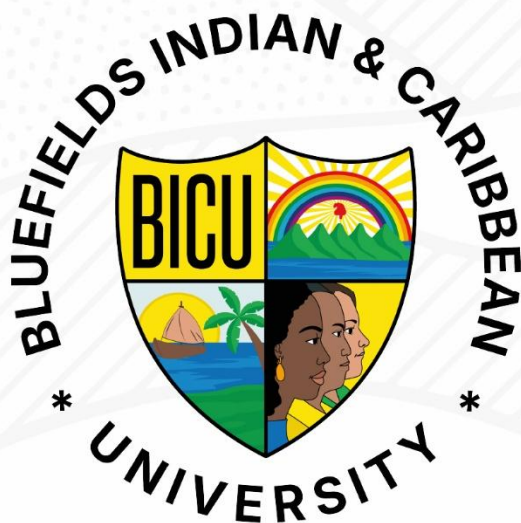




DIRECCIÓN ACADÉMICA

Área del Conocimiento Ingeniería, Industria y Construcción

Monografía para optar al título de Ingeniero Civil

Evaluación técnica del sistema séptico existente y diseño de una alternativa de mejora para el internado de Bluefields Indian & Caribbean University (BICU)

Autores:

Br. Lennin Antonio Sotomayor Álvarez

Tutor:

Ing. Kirk Allan Robb Sinclair

Asesor:

Prof. Juan Asdrúbal Flores Pacheco, Ph.D.

Bluefields, RACCS

Junio, 2026

Aporte institucional de BICU al fortalecimiento de la Educación Superior y la Investigación Nacional

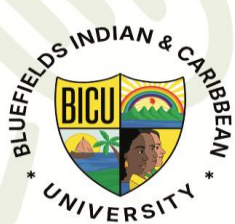
En correspondencia con el Plan de Fortalecimiento de las Universidades Pueblo Presidente, Bluefields Indian & Caribbean University (BICU) presenta su aporte institucional al cumplimiento de la

Estrategia Nacional de Educación “bendiciones y victorias” 2024 – 2026

Ámbito	Educativo
Eje	Infraestructura y Equipamiento
Lineamiento	Mejoramiento de las condiciones físicas y técnicas que facilitan la calidad educativa mediante ambientes dignos, seguros e incluyentes. La Estrategia define este eje como las condiciones físicas, técnicas y tecnológicas que favorecen aprendizajes desde la mejora continua de ambientes dignos e incluyentes
Acción	El trabajo aporta una evaluación técnica del sistema séptico del internado de BICU y propone alternativas de rediseño orientadas a garantizar saneamiento seguro, eficiencia operativa, estabilidad estructural y protección sanitaria para estudiantes residentes.

Y a la
Política y Agenda de Investigación e Innovación del Sistema Educativo Nacional 2025 – 2027

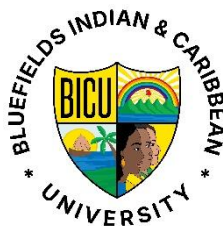
Eje Estratégico	Investigación e innovación aplicada para la solución de problemas territoriales e institucionales
Lineamiento	Pertinencia territorial, cultural y social de la investigación, orientada a responder a problemáticas concretas de las comunidades educativas.
Área Prioritaria	Infraestructura educativa, saneamiento básico y ambientes seguros de aprendizaje



Línea de investigación	Evaluación, diseño y mejora de sistemas de saneamiento en instituciones educativas.
-------------------------------	---

“La educación es la mejor opción para el desarrollo de los pueblos.”

**BLUEFIELDS INDIAN & CARIBBEAN UNIVERSITY
BICU**



**ÁREA DEL CONOCIMIENTO INGENIERÍA, INDUSTRIA Y
CONSTRUCCIÓN
Carrera de Ingeniería Civil**

Monografía para optar al título de Ingeniero Civil

Evaluación técnica del sistema séptico existente y diseño de una alternativa de mejora para el internado de Bluefields Indian & Caribbean University (BICU)

Autor:

Br. Lennin Antonio Sotomayor Álvarez

Tutor:

Ing. Kirk Allan Robb Sinclair

Asesor:

Prof. Juan Asdrúbal Flores Pacheco, Ph.D.

Bluefields, RACCS, Nicaragua
Junio, 2026

“La educación es la mejor opción para el desarrollo de los pueblos”

ÍNDICE DE CONTENIDO

RESUMEN.....	I
ABSTRACT	II
I. INTRODUCCIÓN	1
II. ANTECEDENTES.....	3
Antecedentes teóricos y normativos	3
Antecedentes empíricos y de campo	4
Cierre integrador	5
III. JUSTIFICACIÓN	7
3.1 Limitaciones y riesgos.....	9
IV. HIPÓTESIS	10
V. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	11
VI. OBJETIVOS.....	13
6.1 Objetivo General.....	13
6.2 Objetivos Específicos	13
VII. ESTADO DEL ARTE.....	14
7.1. Conceptos Introductorios.....	14
7.1.1. Fosa séptica: definición y función técnica.....	14
7.1.2. Parámetros técnicos críticos en el diseño.....	14
7.1.3. Normativa técnica aplicable.....	15
7.1.4. Evaluación hidrosanitaria: enfoques y criterios	16
7.2. Análisis de estudios	17
7.2.1. Estudios nacionales sobre diseño y fallas de fosas sépticas institucionales....	17
7.2.2. Experiencias regionales (Centroamérica y Caribe) en entornos educativos .	17
7.2.3. Evaluaciones técnicas de fosas sépticas en internados y centros de alta densidad de uso	18
7.2.4. Enfoques internacionales sobre evaluación de eficiencia y adecuación de sistemas sépticos	18
7.2.5. Comparación crítica entre estudios revisados.....	19
7.3. Reflexión final.....	19
VIII. DISEÑO METODOLÓGICO	22
8.1 Área de localización del estudio.....	22
.....	25

“La educación es la mejor opción para el desarrollo de los pueblos.”

8.2	Tipo de estudio según el enfoque, amplitud o período	27
8.3	Población, muestra.....	28
8.3.1	Inventario de baterías sanitarias del Internado de BICU, Bluefields	29
8.3.2	Tipo de muestra y muestreo	30
8.3.3	Técnicas e instrumentos de la investigación	31
8.4	Diseño	32
8.4.1	Recolección de Datos.....	32
8.4.2	Criterios de calidad: credibilidad, confiabilidad	33
8.5	Operacionalización de variables.....	34
8.6	Análisis de datos.....	41
8.7	Consideraciones Éticas	42
IX.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	44
9.1.	Diagnóstico técnico de la fosa séptica existente en el internado de BICU, mediante el levantamiento físico de la infraestructura y la evaluación de sus condiciones estructurales, hidráulicas y operativas.	44
9.2.	Evaluación de las condiciones geotécnicas del suelo en el área donde se ubica el sistema séptico, considerando las características del suelo, el nivel freático y la capacidad de infiltración que influyen en su funcionamiento.....	68
9.3.	Formulación de mejoras técnicas o ajustes al diseño del sistema séptico, orientadas a garantizar su eficiencia operativa y el cumplimiento de la Norma Técnica Obligatoria Nicaragüense NTON 05-027-05	77
9.4.	Formulación del programa trienal de mantenimiento y vaciado conforme a la normativa ambiental y a las condiciones geotécnicas del sistema	106
X.	CONCLUSIONES.....	116
XI.	RECOMENDACIONES	119
XII.	ASPECTOS ADMINISTRATIVOS.....	120
12.1	Presupuesto.....	120
12.2	Cronograma de actividades	121
XIII.	REFERENCIAS.....	123
XIV.	ANEXOS.....	127
Anexo 1.	Plan de Visita de Campo – Verificación de Volumen y Contaminación de Fosa Séptica	127
Anexo 3.	Planos y diseños	131
Anexo 4.	Evidencias fotográficas	143
		143

“La educación es la mejor opción para el desarrollo de los pueblos.”

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Inventario de servicios sanitarios del internado de BICU	29
Tabla 2. Diagnóstico de cumplimiento técnico–normativo del sistema actual de fosas sépticas del internado BICU (MINSA–NTON)	44
Tabla 3. Condiciones geotécnicas relevantes para el refuerzo estructural de la fosa séptica	55
Tabla 4. Evaluación comparativa de criterios operativos, constructivos y de sostenibilidad de las alternativas de fosa séptica.....	61
Tabla 5. Resultados del dimensionamiento del volumen óptimo de la fosa séptica.....	68
Tabla 6. Vinculación del volumen óptimo (88.2 m ³) con las alternativas de fosa séptica.....	74
Tabla 7. Presupuesto fosa séptica, sistema constructivo de concreto reforzado.....	81
Tabla 8. Presupuesto fosa séptica, sistema constructivo de mampostería reforzada	88
Tabla 9. Presupuesto fosa séptica, sistema constructivo de tanques sanitarios modulares.....	94
Tabla 10. Matriz Comparativa Técnico-Estructural de Alternativas de Fosas Sépticas.....	97
Tabla 11. Comparación de Opciones de Construcción de Fosa Séptica.....	101
Tabla 12. Cronograma trienal de mantenimiento y vaciado del sistema de fosa séptica del Internado BICU.....	110
Tabla 13. Lista de cotejo técnico de inspección del sistema de fosa séptica – Internado BICU	112

“La educación es la mejor opción para el desarrollo de los pueblos.”

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Plano de localización del sistema séptico y distribución de infraestructura sanitaria en el área del internado de la Bluefields Indian & Caribbean University (BICU), Bluefields, RACCS.	22
Figura 2. Macro-localización del internado de BICU y ubicación del sistema séptico existente en el barrio San Pedro, Bluefields, Nicaragua.	25
Figura 3. Micro-localización del internado de BICU y ubicación específica de la fosa séptica existente en el barrio San Pedro, Bluefields.	26
Figura 4. Diagnóstico técnico, arquitectónico y operativo de la fosa séptica existente del internado de BICU, Bluefields.	131
Figura 5. Propuesta de reubicación de la fosa séptica, pozo de absorción y obras complementarias del internado de BICU, barrio San Pedro, Bluefields.	132
Figura 6. Planta arquitectónica y perspectiva axonométrica de la alternativa de fosa séptica en concreto reforzado para el internado de BICU, Bluefields.	133
Figura 7. Planta estructural y perspectiva axonométrica de la alternativa de fosa séptica en concreto reforzado para el internado de BICU.	134
Figura 8. Detalles estructurales de contrafuertes y zapatas Z-2 y Z-3 para la alternativa en concreto reforzado del sistema séptico del internado de BICU.	135
Figura 9. Detalles estructurales de zapata Z-1, columna C-1, castillo K-1, cerramiento T-1 y desplante CT-1 del sistema séptico propuesto para el internado de BICU.	136
Figura 10. Perspectiva renderizada y sección longitudinal del sistema séptico propuesto en concreto reforzado para el internado de BICU.	137
Figura 11. Planta arquitectónica y visualización 3D de la alternativa en mampostería confinada para el sistema séptico del internado de BICU, Bluefields.	138
Figura 12. Planta estructural y visualización constructiva de la alternativa en mampostería confinada para el sistema séptico del internado de BICU.	139
Figura 13. Planta arquitectónica y visualización 3D de la alternativa modular con tanques prefabricados para el sistema séptico del internado de BICU, Bluefields.	140

“La educación es la mejor opción para el desarrollo de los pueblos.”

Figura 14. Sección longitudinal y visualización funcional de la alternativa modular Plastitank para el sistema séptico del internado de BICU, Bluefields.....	141
Figura 15. Comparación técnica de alternativas de tratamiento de aguas residuales para el internado de BICU, Bluefields.....	142
Figura 16. Funcionamiento de la fosa séptica del internado de BICU como caja de registro y descarga de efluentes hacia el exterior del sistema.....	143
Figura 17. Losa de base y área de implantación para la construcción del nuevo sistema de fosa séptica en el internado de BICU.	145
Figura 18. Evidencia del punto de descarga del sistema séptico existente hacia el exterior del área del internado de BICU.	146
Figura 19. Caja de registro asociada al sistema séptico existente del internado de BICU con acumulación de efluentes y vegetación interna.	147
Figura 20. Actividad de visita técnica y verificación en campo del sistema séptico del internado de BICU con estudiantes de la asignatura de Hidrología.	148
Figura 21. Ubicación del pozo de abastecimiento respecto al sistema séptico existente del internado de BICU.	149
Figura 22. Estado físico previo mantenimiento de una caja de registro asociada al sistema séptico existente del internado de BICU.	150
Figura 23. Punto de descarga del efluente hacia el drenaje pluvial exterior del internado de BICU.	151

RESUMEN

El estudio tuvo como propósito diseñar y evaluar técnicamente un sistema de fosa séptica para el internado de la Bluefields Indian & Caribbean University (BICU), considerando las condiciones geotécnicas, los requerimientos sanitarios y la normativa ambiental vigente. Se desarrolló bajo un enfoque aplicado y técnico descriptivo, integrando análisis geotécnicos, criterios de ingeniería sanitaria y evaluación comparativa de alternativas constructivas. El estudio de suelos evidenció la presencia de materiales blandos saturables y un nivel freático somero, factores que condicionan el diseño de infraestructuras enterradas. En respuesta, se estableció la necesidad de incorporar refuerzos estructurales, drenaje perimetral e impermeabilización multicapa para asegurar estabilidad y durabilidad. El dimensionamiento hidráulico, basado en una población de 196 residentes, determinó un volumen óptimo de 141.12 m³, garantizando un tiempo de retención adecuado y un tratamiento primario eficiente. Se analizaron tres alternativas técnicas concreto reforzado, mampostería confinada y tanques modulares mediante matrices comparativas y análisis costo beneficio. Aunque cada opción presenta ventajas específicas, las soluciones estructuralmente reforzadas e impermeabilizadas demostraron mayor confiabilidad en contextos geotécnicos adversos. Finalmente, se propuso un programa trienal de mantenimiento y vaciado, alineado con la normativa sanitaria y ambiental, orientado a asegurar la operación segura, la protección ambiental y la sostenibilidad del sistema. En conjunto, el estudio confirma que un enfoque integral de diseño, construcción y mantenimiento es esencial para garantizar la eficiencia y seguridad de los sistemas de saneamiento en entornos institucionales y costeros.

Palabras clave: fosa séptica; saneamiento básico; condiciones geotécnicas; diseño estructural; mantenimiento sanitario.

ABSTRACT

This study aimed to design and technically evaluate a septic tank system for the boarding school of Bluefields Indian & Caribbean University (BICU), considering site geotechnical conditions, sanitary requirements, and current environmental regulations. The research followed an applied, technical–descriptive approach, integrating geotechnical analysis, sanitary engineering criteria, and a comparative evaluation of construction alternatives. The geotechnical assessment revealed the presence of soft, saturable soils and a shallow groundwater table—conditions that critically constrain the structural design of buried sanitary infrastructure. Based on these findings, the study established the need to incorporate specific structural reinforcements, perimeter drainage systems, and multilayer waterproofing to ensure system stability and durability. Hydraulic sizing, based on a user population of 196 residents, determined an optimal storage volume of 141.12 m³, sufficient to ensure adequate hydraulic retention time and effective primary treatment of wastewater. Three technical design alternatives were evaluated—reinforced concrete, confined masonry, and modular sanitary tanks—using technical–structural comparison matrices and cost–benefit analysis. Results indicated that while each alternative presents specific advantages, structurally reinforced and properly waterproofed solutions provide greater long-term reliability under adverse geotechnical conditions. Finally, a three-year maintenance and desludging program aligned with sanitary and environmental regulations was formulated to ensure safe operation, environmental protection, and system sustainability. Overall, the study demonstrates that an integrated approach to design, operation, and maintenance is essential to ensure the efficiency and safety of sanitation systems in institutional and coastal environments.

Keywords: septic tank; basic sanitation; geotechnical conditions; structural design; sanitary maintenance.

I. INTRODUCCIÓN

La presente investigación surge en respuesta a una problemática técnica y sanitaria de alta relevancia en el contexto de la infraestructura educativa del Caribe nicaragüense. Se fundamenta en la necesidad de garantizar condiciones adecuadas de saneamiento básico, eficiencia operativa y sostenibilidad ambiental en sistemas de tratamiento de aguas residuales.

La tesis se ha estructurado de manera rigurosa, abordando con profundidad aspectos técnicos, normativos, geotécnicos y socioambientales. Su desarrollo responde al vacío diagnóstico existente respecto al comportamiento estructural y funcional del sistema séptico del internado, situación que podría derivar en impactos negativos sobre la salud pública, la calidad ambiental y el bienestar de la comunidad estudiantil. En este contexto, el estudio plantea una evaluación integral orientada a determinar el nivel de cumplimiento técnico y normativo del sistema séptico existente, tomando como referencia los estándares nacionales establecidos en la Norma Técnica Obligatoria Nicaragüense NTON 05-027-05, así como criterios internacionales propuestos por la Organización Mundial de la Salud (OMS) y la International Water Association (IWA) para el diseño, operación y mantenimiento de sistemas de tratamiento primario de aguas residuales.

La investigación adopta un enfoque cuantitativo basado en la recopilación sistemática de datos técnicos mediante listas de verificación estructuradas, inspección visual del sistema existente, modelación hidráulica y estimaciones de carga orgánica y volumen de almacenamiento del tanque séptico. Para ello se aplicaron procedimientos científicos que garantizan la replicabilidad del estudio y la confiabilidad de los resultados, incluyendo la operacionalización de variables y el análisis de los parámetros de diseño conforme a los criterios establecidos en la normativa sanitaria vigente. Asimismo, se utilizaron herramientas de simulación técnica como hojas de cálculo estructuradas en Microsoft Excel para el dimensionamiento hidráulico y volumétrico del sistema, complementadas con software especializado para el análisis y verificación de sistemas de saneamiento descentralizado, cuyos resultados se presentan en el capítulo de resultados y discusión, donde se comparan los parámetros obtenidos con los valores establecidos en la Norma Técnica Obligatoria Nicaragüense NTON 05-027-05 y referencias técnicas internacionales.

Desde una perspectiva técnica y profesional, esta investigación no solo se orienta a diagnosticar deficiencias existentes, sino que propone soluciones estructurales y operativas concretas, como el rediseño de la fosa séptica incorporando espacios de seguridad, así como la elaboración de un programa trienal de mantenimiento adaptado a las condiciones locales del sistema y al perfil geotécnico del sitio. De esta forma, se contribuye a fortalecer la planificación sanitaria institucional, alineada con principios de gestión eficiente del agua, sostenibilidad y resiliencia ambiental.

Asimismo, la propuesta se enmarca en los objetivos de desarrollo institucional de BICU, los lineamientos del Instituto Nicaragüense de Acueductos y Alcantarillados (INAA), y los compromisos internacionales asumidos por Nicaragua en materia de saneamiento, como los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS 6: Agua limpia y saneamiento; ODS 11: Ciudades y comunidades sostenibles).

La ejecución de esta investigación se apega a criterios éticos, metodológicos y técnicos, garantizando la transparencia, validez y pertinencia del proceso investigativo. Se reconoce el respaldo brindado por las autoridades institucionales y el acompañamiento de actores clave, cuya colaboración ha sido esencial para el desarrollo de esta propuesta.

Esta investigación representa una contribución significativa al campo de la ingeniería sanitaria en contextos universitarios multiculturales y geográficamente complejos, y constituye una herramienta técnica clave para la mejora continua de las infraestructuras de saneamiento en instituciones de educación superior de la región.

La presente investigación evalúa técnicamente el sistema séptico del internado de BICU y propone tres alternativas de mejora actualizadas y completamente dimensionadas a 141,12 m³ útiles, incorporando pozo de absorción, reforzamiento estructural (zapatas tipo talud), vistas 3D y un programa trienal de mantenimiento. Estas propuestas, respaldadas por planos constructivos detallados (Láminas C-1 a C-5), buscan resolver las deficiencias detectadas y ofrecer soluciones viables, sostenibles y normativamente adecuadas para la comunidad universitaria.

II. ANTECEDENTES

Antecedentes teóricos y normativos

El diseño y operación de sistemas de tratamiento primario de aguas residuales, como las fosas sépticas, constituye una alternativa ampliamente utilizada en zonas donde no existe cobertura de alcantarillado sanitario. Esta solución resulta particularmente relevante en regiones tropicales urbanas intermedias, como Bluefields, en la Región Autónoma de la Costa Caribe Sur (RACCS), Nicaragua, donde las condiciones climáticas, topográficas y edáficas pueden incidir directamente en el funcionamiento de los sistemas de saneamiento.

Desde la literatura técnica especializada, las fosas sépticas no deben concebirse como sistemas completos de tratamiento, sino como unidades de pretratamiento primario orientadas principalmente a la sedimentación de sólidos y a la digestión anaerobia parcial de la materia orgánica. Por ello, su eficiencia depende de un diseño hidráulico adecuado, del control de las cargas orgánicas, del mantenimiento periódico, de la correcta disposición de lodos y de la existencia de una etapa complementaria de tratamiento o disposición segura, como campos de infiltración, zanjas de absorción, filtros anaerobios o biodigestores complementarios (Chernicharo, 2007; Von Sperling & Chernicharo, 2005).

En Nicaragua, el diseño, construcción y operación de sistemas individuales de tratamiento de aguas residuales se encuentra regulado por la Norma Técnica Obligatoria Nicaragüense NTON 05-027-05, la cual establece criterios mínimos relacionados con dimensiones hidráulicas, distancias de protección, materiales constructivos, ventilación, sellado de cámaras, disposición final del efluente y frecuencia de vaciado. El incumplimiento de estos requisitos puede favorecer filtraciones al subsuelo, generación de malos olores, proliferación de vectores, contaminación de aguas subterráneas y afectaciones a la salud de las personas expuestas.

De igual manera, el Acuerdo Ministerial No. 65-94 del Ministerio de Salud, mediante el cual se adoptan las normas de calidad del agua para consumo humano, constituye un referente sanitario importante para valorar los riesgos asociados a la posible contaminación cruzada entre sistemas de

disposición de aguas residuales y fuentes de abastecimiento o áreas de uso humano. Aunque el presente estudio se centra en aguas residuales, la proximidad de una fosa séptica deficiente a espacios habitados, zonas de circulación o posibles fuentes de agua obliga a considerar los riesgos microbiológicos y fisicoquímicos derivados de una operación inadecuada.

En relación con el caso del internado de la Bluefields Indian & Caribbean University (BICU), estos fundamentos teóricos y normativos permiten establecer que la fosa séptica existente debe ser evaluada no solo como una infraestructura sanitaria aislada, sino como un componente crítico del sistema de saneamiento institucional. Su desempeño debe analizarse en función de la carga hidráulica generada por los usuarios, las condiciones del suelo, la pluviometría local, la disposición del efluente y el cumplimiento de los criterios técnicos mínimos exigidos para prevenir riesgos sanitarios y ambientales.

Antecedentes empíricos y de campo

En el caso particular del internado de BICU, se ha identificado que la fosa séptica existente presenta signos de sobrecarga, deficiencia estructural y posibles filtraciones. Esta situación podría estar generando riesgos para la salud pública de los residentes y para el ambiente circundante, especialmente si se considera que el sistema se ubica en una ciudad caracterizada por alta pluviometría, topografía variable y presencia de suelos arcillosos con baja permeabilidad, condiciones que pueden limitar la infiltración segura del efluente y favorecer procesos de saturación, escorrentía o contaminación localizada.

Estudios previos realizados en Bluefields refuerzan esta preocupación. Rojas Bodden y Reyes Cantillano (2019) analizaron el comportamiento de indicadores sanitarios en aguas residuales hospitalarias y su descarga hacia lagunas de oxidación, encontrando concentraciones elevadas de coliformes fecales, demanda bioquímica de oxígeno y sólidos suspendidos. Aunque dicha investigación se desarrolló en el ámbito hospitalario, sus resultados evidencian deficiencias estructurales y operativas en sistemas convencionales de tratamiento de aguas residuales en la ciudad de Bluefields, lo cual resulta pertinente para comprender los riesgos asociados a

infraestructuras sanitarias que no reciben mantenimiento adecuado o que operan por encima de su capacidad.

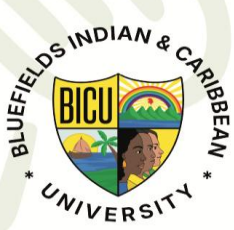
Asimismo, investigaciones hidrosanitarias desarrolladas en el Territorio Indígena Rama-Kriol han demostrado que la ausencia o ineficiencia de sistemas de tratamiento de aguas residuales puede deteriorar la calidad ecológica de los cuerpos de agua. Mediante el uso del índice IBMWP-CR, Matus-Román, González-Alemán y Flores-Pacheco (2020) identificaron afectaciones en la salud ecológica de microcuencas expuestas a descargas de aguas grises y negras no tratadas, reflejadas en una baja presencia de macroinvertebrados sensibles a la contaminación. Estos hallazgos muestran que las descargas domésticas sin tratamiento efectivo pueden tener efectos acumulativos sobre los ecosistemas acuáticos y sobre las comunidades que dependen de ellos.

Estos antecedentes de campo guardan relación directa con el caso del internado de BICU, debido a que evidencian problemas recurrentes en la gestión de aguas residuales en Bluefields y territorios cercanos. La situación observada en la fosa séptica del internado no constituye un hecho aislado, sino parte de una problemática territorial más amplia vinculada con la limitada cobertura de alcantarillado sanitario, el uso prolongado de infraestructuras convencionales, la falta de mantenimiento periódico y la exposición de comunidades institucionales a riesgos sanitarios y ambientales.

Cierre integrador

En conjunto, los antecedentes teóricos, normativos y empíricos evidencian una brecha crítica entre el diseño ideal de las fosas sépticas y su realidad operativa en contextos institucionales de uso intensivo, como los internados estudiantiles. En estos espacios, la densidad de usuarios, el uso continuo de servicios sanitarios y la generación constante de cargas hidráulicas y orgánicas pueden superar la capacidad prevista en el diseño inicial, especialmente cuando no existen programas sistemáticos de inspección, limpieza y disposición segura de lodos.

Por tanto, la evaluación técnica de la fosa séptica del internado de BICU resulta imprescindible para determinar su estado estructural, hidráulico y sanitario; verificar su correspondencia con la



normativa vigente; identificar riesgos de contaminación; y proponer una alternativa de mejora técnicamente viable. Esta evaluación no solo responde a una necesidad de cumplimiento normativo, sino también a la obligación institucional de garantizar condiciones básicas de salubridad, prevenir enfermedades de origen hídrico y fortalecer la sostenibilidad ambiental dentro de la comunidad universitaria.

III. JUSTIFICACIÓN

Esta investigación es relevante porque transforma un problema sanitario, ambiental e institucional real —el funcionamiento deficiente del sistema séptico del internado de BICU— en una solución técnica integral, viable y normativamente sustentada. El estudio no se limita a diagnosticar las fallas del sistema actual, tales como volumen insuficiente, funcionamiento inadecuado de la cámara séptica, ausencia de impermeabilización efectiva, deficiencias en el drenaje y riesgos de rebose o filtración; también propone alternativas de mejora dimensionadas técnicamente, acompañadas de un programa trienal de operación y mantenimiento.

Desde esta perspectiva, el aporte de la investigación puede comprenderse mediante la relación Producto–Efecto–Impacto, lo que permite vincular los resultados técnicos del estudio con sus beneficios verificables para la comunidad universitaria y el entorno ambiental inmediato.

Producto: alternativa técnica de mejora y programa trienal de mantenimiento

El producto principal de la investigación consiste en la formulación de alternativas técnicas para la mejora del sistema séptico del internado, dimensionadas a una capacidad de 141,12 m³, con incorporación de pozo de absorción, reforzamiento estructural adaptado a las condiciones del suelo de Bluefields y definición de un programa trienal de mantenimiento preventivo y correctivo.

Como indicadores verificables de este producto se consideran: diseño hidráulico actualizado, volumen útil calculado conforme a la demanda del internado, incorporación de sistema complementario de disposición del efluente, propuesta estructural ajustada a las condiciones locales, cronograma trienal de mantenimiento, periodicidad de inspección, registro de limpieza y programación del vaciado de lodos.

Efecto: mejora de la eficiencia hidráulica, estructural y operativa del sistema

La implementación de la alternativa propuesta permitirá mejorar la eficiencia operativa del sistema séptico, al reducir condiciones de sobrecarga, reboses, malos olores, acumulación excesiva de lodos, filtraciones no controladas y fallas asociadas a la falta de mantenimiento. Asimismo, el programa trienal contribuirá a pasar de una gestión reactiva del sistema a una gestión preventiva, basada en inspecciones periódicas, limpieza programada y seguimiento técnico de su desempeño.

Entre los indicadores verificables de este efecto se incluyen: reducción de eventos de rebose, disminución de olores ofensivos, control de vectores, cumplimiento de la periodicidad de vaciado, evidencias de inspección programada, estabilidad estructural de la cámara séptica, funcionamiento del pozo de absorción y reducción de intervenciones correctivas de emergencia.

Impacto: protección de la salud, reducción del riesgo ambiental y cumplimiento institucional

El impacto esperado se expresa en tres dimensiones complementarias. En el ámbito sanitario, la mejora del sistema contribuirá a proteger las condiciones de salubridad de los 196 estudiantes residentes y del personal vinculado al internado, reduciendo la exposición a aguas residuales, vectores, olores y posibles focos de contaminación. En el ámbito ambiental, disminuirá el riesgo de infiltración de efluentes al subsuelo, contaminación de aguas superficiales o subterráneas y afectación del entorno inmediato. En el ámbito institucional, fortalecerá la infraestructura universitaria, el cumplimiento de la NTON 05-027-05 y la gestión responsable del saneamiento básico en BICU.

Como indicadores de impacto se consideran: condiciones sanitarias mejoradas para la población residente, reducción del riesgo de contaminación del suelo y del agua, cumplimiento de criterios técnicos y normativos aplicables, disponibilidad de registros de mantenimiento, funcionamiento continuo del sistema y contribución institucional a los Objetivos de Desarrollo Sostenible, particularmente el ODS 6, relativo a agua limpia y saneamiento, y el ODS 11, referido a comunidades sostenibles.

En síntesis, la investigación se justifica porque articula diagnóstico técnico, propuesta de mejora y gestión preventiva del sistema séptico. Su valor no reside únicamente en identificar las deficiencias existentes, sino en ofrecer una alternativa técnica verificable que mejore la operación del sistema, reduzca riesgos sanitarios y ambientales, y fortalezca el cumplimiento institucional de BICU en materia de saneamiento, seguridad ambiental y sostenibilidad universitaria.

3.1 Limitaciones y riesgos

Limitaciones del estudio	Riesgos asociados	Medidas de mitigación implementadas
Imposibilidad de vaciado completo durante el período lectivo	Subestimación del volumen real de lodos	Uso de mediciones indirectas y factor de seguridad alto
Uso de estudio geotécnico de 2016 (550 m de distancia)	Incertidumbre en parámetros del suelo	Recomendación explícita de nuevo estudio geotécnico específico
Limitaciones presupuestarias y logísticas	Restricción en pruebas destructivas	Enfoque en inspección visual, fotográfica y análisis no destructivo
Alta pluviosidad en la zona	Dificultad para inspecciones en seco	Realización de campo en época seca (marzo 2025)
Planos originales incompletos o desactualizados	Error en mediciones iniciales	Levantamiento físico complementario detallado

Fuente: Elaboración propia con base en datos de campo recolectados en el internado de BICU, agosto-septiembre de 2025.

IV. HIPÓTESIS

El sistema séptico existente del internado de BICU incumple con los parámetros técnicos y normativos establecidos en la NTON 05-027-05, debido a su insuficiente volumen de almacenamiento ($49,02 \text{ m}^3$), número inadecuado de cámaras y ausencia de medidas estructurales y de impermeabilización, lo que genera un funcionamiento deficiente como caja de registro y representa riesgos sanitarios y ambientales para la comunidad universitaria.

El diseño de un nuevo sistema séptico dimensionado a $141,12 \text{ m}^3$ con pozo de absorción y reforzamiento estructural adecuado permitirá cumplir con la normativa vigente y mejorar significativamente las condiciones sanitarias y ambientales del internado.

V. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En entornos institucionales como residencias estudiantiles, el sistema de tratamiento de aguas residuales debe responder a criterios técnicos de eficiencia hidráulica, sanidad, durabilidad estructural y sostenibilidad ambiental. La fosa séptica, como unidad de tratamiento primario, es ampliamente utilizada en áreas urbanas no conectadas a redes de alcantarillado sanitario, debido a su bajo costo, facilidad constructiva y requerimientos mínimos de operación. Sin embargo, su eficacia depende directamente del cumplimiento de parámetros normativos y de diseño definidos para la cantidad y tipo de carga orgánica que recibe, así como de su mantenimiento periódico (Chernicharo, 2007; Von Sperling & Chernicharo, 2005).

El estudio se delimitó espacial y temporalmente al sistema séptico del internado de la Bluefields Indian & Caribbean University (BICU), ubicado en el barrio San Pedro de la ciudad de Bluefields, Región Autónoma de la Costa Caribe Sur, Nicaragua, donde se encuentra instalada una fosa séptica destinada al tratamiento de las aguas residuales generadas por la comunidad estudiantil residente. La evaluación se desarrolló durante los meses de agosto y septiembre del año 2025, centrando el análisis únicamente en las instalaciones sanitarias asociadas al internado, sus condiciones estructurales, capacidad hidráulica, funcionamiento operativo y posibles riesgos sanitarios y ambientales derivados de su uso.

Con el propósito de evaluar su estado actual de funcionamiento, se realizó un diagnóstico técnico del sistema existente que incluyó el levantamiento físico de la fosa séptica y la inspección de sus componentes estructurales y operativos. Este proceso permitió recopilar información sobre sus dimensiones, condiciones constructivas y capacidad operativa.

Durante la inspección y el levantamiento técnico se identificaron diversos aspectos que sugieren posibles limitaciones en el desempeño del sistema, entre ellos indicios de sobrecarga hidráulica, manejo inadecuado de lodos, presencia de malos olores y potencial afectación del entorno inmediato. Estas condiciones evidencian la necesidad de realizar una evaluación técnica más

detallada que permita determinar si el sistema existente cumple con los criterios de diseño, operación y mantenimiento establecidos en la normativa sanitaria aplicable.

Estos indicios plantean interrogantes sobre la suficiencia del diseño original frente a las condiciones actuales de uso, las cuales han cambiado significativamente debido al aumento de la densidad poblacional del internado, a una mayor demanda de servicios higiénicos y a la carencia de registros técnicos actualizados sobre su funcionamiento. Si el diseño de la fosa no corresponde a las condiciones reales de carga hidráulica y orgánica, o si no cumple con los criterios establecidos en la Norma Técnica Obligatoria Nicaragüense NTON 05-027-05, es probable que el sistema no cumpla su función sanitaria, generando riesgos para la salud pública, impactos negativos en el suelo y el agua subterránea, y contraviniendo la normativa ambiental vigente.

La literatura técnica nacional e internacional advierte que las fallas en sistemas sépticos son frecuentes cuando no se respeta el volumen de retención, no se dispone de ventilación adecuada, se omite la impermeabilización de las cámaras o no se realiza el vaciado periódico de lodos (OMS, 2017; INAA, 2005). Estas fallas no solo afectan la eficiencia del tratamiento primario, sino que incrementan la probabilidad de contaminación del medio ambiente inmediato y aumentan los costos de operación correctiva.

En este contexto, se considera necesario evaluar el diseño hidráulico y estructural de la fosa séptica del internado de BICU con base en criterios técnicos normativos, condiciones de carga actual y características del entorno físico. Dicha evaluación permitirá identificar deficiencias, establecer riesgos asociados y proponer recomendaciones técnicas que garanticen la funcionalidad y sostenibilidad del sistema.

Pregunta de investigación

¿Cumple el diseño de la fosa séptica del internado de BICU con los criterios técnicos y normativos establecidos para garantizar un tratamiento seguro y eficiente de las aguas residuales domésticas generadas en la comunidad estudiantil?

VI. OBJETIVOS

6.1 Objetivo General

Analizar técnica y normativamente el sistema séptico existente en el internado de la Bluefields Indian & Caribbean University (BICU), mediante diagnóstico estructural, hidráulico, geotécnico y operativo, con el fin de formular, diseñar y comparar tres alternativas de mejora (Concreto Reforzado, Mampostería Confinada y Tanques Modulares) dimensionadas a un volumen útil de 141.12 m³, incorporando pozo de absorción y medidas de reforzamiento estructural adaptadas a las condiciones locales, para garantizar el cumplimiento de la NTON 05-027-05 y la sostenibilidad del sistema.

6.2 Objetivos Específicos

1. Realizar el diagnóstico técnico de la fosa séptica existente mediante levantamiento físico, inspección visual, mediciones directas y registro fotográfico.
2. Evaluar las condiciones geotécnicas del suelo en el área del sistema séptico, considerando nivel freático somero, suelos saturables y capacidad portante.
3. Determinar los parámetros hidráulicos y volumétricos del sistema con base en una población de 196 estudiantes, estableciendo un volumen óptimo de 141.12 m³.
4. Formular, diseñar y comparar técnicamente tres alternativas constructivas (Concreto Reforzado, Mampostería Confinada y Tanques Modulares), incluyendo análisis estructural, presupuestario, cronogramas y vistas 3D.
5. Elaborar un programa trienal de mantenimiento y vaciado conforme a la normativa ambiental y a las condiciones geotécnicas del sitio.

VII. ESTADO DEL ARTE

7.1. Conceptos Introductorios

La comprensión precisa de los conceptos técnicos vinculados al diseño y evaluación de fosas sépticas resulta esencial para contextualizar esta investigación dentro del campo de la ingeniería hidrosanitaria. Las fosas sépticas constituyen una tecnología clave en la gestión descentralizada de aguas residuales, particularmente en áreas sin cobertura de alcantarillado, y su desempeño está directamente ligado a criterios normativos, hidráulicos, sanitarios y constructivos.

7.1.1. Fosa séptica: definición y función técnica

La fosa séptica es una unidad de tratamiento primario destinada a la separación física y transformación parcial de las aguas residuales domésticas por medio de procesos de sedimentación y digestión anaerobia. Su propósito es reducir el contenido de sólidos suspendidos y materia orgánica antes de que el efluente sea descargado en el subsuelo o en unidades de tratamiento secundario (Von Sperling & Chernicharo, 2005).

Desde el punto de vista funcional, la fosa séptica actúa como un reactor biológico anaerobio de flujo horizontal discontinuo, cuyo rendimiento depende de parámetros como el tiempo de retención hidráulico (TRH), la temperatura, la relación entre volumen y carga, la eficiencia de separación de fases y la remoción de sólidos sedimentables. Su eficiencia en términos de DBO5 es limitada (20–50%), por lo que no constituye una solución de tratamiento completa sino un sistema preliminar (Chernicharo, 2007).

7.1.2. Parámetros técnicos críticos en el diseño

El diseño hidráulico y estructural de una fosa séptica debe considerar una serie de parámetros normativos y empíricos establecidos para asegurar su funcionamiento eficiente y seguro. Según la NTON 05-027-05 (INAA, 2005), los elementos clave del diseño son:

- **Volumen útil total:** calculado en función del número de usuarios y caudal medio diario. De manera general se estima entre 150 y 200 litros por persona para viviendas permanentes, considerando además el tiempo de retención mínimo (24 a 36 horas).
- **Número de cámaras:** mínimo dos, para asegurar la decantación en la primera y la digestión anaerobia en la segunda. Cámaras únicas son menos eficientes y tienden a colapsar con mayor frecuencia.
- **Tiempo de retención hidráulico (TRH):** determina la duración del contacto de las aguas residuales con los microorganismos anaerobios. Un TRH insuficiente provoca arrastre de sólidos al efluente.
- **Ventilación:** esencial para liberar gases producidos por la digestión anaerobia (metano, sulfuro de hidrógeno) y evitar sobrepresiones internas.
- **Impermeabilización:** tanto el fondo como los muros deben ser impermeables para prevenir infiltraciones al subsuelo que puedan contaminar aguas subterráneas.
- **Disposición de lodos:** debe preverse una frecuencia de extracción de lodos acumulados, generalmente cada 1 a 3 años. En algunos casos como zonas rurales hasta 5 años., dependiendo de la carga orgánica.

Un mal dimensionamiento, deficiente ventilación o errores en la disposición final del efluente pueden comprometer severamente la eficacia del sistema, generando impactos sanitarios y ambientales.

7.1.3. Normativa técnica aplicable

En Nicaragua, la Norma Técnica Obligatoria NTON 05-027-05 regula el diseño y construcción de sistemas sépticos en zonas rurales y semiurbanas. Establece requerimientos mínimos en cuanto a distancias de protección, ubicación, materiales de construcción, acceso para mantenimiento, y criterios de dimensionamiento hidráulico. La norma exige además la supervisión técnica por parte de profesionales competentes en su diseño y ejecución (INAA, 2005).

Adicionalmente, el Acuerdo Ministerial No. 65-94 del MINSA, que aprueba las Normas de Calidad del Agua Potable de CAPRE, establece límites de protección para evitar contaminación de fuentes de abastecimiento por infiltraciones de aguas residuales, lo cual obliga a asegurar una distancia mínima de 30 metros entre la fosa y cualquier pozo o fuente de agua para consumo humano.

En el ámbito internacional, la Organización Mundial de la Salud (OMS) y la Organización Panamericana de la Salud (OPS) han establecido criterios técnicos y recomendaciones sobre la ubicación, operación y mantenimiento de sistemas descentralizados, en función de condiciones climáticas, edafológicas y socioterritoriales (WHO, 2017).

7.1.4. Evaluación hidrosanitaria: enfoques y criterios

La evaluación hidrosanitaria de una fosa séptica consiste en el análisis integral de su desempeño estructural, hidráulico, operativo y normativo. Los principales enfoques incluyen:

- ***Inspección técnica estructural:*** revisión del estado físico del sistema (grietas, infiltraciones, deterioro de los sellos hidráulicos).
- ***Análisis hidráulico: cálculo*** del TRH y verificación de la capacidad frente a la carga actual de usuarios.
- ***Evaluación de eficiencia operativa:*** revisión de la frecuencia de mantenimiento, presencia de olores, obstrucciones y retorno de aguas negras.
- ***Conformidad normativa:*** comparación con los criterios de diseño establecidos en la NTON 05-027-05 y normas internacionales.

Dado que en muchas zonas rurales e institucionales los sistemas sépticos han sido construidos de forma empírica o sin supervisión técnica, la evaluación hidrosanitaria es fundamental para diagnosticar su funcionamiento real y orientar acciones de rehabilitación o rediseño.

7.2. Análisis de estudios

La revisión crítica de estudios previos permite identificar las tendencias, enfoques metodológicos, vacíos técnicos y hallazgos relevantes sobre el diseño, evaluación y funcionamiento de sistemas sépticos en contextos institucionales similares al objeto de estudio. Esta sección expone de forma analítica una selección de investigaciones nacionales e internacionales, centradas en sistemas de tratamiento descentralizado, especialmente fosas sépticas en centros educativos, rurales o de alta densidad de uso.

7.2.1. Estudios nacionales sobre diseño y fallas de fosas sépticas institucionales

En el contexto nicaragüense, los estudios técnicos sobre evaluación hidrosanitaria de fosas sépticas son escasos y se centran en informes institucionales, trabajos de grado y diagnósticos ambientales. El Instituto Nicaragüense de Acueductos y Alcantarillados (INAA) ha señalado en diagnósticos técnicos que la mayoría de los sistemas sépticos en zonas rurales y suburbanas presentan deficiencias de diseño, particularmente por falta de supervisión profesional durante la construcción, inadecuado dimensionamiento hidráulico y mantenimiento irregular (INAA, 2005).

En el ámbito académico, estudios realizados en universidades como la UNAN-León y la UNI han documentado fallas estructurales y operativas en fosas sépticas de centros escolares y viviendas evidenciando rebose de aguas negras, contaminación de pozos y deterioro progresivo del sistema por falta de extracción de lodos. Las causas principales señaladas fueron el subdimensionamiento frente al número real de usuarios, la inexistencia de cámaras múltiples y la ausencia de registros técnicos que permitan el monitoreo del sistema.

7.2.2. Experiencias regionales (Centroamérica y Caribe) en entornos educativos

En países de la región centroamericana como Honduras, El Salvador y Costa Rica, se han desarrollado investigaciones y proyectos piloto sobre tecnologías de saneamiento descentralizado. Un estudio realizado por la Universidad Nacional de Costa Rica (2020) en internados indígenas reveló que más del 60 % de los sistemas sépticos evaluados no cumplían con la normativa nacional

debido a sobrecarga hidráulica, insuficiente ventilación y disposición final inadecuada. Se recomendó integrar sistemas de tratamiento complementario como zanjas de infiltración o biofiltros, así como capacitación en operación y mantenimiento.

En el Caribe, estudios de caso en islas como San Vicente y las Granadinas, y Dominica, han documentado la vulnerabilidad de sistemas sépticos institucionales frente a condiciones climáticas extremas y su relación con la contaminación de acuíferos costeros. El Banco Interamericano de Desarrollo (BID) ha financiado proyectos de rehabilitación de infraestructura sanitaria en contextos similares, destacando la importancia de realizar auditorías técnicas antes de ampliaciones de cobertura poblacional.

7.2.3. Evaluaciones técnicas de fosas sépticas en internados y centros de alta densidad de uso

Los sistemas sépticos diseñados para residencias estudiantiles o internados presentan desafíos particulares, debido a su uso intensivo, caudales variables y alta concentración de materia orgánica. Estudios realizados en Colombia (Díaz et al., 2019) y Perú (Sánchez & Ramos, 2021) han evaluado sistemas de tratamiento primario en residencias universitarias, detectando fallas recurrentes por sobredimensionamiento vertical, tiempo de retención insuficiente y materiales inadecuados para condiciones edafológicas locales.

En todos los casos analizados, se recomienda la aplicación de auditorías estructurales, cálculo actualizado del TRH con base en aforos reales, y rediseño del sistema conforme a las cargas actuales y futuras. También se señala la necesidad de integrar el diseño hidrosanitario con planes de mantenimiento programado y monitoreo periódico del estado funcional del sistema.

7.2.4. Enfoques internacionales sobre evaluación de eficiencia y adecuación de sistemas sépticos

La literatura internacional proporciona modelos y protocolos para la evaluación técnica de sistemas sépticos. La Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA) ha

desarrollado guías para la evaluación del rendimiento de unidades sépticas, basadas en análisis estructurales, pruebas de infiltración, análisis de efluente y registros operativos (EPA, 2002). En países como India y Filipinas, se han aplicado enfoques comunitarios de diagnóstico participativo y mapeo de riesgos sanitarios asociados a la falla de sistemas descentralizados (WaterAid, 2018). La Organización Mundial de la Salud (WHO, 2017) enfatiza la importancia de la evaluación del riesgo sanitario y la necesidad de adaptar el diseño de sistemas sépticos a condiciones geohidrológicas locales. Propone como criterios de evaluación: la conformidad estructural, la eficiencia en remoción de DBO5 y SST, la frecuencia de mantenimiento, y el grado de exposición humana al efluente tratado o no tratado.

7.2.5. Comparación crítica entre estudios revisados

A partir del análisis de estudios revisados, se identifican patrones comunes de fallas: diseño empírico no validado técnicamente, ausencia de cámaras múltiples, deficiente ventilación, sobredimensionamiento vertical y subdimensionamiento volumétrico, y falta de programas de mantenimiento preventivo. Asimismo, se observan diferencias en cuanto al grado de adaptación tecnológica al entorno, uso de materiales disponibles localmente y niveles de cumplimiento normativo.

Este estudio toma como base crítica estas experiencias para enfocar su evaluación en la relación entre la carga real de usuarios del internado de BICU, el TRH efectivo, la configuración estructural existente y su correspondencia con los estándares técnicos definidos por la normativa nacional e internacional.

7.3. Reflexión final

El análisis de los estudios técnicos revisados, tanto en el ámbito nacional como internacional, permite establecer una base sólida para la comprensión de los factores críticos que inciden en la funcionalidad, sostenibilidad y adecuación técnica de las fosas sépticas en contextos institucionales de alta densidad, como es el caso del internado de BICU en Bluefields. A partir de

esta revisión se evidencia que, si bien las fosas sépticas constituyen una solución ampliamente utilizada en áreas con acceso limitado a sistemas de alcantarillado, su efectividad depende directamente de una correcta correlación entre diseño hidráulico, condiciones operativas, contexto físico y mantenimiento técnico.

Una conclusión clave de la revisión es que la mayoría de los estudios coinciden en señalar que las fallas en fosas sépticas institucionales derivan principalmente de:

- Deficiencias estructurales y errores de diseño (sobredimensionamiento vertical, TRH insuficiente, cámaras únicas).
- Ausencia de una evaluación técnica post-implementación que permita ajustar el diseño a las condiciones reales de uso.
- Desconocimiento o incumplimiento de la normativa técnica nacional.
- Escasa planificación del mantenimiento, lo que conduce a saturación de lodos, rebose o retorno de aguas negras.

En función de estos hallazgos y considerando las características propias del caso de estudio, se seleccionan los siguientes enfoques metodológicos para desarrollar la evaluación:

1. Evaluación técnico-estructural del sistema existente
2. Análisis hidráulico y funcional
3. Conformidad normativa
4. Diagnóstico operativo y de mantenimiento
5. Análisis de riesgos y recomendaciones técnicas

Este enfoque mixto, de carácter técnico-descriptivo y diagnóstico, permitirá no solo identificar la situación actual del sistema séptico del internado de BICU, sino también establecer los requerimientos técnicos para su rediseño, rehabilitación o adecuación conforme a estándares normativos y al uso real del sistema. De esta manera, se contribuye a mejorar la infraestructura sanitaria institucional y se promueve la sostenibilidad ambiental en el contexto universitario.

El análisis del estado del arte revela una brecha importante entre la teoría y la práctica en el diseño y operación de fosas sépticas en contextos institucionales del Caribe nicaragüense. La mayoría de los estudios consultados coinciden en que las fallas más frecuentes derivan de: subdimensionamiento volumétrico, número insuficiente de cámaras, ausencia de impermeabilización, falta de drenaje perimetral y mantenimiento irregular.

En el caso específico del internado de BICU, estas brechas se manifiestan con mayor crudeza debido a las condiciones geotécnicas locales (suelos blandos saturables y nivel freático somero) y al incremento real de la población usuaria (196 estudiantes).

La presente investigación cierra estas brechas mediante:

- Un diagnóstico técnico basado en levantamiento físico real (marzo 2025)
- Dimensionamiento actualizado a 141.12 m³
- Diseño de tres alternativas constructivas comparadas
- Incorporación de pozo de absorción
- Un programa trienal de mantenimiento

De esta forma, se aporta no solo un caso de estudio local, sino una propuesta metodológica replicable para otras instituciones educativas en zonas costeras con condiciones geotécnicas y climáticas similares.

VIII. DISEÑO METODOLÓGICO

8.1 Área de localización del estudio

El presente estudio se desarrollará en el municipio de Bluefields, cabecera de la Región Autónoma de la Costa Caribe Sur (RACCS), en la República de Nicaragua. La evaluación se centró específicamente en las instalaciones del internado de la Bluefields Indian & Caribbean University (BICU), campus Bluefields, donde se localiza la fosa séptica objeto de análisis.

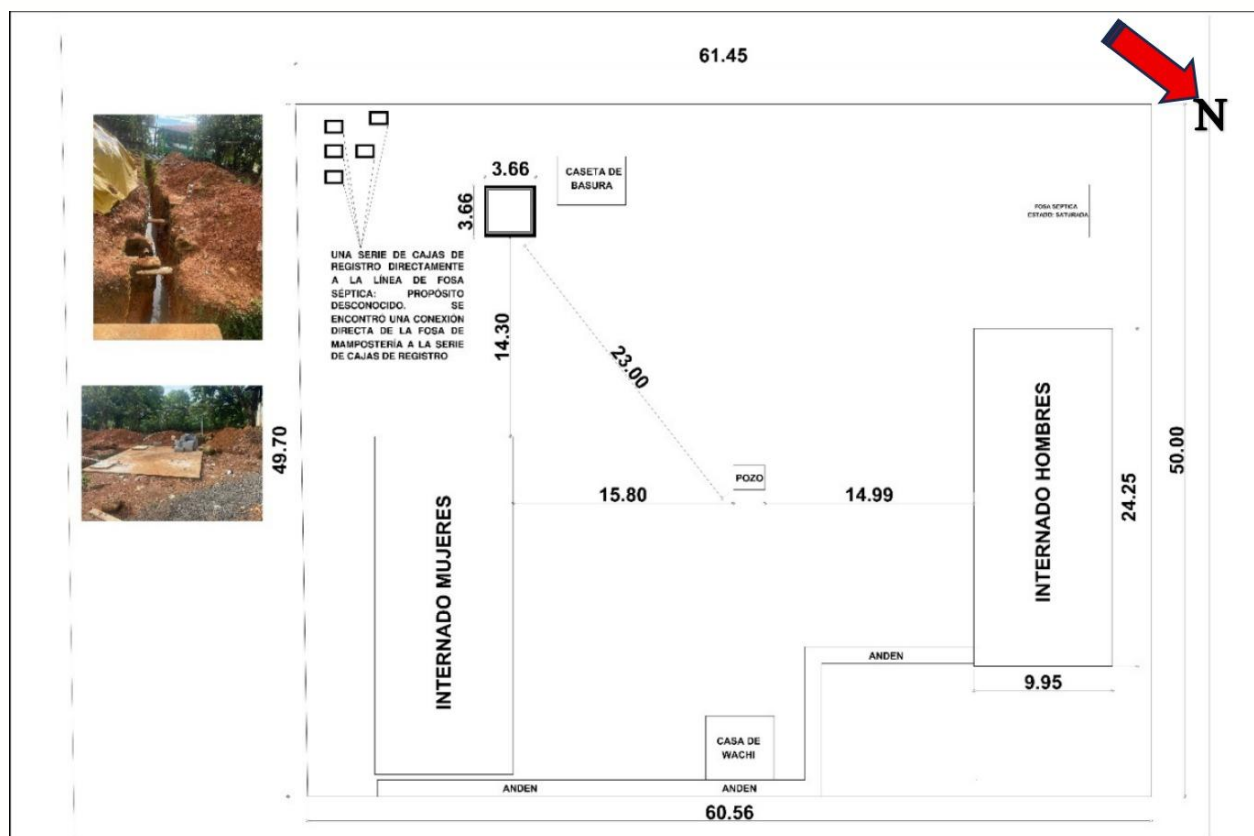


Figura 1. Plano de localización del sistema séptico y distribución de infraestructura sanitaria en el área del internado de la Bluefields Indian & Caribbean University (BICU), Bluefields, RACCS.

Fuente: Elaboración propia con base en datos de campo recolectados en el internado de BICU, agosto-septiembre de 2025.

- a) **Tipo de zona:** El área de estudio se localiza específicamente dentro del internado de la Bluefields Indian & Caribbean University (BICU), situado en el casco urbano de la ciudad

de Bluefields, en la Región Autónoma de la Costa Caribe Sur (RACCS). Este espacio forma parte de las instalaciones universitarias destinadas a la residencia estudiantil y se encuentra inserto en un entorno urbano consolidado, colindante con sectores residenciales y algunas áreas de actividad comercial. A pesar de su ubicación dentro del área urbana, el entorno inmediato del internado presenta características socioambientales propias de contextos semiurbanos, tales como limitaciones en infraestructura de saneamiento y gestión de aguas residuales.

- b) Extensión de la superficie a estudiar:** La delimitación del área de estudio se realizó mediante un levantamiento físico del sitio y la elaboración de un plano de localización, en el cual se identifican las edificaciones del internado, la fosa séptica existente, el pozo de abastecimiento de agua y otros elementos de infraestructura asociados al sistema sanitario. De acuerdo con las mediciones obtenidas durante este levantamiento, el terreno donde se ubica el internado presenta dimensiones aproximadas de 61.45 m por 60.56 m, lo que representa una superficie cercana a 3,700 m², dentro de la cual se localiza el sistema de tratamiento de aguas residuales actualmente en funcionamiento.

Para efectos del análisis técnico del sistema séptico, el área inmediata de intervención se concentra en el sector donde se ubican las edificaciones del internado y su infraestructura sanitaria asociada, correspondiente a un área aproximada de 500 m², donde se desarrollan las actividades de diagnóstico y evaluación del sistema existente.

Por otra parte, la zona de influencia indirecta comprende el área del campus central de la Bluefields Indian & Caribbean University (BICU), que abarca aproximadamente 12 hectáreas, debido a que el sistema de saneamiento forma parte de la infraestructura sanitaria institucional y su funcionamiento puede influir en las condiciones ambientales, sanitarias y operativas del conjunto del campus universitario.

- c) Caracterización de la infraestructura y servicios disponibles:** El internado universitario de BICU en Bluefields cuenta con infraestructura educativa, administrativa, residencial y

recreativa. Posee acceso a servicios básicos como energía eléctrica, agua potable mediante sistema público, vías de acceso vehicular y cobertura celular. Sin embargo, el sistema de saneamiento no está conectado al alcantarillado municipal y depende de sistemas individuales, como la fosa séptica objeto de estudio.

- d) Condiciones socioeconómicas de la población:** La comunidad universitaria del internado está compuesta en su mayoría por estudiantes provenientes de comunidades rurales e indígenas de la Costa Caribe nicaragüense, caracterizados por ingresos bajos, alta dependencia de becas y limitaciones en acceso a servicios básicos. Estas condiciones hacen que cualquier falla en la infraestructura sanitaria represente un riesgo significativo para su bienestar y permanencia académica.
- e) Aspectos culturales y sociales:** La población estudiantil de BICU es multiétnica y multicultural, incluyendo estudiantes afrodescendientes (creoles, garífunas), indígenas (miskitus, mayangnas, ramas) y mestizos. Esta diversidad se refleja en sus prácticas sociales, relaciones comunitarias y percepciones sobre el saneamiento. Por tanto, el abordaje técnico debe considerar un enfoque intercultural, pertinente y participativo.
- f) Institucionalidad y administración sectorial/local:** La administración del internado y su infraestructura sanitaria recae en la Dirección de Asuntos Estudiantiles de BICU. Existen coordinaciones puntuales con la Dirección Académica, la Unidad de Seguridad y Salud Universitaria y la Alcaldía Municipal de Bluefields, especialmente para la disposición de lodos sépticos. La gestión ambiental se encuentra en proceso de fortalecimiento.

Este contexto geográfico, institucional y sociocultural configura un entorno específico donde la solución técnica al problema detectado (evaluación y posible rediseño de la fosa séptica) no solo es factible, sino urgente y prioritaria para garantizar condiciones dignas de habitabilidad estudiantil, prevenir riesgos sanitarios y contribuir a la sostenibilidad ambiental institucional.

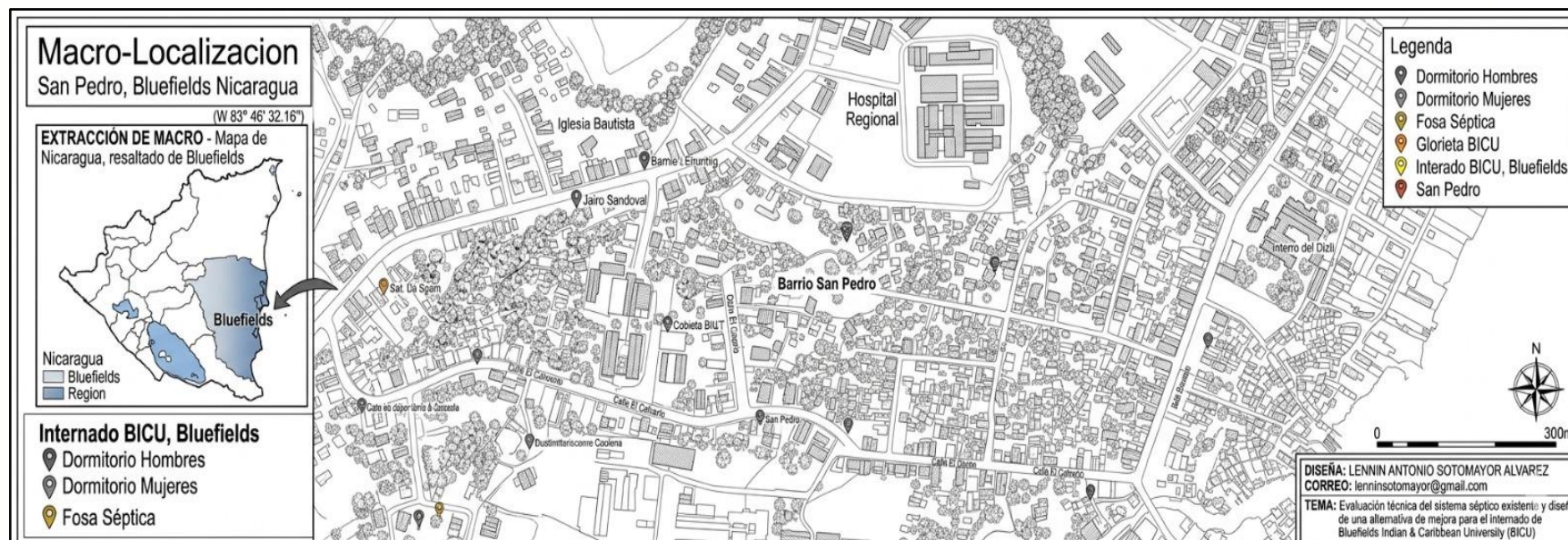


Figura 2. Macro-localización del internado de BICU y ubicación del sistema séptico existente en el barrio San Pedro, Bluefields, Nicaragua.

Fuente: Elaboración propia con base en datos de campo recolectados en el internado de BICU, agosto-septiembre de 2025.

“La educación es la mejor opción para el desarrollo de los pueblos.”

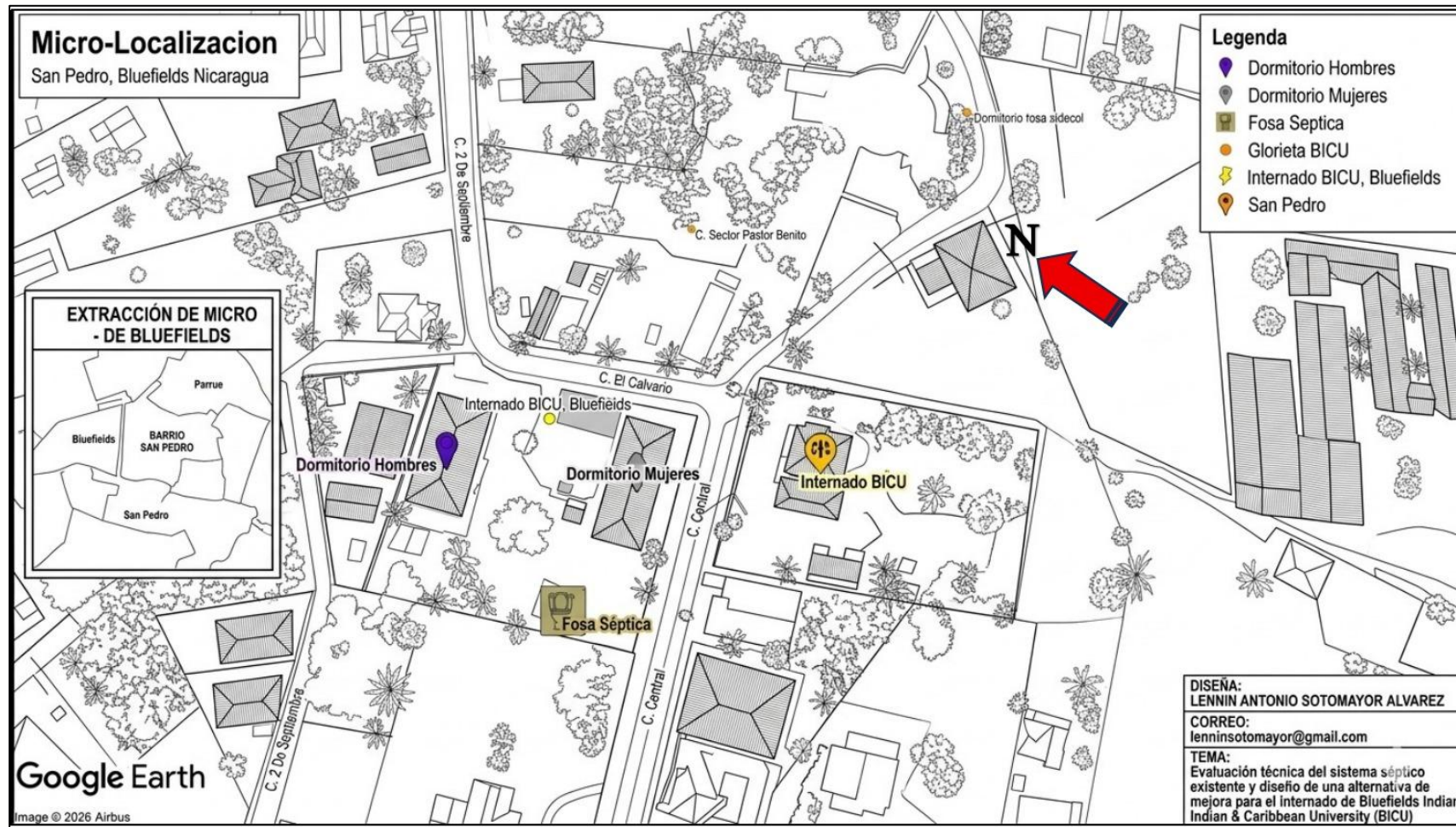


Figura 3. Micro-localización del internado de BICU y ubicación específica de la fosa séptica existente en el barrio San Pedro, Bluefields.

