pdf>
- Instituto Geográfico Nacional. (2016). NTIG_CR02_01.2016 Catálogo_ Objetos_Cobertura_Suelo [Folleto]. https://www.snitcr.go.cr/ico_normativa?id=NTIG_CR02_01.2016
- Instituto Nacional de Estadística y Censos. (2011a). Estadísticas demográficas. 2011 – 2025. Proyecciones nacionales. Población total proyectada al 30 de junio por grupos de edades, según provincia, cantón, distrito y sexo. <https://www.inec.cr/poblacion/estimaciones-y-proyecciones-de-poblacion>
- Instituto Nacional de Estadística y Censos. (2011b). Indicadores Cantonales. <https://www.inec.cr/sites/default/files/documentos/poblacion/estadisticas/resultados/repoblacioncenso2011-04.pdf.pdf>
- La Nación. (2010). Zonas de protección de los ríos. La Nación. <https://www.nacion.com/archivo/zonas-de-proteccion-de-los-rios/MQXNCTROPBAJRD6P3CPLBVNCJU/story/>
- LabServices. (2022a). Informe de resultados físico químicos, Noviembre, El Común [PDF].
- LabServices. (2022b). Informe de resultados físico químicos, Noviembre, La Vigui [PDF].
- LabServices. (2022c). Informe de resultados físico químicos, Noviembre, El Matadero, [pdf]
- LabServices. (2022d). Informe de resultados físico químicos, Noviembre, Hacienda las Flores, [PDF].

- Ladrera, R. (2012). Los macroinvertebrados acuáticos como indicadores del estado ecológico de los ríos. *Páginas de Información Ambiental*, 39, 24-29. <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/4015812.pdf>
- Ley 7575. (1996). Forestal. http://www.pgrweb.go.cr/scij/Busqueda/Normativa/Normas/nrm_texto_completo.aspx?nValor1=1&nValor2=41661#ddown
- Ley 8839. (2019) Para la Gestión Integral de Residuos. https://www.pgrweb.go.cr/scij/Busqueda/Normativa/Normas/nrm_texto_completo.aspx?nValor1=1&nValor2=68300
- Martínez, Y. y Villalejo, V. (2018). La gestión integrada de los recursos hídricos: una necesidad de estos tiempos. *Ingeniería Hidráulica y ambiental*, 39(1), 58-72. <https://riha.cujae.edu.cu/index.php/riha/article/view/424/337>
- Mena, L ., Vásquez, O ., Gómez, C ., Fonseca, A ., Rodríguez, A y Sánchez, R. (2018). Ecosystemic Assessment of Surface Water Quality in the Virilla River: Towards Sanitation Processes in Costa Rica. *Water*. <https://doi.org/10.3390/w10070845>
- Michel, S. y Graizbord, C. (2002). Los ríos urbanos de Tecate y Tijuana: Estrategias para ciudades sustentables (1a ed.). Institute for Regional Studies of the Californias 2002. https://trw.sdsu.edu/English/Projects/Docs/Michel_Graizbord_2002_SPA.pdf
- MINAE., GEF y PNUD (2019). Informe técnico sobre desfogues de aguas residuales en el río María Aguilar y sus afluentes. Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo – Proyecto Conservando la biodiversidad a través de la gestión sostenible en los paisajes de producción en Costa Rica. <https://www.undp.org/es/costa-rica/publications/informe-tecnico-sobre-desfogues-de-aguas-residuales-en-el-rio-maria-aguilar-y-sus-afluentes>
- Ministerio de Ambiente y Energía. (2020). Política Nacional de Áreas de Protección de Ríos, Quebradas, Arroyos y Nacientes, 2020-2040 (1a ed.). San José, Costa Rica. http://www.da.go.cr/wp-content/uploads/2020/09/Politica-Nacional-de-Areas-de-Proteccion_2020-40.pdf
- Ministerio de Ambiente, Energía y Telecomunicaciones. (2008). Plan Nacional de Gestión Integrada de los Recursos Hídricos (1a ed.). MINAET. http://www.da.go.cr/wp-content/uploads/2018/05/Plan_Nacional_Gestion_Integrada_Recursos_Hidrico.pdf

