

**UNIVERSIDAD NACIONAL PEDRO RUIZ GALLO**  
**FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICAS**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA**



**TESIS**

**“SISTEMA DE COMUNICACIÓN INALÁMBRICA PARA LA  
CONECTIVIDAD DE LA LOCALIDAD DE LA BARRANCA, DISTRITO  
DE GUADALUPE, PACASMAYO, REGIÓN LA LIBERTAD”**

**PARA OPTAR POR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO ELECTRÓNICO**

**ELABORADA POR:**

**Bach. Arnold Manuel, Pozo Valderrama**

**Bach. Cristian Fernando, Vasquez Vargas**

**ASESOR:**

**M.Sc. Ing. Hugo Javier Chiclayo Padilla**

**LAMBAYEQUE – PERÚ**

**2025**

Fecha de sustentación: 23/02/2026

**TESIS**

**“Sistema de comunicación inalámbrica para la conectividad de la localidad de  
La Barranca, distrito de Guadalupe, Pacasmayo, Región La Libertad”**

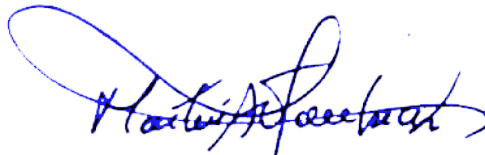
**TESIS PARA OPTAR POR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO  
ELECTRÓNICO**

**APROBADA POR EL SIGUIENTE JURADO:**



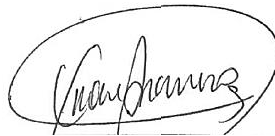
---

**Mg. Ing. Manuel Javier Ramírez Castro  
PRESIDENTE**



---

**Mg. Ing. Martín Augusto Nombera Lossio  
SECRETARIO**



---

**Mg. Ing. Juan Carlos Ñañez Aguilar  
VOCAL**

**TESIS**

**“SISTEMA DE COMUNICACIÓN INALÁMBRICA PARA LA  
CONECTIVIDAD DE LA LOCALIDAD DE LA BARRANCA, DISTRITO  
DE GUADALUPE, PACASMAYO, REGIÓN LA LIBERTAD”**

**TESIS PARA OPTAR POR EL TÍTULO PROFESIONAL  
DE INGENIERO ELECTRÓNICO**

**AUTORES:**



---

**Bach. Arnold Manuel, Pozo Valderrama**



---

**Bach. Cristian Fernando, Vasquez Vargas**

**ASESOR:**



---

**M. Sc. Ing. Hugo Javier Chiclayo Padilla**



**UNIVERSIDAD NACIONAL PEDRO RUIZ GALLO**  
**FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICAS**  
**DECANATO**

Ciudad Universitaria - Lambayeque

LICENCIADA - RESOLUCIÓN DEL CONSEJO DIRECTIVO N° 015 -2023-SUNEDU / CD



**ACTA DE SUSTENTACIÓN N° 222.-2026.-D/FACFyM**

Siendo las 11:30 am del día 23 de febrero del 2026, se reunieron los miembros del jurado evaluador de la Tesis titulada:

Sistema de comunicación inalámbrica para la conectividad de la localidad de La Barranca, distrito de Guadalupe, Pacasmayo, Región La Libertad

Designados por Resolución N° 395-2025 D/FACFyM de fecha 05 de mayo 2025

Con la finalidad de evaluar y calificar la sustentación de la tesis antes mencionada, conformada por los siguientes docentes:

- |  |            |
|--|------------|
| Mg. Ing. <u>Manuel Javier Ramirez Castro</u>   | Presidente |
| Mg. Ing. <u>Martin Augusto Nomberra Lossio</u> | Secretario |
| Mg. Ing. <u>Juan Carlos Nanez Aguilar</u>      | Vocal      |

La tesis fue asesorada por (el) (la) M.sc. Hugo Javier Chiclayo Padilla, nombrado por Resolución N° 395-2025 D/FACFyM de fecha 05 de mayo de 2025

El Acto de Sustentación fue autorizado por Resolución N° 122-2026 D/FACFyM de fecha 12 de febrero de 2026

La Tesis fue presentada y sustentada por (el) (los) Bachiller (es): Pozo Valderrama Arnold Manuel y Vasquez Vargas Cristian Fernando y tuvo una duración de 46 minutos.

Después de la sustentación, y absueltas las preguntas y observaciones de los miembros del jurado se procedió a la calificación respectiva, otorgándole el Calificativo de Dieciseis (16) en la escala vigesimal, mención (Bueno).

Por lo que queda(n) apto(s) para obtener el Título Profesional de Ingeniero Electronico, de acuerdo con la Ley Universitaria 30220 y la normatividad vigente de la Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas y la Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo.

Siendo las 12:30 pm se dio por concluido el presente acto académico, dándose conformidad al presente acto con la firma de los miembros del jurado.

Mg. Ing. Manuel Ramirez Castro  
**Presidente**

Mg. Ing. Martin Augusto Nomberra Lossio  
**Secretario**

Mg. Juan Carlos Nanez Aguilar  
**Vocal**

Mg. Hugo Javier Chiclayo Padilla  
**Asesor**

## CONSTANCIA DE VERIFICACIÓN DE ORIGINALIDAD DEL ASESOR

Yo, M. Sc. Ing. Hugo Javier Chiclayo Padilla, usuario revisor del documento titulado: **“Sistema de comunicación inalámbrica para la conectividad de la localidad de La Barranca, distrito de Guadalupe, Pacasmayo, Región La Libertad”**

Cuyos autores son:

Bach. Arnold Manuel, Pozo Valderrama

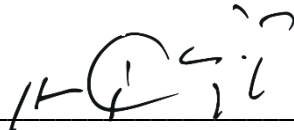
Bach. Cristian Fernando, Vasquez Vargas

Identificado con Documento de Identidad 16703734; declaro que la evaluación realizada por el Programa Informático Turnitin, ha arrojado un porcentaje de similitud de 06 %, verificable en el Resumen de Reporte automatizado de similitudes que se acompaña.

El suscrito analizó dicho reporte y concluyó que cada una de las coincidencias detectadas dentro del porcentaje de similitud permitido no constituyen plagio y que el documento cumple con la integridad científica y con las normas para el uso de citas y referencias establecidas en los protocolos respectivos.

Se cumple con adjuntar el Recibo Digital a efectos de la trazabilidad respectiva del proceso.

Lambayeque, 26 de enero del 2026



M. Sc. Ing. Hugo Javier Chiclayo Padilla

DNI N° 16703734

# Sistema de comunicación inalámbrica para la conectividad de la localidad de La Barranca, distrito de Guadalupe, Pacasmayo, Región La Libertad

## INFORME DE ORIGINALIDAD

6%

INDICE DE SIMILITUD

4%

FUENTES DE INTERNET

2%

PUBLICACIONES

3%

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

## FUENTES PRIMARIAS

|   |   |     |
|---|---|-----|
| 1 | Submitted to Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo<br>Trabajo del estudiante  | 2%  |
| 2 | repositorio.unprg.edu.pe<br>Fuente de Internet  | 1%  |
| 3 | dspace.uazuay.edu.ec<br>Fuente de Internet  | <1% |
| 4 | repositorio.uta.edu.ec<br>Fuente de Internet  | <1% |
| 5 | Flores Aliaga, Gattiella Nathaly. "Implementar Redes Inalambricas a Traves de Fibra optica Para Impulsar la Educacion en las Zonas Rurales del Peru", Pontificia Universidad Catolica del Peru - CENTRUM Catolica (Peru), 2022<br>Publicación | <1% |
| 6 | dspace.unitru.edu.pe<br>Fuente de Internet  | <1% |
| 7 | repositorio.unesum.edu.ec<br>Fuente de Internet   | <1% |
| 8 | repository.usta.edu.co<br>Fuente de Internet  | <1% |
| 9 | repositorio.untels.edu.pe<br>Fuente de Internet   | <1% |

hemeroteca.unad.edu.co

10

Fuente de Internet

<1 %

11

[repositorio.upn.edu.pe](http://repositorio.upn.edu.pe)

Fuente de Internet

<1 %

12

[www.slideshare.net](http://www.slideshare.net)

Fuente de Internet

<1 %

13

[alicia.concytec.gob.pe](http://alicia.concytec.gob.pe)

Fuente de Internet

<1 %

14

Submitted to Universidad Rey Juan Carlos

Trabajo del estudiante

<1 %

15

[repositorio.ucv.edu.pe](http://repositorio.ucv.edu.pe)

Fuente de Internet

<1 %

16

[repositorio.umsa.bo](http://repositorio.umsa.bo)

Fuente de Internet

<1 %

17

[repositorio.unfv.edu.pe](http://repositorio.unfv.edu.pe)

Fuente de Internet

<1 %

  
Ing. HUGO JAVIER CHICLAYO PADILLA  
[hchiclayo@unprg.edu.pe](mailto:hchiclayo@unprg.edu.pe) - 920583570

Excluir citas

Activo

Excluir coincidencias

< 15 words

Excluir bibliografía

Activo




## Recibo digital

Este recibo confirma que su trabajo ha sido recibido por **Turnitin**. A continuación podrá ver la información del recibo con respecto a su entrega.

La primera página de tus entregas se muestra abajo.

Autor de la entrega: Pozo Valderrama Vasquez Vargas  
Título del ejercicio: Quick Submit  
Título de la entrega: Sistema de comunicación inalámbrica para la conectividad de ...  
Nombre del archivo: INFORME\_FINAL\_-\_LA\_BARRANCA\_EDIT02.docx  
Tamaño del archivo: 6.84M  
Total páginas: 78  
Total de palabras: 13,536  
Total de caracteres: 76,656  
Fecha de entrega: 26-ene-2026 10:24a. m. (UTC-0500)  
Identificador de la entrega: 2864168131

UNIVERSIDAD NACIONAL PEDRO RUIZ GALLO  
FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICAS  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA




TESIS  
"SISTEMA DE COMUNICACIÓN INALÁMBRICA PARA LA  
CONECTIVIDAD DE LA LOCALIDAD DE LA BARRANCA, DISTRITO  
DE GUADALUPE, PACASMAYO, REGIÓN LA LIBERTAD"

PARA OPTAR POR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO ELECTRÓNICO

ELABORADA POR:  
Bach. Arnold Manuel, Pozo Valderrama  
Bach. Cristian Fernando, Vasquez Vargas

ASESOR:  
M.Sc. Ing. Hugo Javier Chiclayo Padilla

LAMBAYEQUE – PERÚ  
2025



Ing. HUGO JAVIER CHICLAYO PADILLA  
[hchiclayo@unprg.edu.pe](mailto:hchiclayo@unprg.edu.pe) - 920589570

## **AGRADECIMIENTOS**

Expreso mi profunda gratitud a quienes, con generosidad y sabiduría, acompañaron este  
proceso formativo:

A mi madre y mi abuela, por ser sostén emocional y ejemplo de perseverancia.