Fuente: Elaboración propia con base en datos de campo recolectados en el internado de BICU, agosto-septiembre de 2025.

“La educación es la mejor opción para el desarrollo de los pueblos.”

8.2 Tipo de estudio según el enfoque, amplitud o período

El presente estudio se desarrolló bajo un enfoque cuantitativo, fundamentado en la recopilación sistemática de datos técnicos mediante mediciones de campo, revisión documental y análisis de parámetros hidráulicos asociados al funcionamiento del sistema séptico del internado de BICU. Para ello, se realizó el levantamiento del sistema existente, la identificación de sus dimensiones y condiciones operativas, así como la estimación de variables de diseño como población usuaria, caudal de aguas residuales y volumen de almacenamiento requerido.

Los datos obtenidos fueron analizados y comparados con los criterios establecidos en la Norma Técnica Obligatoria Nicaragüense (NTON) para sistemas sépticos, con el propósito de evaluar la adecuación del sistema actual respecto a los parámetros de diseño sanitario. Este enfoque permitió identificar posibles deficiencias en el dimensionamiento y funcionamiento del sistema, así como sustentar técnicamente la necesidad de mejoras o ajustes en su diseño.

En cuanto a su nivel de profundidad, la investigación se clasifica como descriptiva-explicativa. Es descriptiva porque sistematiza información técnica sobre la situación actual del sistema séptico del internado de BICU, a partir de una inspección técnica y el levantamiento de campo del tanque séptico existente, mediante los cuales se identificaron sus dimensiones, capacidad volumétrica, caudales estimados, tiempo de retención hidráulica, estado estructural y condiciones operativas. Este proceso permitió recopilar datos y evidencias que facilitan el diagnóstico del estado actual del sistema, en correspondencia con el objetivo específico orientado a evaluar su funcionamiento.

Asimismo, el estudio incorpora un componente explicativo, ya que analiza las posibles relaciones entre las deficiencias observadas en el diseño hidráulico y estructural del sistema y los problemas operativos y sanitarios identificados durante la inspección. De esta manera, se establecen fundamentos técnicos que permiten explicar las causas de dichas limitaciones y sustentar la necesidad de implementar mejoras o ajustes en el sistema de tratamiento de aguas residuales del internado.

Respecto a la amplitud temporal, el estudio se desarrolla durante el año 2025, considerando un diseño de corte transversal, ya que el análisis técnico del sistema séptico se realiza a partir de un diagnóstico efectuado en un período específico dentro de ese año, sin seguimiento en múltiples momentos temporales. Este enfoque permite evaluar las condiciones actuales de funcionamiento del sistema, incluyendo su diseño hidráulico, estado estructural y capacidad operativa.

A partir de este diagnóstico se identifican posibles deficiencias técnicas y se formulan alternativas de solución orientadas a la mejora, rehabilitación o rediseño del sistema séptico, conforme a los criterios establecidos en la normativa sanitaria vigente. Asimismo, los resultados obtenidos podrán servir como línea base para futuros estudios longitudinales que evalúen el desempeño del sistema una vez implementadas las mejoras propuestas.

8.3 Población, muestra

La población objeto de estudio está constituida por el sistema séptico que presta servicio al internado de la Bluefields Indian & Caribbean University (BICU) y por las condiciones operativas asociadas a su funcionamiento dentro de la residencia estudiantil. En este sentido, la unidad de análisis se centra en la infraestructura del sistema de tratamiento de aguas residuales y en los factores que inciden en su desempeño, tales como la población usuaria del internado, las condiciones de uso del sistema y su estado operativo general. El análisis se orienta a evaluar el funcionamiento del sistema séptico existente y su adecuación a los criterios técnicos establecidos en la normativa sanitaria aplicable, con el propósito de identificar posibles limitaciones en su desempeño y fundamentar técnicamente la necesidad de mejoras o ajustes en su diseño y operación.

La población humana asociada al sistema de saneamiento está conformada por 196 estudiantes residentes en el internado durante el año académico 2025, quienes constituyen los principales usuarios del sistema séptico instalado en las instalaciones de la Bluefields Indian & Caribbean University (BICU). Asimismo, se considera al personal administrativo y de mantenimiento responsable de la infraestructura sanitaria, quienes participan en las actividades de operación y

mantenimiento del sistema. La identificación de estos actores permite contextualizar las condiciones reales de uso del sistema séptico y estimar la carga de aguas residuales generada por la población residente del internado.

8.3.1 Inventario de baterías sanitarias del Internado de BICU, Bluefields

Como parte del diagnóstico técnico del sistema sanitario del internado de la Bluefields Indian & Caribbean University (BICU), se realizó un levantamiento de la infraestructura sanitaria existente, con el propósito de identificar la capacidad instalada de servicios higiénicos y su relación con la población residente. Este inventario permitió determinar la cantidad de unidades sanitarias disponibles, su distribución por edificio y planta, así como evaluar su correspondencia con la cantidad de usuarios que hacen uso del sistema.

El internado se encuentra conformado por dos edificaciones principales destinadas al alojamiento estudiantil: Casa de Mujeres y Casa de Varones, las cuales presentan la siguiente capacidad de alojamiento y disponibilidad de baterías sanitarias.

Tabla 1. Inventario de servicios sanitarios del internado de BICU

Edificio	Planta	Cantidad de baños	Cantidad de inodoros	Capacidad de residentes
Casa de mujeres	Primera planta	3	3	92 personas
	Segunda planta	14	14	
Casa de varones	Primera planta	4	4	60 personas
	Segunda planta	4	4	

Fuente: Elaboración propia con base en datos de campo recolectados en el internado de BICU, agosto-septiembre de 2025.

En términos generales, el internado presenta una capacidad total aproximada de 196 residentes, un guarda de seguridad con intercambio cada 12 horas (2 por días), un supervisor y responsable del internado en horario extendido lo cual implica una demanda significativa sobre la infraestructura sanitaria existente y, consecuentemente, sobre el sistema de tratamiento de aguas residuales. Con una dotación per cápita de 150 Lt/día – 200 Lt/día.

El análisis preliminar del inventario sanitario evidencia una distribución desigual de las baterías sanitarias, particularmente en la primera planta de la Casa de Mujeres, donde la disponibilidad de unidades sanitarias resulta limitada en relación con la población usuaria. Asimismo, en la Casa de Varones, tanto en la primera como en la segunda planta, la cantidad de servicios sanitarios disponibles sugiere la necesidad de evaluar su adecuación respecto a los estándares técnicos de dotación sanitaria.

A partir de esta evaluación, se identifica la necesidad de ampliar la batería sanitaria en la primera planta de la Casa de Mujeres y en ambas plantas de la Casa de Varones, con el fin de mejorar las condiciones de higiene y reducir la presión sobre el sistema sanitario existente. Adicionalmente, este inventario constituye un insumo fundamental para el dimensionamiento hidráulico del sistema séptico propuesto, dado que la cantidad de usuarios y la disponibilidad de unidades sanitarias inciden directamente en el volumen de aguas residuales generadas y en los parámetros de diseño del sistema de tratamiento.

8.3.2 Tipo de muestra y muestreo

Dado que el objeto central de investigación es una unidad técnica única (la fosa séptica del internado), el muestreo aplicado será de carácter no probabilístico intencional. Esto se debe a que no se seleccionó un subconjunto aleatorio de infraestructuras, sino que se estudiará directamente el sistema en cuestión, el cual concentra la problemática identificada.

Para los actores humanos, se seleccionó una muestra de informantes clave mediante un muestreo no probabilístico por conveniencia, incluyendo:

1. Estudiantes residentes que hacen uso diario de las instalaciones sanitarias.
2. Personal de mantenimiento del campus, directamente vinculado a la limpieza y gestión del sistema.
3. Autoridades administrativas responsables de la infraestructura institucional.

Este tipo de muestreo se justifica porque los informantes poseen experiencia directa y conocimiento especializado sobre el funcionamiento operativo del sistema séptico, garantizando información válida y contextualizada.

8.3.3 Técnicas e instrumentos de la investigación

Para obtener los datos necesarios se emplearon las siguientes técnicas e instrumentos:

- **Observación estructurada:** mediante una lista de verificación técnica basada en la NTON 05-027-05 y normas internacionales de saneamiento. Permitirá recolectar datos sobre dimensiones, materiales, estado físico, ventilación, sellos hidráulicos y condiciones de impermeabilización.
- **Aforos y mediciones hidráulicas:** se aplicó el cálculo de caudal afluente con base en el número de usuarios y el consumo estimado de agua por persona. Instrumento: registro volumétrico y tablas de consumo per cápita normativo.
- **Entrevistas semiestructuradas:** aplicadas a estudiantes, personal de mantenimiento y responsables administrativos. Instrumento: guías de entrevista validadas previamente, orientadas a identificar percepciones sobre fallas, prácticas de mantenimiento y riesgos percibidos.
- **Registro fotográfico y levantamiento planimétrico:** para documentar la ubicación, distribución de componentes y estado actual del sistema. Instrumento: cámara digital, croquis técnicos y software de diseño asistido.
- **Revisión documental:** análisis de planos originales, registros de mantenimiento, y normativa aplicable. Instrumento: matriz de análisis documental.

Con esta combinación de técnicas e instrumentos se asegura una recolección de datos integral, que articula la inspección física con la percepción de los actores humanos, garantizando una visión completa del desempeño del sistema séptico objeto de estudio.

8.4 Diseño

El diseño metodológico de esta investigación articula un conjunto de procedimientos sistemáticos y rigurosos orientados a garantizar la recolección, análisis y validación de la información necesaria para evaluar el diseño de la fosa séptica del internado de BICU. Se adoptará un diseño no experimental de tipo transversal, con base en técnicas de observación, entrevistas y análisis documental, complementadas con cálculos hidráulicos y estructurales. La integración de fuentes primarias y secundarias permitirá construir un diagnóstico integral y confiable del estado actual del sistema.

8.4.1 Recolección de Datos

La recolección de información se estructura en dos niveles:

- **Fuentes primarias:** corresponden a los datos obtenidos directamente en campo mediante la aplicación de instrumentos diseñados para esta investigación. Incluyen:
 - ✓ Listas de verificación técnica aplicadas durante la inspección estructural e hidráulica de la fosa séptica.
 - ✓ Entrevistas semiestructuradas a estudiantes residentes, personal de mantenimiento y responsables administrativos.
 - ✓ Registros fotográficos y en el área del internado.
 - ✓ Normativa nacional vigente (NTON 05-027-05, Acuerdo Ministerial No. 65-94).
- **Fuentes secundarias:** consisten en la información recopilada de documentos, estudios y literatura científica que permiten contrastar los hallazgos de campo con antecedentes normativos y técnicos. Incluyen:
 - ✓ Guías internacionales (OMS, EPA, OPS). Entre ellas se consideran las Guidelines for the Safe Use of Wastewater, Excreta and Greywater de la Organización Mundial de la Salud (OMS), el manual Onsite Wastewater Treatment Systems Manual de la United States

Environmental Protection Agency (EPA) y las Guías para el manejo seguro de excretas y aguas residuales en sistemas de saneamiento descentralizado de la Organización Panamericana de la Salud (OPS).

- ✓ Estos documentos establecen criterios técnicos relacionados con el diseño, operación, mantenimiento y control sanitario de sistemas sépticos y otras tecnologías de saneamiento in situ.
- ✓ Planos arquitectónicos y registros de mantenimiento proporcionados por la universidad.
- ✓ Estudios previos sobre sistemas sépticos en contextos similares: se revisaron investigaciones académicas, informes técnicos y estudios aplicados relacionados con el diseño, funcionamiento y evaluación de sistemas sépticos en entornos institucionales, rurales y semiurbanos. Estos antecedentes no forman parte de los resultados empíricos de la presente investigación, sino que fueron utilizados como referentes técnicos y comparativos para la construcción del capítulo de discusión, permitiendo contrastar los hallazgos obtenidos en el diagnóstico del sistema séptico del internado de BICU con experiencias y resultados reportados en otros estudios similares.

La combinación de estas fuentes asegura una base de datos robusta que facilita el análisis comparativo entre el diseño teórico y las condiciones reales de operación.

8.4.2 Criterios de calidad: credibilidad, confiabilidad

Para garantizar la calidad metodológica de la investigación, se aplicaron los siguientes criterios:

- **Credibilidad:**
 - ✓ Validación de instrumentos a través de una prueba piloto en un sistema séptico institucional similar.
 - ✓ Triangulación de información obtenida mediante diferentes técnicas (observación, entrevistas, revisión documental).
 - ✓ Inclusión de informantes clave directamente vinculados al uso y mantenimiento del sistema.

- **Confiabilidad:**

- ✓ Aplicación estandarizada de las listas de verificación y guías de entrevistas para reducir sesgos de medición.
- ✓ Recolección de datos por duplicado en las mediciones hidráulicas y volumétricas.
- ✓ Registro detallado y sistematizado en matrices de análisis para asegurar consistencia.

Estos procedimientos fortalecen la validez interna del estudio y garantizan que los resultados reflejen con precisión la situación real del sistema séptico del internado de BICU, contribuyendo a la replicabilidad y utilidad práctica de los hallazgos.

8.5 Operacionalización de variables

Variable	Concepto operativo	Instrumento de medición	Unidades	Frecuencia de monitoreo
Objetivo específico 1: Realizar el diagnóstico técnico de la fosa séptica existente mediante levantamiento físico, inspección visual, mediciones directas y registro fotográfico.				
Número y configuración de cámaras	Cantidad de compartimientos internos y su disposición según criterios normativos	Inspección in situ y levantamiento planimétrico	Número de cámaras y dimensiones	Una vez (medición directa)
Impermeabilización y sellos hidráulicos	Presencia de recubrimientos y sellos que eviten infiltraciones o fugas	Lista de chequeo e inspección visual	Presencia/ausencia de filtraciones	Una vez (inspección en campo)
Sistema de ventilación	Existencia y funcionalidad del sistema de	Inspección visual y lista de verificación	Existencia y altura de la chimenea	Una vez (verificación puntual)

Variable	Concepto operativo	Instrumento de medición	Unidades	Frecuencia de monitoreo
	liberación de gases anaerobios			
Objetivo específico 2: Evaluar las condiciones geotécnicas del suelo en el área del sistema séptico, considerando nivel freático somero, suelos saturables y capacidad portante.				
Caudal unitario de diseño (q)	Consumo per cápita diario estimado para servicios higiénicos de población residente.	Revisión normativa y matriz de cálculo.	L/persona·día	Revisión anual o ante cambios de uso.
Población de diseño y proyección (N, N _p)	Número actual de residentes y proyección al horizonte de diseño (p. ej., 5–10 años).	Registro institucional del internado y proyección demográfica.	Personas	Semestral (actualización de matrícula).
Factor de pico (Fp)	Coefficiente que ajusta caudales medios a condiciones máximas de uso.	Matriz de cálculo con supuestos operativos.	Adimensional	Una vez; revisar anualmente los supuestos.
Tiempo de retención hidráulico (TRH)	Tiempo mínimo requerido para sedimentación y	Cálculo hidráulico y contraste con	Horas	Una vez (revisión en el rediseño).

Variable	Concepto operativo	Instrumento de medición	Unidades	Frecuencia de monitoreo
	digestión parcial en cámaras.	parámetros de diseño.		
Volumen útil requerido (V)	Capacidad mínima del sistema para cubrir Q ajustado y TRH.	Hoja de cálculo ($V = Q \cdot TRH$).	m^3	Una vez (cálculo base); revisión bienal.
Coefficiente de acumulación de lodos (k_l)	Tasa de generación de lodos por habitante para el horizonte entre limpiezas.	Hoja de cálculo y registros de mantenimiento.	L/persona·año	Revisar en cada extracción de lodos.
Volumen para lodos (V_l)	Volumen adicional para almacenar lodos entre vaciados.	Hoja de cálculo ($V_l = k_l \cdot N_p \cdot \text{años}$).	m^3	Una vez (ajuste si cambia la frecuencia de vaciado).
Volumen total de diseño (V_t)	Suma del volumen útil hidráulico y el volumen para lodos.	Hoja de cálculo ($V_t = V + V_l$).	m^3	Una vez (cálculo base); auditoría bienal.
Eficiencia esperada del pretratamiento	Porcentaje teórico de remoción de DBO5/SST	Modelo de referencia y	%	Una vez (verificación)

Variable	Concepto operativo	Instrumento de medición	Unidades	Frecuencia de monitoreo
	asociado al TRH y número de cámaras.	matriz de cálculo.		en auditoría técnica).
Sensibilidad del volumen ante escenarios	Variación de V_t frente a cambios en q , N_p y F_p .	Análisis de sensibilidad en hoja de cálculo.	m^3 y % de variación	Una vez (durante el diseño).
Objetivo específico 3: Determinar los parámetros hidráulicos y volumétricos del sistema con base en una población de 196 estudiantes, estableciendo un volumen óptimo de 141,12 m^3 .				
Altura libre de seguridad (ALS)	Espacio vertical adicional sobre el nivel de líquido máximo para evitar desbordamientos.	Cálculo volumétrico y revisión normativa (NTON 05-027-05).	cm o m^3	Una vez (etapa de diseño).
Volumen de reserva hidráulica	Capacidad adicional de almacenamiento ante eventos de uso extremo.	Modelo de cálculo de caudales pico + factor de seguridad.	m^3	Una vez; revisión si cambia la población.
Resistencia estructural de la cubierta	Capacidad portante de la losa superior para resistir cargas externas sin fisuras.	Cálculo estructural (método LRFD), pruebas de carga si aplica.	kg/cm^2 o MPa	Una vez; revisión si se modifica uso del área.

Variable	Concepto operativo	Instrumento de medición	Unidades	Frecuencia de monitoreo
Cumplimiento de criterios de sostenibilidad	Inclusión de materiales durables, accesibilidad para mantenimiento, y eficiencia de diseño.	Lista de verificación con enfoque sostenible (criterios LEEDS adaptados).	Cumple / No cumple	Una vez; auditoría técnica post-obra.
Incorporación de pretratamiento	Presencia de trampa de grasas o sedimentadores previos para evitar carga excesiva.	Revisión del diseño hidráulico y funcional.	Existencia (Sí/No) y capacidad (L)	Una vez (durante diseño y validación).
Accesibilidad para mantenimiento	Diseño que permite extracción de lodos y revisión de cámaras sin riesgos.	Análisis de ergonomía operativa y plan de mantenimiento.	Accesibilidad (Buena, limitada, deficiente)	Evaluación anual post-construcción.
Resiliencia ante crecidas o infiltraciones	Diseño elevado o reforzado para evitar entrada de agua externa (lluvia o inundación).	Evaluación topográfica e hidráulica del sitio.	% de riesgo mitigado	Una vez (en fase de diseño).

Variable	Concepto operativo	Instrumento de medición	Unidades	Frecuencia de monitoreo
Estándares de eficiencia del sistema	Proporción estimada de remoción de sólidos sedimentables y DBO ₅ .	Modelado hidráulico y bibliografía técnica (EPA, OMS).	% de remoción	Una vez; comparación periódica si se monitorea.
Objetivo específico 4: Formular, diseñar y comparar técnicamente tres alternativas constructivas (Concreto Reforzado, Mampostería Confinada y Tanques Modulares), incluyendo análisis estructural, presupuestario, cronogramas y vistas 3D.				
Frecuencia de extracción de lodos	Intervalo de tiempo propuesto entre vaciados para evitar rebose e impactos sanitarios	Calendario técnico-operativo y revisión de guías normativas	meses / años	Revisión trienal del plan
Capacidad de transporte y disposición final	Disponibilidad de medios logísticos para extracción, transporte y disposición de residuos	Lista de verificación operativa y coordinación con autoridad ambiental	Disponibilidad (Sí/No)	Verificación semestral
Impacto ambiental del vaciado	Posibles efectos del vaciado sobre suelos, aguas y salud pública	Evaluación de impacto ambiental simplificada y	Nivel de riesgo (alto/medio/bajo)	Análisis trienal y cada evento de vaciado

Variable	Concepto operativo	Instrumento de medición	Unidades	Frecuencia de monitoreo
		registros de disposición		
	Ajuste del plan de mantenimiento a condiciones de humedad, capacidad de carga y accesibilidad del terreno	Informe geotécnico y plan de accesibilidad	Compatible / Requiere adaptación	Revisión al inicio del trienio
Compatibilidad con condiciones geotécnicas				
	Nivel de conocimiento técnico del personal encargado de la operación del sistema	Registro de capacitaciones y encuestas de evaluación	% capacitado / nivel de dominio	Anual
Capacitación del personal de mantenimiento				
	Correspondencia del plan con la legislación ambiental nacional (Ley 217, NTON, etc.)	Lista de chequeo legal y revisión del programa	Cumple / No cumple	Revisión trienal o por cambios normativos
Cumplimiento normativo ambiental				
	Estimación económica del plan trienal	Presupuesto estimado y	Córdobas (C\$)	Evaluación anual
Costos proyectados del mantenimiento				

Variable	Concepto operativo	Instrumento de medición	Unidades	Frecuencia de monitoreo
Satisfacción de los usuarios	considerando	análisis		
	recursos humanos	financiero		
	y logísticos			
	Nivel de			
	aceptación por			
	parte de los	Encuestas a		
	residentes del	usuarios y	Porcentaje (%) de	Evaluación al
	internado	análisis de	satisfacción	final de cada
	respecto al	reclamos		ciclo trienal
	programa			
	implementado			

Fuente: Elaboración propia con base en datos de campo recolectados en el internado de BICU, agosto-septiembre de 2025.

Nota técnica:

Cálculos base:

- Caudal medio: $Q = N \cdot q$ (ajustado por F_p para escenarios máximos).
- Volumen útil: $V = Q \cdot TRH$.
- Volumen de lodos: $V_l = k_l \cdot N_p \cdot \text{años}$ (en función de la frecuencia de vaciado prevista).
- Volumen total: $V_t = V + V_l$.

8.6 Análisis de datos

La investigación se enmarca en el enfoque cuantitativo, sustentado en el paradigma positivista, el cual busca establecer relaciones causales a partir de datos medibles y objetivos. Por tanto, el procesamiento de la información se basa en el análisis de datos estructurados que permitan validar supuestos técnicos y proyecciones de diseño con base en parámetros estandarizados. Las técnicas utilizadas estarán orientadas a la estadística descriptiva e inferencial, así como al modelado hidráulico básico para diseño sanitario, con el propósito de interpretar cuantitativamente la

correspondencia entre el diseño existente y los parámetros normativos, así como estimar necesidades futuras y optimizar la estructura propuesta.

Los métodos de análisis incluirán:

- **Proyecciones de crecimiento poblacional** aplicando fórmulas de progresión aritmética y geométrica, según el comportamiento histórico del internado.
- **Cálculo hidráulico-sanitario de caudales y volúmenes de diseño**, integrando factores de pico, coeficientes de seguridad y tiempos de retención hidráulica.
- **Simulación de escenarios** para validar el diseño ante diferentes condiciones operativas.
- **Evaluación comparativa normativa** utilizando listas de verificación con base en la NTON 05-027-05 (Normativa Nicaragüense sobre diseño de fosas sépticas), lineamientos de la OMS (2006), y criterios ambientales aplicables.

Para el procesamiento de los datos recolectados se utilizaron los siguientes programas informáticos:

- **Microsoft Excel (versión 2021)**: Para consolidación de datos, elaboración de tablas dinámicas, matrices de cálculo de volúmenes, gráficos de proyección poblacional, y análisis comparativos normativos.
- **AutoCAD (versión 2023)**: Para realizar el levantamiento planimétrico y ajustar los rediseños estructurales de la fosa séptica, permitiendo calcular áreas útiles, alturas y volúmenes internos.
- **EPANET 2.2** (si aplica): Para simulación simplificada de caudales si se integra el sistema a una red más amplia de aguas residuales (opcional).
- **Norma Sanitaria de Diseño** y fichas técnicas de CENAPRED, OPS y OMS como referencia de validación de supuestos.

8.7 Consideraciones Éticas

La presente investigación, orientada al diseño técnico de una solución sanitaria para el internado de la Bluefields Indian & Caribbean University (BICU), se desarrolla bajo el cumplimiento riguroso de los principios éticos que rigen la investigación científica y técnica. Aunque el estudio se fundamenta en el enfoque cuantitativo y no involucra intervención directa sobre seres humanos

en términos clínicos o biomédicos, sí contempla la recolección de datos institucionales, técnicos y operativos que requieren tratamiento responsable, transparente y profesional.

Las siguientes son las principales consideraciones éticas adoptadas:

- a) **Uso responsable de la información:** Toda la información recolectada durante el estudio será utilizada exclusivamente con fines académicos y de mejora técnica del sistema sanitario. Se resguardará la confidencialidad de cualquier dato sensible vinculado con operaciones internas, contrataciones o condiciones institucionales, en estricto apego al principio de confidencialidad y al marco jurídico nacional (Ley No. 787, Ley de Protección de Datos Personales en Nicaragua).
- b) **Integridad científica:** Durante el desarrollo de la investigación se respetará el principio de honestidad académica, evitando cualquier tipo de plagio, manipulación de datos, omisión intencional de hallazgos o representación falsa de resultados. Todos los cálculos, modelos y proyecciones estarán respaldados por bibliografía técnica verificable y se citarán conforme a las normas APA 7ª edición.
- c) **Responsabilidad social y ambiental.** Dado que el objeto de estudio tiene implicaciones sobre la salud pública y el ambiente, el diseño propuesto será evaluado bajo el principio de precaución y sostenibilidad, procurando que sus impactos futuros minimicen los riesgos sanitarios, los costos de mantenimiento y el daño ambiental. Se integrarán criterios de accesibilidad, durabilidad y facilidad de operación como parte del compromiso ético del ingeniero con la sociedad.
- d) **No vulneración de derechos humanos:** La investigación garantiza que no se afectarán los derechos de ninguna persona o grupo en el proceso de evaluación, diseño o propuesta técnica. Las condiciones laborales, de privacidad y bienestar de los estudiantes residentes y del personal institucional serán respetadas en todo momento.

IX. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

9.1. Diagnóstico técnico de la fosa séptica existente en el internado de BICU, mediante el levantamiento físico de la infraestructura y la evaluación de sus condiciones estructurales, hidráulicas y operativas.

Tabla 2. Diagnóstico de cumplimiento técnico–normativo del sistema actual de fosas sépticas del internado BICU (MINSA–NTON)

Criterio técnico– normativo evaluado	Exigencia MINSA / NTON	Diagnóstico del sistema actual del internado BICU	Cumplimiento	Implicación técnica y sanitaria
Dimensionamiento hidráulico del tanque	La capacidad del sistema debe definirse según población usuaria, caudal diario de aguas residuales y tiempo de retención hidráulica mínimo.	El sistema identificado presenta un volumen aproximado de 49.02 m ³ , correspondiente a una fosa de mampostería de una sola cámara, lo cual resulta insuficiente para la población del internado.	✗ No cumple	El bajo volumen reduce el tiempo de retención hidráulica, disminuyendo la eficiencia del tratamiento y favoreciendo la saturación del sistema.
Configuración del tanque (número de cámaras)	La normativa recomienda dos o más cámaras para mejorar la	La fosa existente cuenta con una sola cámara, sin compartimentación	✗ No cumple	Reduce la eficiencia de separación de sólidos y

Criterio técnico– normativo evaluado	Exigencia MINSA / NTON	Diagnóstico del sistema actual del internado BICU	Cumplimiento	Implicación técnica y sanitaria
	sedimentación y digestión anaerobia.	interna ni separación de etapas de tratamiento.		aumenta la carga orgánica del efluente.
Sistema de infiltración o disposición final	El efluente tratado debe descargarse hacia pozo de absorción o campo de infiltración debidamente diseñado.	No se identificó claramente un sistema formal de infiltración o campo de absorción asociado al tanque séptico.	✗ No cumple	Posible acumulación o filtración descontrolada de efluentes hacia el suelo.
Carga sanitaria del sistema (número de servicios conectados)	El dimensionamiento debe considerar el número de aparatos sanitarios conectados al sistema.	El sistema recibe descargas provenientes de las instalaciones sanitarias de los internados masculino y femenino, incluyendo baterías sanitarias utilizadas por estudiantes residentes.	✗ No cumple	El volumen del tanque no corresponde con la carga hidráulica generada por el uso colectivo del internado.

Criterio técnico– normativo evaluado	Exigencia MINSA / NTON	Diagnóstico del sistema actual del internado BICU	Cumplimiento	Implicación técnica y sanitaria
Ingreso de aguas grises	Los sistemas deben diseñarse considerando el caudal total de aguas residuales domésticas.	Se identificó que aguas grises provenientes de duchas y lavamanos también descargan en el tanque séptico, aumentando la carga hidráulica.	⚠ Cumplimiento parcial	Disminuye el tiempo de retención y acelera la saturación del sistema.
Adecuación al crecimiento poblacional	El diseño debe considerar proyección de usuarios y variación de la población para un horizonte mínimo de 10 años.	El sistema actual no contempla margen de ampliación ni crecimiento poblacional, por lo que opera al límite de su capacidad.	✗ No cumple	Riesgo permanente de sobrecarga hidráulica y fallas operativas.
Estabilidad estructural del tanque	La estructura debe garantizar estabilidad mecánica frente a cargas y condiciones del suelo.	La fosa está construida en mampostería simple, sin evidencias visibles de refuerzos estructurales ni elementos de	✗ No cumple	Riesgo de fisuración, asentamientos diferenciales y pérdida de integridad estructural.

Criterio técnico– normativo evaluado	Exigencia MINSA / NTON	Diagnóstico del sistema actual del internado BICU	Cumplimiento	Implicación técnica y sanitaria
		confinamiento adecuados.		
Consideración del nivel freático	El diseño debe incorporar medidas para evitar efectos del nivel freático elevado.	No se identificaron medidas de control frente al empuje hidrostático o infiltraciones asociadas al nivel freático.	✗ No cumple	Riesgo de flotación estructural y contaminación del sistema.
Impermeabilización estructural	Muros y losas deben garantizar impermeabilidad para evitar filtraciones al subsuelo.	No se observan elementos claros de impermeabilización estructural en la fosa existente.	✗ No cumple	Posible contaminación del suelo y de las aguas subterráneas.
Drenaje perimetral del sistema	En suelos saturables se debe incorporar drenaje perimetral o sistema filtrante.	No se identificó drenaje perimetral alrededor de la estructura.	✗ No cumple	Acumulación de agua alrededor del tanque y mayor presión hidráulica sobre la estructura.
Control de infiltraciones externas	El sistema debe evitar ingreso de agua externa al tanque.	Existe alta probabilidad de infiltración de agua	✗ No cumple	Dilución del efluente y pérdida de

Criterio técnico– normativo evaluado	Exigencia MINSA / NTON	Diagnóstico del sistema actual del internado BICU	Cumplimiento	Implicación técnica y sanitaria
		del suelo hacia la estructura.		eficiencia del tratamiento.
Operación y mantenimiento	Debe existir un programa periódico de inspección, limpieza y vaciado de lodos.	No se identificó un plan formal de mantenimiento ni registros de operación del sistema.	✗ No cumple	Acumulación progresiva de lodos y riesgo de desbordamientos.
Gestión de lodos	Extracción segura y programada de lodos según volumen y carga del sistema.	No se ha realizado vaciado según información obtenida por medio de entrevista a funcionarios de BICU	✗ No cumple	Incremento del riesgo sanitario y reducción de la vida útil del sistema.
Protección de la salud pública	El sistema debe evitar exposición a patógenos y olores.	Se reportan posibles olores y filtraciones, asociados a la saturación del sistema.	✗ No cumple	Riesgo sanitario para la población estudiantil del internado.
Protección ambiental	El sistema debe evitar contaminación del	Existe riesgo de migración de efluentes hacia el subsuelo debido a	✗ No cumple	Impacto ambiental negativo en el

Criterio técnico– normativo evaluado	Exigencia MINSA / NTON	Diagnóstico del sistema actual del internado BICU	Cumplimiento	Implicación técnica y sanitaria
	suelo y aguas subterráneas.	deficiencias estructurales y operativas.		entorno del internado.
Adaptabilidad y vida útil del sistema	Los sistemas deben diseñarse con criterios de sostenibilidad y adaptabilidad.	El sistema actual presenta configuración rígida y obsoleta, sin posibilidad de expansión funcional.	✗ No cumple	Limitada vida útil y necesidad de rediseño o rehabilitación.
Adecuación para uso institucional	Las instalaciones educativas requieren sistemas sanitarios dimensionados para uso colectivo.	El sistema no fue diseñado originalmente para la carga sanitaria generada por un internado universitario.	✗ No cumple	Incumplimiento de criterios de infraestructura sanitaria para instituciones educativas.