- Ministerio de Ambiente, Energía y Telecomunicaciones. (2009). Política Hídrica Nacional (1a ed.). MINAET. <http://www.da.go.cr/wp-content/uploads/2018/05/Pol%C3%ADtica-H%C3%ADrica-Nacional.pdf>
- Ministerio de Salud. (2016). Plan Nacional para la Gestión Integral de Residuos 2016-2021 (1a ed.). Ministerio de Salud. <https://www.ministeriodesalud.go.cr/index.php/biblioteca-de-archivos/sobre-el-ministerio/politicas-y-planes-en-salud/planes-en-salud/3025-plan-nacional-para-la-gestion-integral-de-residuos-2016-2021/file>
- Ministerio de Salud. (s.f.). Base de Datos de Reportes Operacionales de Aguas Residuales. Dirección área rectora de salud: San Pablo-San Isidro. Dirección regional rectoría de la salud: central norte [Archivo Excel].
- Mora, C ., Alfaro, C ., Pérez , J y Vega, I. (2022). Aporte ambiental de la planta de tratamiento de aguas residuales Los Tajos en la remoción de contaminantes fisicoquímicos y microbiológicos. *Uniciencia*, 36(1), 1-17.<http://dx.doi.org/10.15359/ru.36-1.33>
- Mora, D y Portuguez, C. (2020). Agua para uso y consumo humano y saneamiento en costa rica al 2019: brechas y desafíos al 2023.<https://www.aya.go.cr/Noticias/Documents/Informe%20cobertura%20agua%20potable%20y%20saneamiento%202020%20-%20Laboratorio%20Nacional%20de%20Aguas.pdf>
- Municipalidad de Belén, Universidad Nacional, Laboratorio de Análisis Ambiental. (2013). Informe de Calidad de las Aguas Superficiales. <https://www.belen.go.cr/documents/20181/27477/Informe+de+Calidad+de+Cuerpos+Superficiales+de+Agua+de+1+A%C3%B1o+2013.pdf/d43f17e1-3323-466c-95cb-3896ef3006ad>
- Municipalidad de San Pablo de Heredia. (2011). Plan Cantonal de Desarrollo Humano Local 2011-2016. <https://www.sanpablo.go.cr/wp-content/uploads/2019/10/PLAN-CANTONAL-DESARROLLO-HUMANO-LOCAL-SAN-PABLO-2011-2021.pdf>
- Municipalidad de San Pablo de Heredia. (s.f.a). Cantón de San Pablo de Heredia Contexto Ambiental. <https://www.sanpablo.go.cr/servicios/canton-de-san-pablo/>
- Municipalidad de San Pablo de Heredia. (s.f.b). Actividades económicas. <https://www.sanpablo.go.cr/wp-content/uploads/2019/10/Actividades-economicas.pdf>
- Municipalidad de San Pablo. (2019). Proyecto: programa de residuos de manejo especial del cantón de San Pablo de Heredia 2019.
- Municipalidad de San Pablo. (2020). Proyecto: programa de residuos de manejo especial del cantón de San Pablo de Heredia 2020.

- Municipalidad de San Pablo. (2021a). Proyecto: programa de residuos de manejo especial del cantón de San Pablo de Heredia 2021.
- Municipalidad de San Pablo. (2021b). Toneladas mensuales por año transportadas [Archivo Excel].
- Municipalidad de San Pablo. (2021c). Mapa catastral [Archivo Shape].
- Municipalidad de San Rafael de Heredia. (2018a). Centro de Acopio.
<https://www.munisrh.go.cr/programa-de-reciclaje/>
- Municipalidad de San Rafael de Heredia. (2018b). Abono orgánico.
<https://www.munisrh.go.cr/abono-organico/>
- Municipalidad de San Rafael de Heredia. (2018c). Compostaje domiciliario.
<https://www.munisrh.go.cr/compostaje-domiciliar/>
- Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y Alimentación. (2009). ¿Por qué invertir en ordenación de las cuencas hidrográficas? <http://www.fao.org/3/a1295s/a1295s00.pdf>
- Organización Panamericana de la Salud, Asociación Interamericana de Ingeniería Sanitaria y Ambiental y Banco Interamericano de Desarrollo. (2011). Informe de la Evaluación Regional del Manejo de Residuos Sólidos Urbanos en América Latina y el Caribe 2010.
<https://publications.iadb.org/publications/spanish/document/Informe-de-la-evaluaci%C3%B3n-regional-del-manejo-de-residuos-s%C3%B3lidos-urbanos-en-Am%C3%A9rica-Latina-y-el-Caribe-2010.pdf>
- Peña, C. y Benavides, O. (2021a). Proyecto de monitoreo de la calidad de aguas superficiales del río Bermúdez para el cantón de San Pablo, etapa dos levantamientos de áreas de protección y desfuegos en el río Bermúdez.
- Peña, C y Benavides, O. (2021b). Capa Invasión [Archivo Shape].
- Peña, C. (2019). Estudio de generación y composición de los residuos sólidos ordinarios, Cantón de San Pablo de Heredia.
- PNUD, IMN, MINAET. (2011). Estudio de las Cuencas Hidrográficas de Costa Rica Análisis biofísico, climatológico y socioeconómico (1a ed.). PNUD, IMN, MINAET.
<http://cglobal.imn.ac.cr/index.php/publications/estudio-de-las-cuencas-hidrograficas-de-costa-rica/>
- Programa Mundial de Evaluación de los Recursos Hídricos de las Naciones Unidas. (2017). Informe Mundial de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos 2017. Aguas residuales: El recurso desaprovechado. París, UNESCO.
<https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000247647/PDF/247647spa.pdf.multi>