Al ingeniero Hugo Chiclayo, por su orientación técnica y sus valiosos consejos, que  
aportaron claridad y rigor al desarrollo de esta investigación.

A todos aquellos que, desde el silencio o la palabra, contribuyeron a que esta etapa se  
concrete con integridad y compromiso.

**Pozo Valderrama Arnold Manuel**

## **DEDICATORIA**

Este esfuerzo académico está dedicado a los pilares de mi vida:

A mi madre, Angelica Valderrama, y a mi abuela, Estela Quiroz, cuya presencia constante y amor incondicional han sido faros en cada etapa.

A mis hermanos, con la esperanza de que este logro les inspire a perseguir sus metas con firmeza y convicción.

Y a la memoria de César Farfán, amigo leal, cuya compañía y aliento permanecieron hasta el último de sus días. Su apoyo silencioso dejó huella en este camino.

**Pozo Valderrama Arnold Manuel**

## **AGRADECIMIENTO**

Quiero comenzar este trabajo dándole gracias a Dios, por su infinita bondad y por iluminar mi camino, Gracias por guiarme y permitirme llegar hasta aquí, confiando siempre en que él es fiel y nunca nos desampara.

A mis queridos padres, José Vasquez y Elza Vargas por su amor y apoyo incondicional, gracias a su sacrificio constante he podido culminar esta travesía. Ustedes han sido mi mayor fuente de motivación y un ejemplo de lucha incansable. Gracias por siempre creer en mí y por enseñarme la importancia del trabajo y la dedicación. Este logro es tanto mío como suyo, ya que sin su aliento y respaldo no habría sido posible.

**Cristian Fernando Vasquez Vargas**

## **DEDICATORIA**

“A Dios, por ser la fuente de mi fortaleza, la guía en mis pasos y por la vida, la salud y las  
oportunidades que me ha dado para llegar a este punto.

A mi amada hija Isabella, mi mayor inspiración y la razón más hermosa para esforzarme  
día a día, eres el motor que impulsa vida.

A mis queridos padres por su amor incondicional, su sacrificio constante y por ser mi  
primer y más grande soporte.

A mi pareja por tu paciencia, tu comprensión y tu apoyo inquebrantable durante todo este  
proceso. Gracias por ser mi refugio, mi compañera y por celebrar mis logros como  
propios.

A mi familia por siempre apoyarme a pesar de las adversidades y estar presentes con  
palabras de aliento, su apoyo y muestras de afecto me recuerdan siempre la importancia  
de cada uno de ellos en mi vida”.

**Cristian Fernando Vasquez Vargas**

## ÍNDICE GENERAL

|       |  |    |
|-------|--|----|
| 1     | CAPÍTULO I: DISEÑO TEÓRICO .....                         | 21 |
| 1.1   | Antecedentes .....                                       | 21 |
| 1.1.1 | Antecedentes Internacionales.....                        | 21 |
| 1.1.2 | Antecedentes Nacionales .....                            | 23 |
| 1.2   | Bases Teóricas.....                                      | 25 |
| 1.2.1 | Las Telecomunicaciones.....                              | 25 |
| 1.2.2 | Sistemas de telecomunicaciones.....                      | 26 |
| 1.2.3 | Comunicación Inalámbrica .....                           | 26 |
| 1.2.4 | Tecnologías inalámbricas.....                            | 27 |
| 1.2.5 | Ancho de banda.....                                      | 28 |
| 2     | CAPÍTULO II: MÉTODOS Y MATERIALES .....                  | 29 |
| 2.1   | Diseño de Contratación de Hipótesis.....                 | 29 |
| 2.2   | Población, muestra .....                                 | 30 |
| 2.2.1 | Población.....   | 30 |
| 2.2.2 | Muestra .....  | 30 |
| 2.2.3 | Técnicas, instrumentos, equipos y materiales.....        | 30 |
| 3     | CAPÍTULO III: RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....               | 32 |
| 3.1   | Resultados .....   | 32 |
| 3.1.1 | Análisis del desempeño de Radioenlace y Microondas ..... | 34 |
| 3.1.2 | Análisis del desempeño de Wi-Fi 5 en La Barranca.....    | 41 |
| 3.1.3 | Análisis del desempeño de Comunicación Satelital .....   | 47 |

|       |   |    |
|-------|---|----|
| 3.1.4 | Análisis del desempeño de Wireless Local Loop (WLL) ..... | 51 |
| 3.1.5 | Análisis del desempeño de WiMAX.....                      | 56 |
| 4     | CAPÍTULO IV: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....          | 69 |
| 4.1   | Conclusiones .....  | 69 |
| 4.2   | Recomendaciones.....                                      | 70 |
| 5     | REFERENCIAS .....   | 71 |

## ÍNDICE DE FIGURAS

|  |    |
|--|----|
| <b>Figura 1:</b> Localidad de La barranca, distrito de Guadalupe, Pacasmayo, Región La Liberta. ...  | 20 |
| <b>Figura 2:</b> Tendencias de las Telecomunicaciones .....  | 25 |
| <b>Figura 3:</b> Sistemas de Comunicaciones .....  | 26 |
| <b>Figura 4:</b> Comunicación Inalámbrica .....  | 27 |
| <b>Figura 5:</b> Clasificación de las redes inalámbricas .....                                       | 28 |
| <b>Figura 6:</b> Ancho de Banda .....  | 28 |
| <b>Figura 7</b> Diseño de Contrastación Hipótesis.....   | 29 |
| <b>Figura 8</b> localidad de La Barranca, distrito de Guadalupe, Pacasmayo, Región La Libertad ..... | 33 |
| <b>Figura 9</b> Condiciones geográficas de La Barranca .....   | 34 |
| <b>Figura 10</b> Configuración del enlace inalámbrico entre Jequetepeque y La Barranca .....         | 35 |
| <b>Figura 11</b> Enlace inalámbrico entre La Barranca y Jequetepeque.....                            | 37 |
| <b>Figura 12</b> Parámetros de rendimiento del sistema de radioenlace simulado .....                 | 37 |
| <b>Figura 13</b> Rendimiento del sistema de radioenlace .....  | 38 |
| <b>Figura 14</b> Desempeño del enlace inalámbrico .....  | 39 |
| <b>Figura 15</b> Comportamiento de la señal inalámbrica Wi-Fi 5 en La Barranca .....                 | 41 |
| <b>Figura 16</b> Enlace satelital Amazonas (61.0° O) para La Barranca .....                          | 48 |
| <b>Figura 17</b> Enlace mediante Wireless Local Loop (WLL) entre La Barranca y Jequetepeque ....     | 51 |
| <b>Figura 18</b> Enlace inalámbrico WLL en La Barranca .....   | 51 |
| <b>Figura 19</b> Enlace inalámbrico WiMAX (IEEE 802.16) entre La Barranca y Jequetepeque .....       | 56 |
| <b>Figura 20</b> Radioenlace punto a punto .....   | 75 |

|   |    |
|---|----|
| <b>Figura 21</b> Radioenlace punto a punto .....                                    | 76 |
| <b>Figura 22</b> Enlace Punto a Punto (PTP) y Enlace Punto a Multipunto (PTMP)..... | 77 |
| <b>Figura 23</b> Antenas para comunicaciones inalámbricas.....                      | 78 |

## ÍNDICE DE TABLAS

|   |    |
|---|----|
| <b>Tabla 1</b> Demanda de ancho de banda proyectada .....   | 33 |
| <b>Tabla 2</b> Ubicación georreferenciada de antenas para la simulación del sistema .....         | 34 |
| <b>Tabla 3</b> Desempeño del nivel de señal en el enlace inalámbrico simulado en La Barranca..... | 45 |
| <b>Tabla 4</b> Desempeño de la señal simulada en un enlace de La Barranca .....                   | 54 |
| <b>Tabla 5</b> Configuración de antenas para el sistema WiMAX en La Barranca - Jequetepeque ..... | 57 |
| <b>Tabla 6</b> Características de transmisión y recepción en el enlace inalámbrico WiMAX.....     | 58 |
| <b>Tabla 7</b> Factores de pérdida de señal y pérdida total en el enlace WiMAX.....               | 60 |

## RESUMEN

La presente investigación tuvo como objetivo diseñar un sistema de comunicación inalámbrica que permita mejorar la conectividad en la localidad de La Barranca, distrito de Guadalupe, Pacasmayo, región La Libertad. La metodología empleada se basó en revisión documental y simulaciones técnicas de diferentes tecnologías inalámbricas, entre ellas radioenlaces y microondas, Wi-Fi 5, LTE/5G, comunicación satelital y Wireless Local Loop (WLL). Los resultados demostraron que los sistemas de radioenlace y microondas ofrecen altas capacidades de transmisión (hasta 1054 Mbps) y elevada disponibilidad (99.9999 %), constituyéndose en la alternativa más confiable. El análisis de Wi-Fi 5 reveló limitaciones de alcance para distancias mayores a 2.7 km, mientras que la comunicación satelital mostró cobertura amplia pero costos elevados. Asimismo, se evidenció que las tecnologías LTE y 5G requieren infraestructura y licencias que limitan su viabilidad en comunidades de baja densidad poblacional. Se concluye que los radioenlaces representan la opción más factible, garantizando sostenibilidad técnica y económica en el contexto geográfico de La Barranca.