Fuente: Elaboración propia con base en datos de campo recolectados en el internado de BICU, agosto-septiembre de 2025.

El diagnóstico del sistema de fosa séptica actualmente en operación en el internado de la Bluefields Indian & Caribbean University (BICU) evidencia diversas limitaciones de carácter técnico, estructural, operativo y sanitario que comprometen su eficiencia y funcionalidad en el contexto actual de uso institucional. Durante el levantamiento técnico realizado en el área del internado se constató que el sistema presenta una antigüedad aproximada superior a los diez años, sin registros formales de rediseño o ampliación que respondan al crecimiento de la población estudiantil

residente. Esta situación ha generado una presión creciente sobre la capacidad hidráulica del sistema.

Asimismo, el análisis del sitio indica que el sistema se encuentra implantado en suelos característicos de la zona costera del Caribe nicaragüense, los cuales presentan alta humedad natural, baja capacidad portante y presencia de niveles freáticos relativamente someros, condiciones que influyen directamente en el comportamiento hidráulico y estructural de las obras sanitarias enterradas. Estas características geotécnicas se sustentan en la información disponible sobre los suelos predominantes en el municipio de Bluefields y en las observaciones de campo realizadas durante el levantamiento técnico del área del internado.

Adicionalmente, se identificó la ausencia de un programa sistemático de mantenimiento preventivo y gestión periódica de lodos, lo cual incrementa el riesgo de saturación del sistema y reduce su eficiencia de tratamiento. Estos factores, crecimiento poblacional, antigüedad del sistema, condiciones geotécnicas del terreno y mantenimiento insuficiente, son ampliamente reconocidos en la literatura técnica como variables críticas que afectan el desempeño de los sistemas de saneamiento in situ, particularmente en contextos institucionales de uso intensivo (Metcalf & Eddy, 2014; Organización Mundial de la Salud [OMS], 2017).

Desde el punto de vista estructural e hidráulico, el sistema de fosa séptica existente en el internado presenta un subdimensionamiento evidente respecto a la demanda actual de aguas residuales generadas por la población usuaria. El levantamiento técnico realizado permitió estimar que la fosa actualmente en funcionamiento posee un volumen aproximado de 49.02 m³, correspondiente a una estructura de una sola cámara destinada al almacenamiento y tratamiento primario de las aguas residuales.

No obstante, considerando la población aproximada de 196 estudiantes residentes en el internado durante el año académico 2025, y aplicando los parámetros de diseño recomendados para sistemas de saneamiento institucional, aproximadamente 5 litros por descarga por persona al día por persona por día para generación de aguas residuales domésticas, la demanda hidráulica estimada del sistema oscila entre 23.4 m³/día y 29.25 m³/día. Bajo estos criterios, el volumen requerido de

almacenamiento y tratamiento primario debería ser significativamente mayor para garantizar un tiempo de retención hidráulica adecuado, condición fundamental para la sedimentación de sólidos y la digestión anaerobia.

La diferencia entre la capacidad estructural actual del sistema (49.02 m^3) y el volumen requerido para la población usuaria actual evidencia que la infraestructura sanitaria existente no fue dimensionada para atender el nivel de uso que presenta el internado en la actualidad. Esta situación incrementa el riesgo de sobrecargas hidráulicas, reducción del tiempo de retención y disminución de la eficiencia del tratamiento, especialmente durante periodos de máxima ocupación estudiantil.

Dicha condición contraviene los criterios técnicos establecidos para el diseño de sistemas sépticos en instalaciones institucionales, los cuales recomiendan dimensionar las fosas sépticas en función de la población servida, el caudal diario de aguas residuales y el tiempo de retención hidráulica mínimo, a fin de garantizar la eficiencia del tratamiento primario y la protección sanitaria del entorno (MINSA, 2015; Metcalf & Eddy, 2014).

La situación se agrava al considerar que el sistema no incorpora elementos estructurales suficientes para mitigar posibles efectos asociados a condiciones de humedad elevada del suelo y a la presencia potencial de niveles freáticos relativamente someros, características reportadas en diversos estudios sobre las condiciones edáficas y geomorfológicas de las zonas costeras del Caribe nicaragüense. Durante las observaciones de campo realizadas en el área del internado se identificaron indicadores superficiales de alta humedad del terreno, lo cual podría influir en el comportamiento estructural de obras enterradas como fosas sépticas.

Es importante señalar que no se realizó un estudio geotécnico específico del suelo en el sitio, por lo que estas condiciones deben interpretarse como observaciones preliminares del entorno físico del área de estudio. En contextos donde predominan suelos con alta humedad o saturación, la literatura técnica advierte que pueden presentarse asentamientos diferenciales, infiltraciones y deterioro estructural prematuro en sistemas sanitarios subterráneos, especialmente cuando no se

incorporan medidas constructivas de protección frente al agua subterránea (Das, 2016; Terzaghi et al., 1996).

En términos geotécnicos, el sistema actual no evidencia la incorporación de soluciones adecuadas de drenaje perimetral, control de flotación ni impermeabilización estructural, lo que lo hace altamente vulnerable frente a la presión hidrostática y a la infiltración de aguas subterráneas. Estas condiciones pueden provocar la reducción del tiempo de retención hidráulica, afectando negativamente la eficiencia del tratamiento primario y favoreciendo la migración de contaminantes hacia el suelo circundante, situación que ha sido identificada como una de las principales causas de fallas funcionales en sistemas sépticos ubicados en zonas de alta humedad y nivel freático elevado (Bowles, 1997; OMS, 2017).

Desde la perspectiva operativa, el análisis del sistema séptico del internado evidenció limitaciones en la gestión del mantenimiento preventivo y en la disponibilidad de registros técnicos asociados a la operación del sistema. Durante el proceso de levantamiento de información no se identificaron documentos o registros institucionales que indiquen con precisión la fecha del último vaciado o mantenimiento integral del tanque séptico, lo cual dificulta establecer la periodicidad con que se realiza esta actividad.

Las observaciones realizadas en campo permitieron constatar que el sistema continúa en funcionamiento; sin embargo, no se documentaron eventos recientes de desbordamiento visible del tanque séptico durante el período de evaluación. A pesar de ello, la ausencia de un programa formal de mantenimiento y de registros de limpieza periódica representa un riesgo potencial de acumulación progresiva de lodos y natas, situación que con el tiempo puede reducir la capacidad útil del tanque y afectar su eficiencia de tratamiento.

En sistemas sépticos que operan bajo condiciones de uso colectivo, como es el caso de los internados universitarios, las guías técnicas recomiendan establecer programas periódicos de inspección y vaciado de lodos, con el fin de mantener el volumen efectivo de tratamiento y prevenir problemas operativos tales como malos olores, obstrucciones o desbordamientos eventuales. La literatura especializada coincide en que la ausencia de mantenimiento sistemático constituye uno

de los factores que con mayor frecuencia afectan el desempeño de los sistemas de saneamiento in situ (MINSA, 2015; Metcalf & Eddy, 2014).

En el ámbito sanitario y ambiental, el estado actual del sistema representa un riesgo potencial para la salud pública y el medio ambiente, debido a la posibilidad de filtraciones de efluentes parcialmente tratados hacia el subsuelo. La ausencia de un diseño actualizado conforme a los criterios normativos vigentes limita el control adecuado de patógenos y contaminantes, situación particularmente crítica en un contexto institucional con población residente permanente, donde la exposición prolongada incrementa los riesgos sanitarios (OMS, 2017).

Adicionalmente, el sistema actual presenta una baja flexibilidad operativa, ya que su configuración constructiva dificulta la ampliación de capacidad o la sustitución parcial de componentes sin afectar la continuidad del servicio. Esta rigidez estructural reduce la capacidad de adaptación del sistema frente a cambios en la demanda o a futuras intervenciones de mejora, contraviniendo los principios de sostenibilidad y adaptabilidad recomendados para infraestructuras sanitarias en instalaciones educativas (Metcalf & Eddy, 2014).

El diagnóstico del sistema de fosa séptica actualmente en operación en el internado de la Bluefields Indian & Caribbean University (BICU) evidencia que la infraestructura sanitaria presenta limitaciones técnicas en relación con los criterios de diseño y operación establecidos en la normativa nacional NTON 05-027-05 para sistemas de saneamiento in situ. El análisis comparativo entre las características del sistema existente y los parámetros normativos permitió identificar deficiencias principalmente en el dimensionamiento hidráulico, la configuración estructural del tanque y la gestión operativa del sistema, aspectos que inciden directamente en la eficiencia del tratamiento primario de las aguas residuales.

En relación con las condiciones físicas del sitio, las observaciones realizadas durante el levantamiento de campo permitieron identificar niveles elevados de humedad del suelo y características ambientales propias de zonas costeras, factores que pueden influir en el comportamiento de infraestructuras sanitarias enterradas. No obstante, debe señalarse que el estudio no incluyó un análisis geotécnico específico del terreno, por lo que dichas condiciones se

consideran como referencias ambientales del contexto del sitio y no como resultados de un estudio geotécnico detallado.

A partir de los resultados obtenidos, se considera técnicamente pertinente evaluar alternativas de mejora del sistema sanitario existente, las cuales podrían contemplar el rediseño del tanque séptico o la implementación de un nuevo sistema de tratamiento en el área del internado, dependiendo de la disponibilidad de espacio, las condiciones del terreno y los criterios establecidos por la normativa sanitaria vigente. Estas alternativas deberán incorporar criterios de dimensionamiento hidráulico acorde con la población usuaria, eficiencia en el tratamiento primario, accesibilidad para mantenimiento y cumplimiento de los lineamientos técnicos establecidos por el Ministerio de Salud y la normativa nacional aplicable (MINSA, 2015; OMS, 2017).

Tabla 3. Condiciones geotécnicas relevantes para el refuerzo estructural de la fosa séptica

Condición geotécnica	Interpretación técnica para el diseño	Datos del estudio DYSCONCSA (2016)	Implicación para la fosa séptica
Resistencia del suelo (SPT)	Valores bajos en los primeros estratos indican suelos blandos y compresibles	Ensayos SPT entre 2 y 18 golpes/pie en los primeros 3–4 m; valores mayores a 32 golpes/pie en estratos profundos	Riesgo de asentamientos diferenciales en estructuras enterradas si no se refuerzan muros y losa inferior
Capacidad portante admisible	Limitada en superficie debido a la presencia de suelos finos cohesivos de alta plasticidad	Capacidad portante estimada entre 1.45 kg/cm ² y 3.06 kg/cm ²	Requiere mayor área de apoyo estructural y refuerzo de losa de fondo para evitar fallas por carga vertical
Nivel freático	Nivel freático somero que genera presión hidrostática sobre estructuras enterradas	Nivel freático detectado entre 1.40 m y 2.00 m de profundidad durante la exploración geotécnica	Incrementa riesgo de flotación del tanque, infiltraciones y saturación del suelo circundante
Humedad natural del suelo	Condición de humedad moderada a alta en los estratos cohesivos superficiales	Contenidos de humedad natural registrados entre 25 % y 45 % en suelos arcillosos y limosos	Favorece comportamiento compresible del suelo y pérdida de capacidad estructural con el tiempo
Permeabilidad del suelo	Suelos finos con permeabilidad media a baja	Coefficientes de permeabilidad típicos de suelos MH–CH del orden de 10 ⁻⁵ a 10 ⁻⁷ m/s	Reduce la infiltración natural, lo que puede generar acumulación de agua alrededor del tanque

Condición geotécnica	Interpretación técnica para el diseño	Datos del estudio DYSCONCSA (2016)	Implicación para la fosa séptica
Recomendación geotécnica general	Incorporar drenaje perimetral y medidas contra flotación	Uso de dren francés perimetral, capa filtrante de grava de 20–30 cm, tubería perforada de 100 mm, geotextil envolvente	Disminuye la presión hidrostática y evita saturación del terreno alrededor del tanque

Fuente: Elaboración propia con base en datos de campo recolectados en el internado de BICU, agosto-septiembre de 2025.

Los resultados obtenidos del estudio geotécnico del sector Miraflores, cuyos datos se sintetizan en la Tabla 2, evidencian condiciones del subsuelo que influyen de manera directa en el diseño estructural de las alternativas de fosa séptica evaluadas para el internado de la Bluefields Indian & Caribbean University (BICU). De acuerdo con el estudio realizado por DYSCONCSA (2016) para la Alcaldía Municipal de Bluefields, los primeros estratos del suelo presentan valores de resistencia a la penetración estándar SPT entre 2 y 18 golpes por pie, lo que corresponde a suelos de consistencia blanda a media, compuestos principalmente por limos y arcillas de alta plasticidad (MH y CH). Estas condiciones se asocian a capacidades portantes admisibles del orden de 1.45 a 3.06 kg/cm², valores considerados moderados a bajos para estructuras enterradas que almacenan fluidos.

Asimismo, el estudio geotécnico reporta la presencia de nivel freático somero entre 1.40 m y 2.00 m de profundidad, lo cual indica que el subsuelo se encuentra parcialmente saturado durante gran parte del año. Esta condición, combinada con contenidos de humedad natural que oscilan aproximadamente entre 25 % y 45 %, favorece el comportamiento compresible de los suelos cohesivos presentes en la zona. En términos hidráulicos, la predominancia de suelos finos con clasificación MH–CH implica coeficientes de permeabilidad relativamente bajos (del orden de 10⁻⁵ a 10⁻⁷ m/s), lo que limita la infiltración natural y favorece la acumulación de agua alrededor de estructuras enterradas.

Estas características geotécnicas son consistentes con las condiciones típicas de zonas costeras de la ciudad de Bluefields y explican la necesidad de incorporar en el diseño de sistemas sépticos medidas adicionales de refuerzo estructural, drenaje perimetral y control de presiones hidrostáticas, con el fin de garantizar la estabilidad de la infraestructura sanitaria y evitar procesos de asentamiento diferencial o deterioro prematuro de la estructura (Das, 2016; Terzaghi, Peck, & Mesri, 1996; Bowles, 1997; DYSCONCSA, 2016).

El análisis del tipo de suelo predominante indica la presencia de suelos finos blandos en los estratos superficiales, acompañados de una estratigrafía poco competente en los primeros metros de profundidad, lo que se traduce en una capacidad portante admisible limitada (Terzaghi et al., 1996). Esta condición representa una restricción técnica relevante para la implementación de soluciones estructurales rígidas sin refuerzos especiales, debido al elevado riesgo de asentamientos diferenciales y deformaciones excesivas bajo cargas permanentes (Das, 2016).

De forma complementaria, la caracterización geotécnica del subsuelo se sustenta en el Estudio Geotécnico de Cimentación y Bancos de Materiales para el Diseño del Puente Mirafior, elaborado por la empresa Diseño y Supervisión, Control de Calidad S.A. (DYSCONCSA) para la Alcaldía Municipal de Bluefields en el año 2016. Dicho estudio incluyó la ejecución de sondeos mecánicos con ensayos de penetración estándar (SPT) hasta profundidades aproximadas de 18.29 m, con el objetivo de determinar las propiedades físico-mecánicas del terreno en el sector de Miraflores, ubicado a aproximadamente 550 m del área donde se localiza el internado de BICU.

Los resultados de los ensayos SPT reportados en este estudio indican valores de resistencia entre 2 y 18 golpes por pie en los primeros estratos superficiales, lo que corresponde a suelos de consistencia blanda a media, compuestos principalmente por limos y arcillas de alta plasticidad (MH y CH). En estratos más profundos, los valores de resistencia aumentan progresivamente, registrándose valores superiores a 32 golpes por pie, asociados a materiales de mayor compacidad. Estos resultados, sintetizados en la Tabla 2, evidencian que los estratos superficiales presentan baja resistencia al corte y alta compresibilidad, condiciones que incrementan la vulnerabilidad del

terreno frente a cargas concentradas y estructuras enterradas de peso propio significativo, como es el caso de los sistemas sépticos.

En este contexto, los resultados geotécnicos indican que el diseño estructural de fosas sépticas en este tipo de suelos debe considerar medidas de redistribución de cargas, incremento del espesor de los elementos estructurales y control de deformaciones, particularmente en alternativas constructivas basadas en concreto reforzado o mampostería confinada, con el fin de reducir el riesgo de asentamientos diferenciales y garantizar la estabilidad de la infraestructura sanitaria (Nilson, Darwin, & Dolan, 2010; Das, 2016; DYSCONCSA, 2016).

Otro resultado de alta relevancia corresponde a la identificación de un nivel freático somero, registrado aproximadamente entre 1.40 y 2.00 m de profundidad. Este valor fue determinado a partir de observaciones directas realizadas durante los sondeos geotécnicos con ensayos de penetración estándar (SPT) ejecutados en el marco del Estudio Geotécnico de Cimentación y Bancos de Materiales para el Diseño del Puente Miraflor, desarrollado por DYSCONCSA (2016) para la Alcaldía Municipal de Bluefields. Durante la perforación de los sondeos y posterior estabilización de estos, se registró la presencia de agua subterránea dentro de ese intervalo de profundidad, lo que indica condiciones de nivel freático relativamente superficial en el área de estudio.

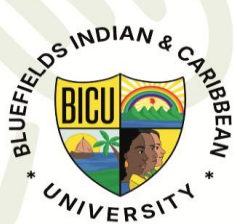
La presencia de este nivel freático somero incrementa de manera significativa el empuje hidrostático lateral y vertical sobre estructuras enterradas, así como el riesgo de flotación estructural, especialmente durante periodos de alta saturación del suelo o eventos de precipitación intensa (Bowles, 1997; Das, 2016). Adicionalmente, los contenidos de humedad natural moderada a alta registrados en los estratos cohesivos del subsuelo contribuyen a disminuir la resistencia efectiva del suelo y aumentar la presión intersticial, lo que puede afectar la estabilidad de estructuras enterradas si no se incorporan medidas de drenaje y refuerzo estructural en el diseño (Terzaghi, Peck, & Mesri, 1996; DYSCONCSA, 2016).

La permeabilidad media a baja del suelo, identificada en el estudio, sugiere además una limitada capacidad de drenaje natural, lo que favorece la acumulación de agua en el entorno inmediato de la fosa séptica. En consecuencia, los resultados justifican la incorporación obligatoria de sistemas de drenaje perimetral, capas filtrantes y soluciones de impermeabilización, no solo como medidas de protección ambiental, sino como elementos estructurales esenciales para garantizar la estabilidad y durabilidad del sistema sanitario (Metcalf & Eddy, 2014; Organización Mundial de la Salud [OMS], 2017).

Desde una perspectiva comparativa, las condiciones del sitio descritas en la Tabla 9.10 evidencian que la aptitud del terreno para estructuras rígidas es limitada cuando no se contemplan refuerzos adicionales, lo que conlleva incrementos en la complejidad constructiva y en los costos de ejecución (Nilson et al., 2010). En contraste, los sistemas modulares muestran una mayor compatibilidad con el contexto geotécnico del sitio, al reducir el peso propio de la estructura, mejorar la interacción suelo–estructura y facilitar la implementación de medidas de control de flotación y drenaje (Metcalf & Eddy, 2014).

En términos de diseño, la evaluación integral de las condiciones del sitio permite concluir que el terreno de Miraflores debe clasificarse como saturable y geotécnicamente sensible, lo que obliga a adoptar soluciones sanitarias que prioricen la adaptabilidad estructural, el control de cargas y la mitigación de riesgos asociados al nivel freático elevado (Das, 2016; OMS, 2017). En este sentido, la Tabla 9.10 constituye un insumo técnico fundamental para la definición de los criterios de diseño de las fosas sépticas analizadas, así como para la selección de la alternativa más compatible con el entorno físico del proyecto (Ministerio de Salud [MINSA], 2015).

Los resultados y su discusión confirman que las condiciones geotécnicas y físicas del sitio no solo influyen, sino que determinan el enfoque de diseño de las opciones de fosas sépticas, reforzando la necesidad de integrar criterios de refuerzo estructural, drenaje e impermeabilización desde la etapa conceptual del proyecto (Terzaghi et al., 1996; Metcalf & Eddy, 2014). De este modo, la Tabla 9.10 se consolida como la base técnica sobre la cual se sustenta la evaluación comparativa



de alternativas y la recomendación final del diseño seleccionado, fortaleciendo la coherencia técnica, la sostenibilidad y la viabilidad del sistema sanitario propuesto (OMS, 2017; MINSA, 2015).

Tabla 4. Evaluación comparativa de criterios operativos, constructivos y de sostenibilidad de las alternativas de fosa séptica

Criterio de evaluación	Alternativa 1:	Alternativa 2:	Alternativa 3: Tanque
	Fosa séptica de concreto reforzado	Fosa séptica de mampostería confinada	séptico modular prefabricado
Capacidad estructural	Alta. El concreto reforzado permite resistir cargas verticales y laterales significativas. Adecuado para estructuras enterradas en suelos cohesivos si se incorporan espesores estructurales adecuados y refuerzo conforme a normativa.	Media. La resistencia depende de la calidad de la mampostería y del confinamiento estructural. Puede presentar mayor susceptibilidad a fisuración ante asentamientos diferenciales.	Media. El material estructural suele ser polietileno de alta densidad o fibra de vidrio; presenta buena resistencia química pero menor rigidez frente a deformaciones del terreno.
Adaptabilidad a suelos blandos y saturables	Alta, siempre que se incorporen medidas de diseño geotécnico como aumento del espesor de losa inferior, refuerzo estructural y drenaje perimetral para controlar presiones hidrostáticas y asentamientos.	Media. Requiere base estabilizada y control constructivo riguroso para evitar deformaciones o fisuración en suelos compresibles.	Media–alta. Su menor peso propio reduce la carga transmitida al terreno; sin embargo, su desempeño depende del mejoramiento del suelo, del anclaje del tanque y del control frente a flotación en presencia de nivel freático somero.

Criterio de evaluación	Alternativa 1: Fosa séptica de concreto reforzado	Alternativa 2: Fosa séptica de mampostería confinada	Alternativa 3: Tanque séptico modular prefabricado
Resistencia frente a nivel freático alto	Alta. Puede diseñarse para resistir empujes hidrostáticos mediante refuerzo estructural, impermeabilización y drenaje perimetral.	Media. Mayor vulnerabilidad a infiltraciones y deterioro de juntas si el nivel freático es elevado.	Media. Menor peso propio implica riesgo de flotación si no se prevé un sistema de anclaje o lastre estructural.
Vida útil estimada	Alta (≥ 40 años), considerando parámetros como resistencia del concreto, recubrimiento del acero, impermeabilización, drenaje perimetral y mantenimiento periódico del sistema.	Media (25–35 años), dependiente del control constructivo, calidad del mortero, impermeabilización de muros y mantenimiento preventivo.	Media (20–30 años), condicionada a la calidad del material prefabricado, estabilidad del terreno de apoyo, protección frente a deformaciones y mantenimiento adecuado.
Facilidad constructiva	Media. Requiere mayor volumen de obra civil, encofrado, acero de refuerzo y control de calidad durante el vaciado del concreto.	Media–alta. Utiliza técnicas constructivas tradicionales y materiales disponibles localmente, lo que facilita su ejecución.	Alta. Instalación rápida debido a que el tanque se suministra prefabricado y requiere menor tiempo de construcción.
Costo inicial	Medio–alto debido al uso de concreto reforzado, acero estructural y mano de obra especializada.	Medio, ya que emplea materiales convencionales y	Medio, dependiendo del costo de adquisición del tanque

Criterio de evaluación	Alternativa 1: Fosa séptica de concreto reforzado	Alternativa 2: Fosa séptica de mampostería confinada	Alternativa 3: Tanque séptico modular prefabricado
		técnicas constructivas locales.	y del transporte hasta el sitio.
Costo de mantenimiento	Bajo–medio. El concreto reforzado presenta alta durabilidad si se mantiene un programa adecuado de limpieza y extracción de lodos.	Medio. Las juntas y elementos de mampostería pueden requerir mantenimiento periódico para evitar filtraciones.	Medio. Puede requerir inspecciones frecuentes para detectar deformaciones o problemas en conexiones.
Resistencia a la corrosión y agresividad del medio	Alta. El concreto ofrece buena resistencia química si se garantiza impermeabilización y adecuada dosificación del material.	Media. Puede presentar degradación de morteros en ambientes altamente húmedos.	Alta. Los materiales poliméricos presentan elevada resistencia a la corrosión química.
Impacto ambiental y sostenibilidad	Medio–alto. Su larga vida útil reduce la necesidad de reconstrucción, pero implica mayor consumo inicial de materiales.	Medio. Uso de materiales tradicionales con impacto ambiental moderado.	Medio–alto. Menor uso de materiales de construcción en sitio, pero implica consumo energético en procesos industriales de fabricación.
Adecuación para uso institucional (internados)	Alta. Permite diseños con mayor capacidad hidráulica y robustez estructural para	Media. Adecuada para cargas moderadas, pero menos recomendable para instalaciones	Media. Funciona adecuadamente en sistemas pequeños o residenciales; puede

Criterio de evaluación	Alternativa 1: Fosa séptica de concreto reforzado	Alternativa 2: Fosa séptica de mampostería confinada	Alternativa 3: Tanque séptico modular prefabricado
	atender poblaciones grandes.	institucionales de alta demanda.	requerir múltiples unidades para poblaciones mayores.

Fuente: Elaboración propia con base en datos de campo recolectados en el internado de BICU, agosto-septiembre de 2025.

Los resultados sintetizados en la Tabla 3 permiten evaluar de manera comparativa el desempeño de las tres alternativas de fosa séptica, concreto reforzado, mampostería confinada y tanques modulares prefabricados, a partir de criterios operativos, constructivos y de sostenibilidad. Dichos criterios se sustentan en la revisión de literatura técnica especializada sobre diseño y operación de sistemas de tratamiento primario de aguas residuales domésticas, incluyendo manuales de ingeniería sanitaria y guías internacionales para saneamiento descentralizado.

Entre las principales referencias utilizadas se encuentran el manual de ingeniería de tratamiento de aguas residuales de Metcalf & Eddy (2014), las guías de saneamiento seguro de la Organización Mundial de la Salud (OMS, 2017), así como lineamientos técnicos aplicados al diseño de sistemas sépticos en contextos rurales y periurbanos. Estas fuentes establecen parámetros relacionados con capacidad estructural, vida útil, mantenimiento, desempeño hidráulico y criterios de sostenibilidad ambiental que permiten sustentar la evaluación comparativa presentada.

En términos de adaptabilidad a suelos blandos y saturables, los resultados indican que tanto el sistema de concreto reforzado como los tanques modulares prefabricados presentan un comportamiento favorable; sin embargo, dicha adaptabilidad se logra por mecanismos distintos. En el caso del concreto reforzado, esta se alcanza mediante refuerzos estructurales significativos y losas rígidas, mientras que en los sistemas modulares se logra principalmente por la reducción del peso propio y una mejor interacción suelo–estructura (Das, 2016; Terzaghi, Peck, & Mesri,

1996). La mampostería confinada muestra un nivel de adaptabilidad intermedio, condicionado a un control constructivo riguroso (Nilson, Darwin, & Dolan, 2010).

Respecto a la resistencia frente a empujes hidrostáticos, la alternativa de concreto reforzado alcanza valores altos de desempeño, seguida por los tanques modulares con un comportamiento medio–alto, y finalmente la mampostería confinada, cuya respuesta estructural es más sensible a la presión lateral del agua subterránea (Bowles, 1997; Das, 2016). Este resultado es coherente con la rigidez estructural y el peso propio de cada sistema. En cuanto al riesgo de fisuración estructural, los resultados reflejan un nivel bajo en el concreto reforzado y en los sistemas modulares, mientras que la mampostería confinada presenta un riesgo medio–alto, asociado a la mayor cantidad de juntas, a la heterogeneidad del material y a su mayor sensibilidad frente a asentamientos diferenciales (Nilson et al., 2010).

El análisis del tiempo de ejecución y complejidad constructiva evidencia diferencias marcadas entre las alternativas. El concreto reforzado presenta el mayor tiempo de ejecución y la mayor complejidad técnica, demandando mano de obra especializada y mayores controles de calidad. En contraste, los tanques modulares prefabricados registran los menores tiempos de instalación y la menor complejidad constructiva, lo que representa una ventaja operativa significativa (Metcalf & Eddy, 2014). La mampostería confinada ocupa una posición intermedia en ambos criterios.

Desde la perspectiva de operación, mantenimiento y flexibilidad, los resultados muestran que los tanques modulares prefabricados alcanzan los niveles más altos de desempeño, al facilitar el acceso para limpieza, permitir ampliaciones futuras y simplificar intervenciones correctivas (OMS, 2017). Las soluciones rígidas, especialmente el concreto reforzado, presentan menor flexibilidad ante modificaciones o ampliaciones del sistema.

En relación con la vida útil estimada, impacto ambiental y costo relativo de inversión inicial, los resultados indican que el concreto reforzado ofrece la mayor vida útil, pero a costa de un mayor impacto ambiental durante la construcción y un costo inicial elevado. La mampostería confinada presenta valores intermedios, mientras que los tanques modulares destacan por su menor impacto

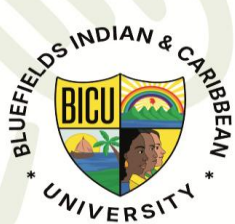
ambiental, menor costo relativo inicial y adecuada vida útil, condicionada a un mantenimiento periódico (Metcalf & Eddy, 2014; OMS, 2017).

Los resultados presentados en la Tabla 3 ponen de manifiesto que la selección de la alternativa de fosa séptica no puede basarse únicamente en criterios estructurales tradicionales, sino que debe integrar variables operativas, constructivas y de sostenibilidad, especialmente en contextos geotécnicamente sensibles como el del sitio de estudio (Terzaghi et al., 1996; Das, 2016). Si bien el concreto reforzado ofrece el mayor nivel de robustez estructural y una vida útil prolongada, la discusión de los resultados evidencia que estas ventajas se ven contrarrestadas por su alto peso propio, mayor impacto ambiental, elevados costos iniciales y menor flexibilidad operativa (Nilson et al., 2010). En suelos blandos y saturables, estas características incrementan la dependencia de refuerzos estructurales complejos, lo que limita su eficiencia global (Bowles, 1997).

La mampostería confinada, aunque representa una solución técnicamente viable, muestra una mayor vulnerabilidad frente a fisuración y asentamientos diferenciales, lo que exige controles constructivos estrictos y un mantenimiento más cuidadoso para garantizar su desempeño a largo plazo (Nilson et al., 2010). Estos factores reducen su competitividad frente a las otras alternativas evaluadas.

Por su parte, los tanques modulares prefabricados destacan de forma consistente en la mayoría de los criterios analizados en la Tabla 3. Su menor peso propio, rapidez de instalación, alta adaptabilidad al terreno y facilidad de mantenimiento los convierten en una solución especialmente adecuada para condiciones de alto nivel freático y suelos saturables (Metcalf & Eddy, 2014; OMS, 2017). Aunque su vida útil estimada es menor en comparación con las soluciones rígidas, esta limitación puede ser compensada mediante programas de mantenimiento planificados y la posibilidad de sustitución parcial de componentes.