- Quesada, J., Carranza, Y., González, R., Muñoz, R. y Kelly, D. (2019). Optimización de rutas del servicio de recolección de Residuos Sólidos ordinarios del cantón de San Pablo.
- Ramakrishna, B. (1997). Estrategias de extensión para el manejo integrado de cuencas hidrográficas. Conceptos y Experiencias (1a ed.). Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA). <https://repositorio.iica.int/handle/11324/17713>
- Ríos Limpios. (2020). Estrategia Nacional para la Recuperación de Cuencas Urbanas 2020-2030. http://www.da.go.cr/wp-content/uploads/2020/02/Estrategia-Nacional-Rios-Limpios_Recuperacion-de-Cuencas-Urbanas-2020-2030.pdf
- Rodríguez, H. (2017). Las aguas residuales y sus efectos contaminantes. iAgua. <https://www.iagua.es/blogs/hector-rodriguez-pimentel/aguas-residuales-y-efectos-contaminantes>
- Rodríguez, L. (2002). Hacia la gestión ambiental de residuos sólidos en las metrópolis de América Latina. Innovar, 12(20). http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0121-50512002000200008
- Roldán Pérez, G. (1996). Guía para el estudio de los macroinvertebrados acuáticos del Departamento de Antioquia. <https://ianas.org/wp-content/uploads/2020/07/wbp13.pdf>
- Romero Rojas, J. (2010). Tratamiento de aguas residuales. Teoría y principios de diseño (1a ed.). Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería. <https://unilibros.co/gpd-tratamiento-de-aguas-residuales-teoria-y-principios-de-diseno.html>
- Ruiz, F. (2012). Gestión de las Excretas y Aguas Residuales en Costa Rica Situación Actual y Perspectiva. <https://www.aya.go.cr/centroDocumetacion/catalogoGeneral/Gesti%C3%B3n%20de%20las%20Excretas%20y%20Aguas%20Residuales%20en%20Costa%20Rica%20%20Situaci%C3%B3n%20Actual%20y%20Perspectiva.pdf>
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. (2013). Cuencas Hidrográficas Fundamentos y Perspectivas para su manejo y gestión (1a ed.). SEMARNAT. https://www.produccion-animal.com.ar/agua_cono_sur_de_america/80-Cuencas_hidrograficas.pdf
- Segura Ardón, A. y Fernández Alfaro, R. (2015). Propuesta de Estrategia de Intervención para mejorar la calidad de las aguas superficiales en la parte baja de la Microcuenca del Río Bermúdez, Cantón de Belén, Heredia [Tesis de Licenciatura] Universidad Nacional de Costa Rica. <https://catalogosiidca.csuca.org/Record/CR.UNA01000286969>

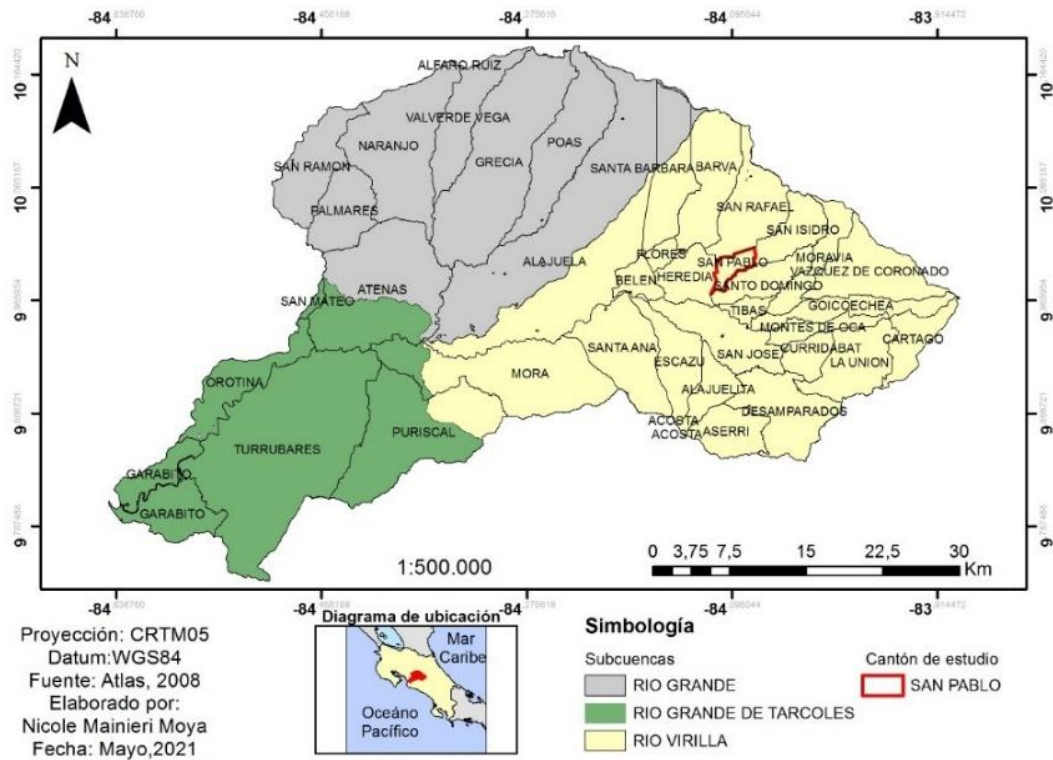
- Sierra Ramírez, C. (2011). Calidad del agua evaluación y diagnóstico (1a ed.). Medellín, Colombia.
<https://ebooks.udemedellin.edu.co/library/publication/calidad-del-agua-evaluacion-y-diagnostico>
- Sociedad Peruana de derecho Ambiental. (2009). Manual de Residuos Sólidos.
https://spda.org.pe/?wpfb_dl=146
- Solano Arce, M. (2011). Impacto ambiental por aguas residuales y residuos sólidos en la calidad del agua de la parte media- alta de la microcuenca del río Damas y propuesta de manejo. [Tesis de Licenciatura]. Universidad Nacional de Costa Rica.
<https://www.aya.go.cr/centroDocumetacion/catalogoGeneral/Impacto%20ambiental%20por%20aguas%20residuales%20y%20residuos%20s%C3%B3lidos%20en%20la%20calidad%20del%20agua.pdf>
- Surcos. (2021). Nueve medidas para sanear y recuperar el río Bermúdez. SURCOS.
<https://surcosdigital.com/nueve-medidas-para-sanear-y-recuperar-el-rio-bermudez/>
- Torres, P., Hernán Cruz, C. y Janeth Patiño, P. (2009). Índices de calidad de agua en fuentes superficiales utilizadas en la producción de agua para consumo humano. Una revisión crítica. Revista Ingenierías Universidad de Medellín, 8(15), 79-94.
<http://www.scielo.org.co/pdf/rium/v8n15s1/v8n15s1a09.pdf>
- Universidad San Carlos de Guatemala. (2011). Guía del Instructor de Laboratorio. Semana Ecológica 2011. Contaminación del agua y reciclaje como una solución.
<https://dqgusac.files.wordpress.com/2011/09/contaminacion-del-agua-por-desechos-solidos-y-reciclaje-2011.pdf>
- Ureña, N. (2004). Efectos del aumento poblacional y del cambio de uso del suelo sobre los recursos hídricos en la Microcuenca del Río Ciruelas, Costa Rica [Tesis de Posgrado]. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza.
<http://www.sidalc.net/repdoc/A0449e/A0449e.pdf>
- Valdés Torres, M. (2010). Las áreas de protección del artículo 33 de la Ley Forestal El caso de la quebrada Los Negritos en el sector de Montes de Oca. [Tesis de Grado]. Universidad de Costa Rica. <https://ijj.ucr.ac.cr/wp-content/uploads/bsk-pdf-manager/2017/06/Las-%C3%81reas-de-Proteccion-del-Articulo-33-de-la-Ley-Forestal-El-caso-de-la-quebrada-Los-Negritos-en-el-sector-de-Montes-de-Oca.pdf>
- Zamora, A., Rivas, C., Slon, D., Mendoza, F., Bautista, K., Loján, L., Aviles, L., Guilcapi, M. y Ureña, O. (2013). Zona Protectora río Navarro, río