**Palabras clave:** Conectividad, comunicación inalámbrica, radioenlace, WiMAX, comunidades rurales



## ABSTRACT

This research aimed to design a wireless communication system to improve connectivity in La Barranca, located in the district of Guadalupe, Pacasmayo, La Libertad region. The methodology was based on a documentary review and technical simulations of different wireless technologies, including microwave radio links, Wi-Fi 5, LTE/5G, satellite communication, and Wireless Local Loop (WLL). Results showed that microwave radio links provide high transmission capacities (up to 1054 Mbps) and very high availability (99.9999%), making them the most reliable alternative. The analysis of Wi-Fi 5 revealed range limitations for distances greater than 2.7 km, while satellite communication offered broad coverage but with high operational costs. In addition, LTE and 5G technologies require infrastructure and spectrum licenses, reducing their feasibility in low-population rural areas. It is concluded that microwave radio links represent the most feasible solution, ensuring technical and economic sustainability within La Barranca's geographical context.

**Keywords:** Connectivity, wireless communication, radio link, WiMAX, rural communities.

## INTRODUCCIÓN

A nivel global, el acceso a las Tecnologías de la Información y las Comunicaciones (TIC) ha transformado radicalmente la forma en que las personas acceden a la información, la educación y la economía digital. Las redes de telecomunicaciones inalámbricas han permitido la integración de comunidades en el mundo digital, promoviendo el desarrollo económico y social. Sin embargo, la brecha digital sigue siendo un problema persistente, especialmente en las regiones rurales y en vías de desarrollo, donde la infraestructura tecnológica es limitada o inexistente (Flores et al., 2021).

Según la Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT, 2023), aproximadamente el 37% de la población mundial aún no tiene acceso a Internet, con una distribución desigual entre áreas urbanas y rurales. En América Latina, la situación no es diferente: si bien las ciudades han experimentado un crecimiento significativo en cobertura y calidad de la conexión a Internet, en las zonas rurales persisten importantes deficiencias que limitan la inclusión digital y el desarrollo económico (Yoza, 2020).

El acceso limitado a la conectividad en estas áreas no solo impide la comunicación entre personas y comunidades, sino que restringe oportunidades de educación, acceso a servicios de salud y desarrollo productivo basado en tecnologías digitales. La falta de infraestructura de telecomunicaciones contribuye a un ciclo de exclusión socioeconómica, donde las comunidades sin acceso a la información quedan rezagadas en términos de oportunidades y competitividad frente a un mundo cada vez más interconectado (Flores-Cueto et al., 2021).

En el Perú, la expansión de las TIC ha mostrado avances importantes en las últimas décadas, con iniciativas gubernamentales destinadas a mejorar la conectividad en el país. Sin

embargo, esta evolución no ha sido equitativa. Mientras que en las zonas urbanas se han implementado redes de fibra óptica y se ha incrementado el acceso a Internet de alta velocidad, las zonas rurales y alejadas continúan rezagadas (Deza, 2024) .

De acuerdo con el Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI, 2023), el 55,2% de los hogares peruanos tenía acceso a Internet en 2022, pero con una fuerte diferencia entre las áreas urbanas y rurales. Mientras que en Lima Metropolitana el acceso supera el 80%, en las regiones rurales el acceso a Internet es inferior al 30%, lo que refleja una gran desigualdad en términos de conectividad (INEI, 2023) .

La brecha digital en el Perú se debe a diversos factores que limitan el acceso a las telecomunicaciones en zonas rurales y aisladas. Uno de los principales problemas es la deficiencia en infraestructura, ya que muchas comunidades carecen de redes adecuadas debido a que las empresas de telecomunicaciones no consideran rentable invertir en áreas de baja densidad poblacional. Además, los altos costos de instalación y mantenimiento representan una barrera significativa, pues desplegar infraestructura en regiones alejadas requiere una inversión inicial elevada y costos operativos que dificultan su sostenibilidad. Otro factor clave es el limitado acceso a dispositivos y la falta de alfabetización digital, ya que muchas personas no cuentan con computadoras o teléfonos inteligentes, ni con formación suficiente en el uso de herramientas digitales. Finalmente, las condiciones geográficas adversas, como montañas, selvas y zonas costeras remotas, añaden complejidad a la implementación de redes de comunicación, dificultando aún más el acceso a servicios digitales en estas regiones (Flores-Cueto et al., 2021).

Estos factores generan una desigualdad digital estructural, que limita las oportunidades de desarrollo en regiones como La Barranta, distrito de Guadalupe, Pacasmayo, Región La Libertad, donde la conectividad sigue siendo un desafío crítico.

La localidad de La Barranca, se encuentra en el distrito de Guadalupe, provincia de Pacasmayo, región La Libertad, a 17 km de la ciudad, con acceso desde el km 701 de la Carretera Panamericana Norte, es una comunidad que enfrenta severas limitaciones en términos de conectividad. Como muchas otras localidades costeras alejadas de los centros urbanos, La Barranca presenta una infraestructura de telecomunicaciones insuficiente, lo que impide a sus habitantes acceder a los beneficios de la sociedad digital (Wang et al., 2024).

La falta de conectividad en La Barranca afecta significativamente diversos ámbitos fundamentales para el desarrollo de la comunidad. En el sector educativo, la ausencia de acceso a Internet limita las oportunidades de aprendizaje para niños y jóvenes, dificultando la implementación de estrategias de educación a distancia y el uso de plataformas digitales, lo que restringe su formación y reduce sus posibilidades de inserción en el mercado laboral en un entorno cada vez más digitalizado. En el ámbito salud, la carencia de servicios de telemedicina impide que la población reciba atención médica oportuna, lo que en casos de emergencia puede representar la diferencia entre la vida y la muerte. Desde una perspectiva económica, los productores locales, principalmente pescadores y agricultores, enfrentan dificultades para acceder a mercados digitales y aprovechar tecnologías que optimicen sus actividades, lo que restringe el comercio electrónico y reduce sus oportunidades de expansión. Además, en términos de seguridad y gestión del riesgo, la comunicación es fundamental en zonas costeras como La Barranca para la prevención de desastres naturales y la respuesta ante emergencias climáticas; sin un sistema de comunicación confiable, la población se encuentra en una situación de mayor vulnerabilidad ante fenómenos como tormentas, tsunamis o marejadas. Estos factores evidencian la urgencia de implementar un sistema de comunicación inalámbrica que permita mejorar la conectividad y contribuir al desarrollo integral de la localidad (Banco Interamericano de Desarrollo, 2022).

Estos problemas resaltan la urgencia de implementar un sistema de comunicación inalámbrica que brinde conectividad a la localidad de La Barranca y permita mejorar la calidad de vida de sus habitantes mediante el acceso a información, educación, salud y oportunidades económicas (Paternina, 2022).

Para enfrentar los desafíos de conectividad en áreas costeras, se han desarrollado diversas soluciones tecnológicas a nivel global, cada una con características y aplicaciones específicas. Entre ellas, las redes de radioenlace y microondas, destacan por permitir la transmisión de datos a largas distancias sin necesidad de infraestructura cableada, lo que las convierte en una opción eficiente para regiones con accesibilidad limitada. Asimismo, las tecnologías de acceso inalámbrico de banda ancha, como WiMAX, LTE y 5G, ofrecen conectividad a Internet de alta velocidad en zonas alejadas con costos relativamente bajos en comparación con la fibra óptica, facilitando su implementación en comunidades con restricciones económicas. Otra alternativa son las redes de comunicación satelital, que resultan viables en lugares donde no es posible desplegar infraestructura terrestre, aunque su alto costo puede representar una barrera para su adopción masiva. Por otro lado, las redes híbridas, que combinan diferentes tecnologías, han demostrado ser una solución eficiente para maximizar la cobertura y garantizar la estabilidad del servicio en zonas con condiciones geográficas adversas. Cada una de estas alternativas presenta ventajas y limitaciones que deben ser analizadas en términos de viabilidad técnica, sostenibilidad económica y adaptabilidad a las características geográficas de La Barranca, con el fin de determinar la opción más adecuada para mejorar su conectividad y reducir la brecha digital en la localidad (Belete & Salau, 2024).

Esta investigación tiene como objetivo diseñar un sistema de comunicación inalámbrica para mejorar la conectividad en La Barranca, distrito de Guadalupe, Pacasmayo, Región La

Libertad, justificándose en varios aspectos clave. En primer lugar, el proyecto tendrá un impacto en la calidad de vida, ya que el acceso a servicios digitales contribuirá a reducir la desigualdad en educación, salud y economía. Además, desde una perspectiva económica, una red de comunicación eficiente facilitará la inserción de la comunidad en la economía digital y el comercio electrónico, promoviendo el desarrollo local. En términos de innovación tecnológica, se explorarán soluciones inalámbricas eficientes y sostenibles, adaptadas a las particularidades de zonas rurales y costeras. Finalmente, el estudio garantizará la sostenibilidad del sistema mediante la evaluación de alternativas de bajo costo y fácil implementación, asegurando su viabilidad y operatividad a largo plazo.

Esta investigación contribuirá a la reducción de la brecha digital en La Barranca, permitiendo su integración en la sociedad digital y fomentando su desarrollo sostenible.

**Figura 1:**

*Localidad de La barranca, distrito de Guadalupe, Pacasmayo, Región La Liberta.*



# 1 CAPÍTULO I: DISEÑO TEÓRICO

## 1.1 Antecedentes

### 1.1.1 *Antecedentes Internacionales*

Llongo (2022) analiza y compara dos soluciones de conectividad, los enlaces punto a punto (PtP) y las redes de Espacios en Blanco de Televisión (TVWS, TV White Spaces), con el objetivo de determinar cuál de ellas resulta más adecuada en términos de costo y viabilidad técnica para conectar instituciones educativas rurales en el departamento del Cesar, Colombia. La investigación empleó una metodología de tipo comparativo y descriptivo, basada en estudios técnicos de campo y simulaciones. La población de estudio estuvo conformada por diversas escuelas rurales seleccionadas según su accesibilidad y características geográficas. Para el análisis, se utilizaron herramientas de simulación como PathLoss y RADWIN, además de la Base de Datos de Espacios en Blanco (BDEB) de la Agencia Nacional del Espectro (ANE). Los hallazgos principales revelaron que, aunque la implementación de la tecnología TVWS requiere una inversión inicial mayor en equipos, esta opción proporciona una cobertura superior en zonas montañosas y permite una reducción del 12% en los costos generales del proyecto en comparación con los enlaces PtP. En conclusión, se determinó que la tecnología TVWS representa una alternativa más eficiente y rentable para mejorar la conectividad en escuelas rurales ubicadas en regiones de difícil acceso, contribuyendo así a la reducción de la brecha digital en estas comunidades.