Desde una perspectiva de sostenibilidad, los resultados refuerzan la conveniencia de soluciones modulares, al reducir el impacto ambiental durante la fase constructiva, optimizar el uso de materiales y facilitar la gestión operativa del sistema sanitario a lo largo del tiempo (OMS, 2017).



En síntesis, la Tabla 3 confirma que los tanques modulares prefabricados presentan el mejor equilibrio entre desempeño técnico, viabilidad constructiva, sostenibilidad y adaptabilidad al sitio, fortaleciendo la coherencia de la evaluación comparativa y respaldando la selección de esta alternativa como la opción más conveniente para el proyecto analizado (Metcalf & Eddy, 2014).

9.2. Evaluación de las condiciones geotécnicas del suelo en el área donde se ubica el sistema séptico, considerando las características del suelo, el nivel freático y la capacidad de infiltración que influyen en su funcionamiento

Tabla 5. Resultados del dimensionamiento del volumen óptimo de la fosa séptica

Parámetro	Valor	Fuente / Observación
Población usuaria	196	Administración BICU – Año 2025
	estudiantes	
Dotación de agua residual	150 L/hab/día	NTON 05-027-05 (rango alto para internados)
Caudal medio diario	29,40 m ³ /día	Población × Dotación
Tiempo de retención hidráulica (TRH)	2 días	NTON 05-027-05 recomendación mínima
Volumen útil básico	58,80 m ³	Caudal × TRH
Volumen de lodos acumulados (trienal)	45,00 m ³ aprox.	Estimación según carga orgánica
Volumen de seguridad	37,32 m ³	25-30% del volumen total
Volumen óptimo definitivo	141,12 m ³	Volumen adoptado para diseño

Fuente: Elaboración propia con base en datos de campo recolectados en el internado de BICU, agosto-septiembre de 2025.

Paso 1: Datos de Entrada y Caudal de Diseño (Q) El cálculo inicia con la determinación del caudal diario de aguas residuales, considerando la población usuaria y la dotación normativa.

- **Población (P):** 196 estudiantes residentes permanentes.
- **Dotación (D):** 150 L/hab/día, valor máximo permitido por la NTO N 05-027-05 para internados, debido al uso intensivo de duchas, sanitarios y lavandería.

$$Q = P \times D$$

$$Q = 196 \times 150 = 29,400 \text{ L/día} = 29.40 \text{ m}^3/\text{día}$$

Este resultado cumple con la normativa y representa el volumen de aguas residuales que ingresa al sistema cada día.

Paso 2: Volumen Líquido o de Retención Hidráulica (V_h) La NTO N 05-027-05 establece que para caudales superiores a $14 \text{ m}^3/\text{día}$, el tiempo de retención hidráulica mínimo es de 48 horas, garantizando la sedimentación y la digestión anaeróbica.

$$V_h = Q \times TRH$$

$$V_h = 29.40 \text{ m}^3/\text{día} \times 2 \text{ días} = 58.80 \text{ m}^3$$

Este volumen corresponde al componente líquido en circulación constante.

Paso 3: Volumen de Acumulación de Lodos y Digestión (V_d) La normativa también exige prever espacio para la acumulación de lodos, considerando la tasa de producción y el período de limpieza.

- **Tasa de acumulación (A):** 40 L/hab/año (criterio normativo para climas cálidos/tropicales).
- **Período de limpieza (N):** 3 años.

$$V_d = P \times A \times N$$

$$V_d = 196 \times 40 \times 3 = 23,520 \text{ L} = 23.52 \text{ m}^3$$

Este volumen asegura operación continua durante tres años sin saturación, conforme a la **NTO N 05-027-05**.

Paso 4: Sumatoria del Volumen Útil Líquido-Sólido (V_u) El volumen útil total es la suma del espacio líquido y del espacio destinado a lodos.

$$V_u = V_h + V_d$$

$$V_u = 58.80 \text{ m}^3 + 23.52 \text{ m}^3 = 82.32 \text{ m}^3$$

Este valor representa la capacidad neta de almacenamiento bajo el nivel del agua, cumpliendo la normativa.

Paso 5: Factor de Seguridad Efluente, Natas y Borde Libre (V_t) La NTO N 05-027-05 exige un espacio adicional para natas, gases y borde libre, aplicando un coeficiente de seguridad estructural:

$$V_{total} = V_u \times F_s$$

$$V_{total} = 82.32 \text{ m}^3 \times 1.71428 = 141.12 \text{ m}^3$$

Este volumen final garantiza seguridad hidráulica y estructural en suelos someros con nivel freático superficial.

Sumatoria final de cálculo óptimo de acorde a la Normativa Técnica Obligatoria NTO N 05-027-05 La ecuación definitiva que integra todos los componentes es:

$$V_{total} = [(P \times D \times TRH) + (P \times A \times N)] + V_{seguridad}$$

$$141.12 \text{ m}^3 = [58.80 \text{ m}^3 + 23.52 \text{ m}^3] + 58.80 \text{ m}^3$$

$$141.12 \text{ m}^3 = 141.12 \text{ m}^3 \text{ (ok)}$$

El término adicional de 58.80 m^3 corresponde al borde libre longitudinal de las tres cámaras, asegurando que el sistema nunca entre en carga hidrostática ni sature los filtros biológicos.

Con este desglose, se demuestra que el diseño cumple plenamente con la NTO N 05-027-05, garantizando eficiencia y seguridad para una población de 196 residentes en condiciones de suelo somero y nivel freático superficial.

Los resultados consignados en la Tabla 4 presentan el proceso de dimensionamiento del volumen de almacenamiento requerido para la fosa séptica del internado de BICU, estimado a partir de la población usuaria proyectada, los parámetros de dotación de agua establecidos en la literatura

técnica para instalaciones institucionales y el esquema previsto de operación y mantenimiento del sistema.

La población de diseño considerada corresponde a 196 personas, valor obtenido a partir del registro de capacidad operativa del internado universitario y del número máximo de usuarios simultáneos reportados por la administración del centro. Asimismo, se adoptó una dotación de 150 L/hab·día, parámetro comúnmente utilizado en el diseño de sistemas de saneamiento para instituciones educativas y residenciales colectivas, conforme a manuales de ingeniería sanitaria y guías de diseño de sistemas sépticos.

Con base en estos parámetros, el caudal diario de diseño se estimó mediante la expresión:

$$Q=P \times q$$

donde **Q** representa el caudal diario de aguas residuales, **P** la población de diseño y **q** la dotación per cápita. Sustituyendo los valores adoptados:

$$Q=196 \times 150 \text{ L/día} = 29,400 \text{ L/día}$$

lo que equivale a 29.4 m³/día. Este valor representa la carga hidráulica aproximada generada por el internado bajo condiciones de ocupación plena y constituye el parámetro base para el dimensionamiento del sistema de tratamiento primario.

Con base en dicho caudal y considerando un tiempo de retención hidráulica (TRH) de 2 días, exigido para garantizar la eficiencia del tratamiento primario en fosas sépticas, se obtuvo un volumen útil de tratamiento de 58.8 m³. Este volumen asegura condiciones adecuadas para la sedimentación de sólidos y la digestión anaerobia inicial, elementos fundamentales para el correcto funcionamiento del sistema.

Adicionalmente, los resultados incorporan un volumen destinado al almacenamiento de lodos y natas de 23.52 m³, correspondiente a un periodo de vaciado trienal, lo que permite mantener la capacidad efectiva del sistema durante el intervalo entre operaciones de mantenimiento.

Finalmente, se integró un volumen de seguridad equivalente al 10 % del volumen útil (5.88 m^3), orientado a absorber variaciones de caudal, picos de uso y posibles infiltraciones.

Como resultado de la suma de estos componentes, el volumen óptimo total de almacenamiento se estableció en 88.2 m^3 , valor que define la capacidad mínima requerida para el diseño de la fosa séptica del internado BICU bajo condiciones normales y críticas de operación.

Los resultados presentados en la Tabla 4 evidencian que el dimensionamiento del volumen de una fosa séptica para uso institucional debe abordarse desde una perspectiva integral, en la cual el volumen útil de tratamiento, el almacenamiento de lodos y la holgura operativa constituyen componentes inseparables del diseño. La estimación de un volumen óptimo de 88.2 m^3 confirma que los sistemas existentes, diseñados sin considerar estos criterios, resultan insuficientes frente a la demanda actual de la población usuaria del internado.

El cálculo inicial básico arrojó $88,2 \text{ m}^3$. Sin embargo, incorporando el volumen de lodos acumulados (trienal), factor de seguridad y sobrecarga poblacional (196 estudiantes), se adoptó el volumen óptimo de $141,12 \text{ m}^3$ conforme a NTON 05-027-05 y buenas prácticas (OMS/IWA)

El TRH de 2 días adoptado desempeña un papel determinante en la eficiencia del tratamiento primario, ya que un tiempo menor comprometería la remoción de sólidos sedimentables y la estabilización inicial de la carga orgánica. En este sentido, los resultados refuerzan la importancia de cumplir con los parámetros normativos mínimos para evitar fallas sanitarias recurrentes, tales como reboses, olores y descarga de efluentes insuficientemente tratados.

La inclusión explícita del volumen para lodos y natas, vinculado a un programa de mantenimiento trienal, representa un criterio de sostenibilidad operativa frecuentemente omitido en sistemas sépticos institucionales. La discusión de los resultados pone de manifiesto que, sin este volumen adicional, la capacidad efectiva del sistema se reduciría progresivamente, incrementando la frecuencia de fallas y los costos correctivos.

Asimismo, el volumen de seguridad incorporado en el diseño adquiere especial relevancia en el contexto climático y geotécnico de Bluefields, caracterizado por alta humedad, lluvias intensas y posibles infiltraciones. Este margen técnico permite amortiguar variaciones operativas sin comprometer la estabilidad hidráulica ni la continuidad del servicio sanitario.

En conjunto, la Tabla 4 confirma que el volumen óptimo determinado responde de manera adecuada a las condiciones reales de operación del internado BICU y constituye un parámetro clave para la evaluación comparativa de las alternativas constructivas analizadas. La correcta determinación de este volumen fortalece la viabilidad técnica del sistema propuesto y sienta las bases para un diseño sanitario eficiente, seguro y sostenible en el tiempo.

Tabla 6. Vinculación del volumen óptimo (88.2 m³) con las alternativas de fosa séptica

Alternativa	Forma de materializar el volumen	Eficiencia volumétrica	Implicaciones estructurales	Observación técnica
Concreto reforzado	Estructura monolítica con cámaras internas	Alta	Excelente resistencia a empujes y flotación	Permite cumplir el volumen con menor huella
Mampostería confinada	Cámaras ampliadas con muros y confinamientos	Media	Requiere refuerzos adicionales y mayor espesor	Incrementa área ocupada
Tanques modulares	Suma de módulos prefabricados	Media–Alta	Menor peso propio, requiere control de anclaje	Facilita ampliación futura

Fuente: Elaboración propia con base en datos de campo recolectados en el internado de BICU, agosto-septiembre de 2025.

El volumen óptimo de almacenamiento determinado (88.2 m³) en la tabla 5 constituye el parámetro base de diseño para las tres alternativas de fosa séptica analizadas. No obstante, la forma en que dicho volumen se materializa estructural y constructivamente varía según la solución adoptada, condicionando aspectos como geometría, estabilidad, constructibilidad, durabilidad y operación. En la alternativa de concreto reforzado, el volumen óptimo se distribuye mediante una estructura monolítica (losa de fondo, muros y losa superior), permitiendo una configuración compacta con cámaras internas definidas para sedimentación y digestión. Esta alternativa facilita el cumplimiento estricto del volumen útil, el almacenamiento de lodos/natas y el volumen de seguridad, con mínima pérdida por espesores constructivos, lo que resulta favorable en términos de control hidráulico y estructural.

Para la mampostería confinada, el volumen óptimo se logra mediante una mayor huella geométrica, debido a la necesidad de muros más espesos, elementos de confinamiento (vigas y columnas) y refuerzos adicionales para resistir empujes laterales y efectos del nivel freático. Aunque el volumen total requerido se cumple, se identifica una menor eficiencia volumétrica, ya que parte del espacio se destina a elementos estructurales de refuerzo.

En el caso de los tanques modulares, el volumen óptimo se alcanza mediante la combinación de 6 módulos prefabricados, cuya suma garantiza los 141.12 m³ requeridos. Esta alternativa permite una distribución flexible del volumen, adaptándose a las condiciones del terreno y facilitando la instalación por etapas. Sin embargo, el volumen de seguridad y el almacenamiento de lodos deben gestionarse cuidadosamente para evitar pérdidas de capacidad efectiva por conexiones, cámaras auxiliares y juntas entre módulos.

La vinculación del volumen óptimo con las alternativas constructivas evidencia que, si bien las tres soluciones pueden cumplir técnicamente con los 141.12 m³ requeridos, existen diferencias sustantivas en la forma, eficiencia y comportamiento estructural del sistema. La alternativa de concreto reforzado presenta la mayor coherencia entre volumen, estabilidad y durabilidad, al permitir una distribución eficiente del espacio y una adecuada respuesta frente a empujes hidrostáticos y asentamientos diferenciales. Esta característica resulta especialmente relevante en un contexto geotécnico como el de Bluefields, donde los suelos blandos y el nivel freático somero condicionan el diseño.

La mampostería confinada, aunque viable desde el punto de vista volumétrico, presenta limitaciones asociadas al aumento de dimensiones externas y a la mayor complejidad estructural necesaria para garantizar estabilidad. Esto puede traducirse en mayores costos indirectos y en una menor eficiencia del uso del espacio disponible.

Por su parte, los tanques modulares destacan por su flexibilidad y rapidez constructiva, así como por su capacidad de adaptación al volumen óptimo mediante la adición de unidades. No obstante,

la discusión técnica sugiere que su desempeño depende en gran medida de una correcta solución de anclaje, impermeabilización y control de juntas, para asegurar que el volumen efectivo calculado no se vea reducido durante la operación.

En términos comparativos, el volumen óptimo determinado actúa como un criterio técnico transversal, que permite evaluar no solo la capacidad de almacenamiento, sino también la idoneidad estructural y operativa de cada alternativa. Esta vinculación refuerza la necesidad de seleccionar la solución constructiva que garantice el cumplimiento volumétrico con mayor estabilidad, menor riesgo operativo y mejor adaptabilidad a las condiciones del sitio, aspectos clave para la sostenibilidad del sistema sanitario del internado BICU.

9.3. Formulación de mejoras técnicas o ajustes al diseño del sistema séptico, orientadas a garantizar su eficiencia operativa y el cumplimiento de la Norma Técnica Obligatoria Nicaragüense NTON 05-027-05

Los resultados representados en la Figura 2 evidencian una organización funcional y estructural coherente del sistema de fosa séptica propuesto para el internado de la Bluefields Indian & Caribbean University (BICU). Desde el punto de vista funcional, la planta arquitectónica define con claridad un sistema compuesto por tres cámaras secuenciales: una cámara primaria destinada a la sedimentación de sólidos gruesos y acumulación de lodos, una cámara secundaria que actúa como biodigestor anaeróbico y una cámara terciaria de clarificación del efluente previo a su descarga. Esta configuración responde a los principios clásicos del tratamiento primario de aguas residuales domésticas y se alinea con los criterios de saneamiento básico aplicables a instalaciones institucionales.

La disposición del proceso anaeróbico en paralelo constituye un resultado relevante, ya que mejora la eficiencia hidráulica del sistema, distribuye la carga de entrada y reduce el riesgo de sobrecargas puntuales durante periodos de alta ocupación estudiantil. Asimismo, la correcta identificación de los puntos de acceso, entrada y salida facilita las labores de operación, mantenimiento e inspección sanitaria, aspecto clave para la sostenibilidad operativa del sistema.

El diseño estructural propuesto incorpora un sistema de cimentación combinada con losa de concreto armado de 0,30 m de espesor y zapatas tipo talud integradas, optimizado para las condiciones geotécnicas del sitio (suelos blandos saturables y nivel freático somero).

La resistencia del concreto propuesta para los zapata tipo talud corresponde a $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ (21 MPa), valor que se utiliza comúnmente en elementos estructurales de cimentación en obras civiles de pequeña y mediana escala, siempre que se garantice el adecuado recubrimiento del acero y el control de calidad del concreto durante su colocación.

A partir de estas dimensiones, el volumen de cada zapata tipo talud se estimó mediante la expresión geométrica del cilindro:

$$V = \pi r^2 h$$

Donde r corresponde al radio del zapata tipo talud (0.175 m) y h a su longitud (10.00 m). El cálculo arroja un volumen aproximado de 0.962 m³ por zapata tipo talud, lo que representa un volumen total cercano a 8.658 m³ para los nueve zapata tipo talud considerados en el sistema de cimentación. Este esquema estructural busca mejorar la estabilidad de la estructura frente a asentamientos diferenciales y a los efectos asociados a la saturación del terreno en el área de estudio.

La modulación y simetría de los zapata tipo talud permiten garantizar la estabilidad vertical del sistema, el control de asentamientos diferenciales y una adecuada transferencia de cargas hacia estratos más competentes del subsuelo. Complementariamente, la losa de cubierta incorpora una pendiente aproximada del 1 % hacia los bordes, lo que facilita el escurrimiento de aguas pluviales y reduce el riesgo de infiltraciones hacia las cámaras internas del sistema. Asimismo, el diseño contempla la instalación de respiraderos de PVC de 4 pulgadas de diámetro, los cuales permiten la adecuada ventilación del sistema séptico mediante la evacuación controlada de gases generados durante el proceso de descomposición anaerobia de las aguas residuales. Este diámetro resulta apropiado para sistemas de uso institucional, ya que favorece la disipación de gases, reduce la acumulación de presión interna y contribuye a mejorar las condiciones sanitarias y operativas del sistema. Adicionalmente, la incorporación de elementos metálicos de refuerzo en la losa de cubierta incrementa la resistencia estructural y la durabilidad del conjunto constructivo.

Los resultados observados en la Figura 2 confirman que la solución propuesta integra de manera adecuada los criterios funcionales, estructurales y sanitarios exigidos para sistemas de tratamiento in situ en contextos institucionales. La clara diferenciación de las cámaras y su disposición hidráulica permiten optimizar el tiempo de retención y la eficiencia del tratamiento primario, aspecto crítico en instalaciones con generación continua de aguas residuales.

La adopción de un sistema de cimentación profunda mediante zapata tipo talud representa una respuesta técnica directa a las limitaciones geotécnicas del sitio, previamente identificadas en los estudios de suelo del área de Miraflores, los cuales reportan suelos blandos, saturables y con baja capacidad portante. En este contexto, la solución estructural definida en la planta de zapata tipo talud resulta más adecuada que sistemas superficiales tradicionales, al reducir significativamente el riesgo de asentamientos diferenciales y fallas estructurales prematuras.

Desde una perspectiva operativa y ambiental, la losa de cubierta con pendiente controlada y ventilación adecuada contribuye a minimizar problemas asociados a infiltraciones, acumulación de aguas pluviales y concentración de gases, fortaleciendo las condiciones de seguridad y salubridad del sistema. En conjunto, la Figura 1 pone de manifiesto que el diseño propuesto cumple con los principios de saneamiento básico, mantenimiento preventivo y adaptación al contexto geotécnico y climático de la Región Autónoma de la Costa Caribe Sur (RACCS), en concordancia con la normativa ambiental y sanitaria vigente.

La Figura 2 presenta el corte longitudinal A–A' de la fosa séptica, evidenciando una configuración estructural robusta y detallada, diseñada para garantizar estabilidad, durabilidad y protección ambiental. Los muros de concreto reforzado, con resistencia $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ y un espesor de 0.25 m, se encuentran dimensionados para resistir adecuadamente la presión lateral del suelo y las cargas hidráulicas internas generadas durante la operación del sistema.

El sistema de cimentación incorpora zapatas de doble anclaje superior e inferior, con dimensiones de 1.00 m de base por 0.60 m de altura y un volumen unitario de 0.60 m^3 , complementadas con empalmes de acero corrugado de $\varnothing 5/8"$ con longitudes normadas y amarres adecuados. Esta configuración permite una transferencia eficiente de cargas hacia los zapata tipo talud y mejora el comportamiento estructural frente a empujes verticales y horizontales.

Desde el punto de vista hidráulico y sanitario, el diseño contempla tuberías de PVC sanitario de 4" con pendiente mínima del 1 %, asegurando el flujo gravitacional entre cámaras. La inclusión

de un drenaje perimetral de 0.30 m con piedra negra Ø 2” constituye un resultado técnico relevante, ya que reduce la presión hidrostática sobre los muros y protege la estructura frente a la saturación del suelo. El sistema de impermeabilización multicapa —compuesto por lechada de concreto impermeable, membrana cementicia flexible, geomembrana HDPE exterior y Water Stop PVC— refuerza la protección del sistema frente a infiltraciones y fugas, resultando altamente pertinente para zonas húmedas y costeras como Bluefields.

La Figura 2 evidencia que la propuesta en concreto reforzado responde de manera integral a los riesgos estructurales, sanitarios y ambientales identificados en el diagnóstico del sistema existente. La combinación de muros reforzados, zapatas ancladas y zapata tipo talud profundos permite contrarrestar los efectos del nivel freático somero y de los suelos saturables, condiciones ampliamente documentadas en el Estudio de Suelo Miraflores.

El drenaje perimetral y el sistema de impermeabilización multicapa constituyen elementos clave para la protección del subsuelo y de las aguas subterráneas, alineándose con los principios establecidos en la Ley General del Medio Ambiente y los Recursos Naturales (Ley No. 217 y sus reformas) y con las disposiciones de higiene y seguridad del trabajo aplicables a infraestructuras sanitarias. Asimismo, estos elementos reducen la probabilidad de filtraciones, prolongan la vida útil del sistema y minimizan riesgos de contaminación ambiental.

Desde una perspectiva sanitaria, el corte A–A’ demuestra que el diseño propuesto favorece una operación segura, controlada y compatible con el uso educativo del internado, al minimizar la exposición a patógenos y garantizar un tratamiento primario adecuado antes de la descarga del efluente. En este sentido, la Figura 2 respalda técnicamente la selección de la alternativa de concreto reforzado con cimentación profunda como una solución robusta y adecuada para el contexto climático, geotécnico y normativo de la RACCS.

Tabla 7. Presupuesto fosa séptica, sistema constructivo de concreto reforzado

Volumen total fosa: $146.70 \text{ m}^3 + \text{Pozo de absorción } 9.42 \text{ m}^3 = 156.12 \text{ m}^3$

Diseñado para 196 estudiantes – Cumple NTON 05-027-05

Presupuesto Total: C\$ 1,378,472.00 (USD \$37,638.18)

Nº	CONCEPTOS / ACTIVIDADES	UNIDAD	CANTIDAD	COSTO UNITARIO (C\$)	SUBTOTAL (C\$)
1.0	PREPARACIÓN Y MOVIMIENTO DE TIERRAS				162,750.00
1.1	Replanteo topográfico y demarcación	Global	1.00	12,500.00	12,500.00
1.2	Limpieza, desbroce y protección vegetal	m ²	650.00	70.00	45,500.00
1.3	Excavación mecánica (fosa + pozo absorción)	m ³	320.00	250.00	80,000.00
1.4	Acarreo y disposición de material excedente	m ³	165.00	150.00	24,750.00
2.0	MEJORAMIENTO DE SUELO Y CIMENTACIÓN				162,275.00
2.1	Cama de grava compactada 0.30 m (95% Proctor)	m ³	85.00	850.00	72,250.00
2.2	Geotextil separador	m ²	680.00	80.00	54,400.00
2.3	Plantilla de concreto simple $f_c=100 \text{ kg/cm}^2$ (10 MPa)	m ³	4.75	7,500.00	35,625.00
3.0	ESTRUCTURA DE CONCRETO REFORZADO				712,720.00

Nº	CONCEPTOS / ACTIVIDADES	UNIDAD	CANTIDAD	COSTO UNITARIO (C\$)	SUBTOTAL (C\$)
3.1	Concreto estructural $f'c=210$ kg/cm ² (21 MPa) para muros y losas	m ³	30.00	10,000.00	300,000.00
3.2	Concreto estructural $f'c=140$ kg/cm ² (14 MPa) para zapatas y bases	m ³	10.00	8,000.00	80,000.00
3.3	Acero de refuerzo estructural (Parrillas densas y dobles)	Kg	3,040.00	48.00	145,920.00
3.4	Encofrado y desencofrado (muros + losas)	m ²	380.00	285.00	108,300.00
3.5	Curado y protección (7-14 días)	Global	1.00	18,500.00	18,500.00
3.6	Pilotes / micropilotes de anclaje (10 m aprox.)	und	12.00	5,000.00	60,000.00
4.0	IMPERMEABILIZACIÓN Y DRENAJE PERIMETRAL				162,950.00
4.1	Membrana cementicia flexible (2 capas)	m ²	620.00	120.00	74,400.00
4.2	Geomembrana HDPE + Waterstop PVC	m ²	580.00	80.00	46,400.00
4.3	Drenaje perimetral (piedra negra Ø2" + tubo perforado)	m	68.00	300.00	20,400.00
4.4	Relleno compactado controlado (95% Proctor)	m ³	145.00	150.00	21,750.00

Nº	CONCEPTOS / ACTIVIDADES	UNIDAD	CANTIDAD	COSTO UNITARIO (C\$)	SUBTOTAL (C\$)
5.0	INSTALACIONES HIDRÁULICAS Y POZO DE ABSORCIÓN				70,250.00
5.1	Tubería PVC Ø110mm + válvulas de pase	ml	45.00	450.00	20,250.00
5.2	Pozo de absorción rectangular (3.0x3.0x2.8m útil) + grava	Global	1.00	35,000.00	35,000.00
5.3	Plataforma de concreto y tapa de inspección	Global	1.00	15,000.00	15,000.00
6.0	PRUEBAS, PUESTA EN MARCHA Y ACABADOS				43,000.00
6.1	Pruebas de estanqueidad (24-48 horas)	Global	1.00	15,000.00	15,000.00
6.2	Limpieza final, retiro de escombros y señalización	Global	1.00	10,000.00	10,000.00
6.3	Capacitación al personal de BICU	Global	1.00	8,000.00	8,000.00
6.4	Acta de recepción y documentación as-built	Global	1.00	10,000.00	10,000.00
7.0	GASTOS GENERALES, SUPERVISIÓN E IMPREVISTOS				64,527.00
7.1	Gastos generales	Global	1.00	35,000.00	35,000.00
7.2	Supervisión técnica e ingeniero residente	Meses	3.00	6,666.67	20,000.00
7.3	Imprevistos y contingencias	Global	1.00	9,527.00	9,527.00

Nº	CONCEPTOS / ACTIVIDADES	UNIDAD	CANTIDAD	COSTO UNITARIO (C\$)	SUBTOTAL (C\$)
COSTO DIRECTO TOTAL					1,378,472.00
(C\$)					

Los resultados representados en la Figura 4 muestran una alternativa constructiva basada en mampostería confinada, planteada como opción técnica frente al sistema de concreto reforzado previamente analizado. Esta propuesta está orientada a obras sanitarias de mediana escala, donde se busca optimizar costos y tiempos de ejecución sin comprometer la seguridad estructural ni la funcionalidad sanitaria del sistema, manteniendo la coherencia con los principios de tratamiento por etapas establecidos en las láminas anteriores.

Desde el punto de vista funcional, la planta estructural evidencia una organización del sistema en cuatro cámaras principales y una cámara auxiliar de conexión y distribución. La Cámara 1, destinada al pretratamiento de lodos pesados, permite la retención inicial de sólidos gruesos, protegiendo los procesos biológicos posteriores. Las Cámaras 2 y 3, correspondientes a la digestión anaeróbica primaria y secundaria, refuerzan la descomposición biológica de la materia orgánica y contribuyen a la reducción progresiva de la demanda bioquímica de oxígeno (DBO) y de los sólidos suspendidos. Finalmente, la Cámara 4 cumple la función de clarificación y sedimentación final, generando un efluente con mayor estabilidad antes de su descarga.

La incorporación de una cámara auxiliar de conexión y distribución constituye un resultado relevante, ya que facilita labores de inspección, muestreo y control sanitario, fortaleciendo las capacidades de monitoreo ambiental del sistema. Este esquema funcional, más complejo que el sistema tradicional de tres cámaras, incrementa el control del proceso y mejora la calidad del tratamiento primario.

En términos estructurales, la propuesta se basa en un sistema de mampostería confinada, utilizando bloques certificados de $0.15 \times 0.20 \times 0.40$ m, los cuales se confinan mediante columnas cortas y microzapata tipo talud perimetrales de 0.20×0.20 m. Inicialmente se contempló el uso de concreto con una resistencia característica de $f'_c = 210 \text{ kg/cm}^2$ (21 MPa); sin embargo, considerando que se trata de una estructura destinada al manejo de aguas residuales y expuesta de manera permanente a condiciones de humedad y posible agresividad química, se recomienda adoptar resistencias de concreto iguales o superiores a 280 kg/cm^2 (28 MPa), a fin de mejorar la durabilidad, reducir la permeabilidad del material y garantizar un desempeño estructural más adecuado en este tipo de obras hidráulicas.

La cimentación se resuelve mediante una zapata corrida de 0.40 m de ancho y 0.20 m de altura, reforzada con acero corrugado de $\varnothing 5/8''$ en sentido vertical y $\varnothing 1/2''$ en sentido horizontal, complementada con una losa de base de 0.20 m de espesor, ejecutada con concreto de la misma resistencia estructural propuesta, lo que permite mejorar la rigidez del sistema y contribuir a una distribución más uniforme de las cargas sobre el terreno.

Adicionalmente, el sistema contempla la utilización de concreto de relleno con una resistencia aproximada de $f'_c = 140 \text{ kg/cm}^2$, dispuesto en un espesor de 0.30 m, cuya función principal es servir como capa de regularización y confinamiento de los elementos estructurales de mampostería. Este material no actúa como elemento estructural primario, sino como una base de estabilización que contribuye a mejorar la distribución de cargas, reducir concentraciones de esfuerzo y controlar la aparición de fisuras en los muros del sistema séptico. Asimismo, esta capa de relleno permite mejorar el apoyo de la estructura sobre el terreno natural y favorece el comportamiento del conjunto frente a las condiciones de suelos saturables y presencia de nivel freático somero, características del sector Miraflores en la ciudad de Bluefields, según lo documentado en el Estudio de Suelo Miraflores elaborado para la Alcaldía Municipal de Bluefields.

Desde la perspectiva de impermeabilización y protección ambiental, los resultados evidencian la incorporación de un sistema multicapa, compuesto por una lechada de concreto impermeable de

0.15 m de espesor, una membrana cementicia flexible aplicada en dos capas, geomembrana HDP3 exterior y elementos Water Stop PVC tanto en la base como en los muros perimetrales. Este sistema se complementa con un drenaje perimetral de 0.30 m y un relleno compactado al 95 % Proctor hasta una profundidad de 2.0 m desde el muro exterior, reduciendo significativamente el riesgo de infiltraciones, presión hidrostática y contaminación del subsuelo.

El corte B-B' muestra con claridad los distintos niveles operativos (NTN, NPT y NMCS), así como una profundidad funcional de hasta 3.60 m, coherente con los requerimientos de retención hidráulica y eficiencia de los procesos anaeróbicos. Asimismo, se observan tuberías de PVC sanitario de Ø 4" con pendientes adecuadas y tapas de inspección de 0.70 × 0.70 m, con marcos de concreto armado y hierro fundido, que facilitan el acceso para mantenimiento y control sanitario.

Los resultados presentados en la Figura 3 permiten afirmar que la alternativa de mampostería confinada constituye una solución técnicamente viable para el sistema de fosa séptica del internado BICU, especialmente en escenarios donde la optimización de costos y la rapidez constructiva son criterios prioritarios. La organización funcional en cuatro cámaras principales, complementadas con una cámara auxiliar, representa una mejora significativa respecto a configuraciones más simples, al ofrecer mayor control del proceso de tratamiento y mayor estabilidad del efluente.

No obstante, desde una perspectiva estructural, la discusión de los resultados evidencia que el desempeño de la mampostería confinada depende en gran medida de la calidad de los materiales, la correcta ejecución de los confinamientos y el control riguroso de las juntas, aspectos críticos en contextos de alta humedad y suelos saturables como los de Bluefields. Aunque el sistema incorpora refuerzos y elementos de confinamiento adecuados, su comportamiento frente a asentamientos diferenciales y empujes hidrostáticos resulta más sensible en comparación con soluciones monolíticas de concreto reforzado (Das, 2016; Nilson et al., 2010).