Sombbrero.http://www.pequenasdonacionescr.org/sites/default/files/documentos/c_diagnostico_zprrs_mpd_2012_2013.pdf

Zhang, X ., Zhang, Y., Shi, P., Bi, Z., Shan, Z. y Ren , L. (2021). The deep challenge of nitrate pollution in river water of China. Science of the Total Environment.<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.144674>

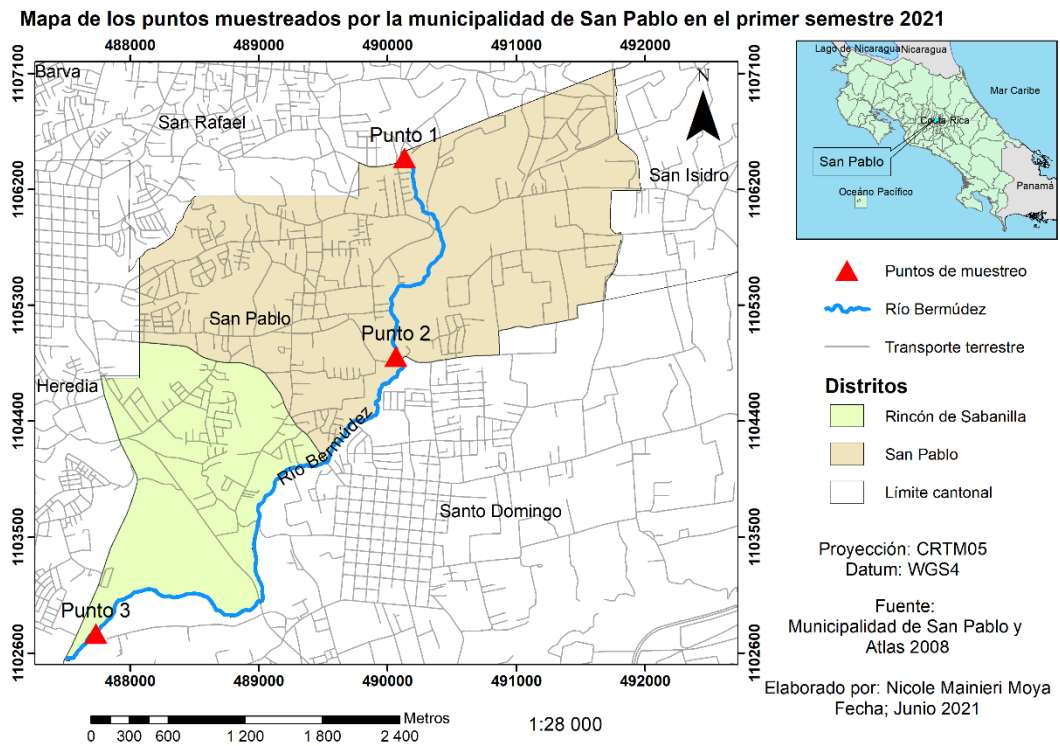
Capítulo VIII: Anexos

Anexo 1. Mapa de la cuenca grande de Tárcoles y sus subcuencas



Nota: Elaborado con datos del Instituto Tecnológico de Costa Rica (2008).