González & Castañeda (2023) plantean la implementación de una solución tecnológica de última milla para mejorar la conectividad en la localidad de Sumapaz, Bogotá, y evaluar su impacto social. Se adopta una metodología exploratoria y descriptiva, con un enfoque mixto (cualitativo y cuantitativo), sustentado en una revisión bibliográfica de artículos indexados en bases de datos

científicas como SCOPUS, EBSCO HOST, entre otras. La población de estudio se centra en la localidad 20 de Bogotá, con un énfasis particular en el análisis de su infraestructura de telecomunicaciones. Para la evaluación de alternativas, se utilizaron herramientas como simulaciones en Radio Mobile, mapas de cobertura móvil y la metodología de toma de decisiones Scoring. Los hallazgos principales revelaron que la tecnología Broadband over Power Lines (BPL) es la alternativa más viable para la región, superando opciones como las redes móviles, TVWS e Internet satelital, debido a su eficiencia en la transmisión de datos a través de la infraestructura eléctrica existente. En cuanto a las conclusiones, se determinó que la implementación de BPL ayudaría significativamente a reducir la brecha digital en Sumapaz, generando un impacto positivo en áreas clave como la seguridad, la educación y el desarrollo social de la comunidad.

Arias (2022), propone la implementación de una red inalámbrica basada en tecnología Ubiquiti con el propósito de optimizar el acceso a Internet en la Unidad Educativa Ocho de Enero, ubicada en el Cantón Jipijapa, provincia de Manabí, Ecuador. El estudio adopta un enfoque mixto, cualitativo y cuantitativo, empleando métodos como el analítico, hipotético-deductivo, descriptivo, bibliográfico, estadístico y propositivo. La población de estudio incluye a la comunidad educativa de la institución, conformada por 494 estudiantes y 23 docentes, de los cuales se seleccionó una muestra representativa de 216 personas. Para la recolección de datos sobre las necesidades de conectividad, se utilizaron herramientas como encuestas, entrevistas y observación directa. Los principales hallazgos evidenciaron que la instalación de dos dispositivos Access Point Ubiquiti bajo una topología de malla extendida mejoró significativamente la cobertura de Internet en toda la institución, facilitando el acceso eficiente a plataformas educativas tanto para estudiantes como para docentes. Finalmente, se concluyó que la solución implementada logró mitigar los

problemas de insuficiencia de ancho de banda, contribuyendo así al fortalecimiento del proceso de enseñanza-aprendizaje dentro de la institución.

### ***1.1.2 Antecedentes Nacionales***

Lescano & Quiros (2021), evalúan el rendimiento de redes inalámbricas en zonas rurales mediante el uso de herramientas computacionales para modelado y simulación. Para este propósito, se emplean Riverbed Opnet Modeler y Matlab/GUI, destacando su eficacia en la simulación de redes de alto rendimiento, tanto terrestres como satelitales. El objetivo principal es desarrollar y validar modelos computacionales que faciliten la implementación de redes inalámbricas eficientes en áreas remotas, con un enfoque en la optimización del throughput, la reducción de errores en la transmisión de datos y la mejora de los niveles de señal en los receptores. Los resultados evidencian que estas herramientas permiten simular escenarios realistas, proporcionando soluciones prácticas a los problemas de conectividad en regiones de difícil acceso. La investigación se centra en entornos rurales donde se implementan estas tecnologías, identificando vacíos temáticos relacionados con cobertura y eficiencia en distintas condiciones ambientales y topográficas. Este trabajo contribuye a la literatura existente al proponer una metodología estructurada para la evaluación y planificación de infraestructuras de telecomunicaciones en comunidades desatendidas, resaltando la importancia de incorporar tecnologías innovadoras para superar las limitaciones de las redes tradicionales.

Quillas & Gálvez (2020) comparan las tecnologías de redes inalámbricas WiMAX, Wi-Fi y 4G LTE para determinar la opción más adecuada para su implementación en el centro poblado Corazón de Jesús, en el departamento de Huánuco, Perú. Siguiendo una metodología preexperimental con un enfoque cuantitativo, se realizaron simulaciones con AirLink y Radio

Mobile para evaluar la viabilidad del diseño propuesto. La población de estudio incluyó 30 participantes, entre representantes de instituciones públicas y privadas, así como habitantes locales. Para la recolección de datos, se emplearon encuestas, análisis documental y herramientas de simulación. Los resultados revelaron que Wi-Fi en su estándar IEEE 802.11ac es la alternativa más viable, superando a WiMAX y 4G LTE en términos de velocidad de transmisión, cobertura y costo-beneficio. En conclusión, la implementación de una red inalámbrica basada en Wi-Fi en el centro poblado Corazón de Jesús tendría un impacto positivo en la conectividad y el desarrollo social, lo que favorecería la reducción de la brecha digital y el acceso a servicios digitales en zonas rurales con características geográficas similares.

Maticorena (2020) plantea la implementación de una red de banda ancha para facilitar la interconexión digital mediante Internet en las zonas rurales del Perú, con el objetivo de reducir la brecha digital y mejorar la calidad educativa en estas comunidades. La metodología utilizada abarca un análisis del estado actual de la conectividad en áreas rurales, el empleo de herramientas ágiles para la resolución de problemas de negocio y el diseño de un modelo de negocio sostenible. La población de estudio se centra en comunidades rurales de la región andina del Perú, con un enfoque particular en Acobamba, Huancavelica. Para la recolección y análisis de información, se utilizaron encuestas y datos oficiales provenientes de fuentes como el INEI y ESCALE. Los hallazgos principales indican que la implementación de redes inalámbricas basadas en fibra óptica es una solución viable y con un impacto significativo en la mejora de la educación en estas zonas. En cuanto a las conclusiones, el estudio subraya la importancia de la conectividad digital para el desarrollo educativo y social en áreas rurales, destacando la necesidad de una colaboración entre el sector público y privado para garantizar la implementación de soluciones tecnológicas que sean sostenibles a largo plazo.

## 1.2 Bases Teóricas

### 1.2.1 Las Telecomunicaciones

Las telecomunicaciones son el conjunto de tecnologías, sistemas y procesos que permiten la transmisión y recepción de información a distancia mediante diversos medios físicos y electromagnéticos. Estas abarcan la comunicación a través de señales de radio, televisión, telefonía, redes de datos, Internet y satélites, facilitando la interconexión global y el acceso instantáneo a la información. Su funcionamiento se basa en la conversión de datos en señales que pueden viajar por cables de cobre, fibra óptica, ondas de radio o microondas, garantizando la comunicación entre personas, dispositivos y sistemas en tiempo real. Las telecomunicaciones desempeñan un papel fundamental en el desarrollo de la sociedad moderna, impulsando sectores como la educación, la salud, la economía y la seguridad, al tiempo que reducen barreras geográficas y mejoran la calidad de vida a nivel global.

**Figura 2:**

*Tendencias de las Telecomunicaciones*

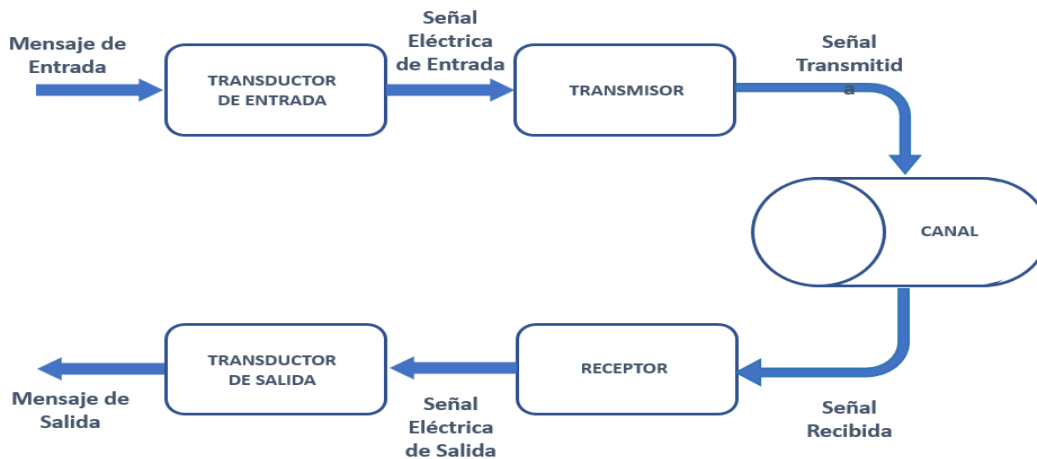


### 1.2.2 *Sistemas de telecomunicaciones*

Los sistemas de telecomunicaciones comprenden un conjunto diverso de métodos, tecnologías y herramientas diseñadas para posibilitar la transmisión de información a largas distancias entre individuos o dispositivos. Estas soluciones abarcan desde la telefonía fija y móvil hasta las redes de datos, así como la difusión de radio y televisión, utilizando tanto ondas electromagnéticas como medios físicos como el cableado para la transferencia de datos en distintos formatos, incluyendo audio, video y texto. La infraestructura de telecomunicaciones desempeña un papel clave en la conectividad global, permitiendo comunicaciones en tiempo real, facilitando transacciones comerciales y brindando soporte a sistemas de respuesta rápida en situaciones de emergencia (Albagory, 2021).

**Figura 3:**

*Sistemas de Comunicaciones*



### 1.2.3 *Comunicación Inalámbrica*

Las redes inalámbricas permiten la conexión entre dispositivos como computadoras, teléfonos móviles, tablets y localizadores mediante el uso de ondas de radio, eliminando la necesidad de cables físicos. Su funcionamiento es similar al de las redes cableadas, pero en lugar de transmitir señales a través de conductores, convierten la información en señales

electromagnéticas para su envío por el aire. Estas redes pueden reemplazar infraestructuras tradicionales o servir como solución para el acceso a datos en ubicaciones remotas. Aunque su implementación resulta más económica en comparación con las redes cableadas, su principal ventaja radica en democratizar el acceso a la información, generando beneficios económicos al optimizar el tiempo y los recursos. Además, su despliegue minimiza la necesidad de infraestructura física invasiva, lo que ha favorecido su rápida expansión y adopción. No obstante, enfrentan desafíos como la interferencia y la seguridad, debido a la vulnerabilidad inherente de las ondas electromagnéticas, lo que hace necesario establecer regulaciones y protocolos de protección para garantizar la privacidad y seguridad de los datos transmitidos (Attrah et al., 2021).