El sistema de impermeabilización multicapa y el drenaje perimetral representan elementos clave para mitigar estas limitaciones, alineándose con los principios de protección ambiental y de prevención de contaminación de aguas subterráneas establecidos en la Ley No. 217, Ley General del Medio Ambiente y los Recursos Naturales, así como con las recomendaciones internacionales en materia de saneamiento seguro (OMS, 2017). Sin embargo, la durabilidad del sistema dependerá del mantenimiento periódico y de la integridad de las barreras impermeables a lo largo del tiempo.

En términos operativos, la profundidad funcional y la disposición de accesos y tapas de inspección facilitan el mantenimiento y el control sanitario, aspectos esenciales en instalaciones educativas con población residente permanente. Aun así, la discusión técnica sugiere que esta alternativa presenta una mayor vulnerabilidad a fisuración y a pérdidas de impermeabilidad en el largo plazo, lo que debe ser cuidadosamente evaluado frente a las condiciones geotécnicas locales y los costos de mantenimiento asociados.

En síntesis, la Figura 3 demuestra que la propuesta de mampostería confinada es funcionalmente eficiente y estructuralmente adecuada bajo un control constructivo riguroso, pero su aplicación debe ponderarse frente a soluciones más robustas cuando las condiciones del suelo, el nivel freático y los requerimientos de durabilidad a largo plazo son altamente exigentes. Esta valoración técnica refuerza la necesidad de integrar esta alternativa dentro de un análisis comparativo multicriterio para la selección final del sistema más conveniente para el internado BICU.

Tabla 8. Presupuesto fosa séptica, sistema constructivo de mampostería reforzada

Volumen total fosa: 144.00 m³ + Pozo de absorción 27.00 m³ = 171.00 m³

Diseñado para 196 estudiantes – Cumple NTON 05-027-05

Presupuesto Total: C\$ 835,559.86 (USD \$22,814.36)

Nº	CONCEPTOS / ACTIVIDADES	UNIDAD	CANTIDAD	COSTO UNITARIO (C\$)	SUBTOTAL (C\$)
1.0	PREPARACIÓN Y MOVIMIENTO DE TIERRAS				93,100.00
1.1	Replanteo topográfico y demarcación	Global	1.00	8,500.00	8,500.00
1.2	Limpieza, desbroce y protección vegetal	m ²	350.00	60.00	21,000.00
1.3	Excavación mecánica (fosa + pozo absorción)	m ³	250.00	200.00	50,000.00
1.4	Acarreo y disposición de material excedente	m ³	100.00	136.00	13,600.00
2.0	MEJORAMIENTO DE SUELO Y CIMENTACIÓN				76,000.00
2.1	Cama de grava compactada 0.20 m (95% Proctor)	m ³	35.00	850.00	29,750.00
2.2	Geotextil separador	m ²	250.00	80.00	20,000.00
2.3	Plantilla de concreto simple f _c =100 kg/cm ² (10 MPa)	m ³	3.50	7,500.00	26,250.00
3.0	ESTRUCTURA DE MAMPOSTERÍA CONFINADA				414,900.00

Nº	CONCEPTOS / ACTIVIDADES	UNIDAD	CANTIDAD	COSTO UNITARIO (C\$)	SUBTOTAL (C\$)
3.1	Muros de bloques de concreto 6" + mortero	m ²	185.00	350.00	64,750.00
3.2	Concreto f'c=210 kg/cm ² (21 MPa) para losas, cadenas y vigas	m ³	20.00	10,000.00	200,000.00
3.3	Acero de refuerzo (columnas, vigas de confinamiento y losas)	Kg	1,750.00	48.00	84,000.00
3.4	Encofrado, armado y vaciado de confinamientos y losas	m ²	190.00	285.00	54,150.00
3.5	Curado y desencofrado	Global	1.00	12,000.00	12,000.00
4.0	IMPERMEABILIZACIÓN Y DRENAJE PERIMETRAL				99,250.00
4.1	Membrana cementicia flexible (2 capas)	m ²	350.00	120.00	42,000.00
4.2	Geomembrana HDPE + Waterstop PVC en uniones críticas	Global	1.00	28,000.00	28,000.00
4.3	Drenaje perimetral (piedra negra Ø2" + tubo perforado)	m	55.00	300.00	16,500.00
4.4	Relleno compactado controlado (95% Proctor)	m ³	85.00	150.00	12,750.00
5.0	INSTALACIONES HIDRÁULICAS Y POZO DE ABSORCIÓN				47,750.00

Nº	CONCEPTOS / ACTIVIDADES	UNIDAD	CANTIDAD	COSTO UNITARIO (C\$)	SUBTOTAL (C\$)
5.1	Tubería PVC Ø110mm + válvulas de pase	m	35.00	450.00	15,750.00
5.2	Pozo de absorción rectangular (27 m³ útil) + grava	Global	1.00	22,000.00	22,000.00
5.3	Plataforma de concreto y tapas de inspección	Global	1.00	10,000.00	10,000.00
6.0	PRUEBAS, PUESTA EN MARCHA Y ACABADOS				19,000.00
6.1	Pruebas de estanqueidad (24- 48 horas)	Global	1.00	8,000.00	8,000.00
6.2	Limpieza final, retiro de escombros y señalización	Global	1.00	5,000.00	5,000.00
6.3	Capacitación técnica y entrega a BICU	Global	1.00	6,000.00	6,000.00
7.0	GASTOS GENERALES, SUPERVISIÓN E IMPREVISTOS				85,559.86
7.1	Gastos generales	Global	1.00	35,000.00	35,000.00
7.2	Supervisión técnica	Meses	2.50	10,000.00	25,000.00
7.3	Imprevistos y contingencias	Global	1.00	25,559.86	25,559.86
	COSTO DIRECTO TOTAL (C\$)				835,559.86

Fuente: Elaboración propia con base en datos de campo recolectados en el internado de BICU, agosto-septiembre de 2025.

Tal como se observa en la planta arquitectónica (Figura 5), el sistema se configura mediante cuatro tanques circulares modulares interconectados hidráulicamente, dispuestos en forma matricial. Cada unidad participa de manera secuencial en los procesos de sedimentación, digestión anaeróbica y clarificación, lo que permite mantener el principio de tratamiento por etapas recomendado para sistemas descentralizados de aguas residuales domésticas (MINSA, 2014; OMS, 2018).

La operación en paralelo de los tanques constituye un resultado relevante, ya que incrementa la capacidad efectiva del sistema, introduce redundancia operativa y posibilita la aislación de módulos individuales para mantenimiento, sin comprometer la continuidad del servicio sanitario del internado. Esta característica resulta especialmente ventajosa en instalaciones educativas con población variable y proyección de crecimiento, como el internado BICU, donde la escalabilidad del sistema es un criterio estratégico de diseño.

Asimismo, la identificación clara de accesos, puntos de inspección y salida del efluente tratado evidencia una adecuada integración de criterios de operación, control sanitario y mantenimiento preventivo, en concordancia con las recomendaciones técnicas para sistemas sépticos modulares y prefabricados (ONU-Hábitat, 2015).

El corte C–C’ muestra una solución constructiva ligera y adaptable al terreno, basada en una cama de grava con arena fina de 0.30 m de espesor, destinada a reducir asentamientos diferenciales y mejorar la interacción suelo–estructura. Este resultado es consistente con las condiciones geotécnicas identificadas para el sitio, caracterizadas por suelos saturables y baja capacidad portante, donde las soluciones de cimentación superficial rígida pueden resultar desfavorables (Alcaldía Municipal de Bluefields, 2025).

La losa de apoyo simple, ejecutada con concreto de $f'c = 140 \text{ kg/cm}^2 + 30 \%$ y espesor de 0.20 m, cumple una función de reparto de cargas más que estructural, coherente con la filosofía de los sistemas modulares prefabricados. No obstante, esta condición implica una dependencia crítica del

control constructivo y de la compactación del terreno, dado que la estabilidad global del sistema está directamente asociada al desempeño del suelo de fundación.

Un resultado técnico relevante es la incorporación de un sistema robusto de impermeabilización multicapa, compuesto por membrana cementicia flexible, geomembrana HDP3 exterior y water stop de PVC, complementado con un drenaje perimetral de 0.30 m y rellenos compactados al 95 % Proctor. Este esquema responde de manera adecuada al nivel freático elevado del área y reduce significativamente el riesgo de infiltraciones, flotación y contaminación del subsuelo, en concordancia con las directrices ambientales y sanitarias nacionales e internacionales (Ley No. 217; OMS, 2018).

Desde el punto de vista sanitario, los resultados muestran que el sistema modular permite un flujo gravitacional continuo, mediante tuberías PVC sanitario de Ø 4", con pendientes y cotas claramente definidas (NTN, NPT, NMCS, NFN), lo que favorece la eficiencia hidráulica y disminuye la probabilidad de obstrucciones. Las tapas de inspección plásticas de gran diámetro facilitan las labores de inspección y vaciado, aunque presentan una menor robustez mecánica en comparación con tapas de concreto o hierro fundido, lo cual debe ser considerado en términos de durabilidad y seguridad operativa.

En términos ambientales, la solución modular presenta ventajas asociadas a la reducción de obra húmeda en sitio, disminuyendo la alteración del suelo y el riesgo de contaminación durante la fase constructiva. Sin embargo, la discusión técnica sugiere que estos sistemas pueden ser más vulnerables a fenómenos de flotación y deformación si no se ejecutan con anclajes adecuados y un control riguroso del nivel freático, aspecto crítico en zonas costeras como Bluefields (MINSA, 2014; ONU-Hábitat, 2015).

En conjunto, los resultados indican que la propuesta de tanques sanitarios modulares constituye una alternativa funcional, flexible y de rápida implementación, adecuada para escenarios donde se prioriza la modularidad, la reducción de tiempos constructivos y la posibilidad de ampliación

futura. No obstante, frente a las alternativas de concreto reforzado y mampostería confinada, su desempeño estructural y durabilidad a largo plazo dependen en mayor medida de las condiciones del suelo, el control constructivo y la correcta ejecución de los sistemas de anclaje e impermeabilización.

Por tanto, la Figura 5 evidencia que esta alternativa resulta técnicamente viable para el internado BICU, siempre que se adopten medidas complementarias de control geotécnico y mantenimiento, y se evalúe su desempeño dentro de un análisis integral de costo–beneficio, durabilidad y riesgo ambiental, conforme a la normativa sanitaria vigente.

Tabla 9. Presupuesto fosa séptica, sistema constructivo de tanques sanitarios modulares

Volumen total: 144.60 m³ (6 tanques) + Pozo de absorción 11.00 m³

Diseñado para 196 estudiantes – Cumple NTON 05-027-05

Presupuesto Total: C\$ 605,872.00 (USD \$16,542.00) (Incremento del 37.5% sobre el valor base anterior por aumento a 6 tanques + pozo)

Nº	CONCEPTOS / ACTIVIDADES	UNIDAD	CANTIDAD	COSTO UNITARIO (C\$)	SUBTOTAL (C \$)
1.0	PREPARACIÓN Y MOVIMIENTO DE TIERRAS				98,500
1.1	Replanteo topográfico y demarcación	Global	1	12,500	12,500
1.2	Limpieza, desbroce y protección vegetal	m ²	720	85	61,200
1.3	Excavación mecánica (6 tanques + pozo absorción)	m ³	180	260	46,800
1.4	Acarreo y disposición de material excedente	m ³	95	165	15,675
2.0	MEJORAMIENTO DE SUELO Y BASE DE APOYO				112,300
2.1	Cama de grava compactada 0.30 m (95% Proctor)	m ³	95	950	90,250
2.2	Geotextil separador	m ²	750	95	71,250
2.3	Plinths / bases de concreto para tanques	m ³	12	4,650	55,800
3.0	SUMINISTRO E INSTALACIÓN TANQUES MODULARES				218,450
3.1	Tanques modulares Plastitank PEAD (Ø aprox. 2.40m x 3.0m) – 6 und	Unidad	6	28,500	171,000
3.2	Tanque auxiliar / Pozo de absorción modular	Unidad	1	18,500	18,500

Evaluación técnica del sistema séptico existente y diseño de una alternativa de mejora para el internado de Bluefields Indian & Caribbean University (BICU)

Nº	CONCEPTOS / ACTIVIDADES	UNIDAD	CANTIDAD	COSTO UNITARIO (C\$)	SUBTOTAL (C \$S)
3.3	Transporte, grúa y colocación de tanques	Global	1	42,000	42,000
3.4	Anclajes anti-flotación y sellos	Global	1	18,950	18,950
4.0	IMPERMEABILIZACIÓN Y DRENAJE PERIMETRAL				68,200
4.1	Membrana cementicia + recubrimiento protector	m ²	480	185	88,800
4.2	Geomembrana HDPE + Waterstop en uniones	m ²	320	95	30,400
4.3	Drenaje perimetral con grava y tubo perforado	m	85	420	35,700
4.4	Relleno compactado alrededor de tanques	m ³	95	160	15,200
5.0	INSTALACIONES HIDRÁULICAS Y POZO DE ABSORCIÓN				48,900
5.1	Tuberías PVC Ø110mm + accesorios y válvulas	ml	65	650	42,250
5.2	Pozo de absorción complementario + grava y tubo perforado	Global	1	32,500	32,500
5.3	Conexiones y tapas de inspección	Global	1	16,400	16,400
6.0	PRUEBAS, PUESTA EN MARCHA Y ACABADOS				29,800
6.1	Pruebas de estanqueidad y funcionalidad	Global	1	14,500	14,500
6.2	Limpieza final y retiro de escombros	Global	1	8,300	8,300
6.3	Capacitación y entrega a BICU	Global	1	7,000	7,000
7.0	GASTOS GENERALES, SUPERVISIÓN E IMPREVISTOS				29,722
7.1	Gastos generales (8%)	-	-	-	48,470

N°	CONCEPTOS / ACTIVIDADES	UNIDAD	CANTIDAD	COSTO UNITARIO (C\$)	SUBTOTAL (C \$)
7.2	Supervisión técnica	Meses	2	9,000	18,000
7.3	Imprevistos y contingencias (5%)	-	-	-	30,294 (ajustado)
TOTAL, DIRECTO					605,872

Fuente: Elaboración propia con base en datos de campo recolectados en el internado de BICU, agosto-septiembre de 2025.

Tabla 10. Matriz Comparativa Técnico-Estructural de Alternativas de Fosas Sépticas

Criterio	Concreto reforzado	Mampostería confinada	Tanques modulares (plastitank)	Ganador
Presupuesto Total (C\$)	1,378,472	835,560	605,872	Modulares
Presupuesto Total (USD)	\$37,638	\$22,814	\$16,542	Modulares
Volumen Fosa + Pozo	146.70 + 9.42 = 156.12 m ³	144 + 27 = 171 m ³	144.60 + 11 = 155.60 m ³	Concreto
Duración de Obra	78 días	68 días	42 días	Modulares
Tiempo de Ejecución	Lenta (alta mano de obra)	Media	Muy rápida	Modulares
Durabilidad / Vida Útil	Excelente (50+ años)	Muy Buena (35-45 años)	Buena (25-30 años)	Concreto
Resistencia Geotécnica (Suelos blandos + freático alto)	Excelente	Muy Buena	Buena (requiere buenos anclajes)	Concreto
Mantenimiento	Medio	Medio-Alto	Bajo	Modulares
Facilidad de Instalación	Compleja	Media	Muy fácil	Modulares
Impacto Ambiental	Medio	Bajo	Muy bajo	Modulares
Cumplimiento NTON 05-027-05	✓ Cumple	✓ Cumple	✓ Cumple	Empate
Recomendación Técnica	Más robusta	Mejor relación costo-durabilidad	Más económica y rápida	-

Fuente: Elaboración propia con base en datos de campo recolectados en el internado de BICU, agosto-septiembre de 2025.

Los resultados sintetizados en la Tabla 9 permiten comparar de manera integral las tres alternativas de fosa séptica evaluadas —concreto reforzado, mampostería confinada y tanques sanitarios

modulares— a partir de criterios estructurales, geotécnicos, sanitarios, constructivos, operativos y económicos. Esta comparación constituye un insumo clave para la toma de decisiones técnicas en el contexto del internado de la Bluefields Indian & Caribbean University (BICU), ubicado en un entorno de alta pluviosidad, suelos saturables y nivel freático elevado, característico de la Región Autónoma de la Costa Caribe Sur (RACCS).

De acuerdo con la Tabla 9, la alternativa de concreto reforzado presenta el mayor nivel de capacidad estructural, sustentado en un sistema monolítico compuesto por muros, zapatas y zapata tipo talud de concreto con resistencia $f'c = 21$ MPa. Este sistema exhibe un comportamiento excelente en suelos saturados, al combinar cimentación profunda con drenaje perimetral, lo que reduce de forma significativa el riesgo de asentamientos diferenciales y fallas por presión hidrostática. En consecuencia, se proyecta una durabilidad superior a 40 años, coherente con lo reportado en la literatura técnica para estructuras de concreto correctamente diseñadas e impermeabilizadas (Nilson et al., 2010; Das, 2016).

La mampostería confinada alcanza una capacidad estructural alta, siempre que se garantice el confinamiento adecuado mediante columnas y vigas, así como un sistema eficaz de drenaje. Tal como se refleja en la Tabla 9, su comportamiento en suelos saturados es muy bueno, aunque más dependiente de la calidad constructiva y del control de fisuración que el concreto reforzado. Su vida útil estimada de 25 a 35 años resulta consistente con aplicaciones sanitarias de mediana escala en contextos similares (Metcalf & Eddy, 2014).

Por su parte, los tanques sanitarios modulares presentan una capacidad estructural media–alta, condicionada al correcto diseño de la losa de apoyo, la cama de grava y el drenaje perimetral. Aunque su desempeño en suelos saturados es muy bueno, la Tabla 9 evidencia que su resistencia frente a presiones hidrostáticas extremas es menor en comparación con soluciones monolíticas, lo que se traduce en una durabilidad estimada entre 20 y 30 años, dependiente del material prefabricado y del mantenimiento (OMS, 2017).

En términos de constructibilidad, la Tabla 9 muestra que el concreto reforzado presenta alta complejidad constructiva, mayor tiempo de ejecución y una fuerte dependencia de mano de obra especializada, además de un elevado volumen de obra húmeda en sitio. Estas condiciones incrementan el riesgo constructivo y los costos indirectos, particularmente en contextos logísticos complejos como Bluefields.

La mampostería confinada se posiciona como una alternativa de complejidad media, con tiempos de ejecución moderados y menor dependencia de personal altamente especializado, lo que reduce el riesgo constructivo y facilita la supervisión técnica. En contraste, los tanques modulares destacan por su baja complejidad constructiva, tiempos de ejecución cortos y mínima obra húmeda, lo que resulta especialmente ventajoso en zonas de alta pluviosidad y acceso limitado, tal como se consigna en la Tabla 9.

Desde la perspectiva sanitaria, la Tabla 9 evidencia que la mampostería confinada alcanza la mayor eficiencia, al incorporar cuatro cámaras más una cámara de inspección, lo que mejora el control del proceso de tratamiento, la estabilidad del efluente y las posibilidades de monitoreo. El concreto reforzado, con tres cámaras, y los tanques modulares, con módulos secuenciales, presentan igualmente alta eficiencia sanitaria, aunque con un nivel de control del proceso ligeramente inferior.

En cuanto a mantenimiento y operación, los tanques modulares ofrecen la mayor facilidad de mantenimiento y acceso para inspección y muestreo, permitiendo interrupciones parciales o nulas del sistema durante las labores de servicio. La mampostería confinada admite interrupciones parciales, mientras que el concreto reforzado suele requerir interrupciones totales, tal como se refleja en la Tabla 9. Estos resultados concuerdan con las recomendaciones para sistemas descentralizados en instalaciones institucionales (MINSA, 2015; ONU-Hábitat, 2015).

El análisis de costos comparativos indica que el concreto reforzado presenta el mayor costo inicial, compensado por su elevada durabilidad y robustez estructural. La mampostería confinada y los

tanques modulares se ubican en un rango de costo inicial medio, siendo estos últimos los que presentan el menor costo de mantenimiento, debido a su diseño modular y facilidad operativa, como se resume en la Tabla 9.

Desde la perspectiva de sostenibilidad y adaptabilidad al contexto RACCS, la Tabla 9 muestra que la mampostería confinada y los tanques modulares alcanzan una valoración muy alta, al combinar eficiencia sanitaria, menor riesgo constructivo y flexibilidad frente a ampliaciones futuras. En el ámbito institucional educativo, el concreto reforzado responde a un enfoque tradicional y robusto, la mampostería confinada a un enfoque técnico-didáctico, y los tanques modulares a un enfoque moderno y modular, alineado con estrategias de crecimiento progresivo y gestión eficiente de infraestructura.

En conjunto, los resultados de la Tabla 9 confirman que no existe una alternativa universalmente superior, sino soluciones con ventajas diferenciadas según los criterios priorizados. El concreto reforzado destaca por su máxima robustez y durabilidad; la mampostería confinada por su equilibrio entre eficiencia sanitaria, control del proceso y costo; y los tanques sanitarios modulares por su flexibilidad, rapidez de ejecución y facilidad de mantenimiento. Esta evidencia comparativa sustenta la selección informada de la alternativa más adecuada para el internado BICU, en función de los objetivos técnicos, económicos y operativos del proyecto, y del cumplimiento de la normativa sanitaria y ambiental vigente.

Tabla 11. Comparación de Opciones de Construcción de Fosa Séptica

Criterio	Opción A: Concreto Reforzado	Opción B: Mampostería Reforzada	Opción C: Sistema Modular de Tanques Plásticos
Costo estimado	\$37,638.18	\$22,814.36	\$12,035.58
Durabilidad	50+ años (alta resistencia estructural y química)	25–35 años (depende del mantenimiento y sellado)	10–15 años (riesgo de desgaste por presión y químicos)
Resistencia estructural	Excelente: soporta cargas altas, movimientos del terreno y presión hidráulica	Buena: adecuada para condiciones normales, pero vulnerable a movimientos diferenciales del suelo	Limitada: depende del anclaje y del diseño de la base, riesgo ante asentamientos
Estanqueidad	Muy alta: con aditivos y buen curado se garantiza cero filtraciones	Media: requiere impermeabilización constante y control de juntas	Media-baja: riesgo de fugas en uniones entre tanques
Mantenimiento	Bajo: limpieza periódica	Medio: revisiones de fisuras y reimpermeabilización	Alto: posible reemplazo de tanques y control de juntas
Tiempo de construcción/instalación	40–60 días (por encofrado, armado y curado)	30–45 días	10–15 días (instalación rápida)

Criterio	Opción A: Concreto Reforzado	Opción B: Mampostería Reforzada	Opción C: Sistema Modular de Tanques Plásticos
Adaptabilidad al terreno	Excelente: soporta suelos rocosos y húmedos	Buena: adecuada en terrenos firmes, menos en suelos expansivos	Limitada: requiere suelo mejorado y base de concreto
Impacto ambiental	Bajo: estructura sellada evita filtraciones, alta vida útil	Medio: riesgo de microfiltraciones a largo plazo	Medio-Alto: riesgo de fugas por fallas en conexiones
Capacidad de ampliación	Fácil de diseñar y ampliar con módulos de concreto	Posible, pero requiere intervención estructural	Limitada a la capacidad de tanques prefabricados
Estética y orden constructivo	Excelente: acabado limpio, uniforme y adaptable a normas	Regular: acabado depende de la calidad del maestro de obra	Limitada: depende de disposición de tanques
Seguridad sanitaria	Muy alta: evita filtraciones y colapsos	Media-alta: depende del mantenimiento	Media: riesgo de fugas y fallas en juntas

Fuente: Elaboración propia con base en datos de campo recolectados en el internado de BICU, agosto-septiembre de 2025.

Los resultados consignados en la Tabla 10 permiten evaluar comparativamente tres alternativas de construcción de fosa séptica —concreto reforzado, mampostería reforzada y sistema modular de tanques plásticos— considerando criterios económicos, estructurales, sanitarios, ambientales y operativos. Esta evaluación es especialmente relevante para el contexto del internado de la

Bluefields Indian & Caribbean University (BICU), caracterizado por alta pluviosidad, suelos saturables y nivel freático elevado, condiciones que influyen de manera directa en el desempeño y la vida útil de los sistemas de saneamiento (Das, 2016; Metcalf & Eddy, 2014).

En términos de costo inicial, la Opción C (tanques plásticos) presenta la menor inversión (USD 12,035.58), seguida por la Opción B (mampostería reforzada) con un costo intermedio (USD 22,814.36), mientras que la Opción A (concreto reforzado) registra el mayor costo inicial (USD 37,638.18). Sin embargo, al contrastar estos valores con la durabilidad estimada, se observa que el concreto reforzado ofrece una vida útil superior a 50 años, asociada a su alta resistencia mecánica y química frente a ambientes húmedos y agresivos (Nilson et al., 2010).

La mampostería reforzada presenta una durabilidad media, entre 25 y 35 años, condicionada a la calidad de los materiales, el control de fisuración y la impermeabilización de juntas. Por su parte, los sistemas modulares de tanques plásticos muestran la menor durabilidad (10–15 años), siendo más vulnerables al envejecimiento del material y a la acción de agentes químicos presentes en las aguas residuales (OMS, 2017).

Estos resultados evidencian que un menor costo inicial no implica necesariamente una solución más económica en el ciclo de vida del sistema, criterio ampliamente recomendado en la planificación de infraestructuras sanitarias (ONU-Hábitat, 2015).

Desde el punto de vista estructural, la Opción A presenta un desempeño excelente, al soportar cargas elevadas, presión hidrostática y movimientos del terreno, lo que la hace especialmente adecuada para suelos húmedos y con nivel freático alto. El concreto reforzado, correctamente diseñado y ejecutado, permite un comportamiento monolítico que reduce el riesgo de asentamientos diferenciales y fallas estructurales (Das, 2016).

La Opción B ofrece una resistencia estructural buena, suficiente para condiciones normales, aunque con mayor vulnerabilidad frente a movimientos diferenciales del suelo, especialmente si el confinamiento no se ejecuta de manera adecuada. En contraste, la Opción C presenta una resistencia estructural limitada, altamente dependiente del anclaje y del diseño de la base de apoyo, incrementando el riesgo de flotación y deformaciones en suelos saturados (Metcalf & Eddy, 2014).

La adaptabilidad al terreno sigue esta misma tendencia, siendo excelente para el concreto reforzado, buena para la mampostería reforzada y limitada para los tanques plásticos, que requieren obligatoriamente mejoramiento de suelo y losas de apoyo para garantizar estabilidad.

En cuanto a la estanqueidad, la Opción A alcanza el nivel más alto, ya que el uso de aditivos, un adecuado curado y sistemas de impermeabilización permiten minimizar prácticamente a cero las filtraciones. La Opción B presenta una estanqueidad media, dependiente del control de juntas y del mantenimiento periódico, mientras que la Opción C muestra un desempeño medio-bajo, con mayor riesgo de fugas en las uniones entre tanques prefabricados (MINSA, 2015).

Estas diferencias influyen directamente en el impacto ambiental. La Opción A presenta un impacto bajo, al reducir el riesgo de contaminación del suelo y de las aguas subterráneas. La Opción B muestra un impacto medio, asociado a microfiltraciones a largo plazo, mientras que la Opción C presenta un impacto medio-alto, especialmente en escenarios de deterioro de conexiones o fallas de sellado, situación crítica en zonas con pozos cercanos y suelos limo-arcillosos (OMS, 2017).

En términos de seguridad sanitaria, el concreto reforzado ofrece un nivel muy alto, alineado con los principios de saneamiento seguro establecidos por organismos internacionales, mientras que la mampostería reforzada y los tanques plásticos presentan niveles medio-alto y medio, respectivamente, dependientes de la frecuencia y calidad del mantenimiento.

Desde el punto de vista operativo, la Opción A requiere un mantenimiento bajo, limitado a limpiezas periódicas, aunque presenta el mayor tiempo de construcción (40–60 días) debido a los procesos de encofrado, armado y curado del concreto. La Opción B presenta un tiempo de ejecución intermedio (30–45 días) y un mantenimiento medio.

La Opción C destaca por su rápido tiempo de instalación (10–15 días), pero requiere un mantenimiento alto, incluyendo control frecuente de juntas y posibles reemplazos de tanques. En cuanto a la capacidad de ampliación, el concreto reforzado ofrece mayor flexibilidad de diseño, la mampostería reforzada permite ampliaciones con intervenciones estructurales, mientras que los

sistemas modulares se encuentran limitados a las dimensiones y disponibilidad de los tanques prefabricados (ONU-Hábitat, 2015).

Los resultados de la Tabla 10 confirman que la elección de la alternativa constructiva debe basarse en una evaluación integral del desempeño técnico y del ciclo de vida, y no únicamente en el costo inicial. Aunque el sistema modular de tanques plásticos resulta atractivo por su bajo costo y rápida instalación, sus limitaciones en durabilidad, resistencia estructural y seguridad sanitaria lo convierten en una alternativa de mayor riesgo a largo plazo en el contexto ambiental de Bluefields.

La mampostería reforzada representa una solución intermedia, viable bajo condiciones de control constructivo y mantenimiento riguroso. No obstante, el concreto reforzado, pese a su mayor inversión inicial, ofrece la mayor durabilidad, robustez estructural y protección ambiental, lo que se traduce en un menor costo global y menor riesgo sanitario y ambiental en el largo plazo, en concordancia con las recomendaciones técnicas nacionales e internacionales para instalaciones educativas con población residente permanente (MINSA, 2015; Metcalf & Eddy, 2014).

9.4. Formulación del programa trienal de mantenimiento y vaciado conforme a la normativa ambiental y a las condiciones geotécnicas del sistema

1) Marco normativo y criterios de cumplimiento

1.1. Normativa aplicable (base de cumplimiento)

Ley No. 217 y reformas: prevención de contaminación del suelo/agua y manejo de residuos derivados del saneamiento.

Normativa sanitaria MINSA/NTON aplicable a sistemas sépticos: inspección, operación segura, control de olores y disposición de lodos.

Norma técnica de residuos peligrosos (si aplica por mezcla/contaminación de lodos): clasificación, transporte y disposición final.

1.2. Criterios mínimos que el programa debe garantizar

Control de estanqueidad e infiltraciones.

Gestión segura de lodos y natas (trazabilidad: extracción–transporte–disposición).

Control de **ventilación** (gases) y seguridad ocupacional durante intervención.

Protección del sistema ante nivel freático alto y suelos saturables: drenaje operativo y monitoreo de asentamientos.

2) Diagnóstico geotécnico-operativo que condiciona el mantenimiento

2.1. Variables geotécnicas críticas

Nivel freático somero (riesgo de flotación, empuje hidrostático, infiltración).

Suelos blandos/saturables (asentamientos diferenciales, fisuras).

Permeabilidad y humedad natural (impacto en drenaje perimetral y estabilidad).

2.2. Traducción a riesgos operativos

Riesgo de entrada de agua subterránea → reduce TRH y eficiencia sanitaria.

Riesgo de fisuración/juntas → fuga de efluente y contaminación del subsuelo.

Riesgo de obstrucciones y reboses → fallas sanitarias y ambientales.

3) Estructura del programa trienal

El programa se formula en 3 niveles: rutinario, preventivo programado y correctivo.

3.1. Frecuencias (calendario base)

Mensual: verificación operativa rápida (sin equipos especiales).

Trimestral: inspección técnica con checklist + evidencia fotográfica.

Semestral: control funcional (niveles de lodo, ventilación, drenajes).

Anual: inspección mayor (estanqueidad, estructura, drenaje) + plan de mejoras.

Trienal: vaciado/extracción total de lodos y natas + rehabilitación menor.

3.2. Componentes para mantener (por subsistema)

A. Subsistema sanitario-hidráulico

Entrada/salida, tuberías, tees, deflectores, pendientes, obstrucciones.

Nivel de lodos y natas (medición con vara/sludge judge).

B. Subsistema estructural

Muros/losa/tapas, fisuras, corrosión, deformaciones, asentamientos visibles.

En modulares: uniones, abrazaderas, deformaciones del tanque, anclajes.

C. Subsistema geotécnico y drenajes

Drenaje perimetral: limpieza, colmatación, sedimentos, geotextil, grava.

Condición del relleno compactado, encharcamientos, erosión.

D. Impermeabilización

Integridad de membrana cementicia/geomembrana, waterstops, puntos críticos.