Anexo 2. Mapa de los puntos muestreados por la municipalidad en el primer semestre de 2021



Nota: Elaborado con datos de Municipalidad de San Pablo (2021); Instituto Tecnológico de Costa Rica (2008).

Anexo 3. Puntajes para las familias identificadas en Costa Rica

Puntaje	Orden	Familia
9	O	Polythoridae
	D	Blephariceridae, Athericidae
	E	Heptageniidae
	P	Perlidae
	T	Lepidostomatidae; Odontoceridae; Hydrobiosidae; Ecnomidae
8	E	Leptophlebiidae
	O	Cordulegastridae; Corduliidae; Aeshnidae; Perilestidae
	T	Limnephilidae; Clamoceratidae; Leptoceridae
	B	Glossosomatidae Blaberidae
7	C	Ptilodactylidae; Psephenidae; Lutrochidae
	O	Gomphidae; Lestidae; Megapodagrionidae; Protoneuridae
	T	Platystictidae
	Cr	Philopotamidae; Talitridae; Gammaridae
6	O	Libellulidae
	M	Corydalidae
	T	Hydroptilidae; Polycentropodidae; Xiphocentronidae
	E	Euthyplociidae; Isonychidae
5	L	Pyralidae
	T	Hydropsychidae; Helicopsychidae
	C	Dryopidae; Hydraenidae; Elmidae; Limnichidae
	E	Leptohiphidae; Oligoneuriidae; Polymitarocydae; Baetidae
	Cr	Crustacea
	Tr	Turbellaria
4	C	Chrysomelidae; Curculionidae; Haliplidae; Lampyridae; Staphylinidae
	D	Dytiscidae; Gyrinidae; Scirtidae; Noteridae; Dixidae; Simulidae; Tipulidae; Dolichopodidae
	H	Muscidae
	O	Sciomyzidae; Ceratopogonidae; Stratiomyidae; Tabanidae
	E	Belostomatidae; Corixidae; Naucoridae; Pleidar; Nepidae
	Hi	Notonectidae; Calopterygidae; Coenagrionidae; Caenidae; Hidracarina
3	C	Hydrophilidae
	D	Psychodidae
	M	Valvatidae; Hydrobiidae; Lymnaeidae; Physidae
	O	Planorbidae; Bithyniidae; Bythinellidae; Sphaeridae
	A	Hirudinea; Glossiphonidae; Hirudidae; Erpobdellidae
	Cr	Asellidae
2	D	Chironomidae; Culicidae; Ephydriidae

Puntaje	Orden	Familia
1	D	Syrphidae
	A	Oligochatea (todas las clases)

Nota: D: Diptera, E: Ephemeroptera; P: Plecoptera; T: Trichoptera; O: Odonata; C: Coleoptera; M: Megaloptera; H: Hemiptera; L: Lepidoptera; B: Blattodea; Tr: Tricladida; Cr: Crustacea; A: Annelida; Mo: Molusco. Decreto 33903 (2007).

Anexo 4. Instrumento N.º 1. Plantilla para el registro de los residuos presentes en el río Bermúdez, San Pablo de Heredia



Instrumento N.º 1. Plantilla para el registro de los residuos presentes en el río Bermúdez, San Pablo de Heredia





Objetivo: Identificar las principales categorías de residuos encontrados durante el recorrido del río Bermúdez

Fecha:

Punto	Residuos																				Observaciones		
	Bio	Pap	Cart	Plst	Vid	Ev lat	O Met	Tx	Tetr	Ll	Bat	A/C	Agro	RAEE	F/B	Est	Ch	Mu	Esc	Acei		O	

Nota: Bio: Biodegradable; Pap: Papel; Cart: Cartón; Plst: Plástico; Vid: Vidrio; Ev lat: Envases de latas de aluminio; O Met: Otros metales (latas de zinc , ect); Tx:Textiles; Tetr: Polilaminados (Tetrabrik/ Tetrapak); Ll: Llantas; Bat: Baterias o pilas; A/C: Aires acondicionados; Agro: Envases de agroquímicos; RAEE: Artefactos eléctricos o electrónicos; F/B: Fluorescentes o bombillos; Est: Estereofón; Ch: Chatarra; Mu: Muebles; Esc: Escombros (concreto y derivados, madera, cableados, etc.); Acei: Envases de aceites y sus derrames; O: Otros