**Figura 4:**

*Comunicación Inalámbrica*



#### **1.2.4 Tecnologías inalámbricas**

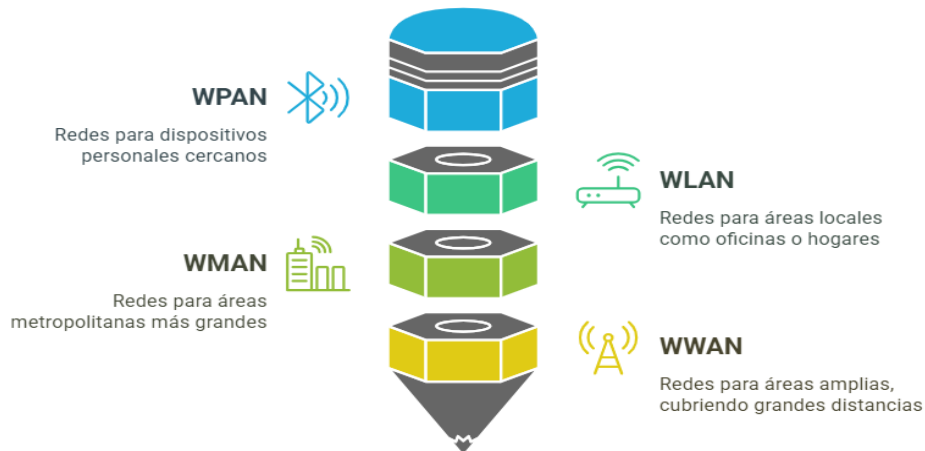
Las redes inalámbricas se pueden dividir en cuatro categorías principales de acuerdo con su ámbito de aplicación y el rango de cobertura de la señal:

- Redes inalámbricas de área personal (Wireless Personal-Area Networks - WPAN)
- Redes inalámbricas de área local (Wireless Local-Area Networks - WLAN)
- Redes inalámbricas de área metropolitana (Wireless Metropolitan-Area Networks - WMAN)

- Redes inalámbricas de área amplia (Wireless Wide-Area Networks - WWAN).

**Figura 5:**

*Clasificación de las redes inalámbricas*

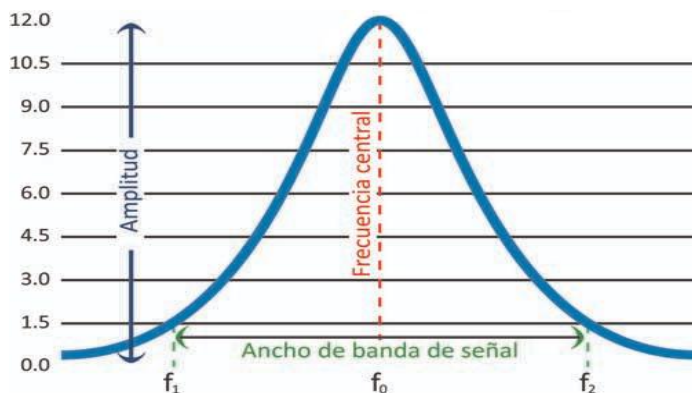


### 1.2.5 Ancho de banda.

El ancho de banda representa la capacidad de una red para transferir datos, expresada en bits por segundo (bps). Este concepto determina la cantidad de información que puede circular a través de una conexión en un período específico, impactando directamente en la velocidad de transmisión entre dos puntos. Cuanto mayor sea el ancho de banda, mayor será la cantidad de datos que pueden enviarse simultáneamente, lo que optimiza la rapidez y la eficiencia en la comunicación (Caillaud et al., 2023).

**Figura 6:**

*Ancho de Banda*



## 2 CAPÍTULO II: MÉTODOS Y MATERIALES

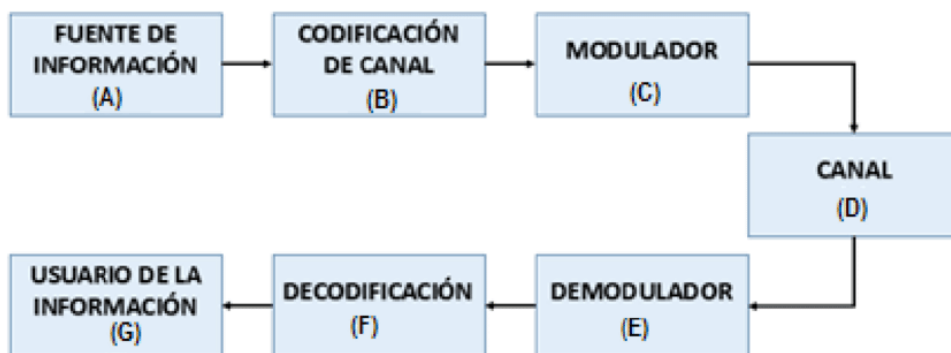
### 2.1 Diseño de Contrastación de Hipótesis

Basándose en distintos enfoques teóricos y conceptuales vinculados con las infraestructuras de telecomunicaciones, y considerando tanto las soluciones existentes como las innovaciones tecnológicas para optimizar la conectividad en zonas rurales con condiciones geográficas complejas, se plantea una propuesta tecnológica integral e innovadora. Esta propuesta busca no solo atender la necesidad de acceso a Internet, sino también garantizar la sostenibilidad del servicio y su adaptabilidad a las condiciones cambiantes del entorno.

La solución integra métodos técnicos y estrategias especializadas que permiten superar las barreras de accesibilidad en la localidad de La Barranca, distrito de Guadalupe, Pacasmayo, Región La Libertad, donde la topografía irregular representa un reto para la implementación de sistemas de comunicación convencionales. Asimismo, se enfatiza la pertinencia de modelos híbridos que conjuguen eficiencia técnica, viabilidad económica y escalabilidad futura, asegurando que la infraestructura propuesta contribuya de manera sostenible a la reducción de la brecha digital y al desarrollo social de la comunidad.

**Figura 7**

*Diseño de Contrastación Hipótesis*



## **2.2 Población, muestra**

### **2.2.1 Población**

La población de estudio está conformada por el conjunto de sistemas de telecomunicaciones inalámbricas actualmente operativos para proporcionar conectividad en zonas costeras y rurales del Perú, particularmente aquellos implementados en localidades con características geográficas y socioeconómicas semejantes a las de La Barranca, distrito de Guadalupe, provincia de Pacasmayo, región La Libertad.

### **2.2.2 Muestra**

La muestra se delimita a los sistemas de comunicación inalámbrica establecidos en localidades costeras y rurales con condiciones geográficas y demográficas similares a La Barranca, seleccionados mediante un muestreo intencional no probabilístico, se evaluará su eficiencia, cobertura, escalabilidad y sostenibilidad, a fin de generar un modelo aplicable y contextualizado para la localidad de La Barranca.

### **2.2.3 Técnicas, instrumentos, equipos y materiales**

#### **▪ Técnicas**

La investigación se sustentará en el análisis documental, orientado a la revisión crítica y sistemática de literatura científica, tesis, artículos técnicos y normativas relacionadas con telecomunicaciones inalámbricas en contextos rurales y costeros. Asimismo, se aplicará la simulación computacional, mediante el uso de programas especializados en modelado de sistemas inalámbricos, que permitan proyectar escenarios de conectividad

y evaluar el desempeño de diferentes tecnologías sin necesidad de implementación física.

- **Instrumentos**

Se utilizarán fichas bibliográficas y de contenido para el registro y organización de la información obtenida en la revisión documental. Además, se emplearán formatos de análisis técnico y reportes generados por el software de simulación, los cuales permitirán sistematizar y comparar los resultados de los diferentes escenarios diseñados.

- **Equipos y materiales**

Para el desarrollo de la propuesta se requerirá únicamente una computadora portátil de alto rendimiento, equipada con capacidad de procesamiento adecuada para ejecutar los programas de simulación. No se contempla la adquisición ni instalación de equipos de telecomunicaciones, dado que la investigación se limita a la etapa de diseño y propuesta.

### 3 CAPÍTULO III: RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 3.1 Resultados

La comunidad de La Barranca enfrenta serias limitaciones en el acceso a Internet, situación que repercute tanto en su desarrollo social como en sus perspectivas económicas, pese, a que esta localidad es considerada una zona con potencial turístico, especialmente durante los meses de enero, febrero y marzo, cuando recibe visitantes provenientes de regiones cercanas, la ausencia de un servicio de conectividad confiable constituye una falencia significativa que reduce su atractivo y competitividad.

En el resto del año, la problemática afecta principalmente al sector educativo, donde las instituciones locales disponen de un servicio de Internet mediante un enlace punto a punto. Sin embargo, la señal es débil y solo permite la conexión simultánea de aproximadamente cuatro computadoras, lo que limita de manera considerable los procesos de enseñanza aprendizaje, se ha considerado un escenario con 30 clientes y un ancho de banda proyectado de 11 Mbps, lo que permitirá analizar la factibilidad de un sistema de comunicación inalámbrica que responda a las necesidades reales de la población y contribuya a cerrar la brecha digital que la afecta.

$$\text{Mbps de simulación} = 11 * 30 = 330 \text{Mbps (Subida y Bajada)}$$

La presente investigación analizó diversas tecnologías de comunicación inalámbrica con el propósito de identificar la alternativa más adecuada para mejorar la conectividad en el centro poblado de La Barranca, distrito de Guadalupe, provincia de Pacasmayo, región La Libertad. El estudio se orientó a evaluar la viabilidad técnica de cada opción y su pertinencia en relación con las condiciones geográficas y sociales de la localidad.

Los resultados se organizaron en torno a cuatro sistemas principales: enlaces de radioenlace y microondas, que destacan por su eficiencia en distancias medias y altas; redes LTE/5G, que ofrecen gran capacidad de transmisión y flexibilidad en la expansión del servicio; comunicación satelital, una alternativa viable en localidades de difícil acceso, aunque con costos elevados de operación; y finalmente, el Wireless Local Loop (WLL), que se presenta como una opción intermedia de conectividad fija inalámbrica para comunidades rurales. El análisis comparativo de estas tecnologías permitió encontrar ventajas, limitaciones y condiciones de aplicación, aportando un marco de discusión para seleccionar la alternativa más factible y sostenible.