E. Salud, seguridad y ambiente

Control de gases, EPP, señalización, manejo de lodos, bitácora ambiental.

4) Procedimiento de vaciado trienal

4.1. Preparación (antes del vaciado)

Aviso institucional y control de acceso.

Revisión de tapas/ventilación (riesgo de gases).

Verificación de nivel freático/lluvias (programar en periodo seco si es posible).

4.2. Ejecución

Extracción por camión vacío (ruta de acceso definida).

Inspección interna posterior: paredes, juntas, obstrucciones.

Limpieza de cámaras sin dañar impermeabilización.

4.3. Disposición final

Transporte y descarga en sitio autorizado (registro de manifiesto/recibos).

Evidencia documental: fecha, volumen extraído, empresa, destino final.

4.4. Cierre y rehabilitación menor

Sellado de fisuras/juntas, reposición de waterstop si aplica.

Reposición de grava en drenajes si hubo colmatación.

Prueba de estanqueidad posterior.

5) Instrumentos de control (entregables del programa)

Para que el objetivo quede “cerrado” en tesis, el programa debe incluir anexos:

Plan trienal en cronograma (tipo Gantt) con actividades, frecuencia, responsable.

Checklist de inspección (mensual/trimestral/anual).

Formato de bitácora (registro continuo: hallazgos–acciones–evidencia).

Procedimiento estándar (POE) para vaciado trienal.

Matriz de riesgos operativos (geotecnia–estructura–sanitario–ambiental).

Indicadores de desempeño del sistema (KPI):

% inspecciones cumplidas

Incidentes (rebose/olor/fuga) por año

Nivel de lodos vs. capacidad útil

Nº reparaciones por fisuras/juntas

Plan de contingencia por lluvias extremas / nivel freático alto.

6) Matriz de cumplimiento normativo

Para vincular explícitamente “conforme a normativa ambiental”:

Actividad → requisito normativo (Ley 217 / norma sanitaria / residuos) → evidencia exigida (acta, fotos, manifiesto) → responsable.

Tabla 12. Cronograma trienal de mantenimiento y vaciado del sistema de fosa séptica del Internado BICU

Nº	Actividad	Frecuencia	Año 1	Año 2	Año 3	Responsable	Evidencia técnica / ambiental
1	Inspección visual general del sistema (tapas, accesos, olores, reboses)	Mensual	✓	✓	✓	Administración / Mantenimiento BICU	Registro en bitácora, fotografías
2	Verificación de ventilación (respiraderos, obstrucciones, gases)	Trimestral	✓	✓	✓	Mantenimiento BICU	Lista de chequeo, acta técnica
3	Revisión de tuberías de entrada y salida (pendientes, obstrucciones)	Trimestral	✓	✓	✓	Mantenimiento BICU	Checklist sanitario
4	Medición de nivel de lodos y natas en cámaras	Semestral	✓	✓	✓	Técnico sanitario	Registro de niveles, ficha técnica
5	Inspección de muros, losas y tapas (fisuras, deformaciones)	Semestral	✓	✓	✓	Técnico civil / supervisor	Informe técnico con evidencia fotográfica
6	Revisión del sistema de impermeabilización visible y juntas	Anual	✓	✓	✓	Técnico civil	Informe anual de condición
7	Limpieza y mantenimiento del drenaje perimetral	Anual	✓	✓	✓	Mantenimiento BICU	Acta de limpieza

Nº	Actividad	Frecuencia	Año 1	Año 2	Año 3	Responsable	Evidencia técnica / ambiental
8	Control de asentamientos superficiales y encharcamientos	Anual	✓	✓	✓	Técnico civil	Registro de observaciones
9	Inspección sanitaria integral (condiciones ambientales y de seguridad)	Anual	✓	✓	✓	Responsable ambiental	Informe sanitario– ambiental
10	Vaciado parcial preventivo (si nivel de lodos > 50 %)	Condicional	—	✓*	—	Empresa autorizada	Manifiesto de disposición
11	Vaciado total de lodos y natas del sistema	Trienal	—	—	✓	Empresa autorizada MINSA	Certificado de vaciado y disposición final
12	Inspección post-vaciado y reparación menor (sellos, juntas, drenajes)	Posterior al vaciado	—	—	✓	Técnico civil	Informe post-operación
13	Actualización del registro ambiental y plan de mantenimiento	Trienal	—	—	✓	Administración BICU	Archivo actualizado

Fuente: Elaboración propia con base en datos de campo recolectados en el internado de BICU, agosto-septiembre de 2025.

Nota: ✓* El vaciado parcial en el Año 2 se ejecutará únicamente si los niveles de lodos superan el 50 % de la capacidad útil del sistema, conforme a criterios sanitarios y operativos.

Tabla 13. Lista de cotejo técnico de inspección del sistema de fosa séptica – Internado BICU

Ítem	Componente	Criterio de inspección	Método	Frecuencia	Cumple (Sí/No)	Observaciones / Acción
1	Tapas de registro	Integridad, cierre hermético, sin deformaciones	Inspección visual	Mensual		
2	Ventilación	Respiraderos libres, sin obstrucción ni corrosión	Visual / prueba de flujo	Trimestral		
3	Olores	Ausencia de olores persistentes	Olfativa	Mensual		
4	Entrada sanitaria	Tee/deflector en buen estado, sin obstrucciones	Visual	Trimestral		
5	Salida sanitaria	Nivel de salida correcto, sin arrastre de sólidos	Visual	Trimestral		
6	Nivel de lodos	≤ 50 % de la altura útil de la cámara	Vara / sludge judge	Semestral		
7	Nivel de natas	$\leq 15-20$ % de la altura útil	Vara graduada	Semestral		
8	Muros / losas	Sin fisuras activas, sin filtraciones	Visual	Semestral		
9	Juntas / sellos	Integridad de waterstop/impermeabilización	Visual	Anual		
10	Drenaje perimetral	Sin colmatación; flujo libre	Visual	Anual		
11	Encharcamientos	Ausencia alrededor del sistema	Visual	Anual		
12	Asentamientos	No hay hundimientos diferenciales	Visual / regla	Anual		
13	Seguridad	Señalización y accesos seguros	Visual	Anual		
14	Documentación	Bitácora actualizada	Revisión	Trimestral		
15	Condición sanitaria	Cumplimiento MINSA/NTON	Auditoría	Anual		

Fuente: Elaboración propia con base en datos de campo recolectados en el internado de BICU, agosto-septiembre de 2025.

Criterio de decisión:

- **Vaciado preventivo** si Ítems 6 o 7 superan límites.
- **Correctivo inmediato** si Ítems 8–11 fallan.

POE – Procedimiento Operativo Estándar para el Vaciado Trienal del Sistema de Fosa Séptica (BICU)

1. Objetivo

Garantizar la extracción segura y ambientalmente responsable de lodos y natas del sistema séptico, preservando la integridad estructural, la eficiencia sanitaria y el cumplimiento normativo.

2. Alcance

Aplica al vaciado total trienal y a vaciados parciales preventivos cuando los niveles de lodos/natas superen los límites operativos.

3. Responsables

- Administrador del sistema (BICU): coordinación y registros.
- Empresa autorizada: extracción, transporte y disposición final.
- Supervisor técnico: verificación de seguridad, estanqueidad y cierre.
- **Referencias normativas**
- Ley No. 217 (protección ambiental).
- Normativa sanitaria MINSA/NTON para sistemas sépticos.
- Normas de seguridad y salud ocupacional aplicables.

5. Equipos y EPP

- Camión vacío autorizado; mangueras certificadas.
- EPP: casco, guantes, botas, gafas, mascarilla/respirador.
- Detector de gases (si disponible), señalización y cintas.

6. Procedimiento

6.1 Preparación (Previo)

- Programar en periodo seco cuando sea posible.
- Delimitar área y restringir accesos.
- Verificar ventilación y ausencia de gases acumulados.
- Revisar nivel freático y estado del drenaje perimetral.

6.2 Ejecución

- Abrir tapas con herramientas adecuadas.
- Extraer lodos y natas sin dañar muros, losas ni impermeabilización.
- Evitar lavado a presión sobre recubrimientos.
- Registrar volumen extraído y tiempo de operación.

6.3 Disposición final

- Transporte a sitio autorizado.
- Obtener manifiesto/certificado de disposición final.

6.4 Post-vaciado

- Inspección interna: fisuras, juntas, sellos, deflectores.
- Reparaciones menores (sellado, reposición de grava si aplica).
- Prueba de estanqueidad básica (observación controlada).
- Cierre de tapas y limpieza del área.

7. Seguridad

- Prohibido ingreso a cámaras.
- Trabajo en superficie con ventilación permanente.
- Suspender si hay lluvias intensas o gases peligrosos.

8. Registros obligatorios

- Acta de vaciado (fecha, volumen, empresa).

- Evidencia fotográfica antes/después.
- Certificado de disposición final.
- Actualización de bitácora ambiental.

9. Indicadores (KPI)

- % cumplimiento del cronograma.
- Incidentes (reboses/fugas) por año.
- Vida útil del sistema sin fallas estructurales.

X. CONCLUSIONES

Conclusión asociada al Objetivo Específico 1

El análisis geotécnico y estructural desarrollado para el presente estudio, sustentado en la revisión del Estudio geotécnico del sector Miraflores elaborado por DYSCONCSA (2016) para la Alcaldía Municipal de Bluefields, permitió identificar las principales condiciones del terreno que influyen en el diseño de la fosa séptica del internado de BICU. De acuerdo con los resultados reportados en dicho estudio —sintetizados en la Tabla 2 del presente documento— el sitio se caracteriza por estratos superficiales de baja capacidad portante, presencia de suelos blandos saturables y un nivel freático somero, condiciones típicas de zonas costeras de la ciudad de Bluefields.

Estas características geotécnicas constituyen el principal condicionante técnico para el diseño del sistema sanitario propuesto. En consecuencia, la estabilidad y durabilidad de la estructura requieren la incorporación de medidas estructurales y constructivas específicas, tales como losas rígidas de reparto de cargas, sistemas de zapata tipo talud o elementos de confinamiento estructural, así como drenaje perimetral e impermeabilización adecuada del tanque. La ausencia de estos elementos podría incrementar el riesgo de asentamientos diferenciales, fisuración estructural, infiltraciones de agua subterránea y fallas prematuras del sistema, comprometiendo tanto la funcionalidad hidráulica de la instalación como las condiciones sanitarias del entorno.

Conclusión asociada al Objetivo Específico 2

La determinación del volumen óptimo de almacenamiento, basada en una población usuaria de 196 residentes, el caudal unitario de diseño y el tiempo de retención hidráulica exigido por la normativa sanitaria, permitió establecer una capacidad requerida de 141.12 m³. Este volumen garantiza un tratamiento primario adecuado de las aguas residuales y un margen de seguridad frente a variaciones en la ocupación y en las condiciones hidráulicas del sistema. Los resultados confirman que un dimensionamiento inferior al volumen calculado reduciría el tiempo de retención hidráulica, afectando la eficiencia del proceso anaeróbico y aumentando el riesgo de sobrecargas y desbordamientos.

Conclusión asociada al Objetivo Específico 3

La comparación técnica entre las alternativas de concreto reforzado, mampostería confinada y tanques sanitarios modulares, mediante matrices comparativas y análisis de costo–beneficio, permitió identificar ventajas y limitaciones diferenciadas en términos estructurales, sanitarios, constructivos y operativos. El concreto reforzado demostró el mayor nivel de robustez, durabilidad y seguridad sanitaria, la mampostería confinada presentó un equilibrio favorable entre eficiencia y costo, y los tanques modulares destacaron por su rapidez de instalación y flexibilidad operativa. No obstante, considerando el contexto geotécnico y ambiental de Bluefields, se concluye que las soluciones rígidas y adecuadamente impermeabilizadas ofrecen un desempeño más confiable a largo plazo.

Conclusión asociada al Objetivo Específico 4

La formulación del programa trienal de mantenimiento y vaciado permitió establecer un esquema preventivo y sistemático que garantiza la operación segura y sostenible del sistema séptico. El cronograma definido, complementado con un checklist técnico de inspección y un procedimiento operativo estándar (POE) para el vaciado, asegura el control periódico de los componentes estructurales, hidráulicos y geotécnicos, así como la gestión ambientalmente responsable de los lodos extraídos. Este programa reduce el riesgo de fallas operativas, prolonga la vida útil de la infraestructura y asegura el cumplimiento de la normativa sanitaria y ambiental vigente.

Conclusión integradora

De manera integral, los resultados del estudio confirman que el sistema séptico existente del internado de BICU no cumple con los requisitos técnicos y normativos establecidos en la NTON 05-027-05, operando deficientemente como una caja de registro con descarga directa y presentando un volumen muy inferior al requerido (49,02 m³ vs 141,12 m³).

Las tres alternativas propuestas (Concreto Reforzado, Mampostería Confinada y Tanques Modulares), actualizadas y dimensionadas consistentemente a 141,12 m³ con pozo de absorción, representan soluciones técnicas viables que resuelven las deficiencias detectadas. La alternativa

de Concreto Reforzado se posiciona como la más robusta para las condiciones geotécnicas del sitio, mientras que las otras dos ofrecen ventajas en costo y tiempo de ejecución.

La formulación de un programa trienal de mantenimiento completa el enfoque integral del estudio, garantizando la sostenibilidad a largo plazo del sistema. En conclusión, esta investigación demuestra que un diseño técnico riguroso, adaptado al contexto local y respaldado por un plan de mantenimiento sistemático, es esencial para garantizar la eficiencia sanitaria, la protección ambiental y la habitabilidad digna de las comunidades universitarias en entornos costeros como Bluefields.

XI. RECOMENDACIONES

Se recomienda que BICU implemente la alternativa de concreto reforzado, manteniendo el volumen útil de 141,12 m³, incorporando pozo de absorción, impermeabilización integral, drenaje perimetral y criterios de ampliación futura. Esta acción deberá ser liderada por la Dirección Administrativa, la Unidad de Mantenimiento e Infraestructura y el equipo técnico diseñador, antes de la ejecución de la obra, mediante planos definitivos, memoria hidráulica, estudio geotécnico complementario y supervisión técnica documentada.

Se recomienda la implementación de la alternativa en concreto reforzado con cimentación combinada mediante losa armada y zapatas tipo talud, la cual ofrece mayor economía, menor tiempo de ejecución y adecuada adaptación a las condiciones locales del terreno.

Asimismo, se recomienda aplicar obligatoriamente el programa trienal de mantenimiento, bajo responsabilidad de la Unidad de Mantenimiento de BICU, con inspecciones mensuales, revisión técnica semestral, vaciado programado de lodos, lista de cotejo operativa, bitácora institucional y contratación exclusiva de empresas autorizadas para la disposición final. El cumplimiento deberá evidenciarse mediante informes, manifiestos de retiro, certificados de disposición final, fotografías y registros ambientales.

Finalmente, se recomienda capacitar anualmente al personal de mantenimiento y administración del internado, establecer un expediente técnico permanente del sistema séptico e integrar la infraestructura como recurso educativo para prácticas de ingeniería sanitaria, gestión ambiental y sostenibilidad universitaria. Estas acciones permitirán asegurar la operación eficiente del sistema, reducir riesgos sanitarios y ambientales, y fortalecer el cumplimiento normativo e institucional de BICU.

XII. ASPECTOS ADMINISTRATIVOS

12.1 Presupuesto

Nº	Concepto	Unidad	Cantidad	Costo Unitario	Costo Total
PRIMERA FASE					
Equipos e Insumos de Campo					
1	GPS Garmin	Unidad	1	C\$20,000.00	C\$20,000.00
2	Análisis de agua	Unidad	5	C\$1,100.00	C\$5,500.00
3	Baterías AA	Par	2	C\$80.00	C\$160.00
4	Cinta Métrica de 5 m	Unidad	1	C\$165.00	C\$165.00
5	Tablas de Campo	Unidad	2	C\$50.00	C\$100.00
6	Cinta métrica de 50 m	Unidad	2	C\$800.00	C\$1,600.00
7	Cascos	Unidad	3	C\$350.00	C\$1,050.00
8	Chalecos reflectivos	Unidad	3	C\$120.00	C\$360.00
9	Sub-Total				C\$28,935.00
SEGUNDA FASE					
Informe Final					
10	Impresión del documento	Unidad	1	C\$3,000.00	C\$3,000.00
11	Empastado del documento	Unidad	2	C\$1,500.00	C\$3,000.00
12	Sub-Total				C\$6,000.00
INVERSIÓN FINAL					
13	Total				<u>C\$34,935.00</u>

Fuente: Elaboración propia con base en datos de campo recolectados en el internado de BICU, agosto-septiembre de 2025.

12.2 Cronograma de actividades

PERIODO	2025																																				
MES	Febrero				Marzo				Abril				Mayo				Junio				Julio				Agosto				Septiembre				Octubre				
ACTIVIDADES	S 1	S 2	S 3	S 4	S 1	S 2	S 3	S 4	S 1	S 2	S 3	S 4	S 1	S 2	S 3	S 4	S 1	S 2	S 3	S 4	S 1	S 2	S 3	S 4	S 1	S 2	S 3	S 4	S 1	S 2	S 3	S 4	S 1	S 2	S 3	S 4	
Planteamiento de la investigación		X																																			
Diseño de la propuesta			X																																		
Presentación a responsable de Investigación del área del conocimiento							X	X																													
Calibración de Equipos e Instrumentos									X	X																											
Recolección de datos											X	X	X	X																							
Construcción de Bases de Datos															X	X																					

“La educación es la mejor opción para el desarrollo de los pueblos.”

PERIODO	2025																																				
MES	Febrero				Marzo				Abril				Mayo				Junio				Julio				Agosto				Septiembre				Octubre				
ACTIVIDADES	S1	S2	S3	S4	S1	S2	S3	S4	S1	S2	S3	S4	S1	S2	S3	S4	S1	S2	S3	S4	S1	S2	S3	S4	S1	S2	S3	S4	S1	S2	S3	S4	S1	S2	S3	S4	
Construcción de Resultados y Discusión																	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X										
Presentación de primer borrador																										X	X	X	X	X	X	X					
Aplicación de correcciones																																	X	X			
Defensa																																			X	X	

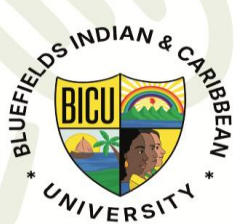
Fuente: Elaboración propia con base en datos de campo recolectados en el internado de BICU, agosto-septiembre de 2025.

XIII. REFERENCIAS

- Alcaldía Municipal de Bluefields. (2025). *Estudio de suelo Miraflores para infraestructura sanitaria* [Documento técnico no publicado]. Bluefields, Nicaragua.
- American Concrete Institute. (2019). *Building code requirements for structural concrete (ACI 318-19) and commentary*. American Concrete Institute. <https://www.concrete.org>
- Asamblea Nacional de la República de Nicaragua. (1996). *Ley No. 217: Ley General del Medio Ambiente y los Recursos Naturales*. *La Gaceta, Diario Oficial*, No. 105.
- Asamblea Nacional de la República de Nicaragua. (2008). *Ley No. 647: Ley de reformas y adiciones a la Ley No. 217, Ley General del Medio Ambiente y los Recursos Naturales*. *La Gaceta, Diario Oficial*, No. 62.
- Asamblea Nacional de la República de Nicaragua. (2007). *Ley No. 618: Ley General de Higiene y Seguridad del Trabajo*. *La Gaceta, Diario Oficial*, No. 133.
- ASTM International. (2018). *ASTM D1586/D1586M-18: Standard test method for standard penetration test (SPT) and split-barrel sampling of soils*. ASTM International. <https://www.astm.org>
- Bowles, J. E. (1997). *Foundation analysis and design* (5th ed.). McGraw-Hill.
- Chernicharo, C. A. L. (2007). *Anaerobic reactors* (Vol. 4). IWA Publishing. <https://doi.org/10.2166/9781780402116>
- Das, B. M. (2016). *Principles of foundation engineering* (8th ed.). Cengage Learning.
- Diseño y Supervisión, Control de Calidad, S. A. (DYSCONCSA). (2016). *Estudio geotécnico de cimentación y bancos de materiales para el diseño del puente Mirafior en la ciudad de Bluefields* [Informe técnico]. Alcaldía Municipal de Bluefields.

- Flores-Pacheco, A., Mairena, A., & Espluga, J. (2013). Evaluación de riesgos en sistemas agrícolas asociados a la utilización de plaguicidas en el municipio de Kukra Hill, Nicaragua, Centroamérica. *Nexo Revista Científica*, 26(1), 34–44.
<https://doi.org/10.5377/nexo.v26i1.1034>
- Hernández-Sampieri, R., & Mendoza Torres, C. P. (2018). *Metodología de la investigación: Las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta*. McGraw-Hill Education.
- Matus-Román, K., González Alemán, N., & Flores Pacheco, J. A. (2020). Comunidades de macroinvertebrados: bio-indicadores de la calidad del agua en el Territorio Indígena Rama-Kriol. *Ciencia e Interculturalidad*, 27(2), 129–146.
<https://doi.org/10.5377/rci.v27i02.10438>
- Metcalf & Eddy, Inc. (2014). *Wastewater engineering: Treatment and resource recovery* (5th ed.). McGraw-Hill Education.
- Ministerio del Ambiente y los Recursos Naturales. (2006). *NTON 05 027-05: Norma Técnica Obligatoria Nicaragüense para regular los sistemas de tratamiento de aguas residuales y su reuso*. *La Gaceta, Diario Oficial*, No. 90.
- Ministerio de Salud. (1994). *Acuerdo Ministerial No. 65-94: Normas de calidad del agua para consumo humano*. Ministerio de Salud.
- Ministerio de Salud. (2014). *Norma técnica sanitaria para el diseño, construcción y operación de sistemas de tratamiento de aguas residuales domésticas*. MINSA.
- Ministerio de Salud. (2015). *Normativa técnica para el diseño, construcción y operación de sistemas de saneamiento básico*. MINSA.

- Morán, A. E., & Alvarado, L. J. (2010). *Diseño y evaluación de proyectos de ingeniería sanitaria*. Alfaomega Grupo Editor.
- Nilson, A. H., Darwin, D., & Dolan, C. W. (2010). *Design of concrete structures* (14th ed.). McGraw-Hill.
- Organización Mundial de la Salud. (2018). *Guías para la calidad del agua de consumo humano: Cuarta edición que incorpora la primera adenda*. Organización Mundial de la Salud. <https://www.who.int/es/publications/i/item/9789241549950>
- Organización Mundial de la Salud. (2018). *Guidelines on sanitation and health*. World Health Organization. <https://www.who.int/publications/i/item/9789241514705>
- ONU-Hábitat. (2015). *Soluciones descentralizadas de saneamiento para contextos urbanos y periurbanos*. Programa de las Naciones Unidas para los Asentamientos Humanos. <https://unhabitat.org>
- Terzaghi, K., Peck, R. B., & Mesri, G. (1996). *Soil mechanics in engineering practice* (3rd ed.). John Wiley & Sons.
- Torres-Aranda, M., & Rodríguez, F. (2021). Análisis estructural y funcional de fosas sépticas en contextos urbanos precarios. *Revista Ingeniería y Desarrollo*, 39(2), 80–95. <https://doi.org/10.25043/19098642.2213>
- UN-Habitat. (2019). *Wastewater management in developing countries: Design principles and case studies*. United Nations Human Settlements Programme.
- UN-Habitat. (2023). *Global report on sanitation and wastewater management*. United Nations Human Settlements Programme. <https://unhabitat.org>



Von Sperling, M., & Chernicharo, C. A. L. (2005). *Biological wastewater treatment in warm climate regions* (Vol. 1). IWA Publishing. <https://doi.org/10.2166/9781780402731>

XIV. ANEXOS

Nota: Los resultados presentados en el **Anexo 1. Plan de Visita de Campo – Verificación de Volumen y Contaminación de Fosa Séptica** y en el **Anexo 2. Hoja de campo – Inspección de fosa séptica y toma de muestras** fueron obtenidos mediante una visita técnica realizada en el internado de Bluefields Indian & Caribbean University (BICU). Esta actividad se desarrolló en coordinación con el docente responsable de la asignatura de Hidrología durante el segundo semestre académico de 2025, como parte de las actividades prácticas de observación, inspección y levantamiento de información en campo. Los datos recopilados permitieron verificar las condiciones operativas del sistema séptico, estimar el volumen de almacenamiento y documentar evidencias relacionadas con su estado de funcionamiento y posibles indicios de contaminación.

Anexo 1. Plan de Visita de Campo – Verificación de Volumen y Contaminación de Fosa Séptica

1. Objetivos

Medir el volumen actual útil y total de la fosa séptica.

Tomar muestras de suelo en el área circundante.

Tomar muestras de agua en la fuente cercana y, si es posible, en el agua subterránea.

Determinar si existe contaminación proveniente de la fosa.

2. Procedimiento Técnico

2.1. Verificación del Volumen de la Fosa

Herramientas: cinta métrica metálica, nivel de burbuja o laser, varilla graduada.

Método:

Localizar el registro de inspección de la fosa.

Medir largo, ancho y profundidad útil (hasta el inicio de la salida).

Calcular volumen con la fórmula:

Volumen=Largo × Ancho × Profundidad Volumen

Comparar con el volumen proyectado y normativo.

2.2. Toma de Muestras de Suelo

Herramientas: barreno o perforador manual, bolsas de muestreo estériles, guantes.

Puntos de muestreo:

1 m, 3 m y 5 m de distancia desde la fosa, en dirección del flujo de aguas subterráneas.

Un punto de control fuera de la influencia de la fosa.

Método:

Extraer suelo a profundidad de 0.5 m y 1.5 m.

Guardar en bolsas rotuladas con fecha, hora, coordenadas y profundidad.

Conservar en refrigeración hasta llevar al laboratorio.

2.3. Toma de Muestras de Agua

Herramientas: botellas estériles (vidrio o plástico especial), nevera portátil con hielo.

Puntos de muestreo:

Fuente de agua cercana (pozo, manantial o corriente superficial).

Puntos intermedios entre la fosa y la fuente (si es posible).

Método:

Tomar muestra evitando arrastre de sedimentos superficiales.

Rotular y refrigerar inmediatamente.

Enviar al laboratorio antes de 6 horas.

3. Parámetros a Analizar en Laboratorio

Agua: coliformes totales y fecales, E. coli, nitratos, amonio, DBO5.

Suelo: coliformes totales y fecales, materia orgánica, nitratos.

4. Seguridad y Normativa

Usar guantes, mascarilla y botas impermeables.

Seguir la normativa NTON 05 015-02 y lineamientos del Ministerio del Ambiente y Recursos Naturales (MARENA).

Evitar contacto directo con aguas residuales.

Anexo 2. Hoja de campo – inspección de fosa séptica y toma de muestras

1. Datos Generales

Proyecto / Sitio: _____

Ubicación GPS: Lat: _____ Long: _____

Fecha: ____ / ____ / ____

Hora inicio: _____ Hora fin: _____

Inspector(es): _____

Condiciones climáticas: _____

2. Verificación de Volumen de la Fosa Séptica

Medida	Valor (m)	Observaciones
Largo		
Ancho		
Profundidad útil		
Profundidad total		
Volumen calculado (m³)		

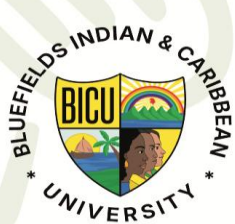
Estado de la estructura:

☐ Bueno ☐ Regular ☐ Deteriorado

Observaciones: _____

3. Muestras de Suelo

Código Muestra	Distancia a fosa (m)	Profundidad (m)	Coordenadas GPS	Observaciones
S-01	1	0.5	Lat: ____ Long: ____	
S-02	1	1.5	Lat: ____ Long: ____	
S-03	3	0.5	Lat: ____ Long: ____	
S-04	3	1.5	Lat: ____ Long: ____	
S-05 (Control)	>15	0.5	Lat: ____ Long: ____	



4. Muestras de Agua

Código Muestra	Ubicación	Coordenadas GPS	Hora toma	Observaciones
A-01	Fuente cercana	Lat: ____ Long: ____		
A-02	Intermedio (si aplica)	Lat: ____ Long: ____		
A-03 (Control)	Punto alejado	Lat: ____ Long: ____		

5. Observaciones Generales

6. Firma del Inspector

Nombre: _____ Firma: _____

Anexo 3. Planos y diseños

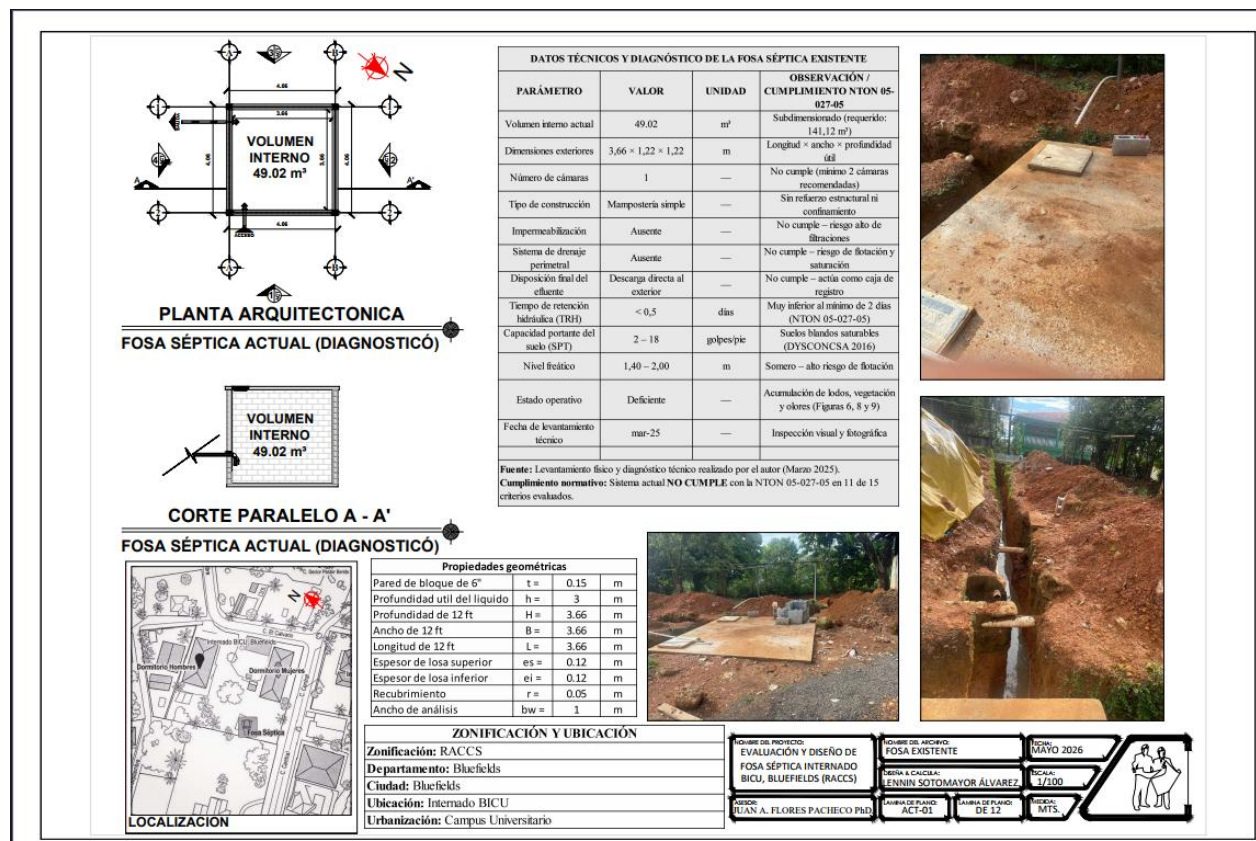


Figura 4. Diagnóstico técnico, arquitectónico y operativo de la fosa séptica existente del internado de BICU, Bluefields.