Anexo 5. Instrumento N.º 2. Registro para el levantamiento de los puntos críticos de contaminación por residuos

<p>Instrumento N.º 2. Registro para el levantamiento de los puntos críticos de contaminación por residuos</p>					
		<p>Objetivo: Realizar un levantamiento de información sobre las características de los sitios con mayor presencia de residuos sólidos, identificados durante el recorrido en campo.</p>			
Fecha:					
Punto	Hora	Coordenadas	Condiciones ambientales (clima)	Descripción del sitio	Otras observaciones

Anexo 6. Instrumento N.º 3. Protocolo de campo para la toma de muestras de aguas del río Bermúdez



	<p>Instrumento N.º 3. Protocolo de campo para la toma de muestras de aguas del río Bermúdez</p> <p>Objetivo: Recaudar información de los sitios de muestreo de aguas superficiales.</p>			
<p>Laboratorio Responsable: _____</p> <p>Fecha: _____</p> <p>Ubicación: _____</p>				
Punto				
Hora				
Coordenadas				
Número muestras				
Condiciones ambientales	Clima			
	Apariencia del agua			
Resultados in Situ	T			
	O₂			
	pH			
Observaciones				

Nota: T: Temperatura; O₂: Oxígeno disuelto; pH: Potencial de Hidrógeno

Anexo 7. Instrumento N.º 4. Registro de definición de los puntos de muestreo

 Instrumento N.º 4. Registro de definición de los puntos de muestreo				
Objetivo: Recopilar información de las características de los sitios de muestreo de aguas superficiales y macroinvertebrados				
Fecha:				
Punto	Hora	Nombre	Características	Otras observaciones
1				
2				
3				
4				

Anexo 8. Instrumento N.º 5. Matriz de priorización de las problemáticas y los criterios de evaluación

<p>Instrumento N.º 5. Matriz de priorización de las problemáticas de la calidad del agua</p>						
 <p>Objetivo: Priorizar las distintas problemáticas identificadas, que inciden en la calidad del agua del río Bermúdez, San Pablo de Heredia.</p> 						
Problemáticas	Criterios de evaluación				Puntaje Total	Prioridad
	Capacidad	Gravedad	Periodicidad	Beneficio		

Descripción de los criterios y puntajes a utilizar en la matriz de priorización

Criterio	Descripción	Puntuación		
Capacidad	Capacidades existentes para atender la problemática en un plazo de tiempo específico.	Corto plazo: 3	Mediano plazo: 2	Largo plazo: 1
Gravedad	Se refiere a cuanto daño ocasiona la problemática.	Baja: 1	Media: 2	Alta: 3
Periodicidad	Frecuencia con que ocurre la problemática.	Esporádico: 1	Periódico: 2	Continuo: 3
Beneficio	Hace referencia a que tan beneficioso resultaría la atención de la problemática (para el río, población, etc.).	Bajo: 1	Medio: 2	Alto: 3

Anexo 9. Instrumento N.º 6. Determinación de los índices de calidad del agua.

Esta información es suministrada por la investigadora mediante un archivo de Excel.

Anexo 10. Sitios propuestos para la recolección de los residuos de manejo especial

Mes	2019	2020	2021
		Sitios	
Febrero	NA	NA	Calle Cordero (Miraflores/Rincones/Siboney/ Don Eloy/ La Estrella)
Marzo	NA	NA	Pastoras
Abril	NA	NA	Quintana Sur/Villas de la Quintana/ Villa Adobe/ Villa Lantana
Mayo	a) Centro del cantón (Cuadrantes centrales, calle larga hasta la Res. Colonial, carretera sur del Municipio.) b) Calle Cordero, Miraflores, Rincón del Valle	a) Miraflores y Calle Cordero b) Centro cantón	Calle Joyas/ San Martin/ Santa Isabel/ Jerusalén
Junio	Joyas, San Martin, Santa Isabel, Don Antonio, Brisas	Rincón de Ricardo, María Fernanda, La Yuli y la Irma	San Pablo Centro/ Quintana Norte/ Brisas/ Chirripó
Julio	Rincón de Ricardo (Más por menos al Gimnasio)	Joyas, San Martin, Santa Isabel y Don Antonio	María Auxiliadora/ Marino/ Villa Dolores/ Crotos/ Amada/ Brisas del Rio

Mes	2019	2020	2021
	Sitios		
Agosto	María Auxiliadora, Cruces Crotos, Brisas del Rio, Marino, Villa Dolores.		Rincón de Ricardo/ María Fernanda/ Yuli/ Irma /las Flores
Setiembre	Cruces y Crucitas.	Pastoras y Puebla	Cruces
Octubre	Quintana Sur y Villa Adobe.	María Auxiliadora	Calle Real/ Amelia/ Hidalgos/ la Chinita
Noviembre	Calle real y carretera paralela (cementerio)	Quintana	Reprogramación.
Diciembre	Limpieza de focos de contaminación y botaderos clandestinos.	Recolección de no tradicionales en las comunidades en las dos primeras de diciembre	Reprogramación.

Nota: Elaborado con datos de Municipalidad de San Pablo (2019), Municipalidad de San Pablo (2020) y Municipalidad de San Pablo (2021a).