**Figura 8**

*localidad de La Barranca, distrito de Guadalupe, Pacasmayo, Región La Libertad*



**Tabla 1**

*Demanda de ancho de banda proyectada*

| <b>Actividad educativa</b>  | <b>Ancho de banda</b> | <b>Detalle de uso</b>                           |
|---|-----------------------|---|
| Videoconferencias (Zoom/Meet)   | 4 Mbps                | Una sesión en HD estable para clases virtuales. |
| Plataformas educativas (Moodle, Classroom, bibliotecas digitales)               | 3.5 Mbps              | Navegación y descarga de materiales académicos. |
| Descargas de contenidos educativos (PDF, videos académicos, software educativo) | 3.5 Mbps              | Bajada de material didáctico o tutoriales.      |

**Figura 9**

*Condiciones geográficas de La Barranca*



Debido a las características geográficas del terreno en la localidad de La Barranca, se propone el uso de puntos de coordenadas estratégicamente seleccionados para la simulación del sistema, con base en estas referencias espaciales, se planteó el diseño de un enlace inalámbrico que permita evaluar la viabilidad técnica de la propuesta de conectividad, considerando las condiciones topográficas y ambientales propias de la zona de estudio.

**Tabla 2**

*Ubicación georreferenciada de antenas para la simulación del sistema*

| DESCRIPCION         | LATITUD   | LONGITUD   |
|---------------------|-----------|------------|
| Antena Jequetepeque | 07.33952S | 079.56380W |
| Antena La Barranca  | 07.32364S | 079.58694W |

### ***3.1.1 Análisis del desempeño de Radioenlace y Microondas***

Los enlaces de microondas representan una alternativa tecnológica sólida para la transmisión de datos a larga distancia, al no requerir infraestructura cableada en su despliegue, esta

característica los convierte en una opción viable para comunidades rurales y costeras como La Barranca, donde la instalación de fibra óptica resulta poco factible por motivos económicos y geográficos, estos sistemas permiten alcanzar anchos de banda elevados y garantizar estabilidad en la comunicación, especialmente en trayectos de corta y mediana distancia con condiciones de línea de vista directa.

Sin embargo, es necesario considerar que su costo inicial de implementación suele ser elevado, debido a la adquisición de equipos especializados y antenas de alta capacidad, además, su rendimiento puede verse afectado por factores ambientales como lluvias intensas, niebla o altos niveles de humedad, condiciones frecuentes en entornos costeros, limitaciones que exigen un análisis comparativo con otras tecnologías inalámbricas para establecer su conveniencia como en de la propuesta de conectividad para la localidad de La Barranca.

**Figura 10**

*Configuración del enlace inalámbrico entre Jequetepeque y La Barranca*

| Region and Equipment Selection |                    |            |           |              |  |  |  |  |  |
|--------------------------------|--------------------|------------|-----------|--------------|--|--|--|--|--|
| Band                           | Product            | Regulation | Link Type | Remote Mount |  |  |  |  |  |
| 11 GHz                         | PTP11820S (Narrow) | ETSI       | 1+0       | None         |  |  |  |  |  |

| PTP11820S (Narrow) Configuration |           |                 |                  |                  |              |         |                     |                    |  |
|----------------------------------|-----------|-----------------|------------------|------------------|--------------|---------|---------------------|--------------------|--|
| T/R Spacing                      | Bandwidth | Modulation Mode | Maximum Mod Mode | Minimum Mod Mode | Polarization | ATPC    | Hi                  | Header Compression |  |
| 490 MHz                          | 56 MHz    | Adaptive        | 10 - 2048QAM     | 0 - QPSK         | Vertical     | Enabled | Antena Jequetepeque | Disabled           |  |

Para el diseño del sistema propuesto se configuró un enlace punto a punto (PTP) empleando un equipo de radioenlace en la banda de 11 GHz, específicamente el modelo PTP11820S (Narrow). Esta configuración permite evaluar la factibilidad técnica del enlace inalámbrico planteado para mejorar la conectividad de la localidad de La Barranca.

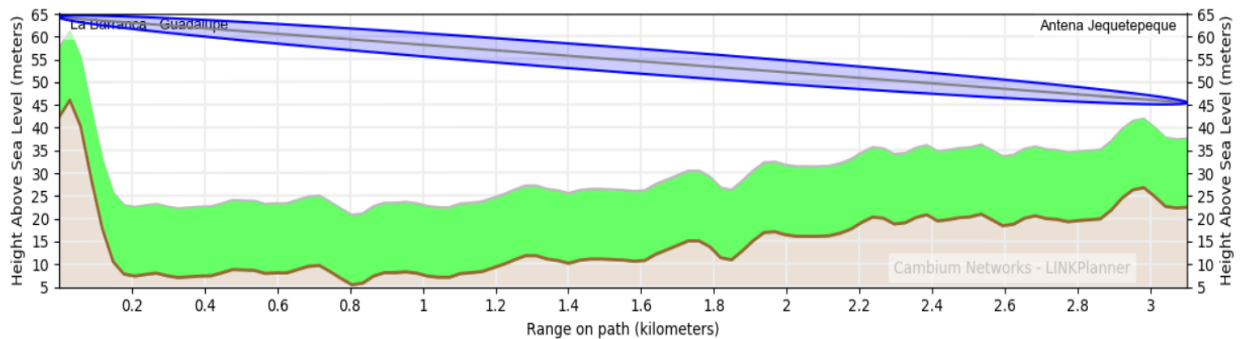
Los parámetros principales considerados en la simulación fueron los siguientes:

- **Espaciado entre Transmisión y Recepción (T/R Spacing):** 490 MHz. Este valor establece la separación entre el canal de transmisión y el de recepción, lo que resulta fundamental para minimizar la interferencia interna y asegurar la calidad del servicio.
- **Ancho de Banda (Bandwidth):** 56 MHz. Determina la capacidad espectral utilizada, influyendo directamente en la tasa máxima de transferencia de datos del sistema.
- **Modo de Modulación (Modulation Mode):** Configurado en modo adaptivo, lo que posibilita que el sistema ajuste automáticamente la modulación de acuerdo con las condiciones del canal, optimizando así el rendimiento y la disponibilidad del enlace.
- **Modulación Máxima (Maximum Mod Mode):** 2048-QAM, lo que asegura una alta eficiencia espectral en condiciones óptimas de propagación.
- **Modulación Mínima (Minimum Mod Mode):** QPSK, utilizada como nivel base en escenarios de degradación del canal, garantizando la continuidad y robustez de la comunicación.
- **Polarización:** Vertical, lo que define la orientación del campo eléctrico de la señal transmitida y contribuye a la estabilidad del enlace.
- **ATPC (Automatic Transmit Power Control):** Habilitado, permitiendo el ajuste automático de la potencia de transmisión con el fin de mantener la calidad del servicio y reducir la interferencia con otros sistemas.
- **Ubicación del Enlace (Hi):** Antena Jequetepeque, que corresponde a uno de los puntos terminales de la simulación del enlace inalámbrico hacia La Barranca.
- **Compresión de Cabecera (Header Compression):** Deshabilitada, lo que indica que no se aplicó reducción de sobrecarga en los paquetes transmitidos, manteniendo la integridad de la información durante la simulación.

Esta configuración trata de reflejar un escenario técnico realista, orientado a garantizar un equilibrio entre eficiencia espectral, robustez frente a variaciones del canal y sostenibilidad operativa, elementos importantes para la viabilidad de la propuesta en el contexto de la localidad de La Barranca.

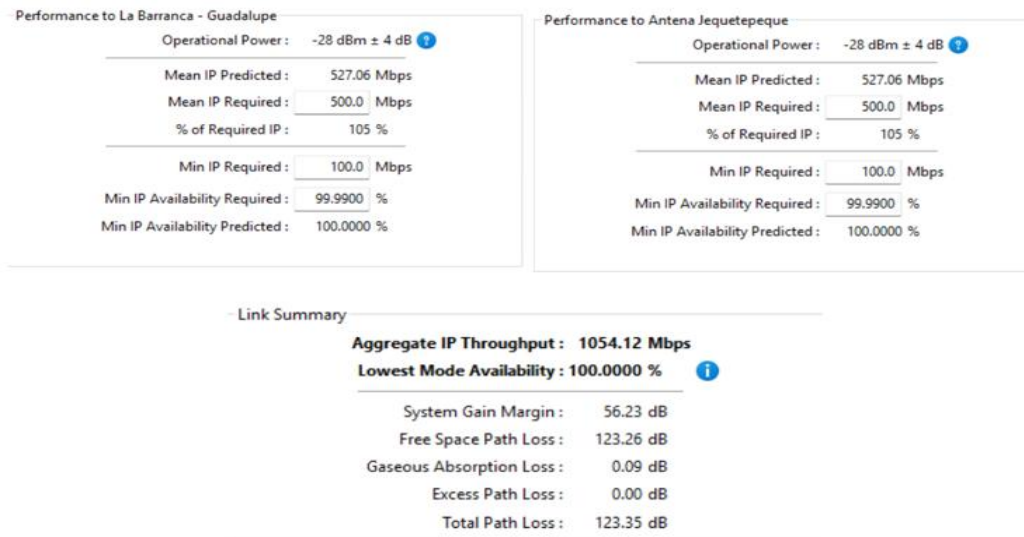
**Figura 11**

*Enlace inalámbrico entre La Barranca y Jequetepeque*



**Figura 12**

*Parámetros de rendimiento del sistema de radioenlace simulado*



La figura N° 12, muestra los resultados obtenidos en la simulación permiten destacar tres indicadores clave para evaluar la factibilidad del sistema de comunicación inalámbrica propuesto entre La Barranca y Jequetepeque.