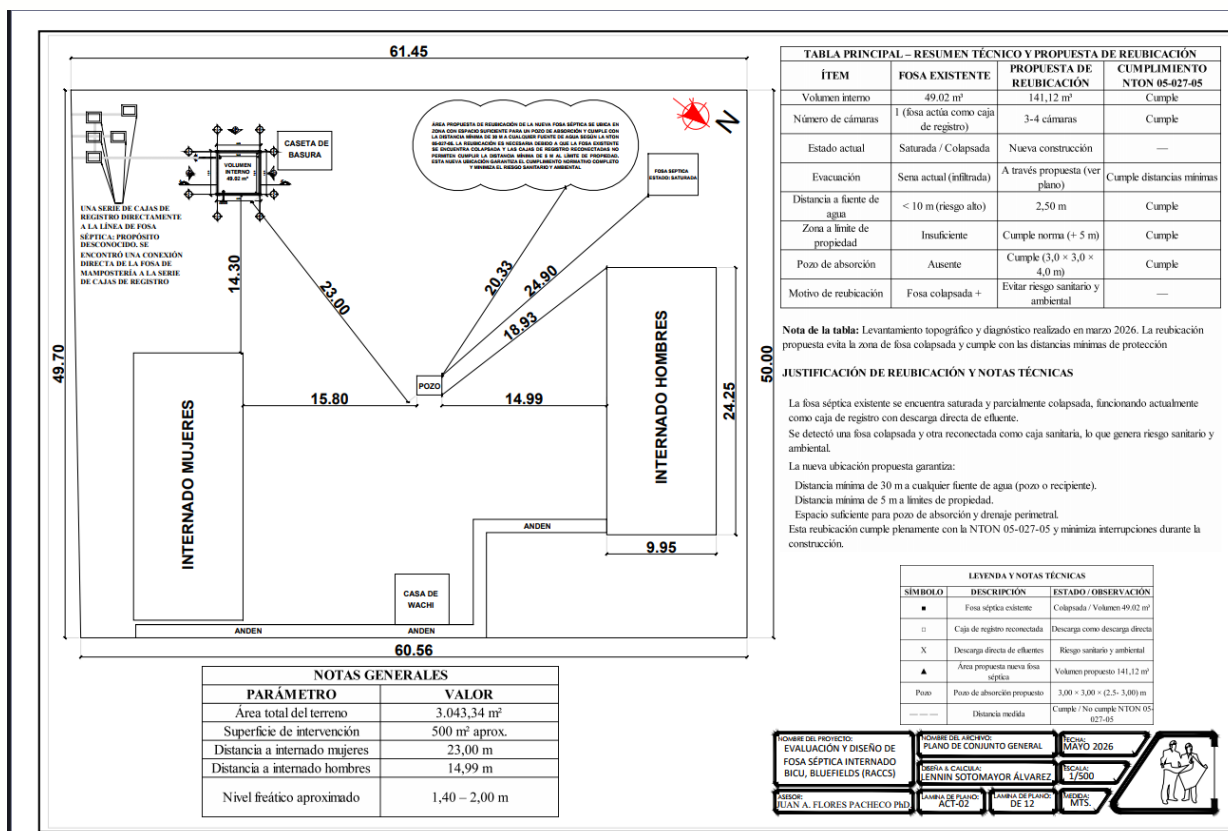


Figura 5. Propuesta de reubicación de la fosa séptica, pozo de absorción y obras complementarias del internado de BICU, barrio San Pedro, Bluefields.

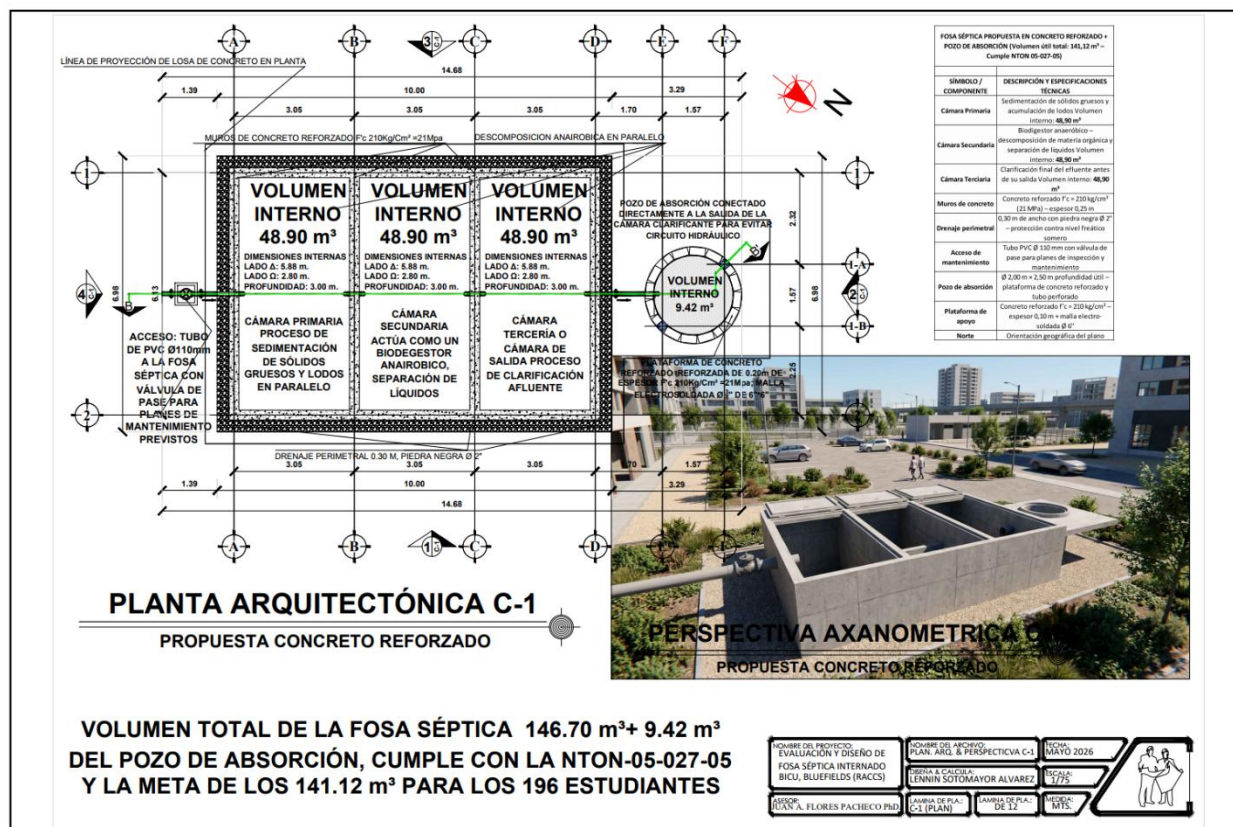


Figura 6. Planta arquitectónica y perspectiva axonométrica de la alternativa de fosa séptica en concreto reforzado para el internado de BICU, Bluefields.

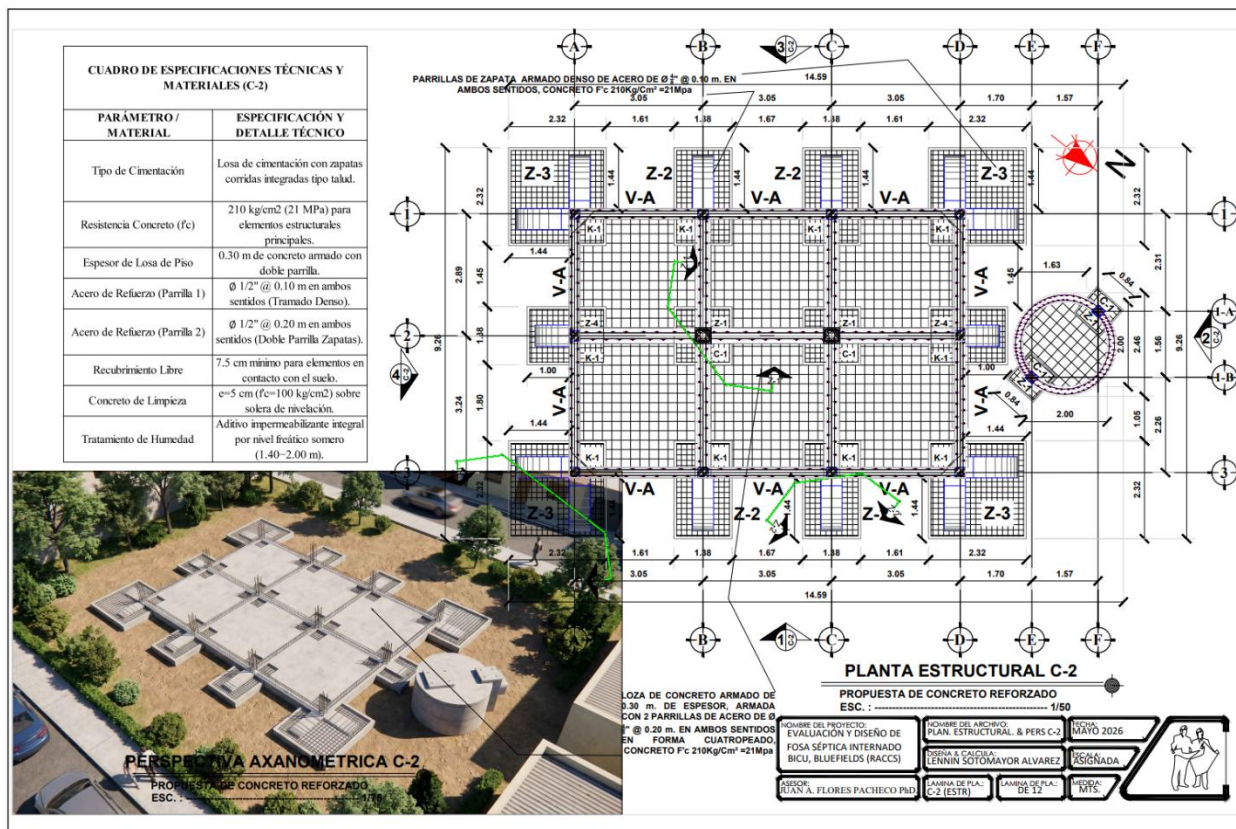


Figura 7. Planta estructural y perspectiva axonométrica de la alternativa de fosa séptica en concreto reforzado para el internado de BICU.

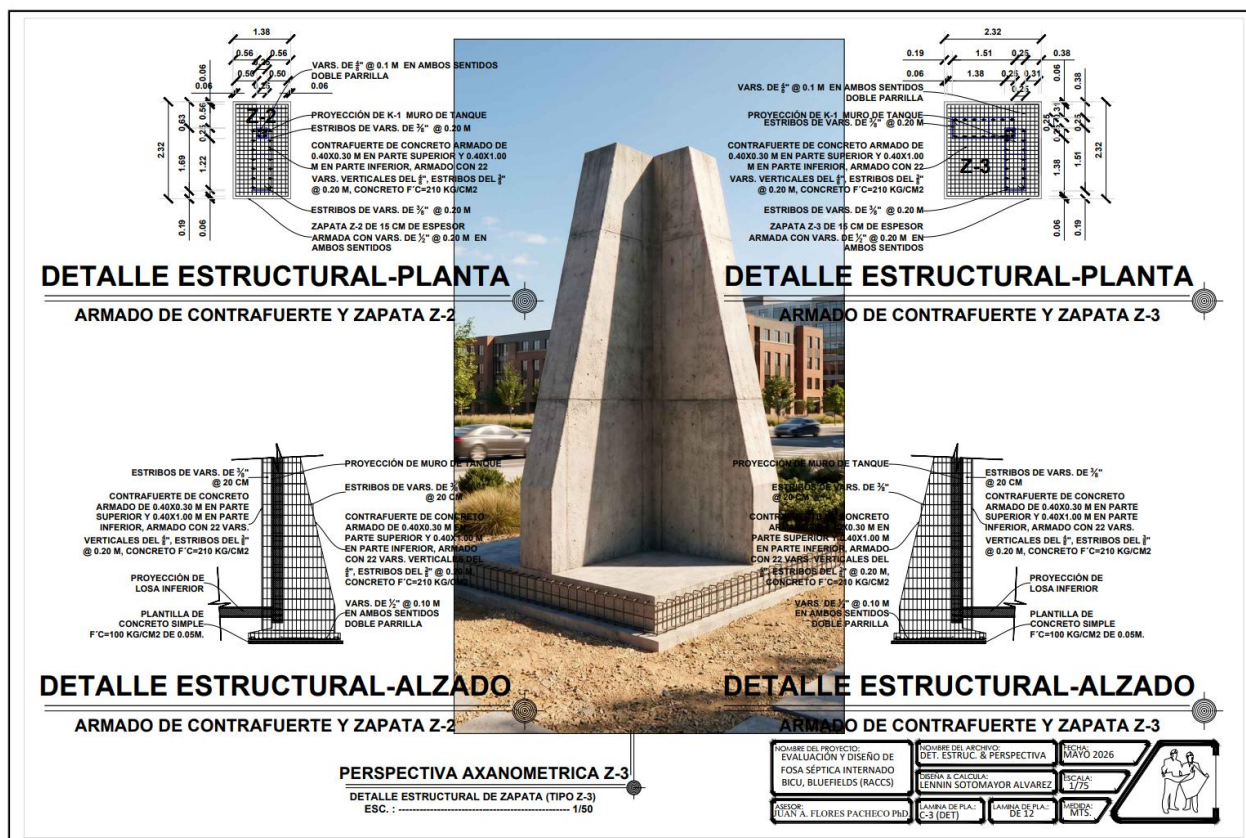


Figura 8. Detalles estructurales de contrafuertes y zapatas Z-2 y Z-3 para la alternativa en concreto reforzado del sistema séptico del internado de BICU.



Figura 9. Detalles estructurales de zapata Z-1, columna C-1, castillo K-1, cerramiento T-1 y desplante CT-1 del sistema séptico propuesto para el internado de BICU.



Figura 10. Perspectiva renderizada y sección longitudinal del sistema séptico propuesto en concreto reforzado para el internado de BICU.

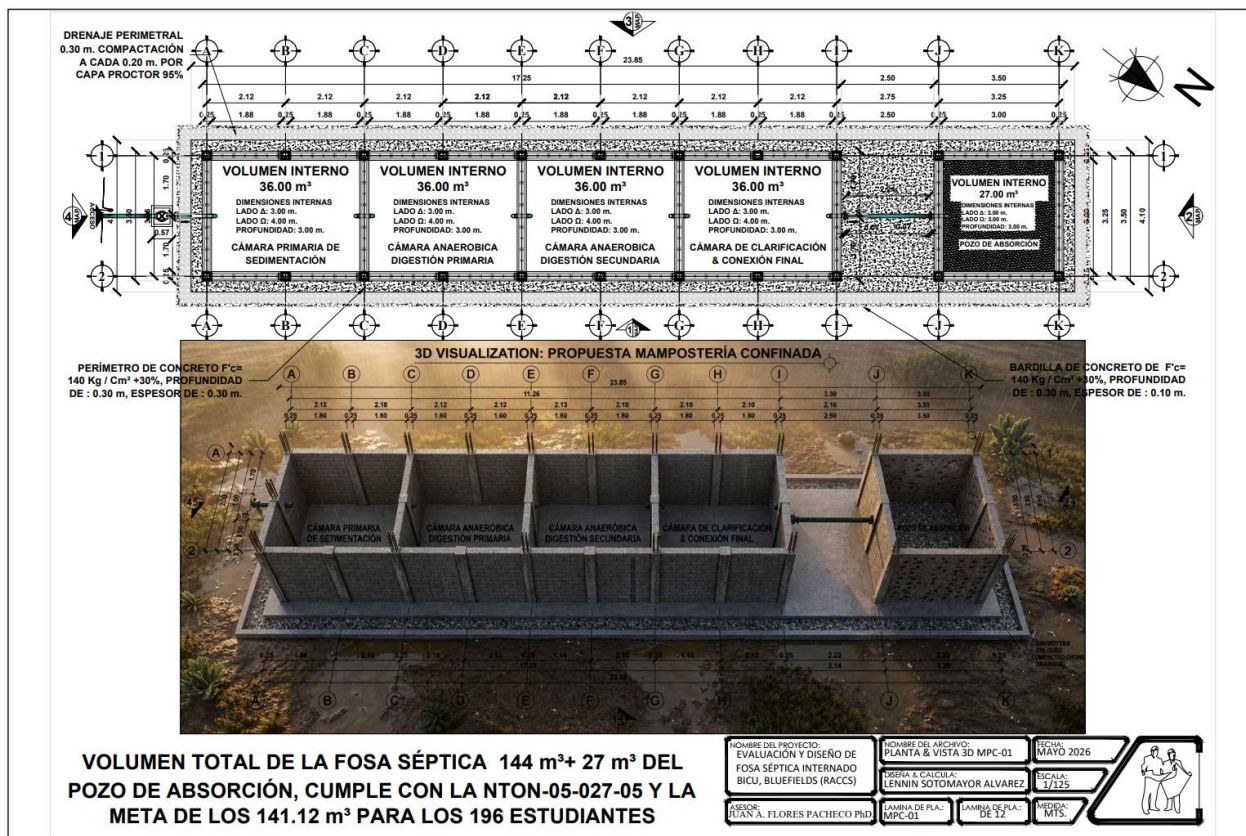


Figura 11. Planta arquitectónica y visualización 3D de la alternativa en mampostería confinada para el sistema séptico del internado de BICU, Bluefields.

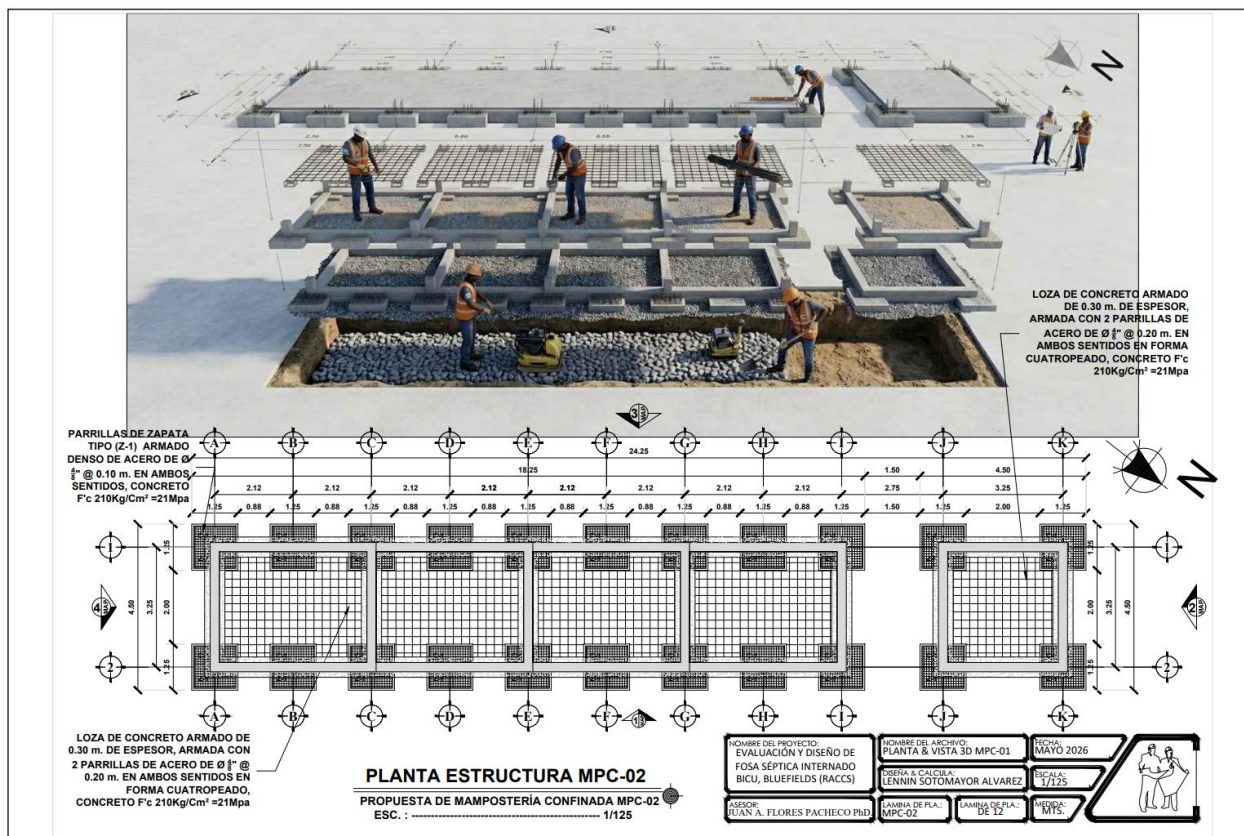


Figura 12. Planta estructural y visualización constructiva de la alternativa en mampostería confinada para el sistema séptico del internado de BICU.

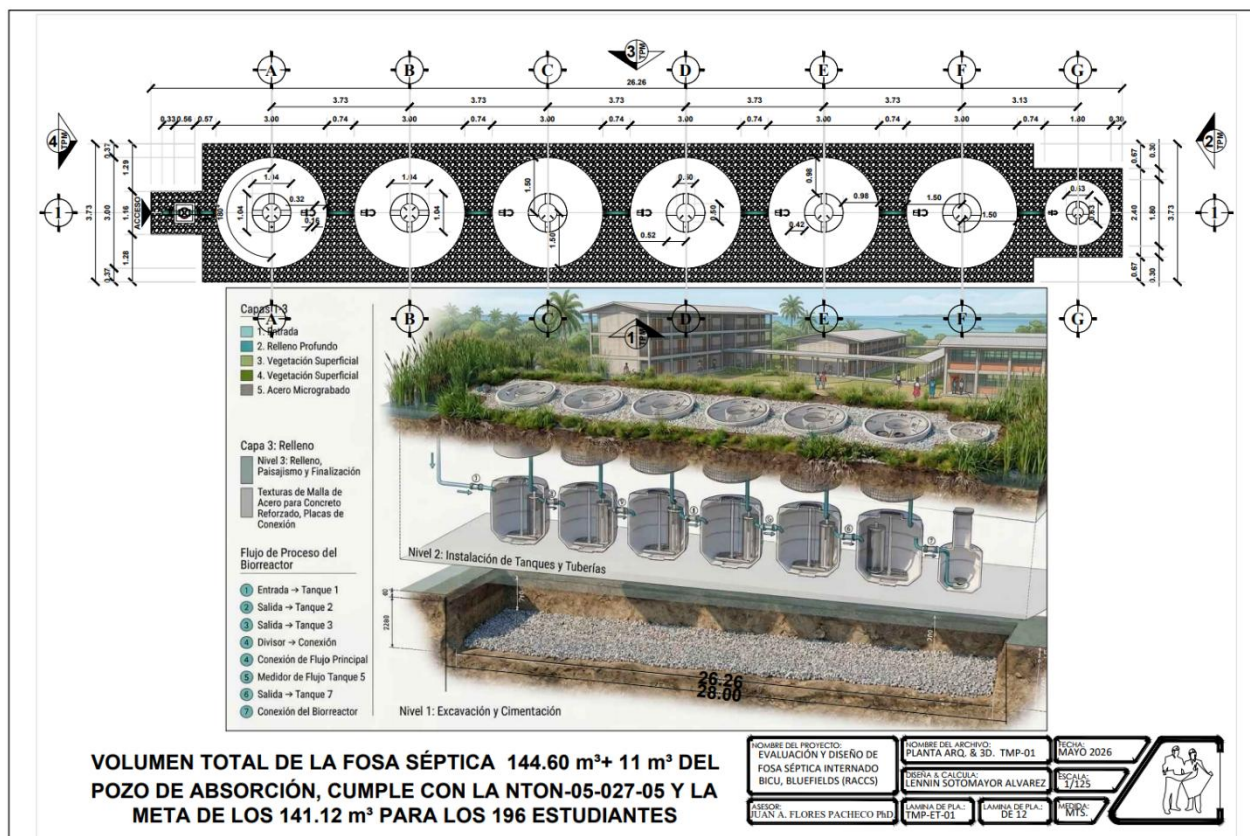


Figura 13. Planta arquitectónica y visualización 3D de la alternativa modular con tanques prefabricados para el sistema séptico del internado de BICU, Bluefields.



Figura 14. Sección longitudinal y visualización funcional de la alternativa modular Plastitank para el sistema séptico del internado de BICU, Bluefields.

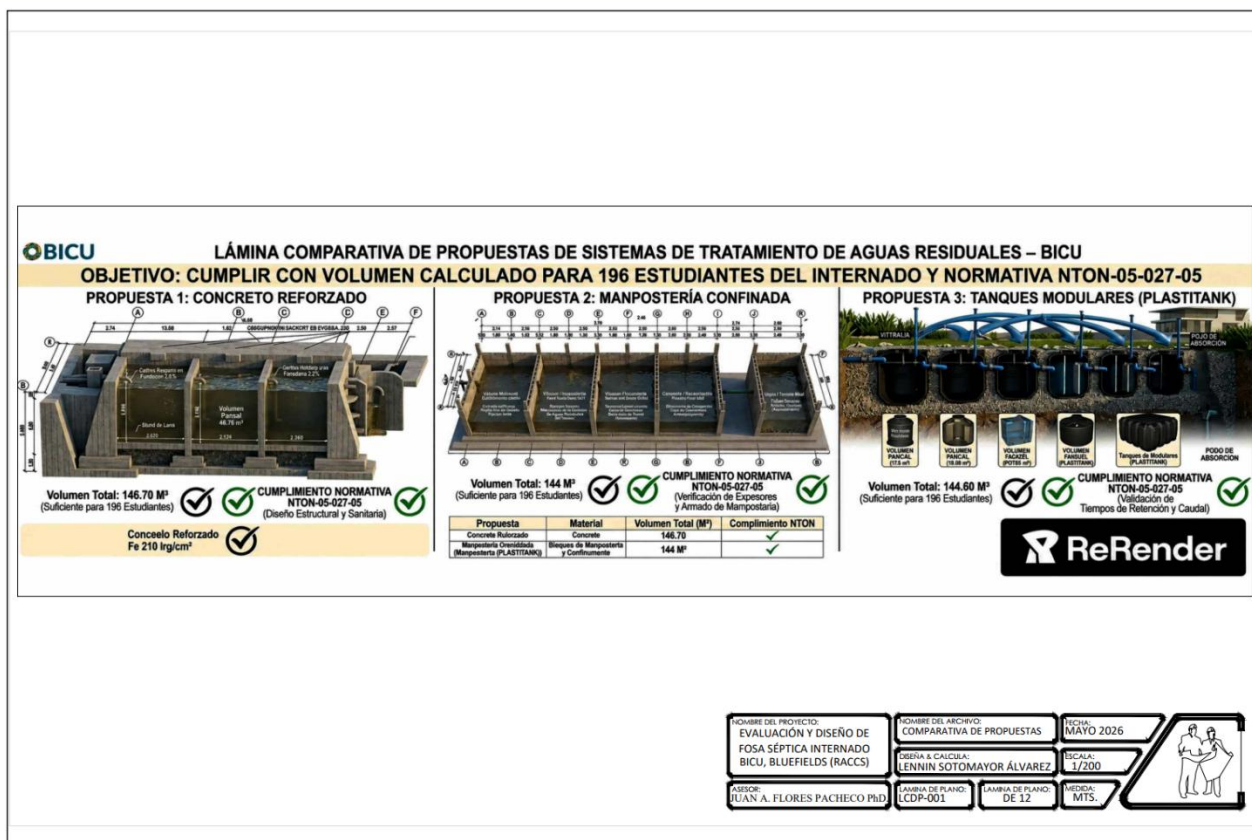


Figura 15. Comparación técnica de alternativas de tratamiento de aguas residuales para el internado de BICU, Bluefields.

Anexo 4. Evidencias fotográficas



Figura 16. Funcionamiento de la fosa séptica del internado de BICU como caja de registro y descarga de efluentes hacia el exterior del sistema.

La imagen evidencia que la estructura identificada como fosa séptica presenta un comportamiento hidráulico similar al de una caja de registro, ya que permite el paso directo del efluente sin un proceso efectivo de sedimentación y tratamiento. Asimismo, se observa que la salida de los lodos y aguas residuales se encuentra orientada hacia el exterior del sistema, con dirección hacia la vía pública, lo que representa un potencial riesgo sanitario y ambiental.



Figura 17. Losa de base y área de implantación para la construcción del nuevo sistema de fosa séptica en el internado de BICU.

La imagen muestra la losa de base de concreto construida como plataforma estructural para la instalación del nuevo sistema séptico. Se observa el área preparada para el emplazamiento de la estructura, así como materiales de mampostería destinados a la conformación de los compartimientos internos del tanque séptico. La losa funciona como elemento de reparto de cargas y mejora de apoyo sobre el terreno natural, contribuyendo a la estabilidad del sistema en un contexto de suelos saturables y presencia de nivel freático somero característicos del área.



Figura 18. Evidencia del punto de descarga del sistema séptico existente hacia el exterior del área del internado de BICU.

La imagen evidencia el punto de salida del sistema séptico existente, donde se observa una abertura en el terreno asociada a la evacuación del efluente hacia el exterior del área del internado de BICU. Esta condición constituye un hallazgo técnico relevante, ya que sugiere que el sistema no cuenta con una disposición final controlada ni con una estructura complementaria adecuada para el tratamiento o infiltración segura de las aguas residuales. La presencia de esta descarga expuesta indica una posible pérdida de funcionalidad del sistema séptico como unidad sanitaria cerrada, debido a que el efluente podría estar siendo conducido directamente al entorno inmediato sin control hidráulico, sin barreras de protección y sin mecanismos visibles de tratamiento posterior. Esta situación incrementa el riesgo de contaminación del suelo, generación de malos olores, proliferación de vectores y exposición sanitaria de las personas que transitan o permanecen en las áreas cercanas.

Por tanto, la evidencia fotográfica justifica la necesidad de evaluar técnicamente el sistema existente, verificar su capacidad real de tratamiento, identificar el recorrido del efluente y proponer una alternativa de mejora que garantice confinamiento, impermeabilización, conducción segura y disposición final conforme a criterios de saneamiento ambiental y normativa aplicable. En este sentido, la imagen no solo documenta una deficiencia física del sistema, sino que respalda la pertinencia sanitaria, ambiental e institucional de la investigación.



Figura 19. Caja de registro asociada al sistema séptico existente del internado de BICU con acumulación de efluentes y vegetación interna.

La imagen muestra una caja de registro perteneciente al sistema sanitario existente del internado de BICU. Se observa la presencia de agua residual estancada, sedimentos y vegetación en el interior de la estructura, lo cual evidencia condiciones de baja circulación hidráulica y falta de mantenimiento. Esta situación sugiere un funcionamiento inadecuado del sistema de conducción y tratamiento de aguas residuales, con potencial riesgo de obstrucciones, infiltraciones y deterioro de la infraestructura sanitaria.



Figura 20. Actividad de visita técnica y verificación en campo del sistema séptico del internado de BICU con estudiantes de la asignatura de Hidrología.

La imagen muestra el desarrollo de la visita de campo realizada en el internado de Bluefields Indian & Caribbean University (BICU), durante la cual se efectuó la inspección del sistema séptico existente, la verificación de sus condiciones operativas y la toma de datos para el análisis del volumen y estado del sistema. La actividad fue realizada con estudiantes de la asignatura de Hidrología, como parte de las prácticas académicas del segundo semestre de 2025 orientadas al levantamiento de información técnica en campo.



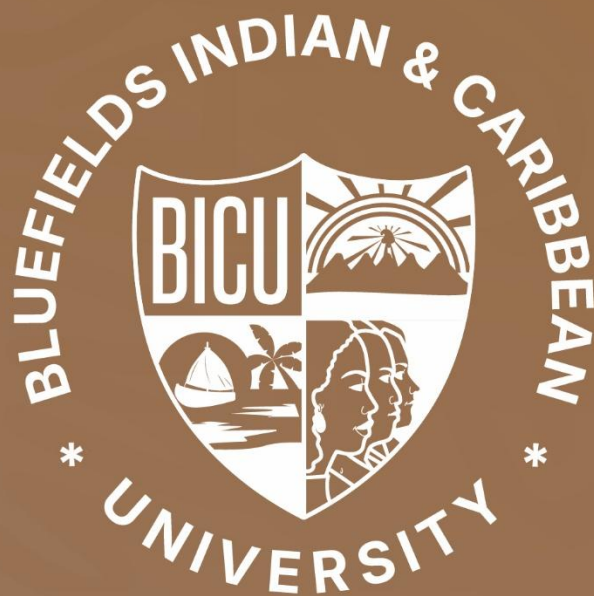
Figura 21. Ubicación del pozo de abastecimiento respecto al sistema séptico existente del internado de BICU.



Figura 22. Estado físico previo mantenimiento de una caja de registro asociada al sistema séptico existente del internado de BICU.



Figura 23. Punto de descarga del efluente hacia el drenaje pluvial exterior del internado de BICU.



“La educación es la mejor opción para el desarrollo de los pueblos.”

www.bicu.edu.ni