Anexo 11. Descripción de los tipos de actividades económicas según la cantidad de patentes registradas para el 2014

Cantidad	Naturaleza de la actividad
143	Sodas, bares, restaurantes, cafeterías, discotecas, salas de fiestas, heladerías, panaderías, pizzerías, venta de copos, licoreras.
140	Salas de belleza, bazares, librerías, internet, juegos, copiado, tiendas, videos, zapaterías.
61	Transporte, autos, repuestos, servicentro, lava-car, parqueos, ciclos, carrocerías.
90	Supermercados, abastecedores, pulperías, carnicerías, verdulerías, distribuidoras de alimentos.
28	Laboratorios, consultorios médicos, veterinarias, farmacias.
103	Talleres, cerrajerías, mueblerías, depósito de materiales, ferreterías.
127	Actividades de variada naturaleza

Nota: Municipalidad de San Pablo de Heredia (s.f.b).

Anexo 12. Registro fotográfico para el reconocimiento de los puntos de muestreo

Punto de muestreo “Calle El Común”.



Punto de muestreo “Puente de La Vigui”

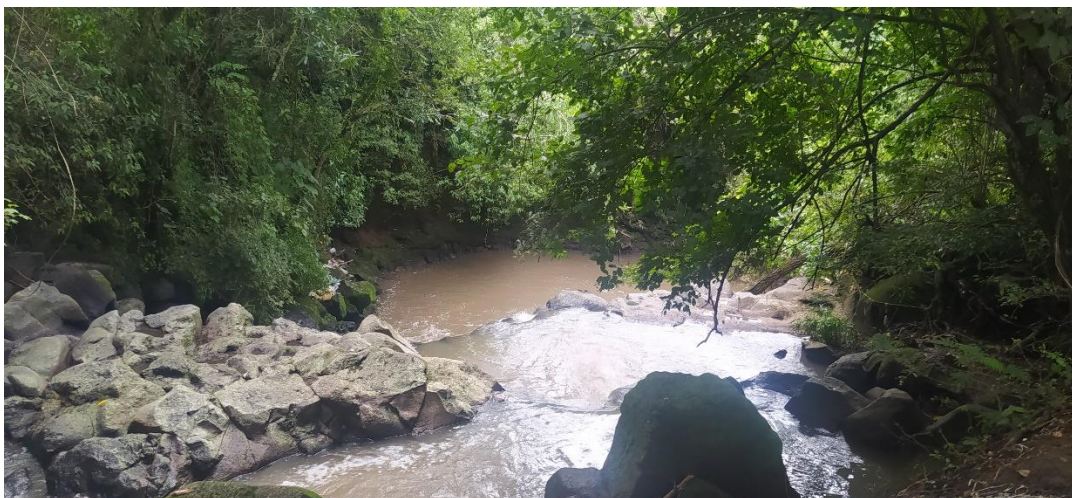


Punto de muestreo “El Matadero”



Nota: (A. Arce, comunicación personal, 29 de setiembre de 2021).

Punto de muestreo Hacienda Las Flores



Anexo 13. Registro fotográfico de algunos macroinvertebrados identificados en la época de transición

Baetidae Baetodes



Baetidae Camelobaetidius



Calopterygidae Hetaerina



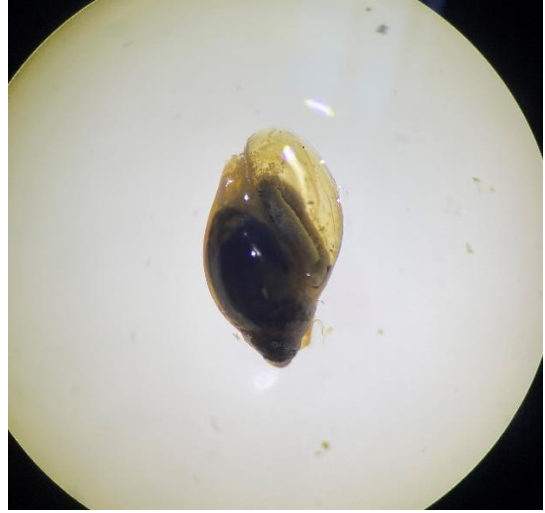
Chironomidae



Coenagrionidae Argia



Physidae



Hydropsychidae Leptonema



Leptohyphidae Tricorythodes



Nota: Con información de Susana Gutiérrez Acuña, comunicación personal, 20 de diciembre de 2021

Anexo 14. Registro fotográfico de los puntos de contaminación por residuos sólidos en época lluviosa 2021

<p>Punto 1: Las Joyas</p>  <p>Residuos en franja ribereña</p>	<p>Punto 1: Las Joyas</p>  <p>Residuos en franja ribereña</p>
<p>Punto 1: Las Joyas</p>  <p>Residuos en franja ribereña</p>	<p>Punto 1: Acceso de calle cerrado en Las Joyas</p>  <p>Escombros en calle para impedir el paso de vehículos</p>
<p>Punto 2: Acceso y residuos</p> 	<p>Punto 2: Residuos y desfogue</p> 

Punto 3: Puente de acceso



Asentamiento informal en comunidad de las Cruces

Punto 3: Residuos quemados



Residuos a la orilla del río en asentamiento informal en comunidad de las Cruces

Punto 3: Residuos



Punto 4: Río en El Matadero



Punto 4: Residuos



Punto 4: Residuos



Punto 4: Residuos detrás del río



Zona ribereña usada como botadero clandestino en asentamientos informales conocidos como El Vaticano.