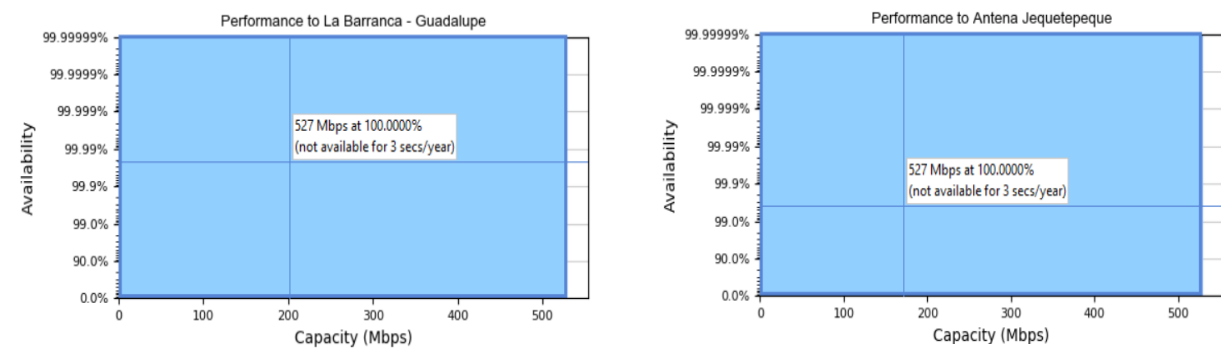
En primer lugar, el Aggregate IP Throughput alcanzó los 1054.12 Mbps, lo que representa la capacidad total estimada de tráfico IP para ambos extremos del enlace, este valor resulta de la suma de los promedios de rendimiento previstos en cada dirección y constituye un indicador esencial para determinar la capacidad de transporte de datos, el resultado muestra que el enlace diseñado puede responder adecuadamente a la demanda de conectividad de la localidad, considerando tanto necesidades educativas como productivas.

En segundo lugar, la Lowest Mode Availability fue del 100.00 %, que representa la disponibilidad mínima garantizada del enlace, incluso utilizando la modulación más robusta y tolerante a condiciones adversas, asegura un funcionamiento continuo y sin interrupciones, confirmando la confiabilidad del sistema frente a las posibles variaciones del entorno geográfico y climático de la zona costera.

Además, las pérdidas de señal calculadas reflejaron un Free Space Path Loss (FSPL) de 123.26 dB y un Total Path Loss de 123.35 dB, esta mínima diferencia entre ambos valores indica que las pérdidas adicionales por absorción atmosférica o por obstáculos físicos son prácticamente despreciables, demostrando que la trayectoria evaluada se encuentra predominantemente despejada, siendo decisivo para garantizar la estabilidad del enlace punto a punto y la eficiencia en la transmisión de datos.

**Figura 13**

*Rendimiento del sistema de radioenlace*



La figura N° 13, presenta la relación entre la capacidad de transmisión (en Mbps) y la disponibilidad (en porcentaje) de los extremos del enlace: La Barranca – Guadalupe y la antena de Jequetepeque.

Se puede observar que la capacidad nominal de 527 Mbps se mantiene al 100 % de disponibilidad en ambas direcciones, mostrando que el enlace puede sostener esa tasa de transmisión prácticamente sin interrupciones durante el año, confirmando la seguridad del sistema propuesto.

Además, la simulación estima una indisponibilidad residual de aproximadamente tres segundos por año, lo que equivale a una disponibilidad real de alrededor del 99.9999 % (conocido como “seis nueves”), este valor es prácticamente insignificante en términos de impacto operativo, garantizando la continuidad del servicio incluso en condiciones exigentes.

También el eje de disponibilidad se representa en un rango elevado, entre el 90 % y el 100 %, enfatizando la alta confiabilidad del sistema, los resultados muestran que el enlace de microondas diseñado cumple con los estándares de transporte crítico, en los que se espera alcanzar disponibilidades mínimas del 99.995 % o superiores, equivalentes a unos pocos minutos de interrupción al año.

**Figura 14**

*Desempeño del enlace inalámbrico*

| Common details                         |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |
|--|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| Mode:                                  | 2048QAM  | 1024QAM  | 1024QAM  | 512QAM   | 256QAM   | 128QAM   | 64QAM    | 32QAM    | 16QAM    | 8PSK     | QPSK     |
| Profile:                               | 10       | 9        | 8        | 7        | 6        | 5        | 4        | 3        | 2        | 1        | 0        |
| Max Aggregate IP Throughput (Mbps):    | 1054.12  | 972.79   | 915.60   | 842.06   | 782.93   | 678.49   | 561.28   | 457.09   | 347.42   | 250.12   | 171.60   |
| Performance to La Barranca - Guadalupe |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |
| Max IP Throughput (Mbps):              | 527.06   | 486.40   | 457.80   | 421.03   | 391.47   | 339.24   | 280.64   | 228.55   | 173.71   | 125.06   | 85.80    |
| Fade Margin (dB):                      | 18.48    | 23.08    | 23.98    | 28.18    | 31.38    | 34.68    | 37.48    | 40.58    | 44.98    | 47.28    | 56.23    |
| Mode Availability (%):                 | 100.0000 | 100.0000 | 100.0000 | 100.0000 | 100.0000 | 100.0000 | 100.0000 | 100.0000 | 100.0000 | 100.0000 | 100.0000 |
| Receive Time in Mode (%):              | 100.0000 | 0.0000   | 0.0000   | 0.0000   | 0.0000   | 0.0000   | 0.0000   | 0.0000   | 0.0000   | 0.0000   | 0.0000   |
| Performance to Antena Jequetepeque     |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |
| Max IP Throughput (Mbps):              | 527.06   | 486.40   | 457.80   | 421.03   | 391.47   | 339.24   | 280.64   | 228.55   | 173.71   | 125.06   | 85.80    |
| Fade Margin (dB):                      | 18.48    | 23.08    | 23.98    | 28.18    | 31.38    | 34.68    | 37.48    | 40.58    | 44.98    | 47.28    | 56.23    |
| Mode Availability (%):                 | 100.0000 | 100.0000 | 100.0000 | 100.0000 | 100.0000 | 100.0000 | 100.0000 | 100.0000 | 100.0000 | 100.0000 | 100.0000 |
| Receive Time in Mode (%):              | 100.0000 | 0.0000   | 0.0000   | 0.0000   | 0.0000   | 0.0000   | 0.0000   | 0.0000   | 0.0000   | 0.0000   | 0.0000   |

La figura N° 14, muestra el comportamiento del enlace inalámbrico en diferentes esquemas de modulación, evaluando tres indicadores principales: capacidad agregada, margen de desvanecimiento y disponibilidad del modo.

Max Aggregate IP Throughput varía de acuerdo con el nivel de modulación utilizado, para el perfil más alto, correspondiente a 2048 QAM, la capacidad total del enlace alcanza aproximadamente 1054.12 Mbps (considerando ambos sentidos de transmisión), conforme se desciende en el orden de modulación pasando por 1024 QAM, 512 QAM hasta llegar a QPSK, la capacidad disminuye progresivamente, alcanzando cerca de 171.60 Mbps en QPSK. demostrando que las modulaciones de mayor orden brindan mejores tasas de transferencia, aunque requieren mejores condiciones de señal, mientras que modulaciones más simples reducen la capacidad, sin embargo, incrementan la robustez.

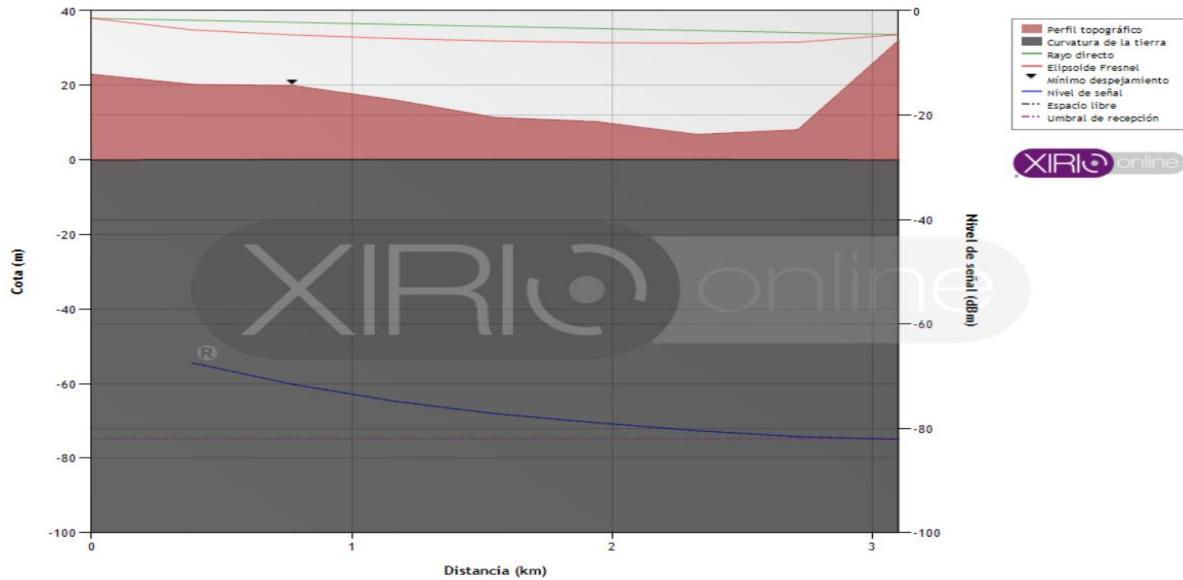
El fade margin, muestra el margen de desvanecimiento, para 2048 QAM se obtiene un margen de 18.48 dB, mientras que disminuye la complejidad de la modulación, como 16 QAM, presentan márgenes considerablemente más altos, confirmando que las modulaciones avanzadas requieren trabajar con márgenes más ajustados, a diferencia con modulaciones más estables que, aunque sacrifican capacidad, toleran mayor variabilidad en la calidad de la señal.

La disponibilidad del modo (Mode Availability %) se mantuvo en 100.000 % para todos los esquemas de modulación, indicando que, bajo las condiciones simuladas, cada nivel de modulación podría operar sin interrupciones significativas, esta cifra se traduce en una confiabilidad bastante alta, equivalente a sistemas de comunicación con disponibilidad crítica, donde los enlaces adaptativos logran mantener modulaciones avanzadas durante el 99.9 % del tiempo o más.

### 3.1.2 Análisis del desempeño de Wi-Fi 5 en La Barranca

Figura 15

Comportamiento de la señal inalámbrica Wi-Fi 5 en La Barranca



La figura N° 15, presenta la simulación de un enlace inalámbrico entre dos puntos con una distancia aproximada de 3 km, aplicada al análisis de la tecnología Wi-Fi 5 (IEEE 802.11ac), la cual opera principalmente en la banda de 5 GHz., este estándar, aunque diseñado para distancias más cortas en entornos típicos, puede extender su alcance bajo condiciones favorables, lo que permite evaluar su viabilidad en el contexto de la localidad de La Barranca.