Punto 4: El Vaticano



Portones que ocultan los residuos del botadero clandestino

Punto 5: Ingreso



Camino de ingreso al costado del tanque del AyA

Punto 5: Residuos



En cercanías del tanque del AyA

Punto 5: Residuos



En cercanías del tanque del AyA

Punto 5: Residuos



En cercanías del tanque del AyA

Anexo 15. Registro fotográfico de los puntos de contaminación por residuos sólidos en época seca 2021-2022

<p>Punto 1: Residuos en río</p>  <p>Residuos en cercanías de asentamiento informal de comunidad Las Cruces</p>	<p>Punto 1: Residuos franja ribereña</p>  <p>Residuos en cercanías de asentamiento informal de comunidad Las Cruces.</p>
<p>Punto 1: Residuos</p>  <p>Residuos a la orilla del río en cercanías de asentamiento informal de comunidad Las Cruces.</p>	<p>Punto 1: Residuos</p>  <p>Residuos a la orilla del río en cercanías de asentamiento informal de comunidad Las Cruces.</p>
<p>Punto 2: Residuos</p>  <p></p>	<p>Punto 2: Residuos</p>  <p></p>

Punto 3: Residuos



Punto 3: Residuos



Punto 4: Residuos



Antes del Matadero

Punto 4: Residuos



Punto 4: Residuos



Punto 4: Residuos



Punto 5: Residuos en El Matadero



Punto 5: Residuos en El Matadero



Punto 5: Residuos en río El Matadero



Punto 5: Residuos en El Matadero



Punto 6: Residuos



Punto 6



Anexo 16. Resultados de estudios fisicoquímicos y biológicos para el río Bermúdez.

Esta información es suministrada por la investigadora mediante un archivo en PDF.

Anexo 17. Instrumento 7. Validación de las estrategias de mejoramiento de la calidad del agua superficial

Datos de contacto

1. Indique su nombre completo.
2. Indique el nombre de la institución o asociación comunal que representa y el puesto que desempeña.
3. Indique su correo electrónico.

Resultados de la investigación

Mediante el estudio realizado en el río Bermúdez en San Pablo de Heredia se determina que este es víctima de una serie de impactos como:

- Invasión de áreas de protección por infraestructura, pastos y cultivos.
- Contaminación por residuos sólidos: botaderos clandestinos, quemas de residuos a la orilla del río, materiales como plásticos, textiles, muebles, escombros, latas, etc.
- Contaminación de las aguas catalogada entre moderada y severa.
- Vertidos ilegales de aguas residuales (desfogues).
- Valores elevados de coliformes fecales.

Propuestas de mejora

4. De las siguientes 8 propuestas, ¿cuáles considera usted como las **4 más relevantes y prioritarias** para implementar un programa de mejoramiento de la calidad del agua superficial del río Bermúdez?
 - Festival de esferas de barro: Actividades que se realizan involucrando la comunidad para crear esferas de barro con microorganismos eficientes, que son vertidas en el río para reducir la contaminación orgánica.
 - Educación ambiental comunitaria: Que el departamento de Gestión Ambiental y el de Trabajo Social del municipio realicen talleres presenciales de educación y sensibilización ambiental, priorizando asentamientos informales y otras áreas donde se registran los impactos al río.
 - Material audiovisual: Se recomienda que la Municipalidad elabore material como infografías, fotografías y videos que muestren la realidad del río Bermúdez y permita sensibilizar.
 - Monitoreo y control de desfogues: Que la Municipalidad y el Ministerio de Salud trabajen juntos para monitorear y eliminar los desfogues ilegales que ya tiene documentada la Municipalidad.

- Incrementar el alcance del programa de monitoreo del agua: Debido a la presencia de cultivos en la cuenca alta (San Rafael) y en zonas cercanas al río en San Pablo, se recomienda la incluir análisis de plaguicidas y similares en el programa.
 - Recuperación de áreas de Protección: Que la Unidad de Gestión Ambiental involucre al SINAC, para establecer el mecanismo de notificación de las fincas que invaden por pastos y cultivos. Así como la selección de las especies a sembrar para incrementar la biodiversidad.
 - Programa de Bandera Azul Categoría Microcuencas: Busca implementar comités locales y a la comunidad en la ejecución de actividades que procuren evitar y mitigar la contaminación del río.
 - Monitoreo de residuos sólidos: Valorar a nivel municipal la colocación de cámaras en botaderos clandestinos. Además, la ejecución de campañas de limpieza en los bordes del río de fácil acceso, involucrando asociaciones de desarrollo y la comunidad.
5. Desde su experiencia y conocimiento, ¿existe alguna otra recomendación para mejorar la calidad del río que no esté siendo contemplada?