Los elementos principales en la imagen:

▪ **Distancia (km) y cota (m):**

- ✓ *En el eje horizontal se representa una distancia aproximada de 3 km entre los dos puntos de enlace, constituyéndose en un trayecto extenso para la tecnología Wi-Fi 5 (IEEE 802.11ac), la cual está diseñada principalmente para distancias cortas en promedio hasta 100 metros en entornos típicos, aunque bajo condiciones favorables puede extender su alcance.*

- ✓ *En el eje vertical* se observa la cota del terreno en metros, donde el perfil topográfico evidencia un relieve variable con elevaciones de hasta 40 metros en determinados tramos. Si bien estas irregularidades podrían generar interferencias parciales en la propagación de la señal, no se identifican obstáculos significativos como montañas o edificaciones de gran altura que imposibiliten la línea de vista entre los extremos del enlace.
  
- **Curvatura de la Tierra, Elipsoide de Fresnel y Rayo Directo:**
  - ✓ En un trayecto de aproximadamente 3 km, la curvatura de la Tierra (representada en la gráfica por la línea gris) no genera un impacto significativo en el comportamiento del enlace, dado que se trata de una distancia relativamente corta para efectos de propagación.
  - ✓ Respecto al elipsoide de Fresnel (área sombreada), se evidencia la necesidad de mantener esta zona libre de obstrucciones con el fin de evitar pérdidas de señal por difracción, en la simulación se observa una ligera interferencia en el primer kilómetro del recorrido, lo que afecta marginalmente la calidad del enlace si no se considera en el diseño final.
  - ✓ El rayo directo (línea verde) constituye el trayecto ideal de propagación entre las dos antenas, y en este escenario no presenta obstrucciones significativas a lo largo de la distancia, lo que refuerza la factibilidad técnica del enlace bajo la tecnología evaluada.

- **Nivel de señal (línea azul):**

- ✓ La simulación muestra que el nivel de señal inicia con valores adecuados en los primeros tramos del enlace, pero disminuye de manera progresiva conforme aumenta la distancia, al alcanzar los 3 km de recorrido, la intensidad de la señal se aproxima a -90 dBm, valor que se encuentra por debajo del umbral recomendado para garantizar un servicio estable en la tecnología Wi-Fi 5 (IEEE 802.11ac), esto demuestra que, aunque el enlace puede operar con eficiencia en distancias cortas e intermedias, su desempeño se ve comprometido en trayectos superiores a los 2 km, donde la atenuación de la señal limita su confiabilidad y continuidad.

La tecnología Wi-Fi 5 (IEEE 802.11ac) fue concebida principalmente para entornos de corta distancia, con un alcance típico de hasta 100 metros en condiciones estándar, aunque, bajo escenarios favorables y con línea de vista despejada, su cobertura puede extenderse a distancias mayores, como se evaluó en la simulación del presente estudio. Aún así, es importante considerar que esta tecnología presenta limitaciones significativas en cuanto a alcance y capacidad de penetración de obstáculos, debido a que opera en la banda de 5 GHz, la cual es más susceptible a la atenuación y a la pérdida de intensidad de señal en comparación con frecuencias más bajas, como la banda de 2.4 GHz.

- **Requisitos de señal para Wi-Fi 5:**

De acuerdo con las especificaciones técnicas y estudios previos, la tecnología Wi-Fi 5 (IEEE 802.11ac) requiere que el nivel de señal se mantenga por encima de -70 dBm para garantizar una conexión estable y con un rendimiento óptimo. Cuando la intensidad

de la señal desciende por debajo de -80 dBm, la calidad de la conexión tiende a degradarse significativamente, manifestándose en reducciones de velocidad de transmisión y aumentos en la latencia, lo que afecta la experiencia del usuario y la confiabilidad del servicio, constituyendo un marco de referencia esencial para evaluar la viabilidad de la tecnología en escenarios de conectividad rural como La Barranca.

▪ **Análisis del nivel de señal:**

- ✓ En el tramo comprendido entre 0 km y 1.5 km, los niveles de señal se mantienen dentro de un rango adecuado para la tecnología Wi-Fi 5 (IEEE 802.11ac), asegurando conexiones estables y sin pérdidas significativas de datos.
- ✓ Entre 1.5 km y 2.5 km, la señal desciende a valores aproximados de -85 dBm a -90 dBm, lo que se traduce en una reducción de la estabilidad de la conexión, en este intervalo pueden presentarse problemas de rendimiento, tales como pérdida de velocidad y aumento de la latencia.
- ✓ A partir de 2.5 km, los niveles de señal caen hasta valores cercanos a -95 dBm y -99 dBm, muy por debajo del umbral recomendado para Wi-Fi 5, en este escenario, la conexión se considera inestable e insuficiente para garantizar un servicio confiable, lo que limita la aplicabilidad de esta tecnología en distancias superiores a los 2.5 km en el contexto de La Barranca.

Las tecnologías LTE y 5G constituyen alternativas avanzadas de comunicación inalámbrica, caracterizadas por su capacidad de ofrecer conectividad de alta velocidad y baja latencia, lo que las convierte en soluciones idóneas para aplicaciones que demandan eficiencia en

la transmisión de datos, una de sus principales ventajas radica en que su despliegue puede realizarse mediante estaciones base adaptadas a zonas rurales, ampliando el acceso a servicios digitales en comunidades alejadas.

En el caso de La Barranca, la implementación de LTE o 5G permitiría brindar servicios avanzados en ámbitos como educación, salud y desarrollo productivo, no obstante, estas tecnologías requieren de un operador de telecomunicaciones con infraestructura instalada y licencias de espectro, factores que elevan considerablemente los costos de inversión y operación, esta condición limita su viabilidad en comunidades pequeñas con baja densidad poblacional, donde el retorno económico para las empresas proveedoras resulta insuficiente, reduciendo la factibilidad de adopción de estas alternativas en el corto plazo.

**Tabla 3**

*Desempeño del nivel de señal en el enlace inalámbrico simulado en La Barranca*

| Distancia (km) | Cota (m) | Nivel de señal (dBm) |
|----------------|----------|----------------------|
| 0              | 23       | ---                  |
| 0.388          | 20.21    | -67.44               |
| 0.775          | 19.84    | -71.57               |
| 1.163          | 16       | -74.77               |
| 1.55           | 11.28    | -77.17               |
| 1.938          | 10.17    | -78.9                |
| 2.325          | 6.75     | -80.42               |
| 2.713          | 8.07     | -81.58               |
| 3.1            | 32.1     | -82.09               |

La tabla N° 03, presenta los valores de distancia (km), cota (m) y nivel de señal (dBm) obtenidos a lo largo del trayecto del enlace, este análisis permite evaluar la evolución de la intensidad de la señal conforme aumenta la distancia, con el propósito de determinar la viabilidad técnica de una conexión bajo el estándar Wi-Fi 5 (IEEE 802.11ac) en la localidad de La Barranca.

- Distancia (km): La distancia máxima es 3.1 km, lo que se considera relativamente largo para Wi-Fi 5, que típicamente es utilizado en distancias más cortas (hasta 100 metros en

un entorno típico). Sin embargo, se pueden establecer enlaces de mayor alcance si las condiciones lo permiten.

- Cota (m): La cota muestra variabilidad en el terreno, con valores que oscilan entre 23 m (al inicio) hasta 32.1 m (al final del trayecto). No se observan grandes cambios bruscos, pero sí algunas diferencias significativas, lo que podría implicar algunas obstrucciones locales.
- Nivel de señal (dBm):
  - ✓ A 0 km, el nivel de señal no está disponible.
  - ✓ A 0.388 km, el nivel de señal es -67.44 dBm, lo cual es bastante fuerte y debería proporcionar una buena conexión.
  - ✓ A 0.775 km, la señal es -71.57 dBm, aún dentro de un rango bueno para Wi-Fi 5.
  - ✓ A 1.163 km, la señal baja a -74.77 dBm, pero todavía es un nivel aceptable para mantener la conexión con Wi-Fi 5.
  - ✓ A 1.55 km, la señal se encuentra en -77.17 dBm, lo cual todavía puede ser suficiente para aplicaciones básicas.
  - ✓ A 1.938 km, la señal sigue bajando a -78.9 dBm, indicando una ligera pérdida, pero aún dentro de un rango que debería ser funcional.
  - ✓ A 2.325 km, la señal está en -80.42 dBm, que está al límite de lo aceptable para Wi-Fi 5, aunque podría empezar a mostrar algunas caídas de rendimiento.
  - ✓ A 2.713 km, la señal es -81.58 dBm, y se encuentra en el límite inferior para una conexión Wi-Fi estable.
  - ✓ A 3.1 km, la señal es -82.09 dBm, lo que está por debajo del umbral recomendado para Wi-Fi 5, lo que podría resultar en una conexión inestable o pérdida de señal.

- **Viabilidad para Wi-Fi 5:**

En la tecnología Wi-Fi 5 (IEEE 802.11ac), se establece que los niveles de señal deben mantenerse por encima de -70 dBm para asegurar una conexión de calidad óptima, mientras que valores por debajo de -80 dBm suelen asociarse a enlaces inestables o con baja calidad, a partir de estos parámetros de referencia, la evaluación de los resultados de simulación se interpreta de la siguiente manera:

- ✓ **Hasta 1.5 km:** Los niveles de señal registrados (entre -67.44 dBm y -77.17 dBm) son adecuados para mantener una conexión estable. En este rango, el enlace resulta funcional para servicios de datos, aplicaciones de voz y transmisión de contenidos educativos sin limitaciones significativas.
- ✓ **Entre 1.5 km y 2.7 km:** La intensidad de la señal disminuye progresivamente hasta valores de -78.9 dBm a -81.58 dBm, aunque estos niveles aún permiten la conectividad, es previsible una reducción en el rendimiento, especialmente en aplicaciones sensibles al retardo, como videoconferencias en alta definición o actividades interactivas en línea.
- ✓ **Más allá de 2.7 km:** En el punto máximo del trayecto (3.1 km), el nivel de señal alcanza -82.09 dBm, situándose en un rango crítico, bajo estas condiciones, la conexión presenta alta probabilidad de inestabilidad, con posibles caídas de enlace y pérdida intermitente de servicio, lo que limita la viabilidad de Wi-Fi 5 para distancias superiores a los 2.7 km en el contexto analizado.

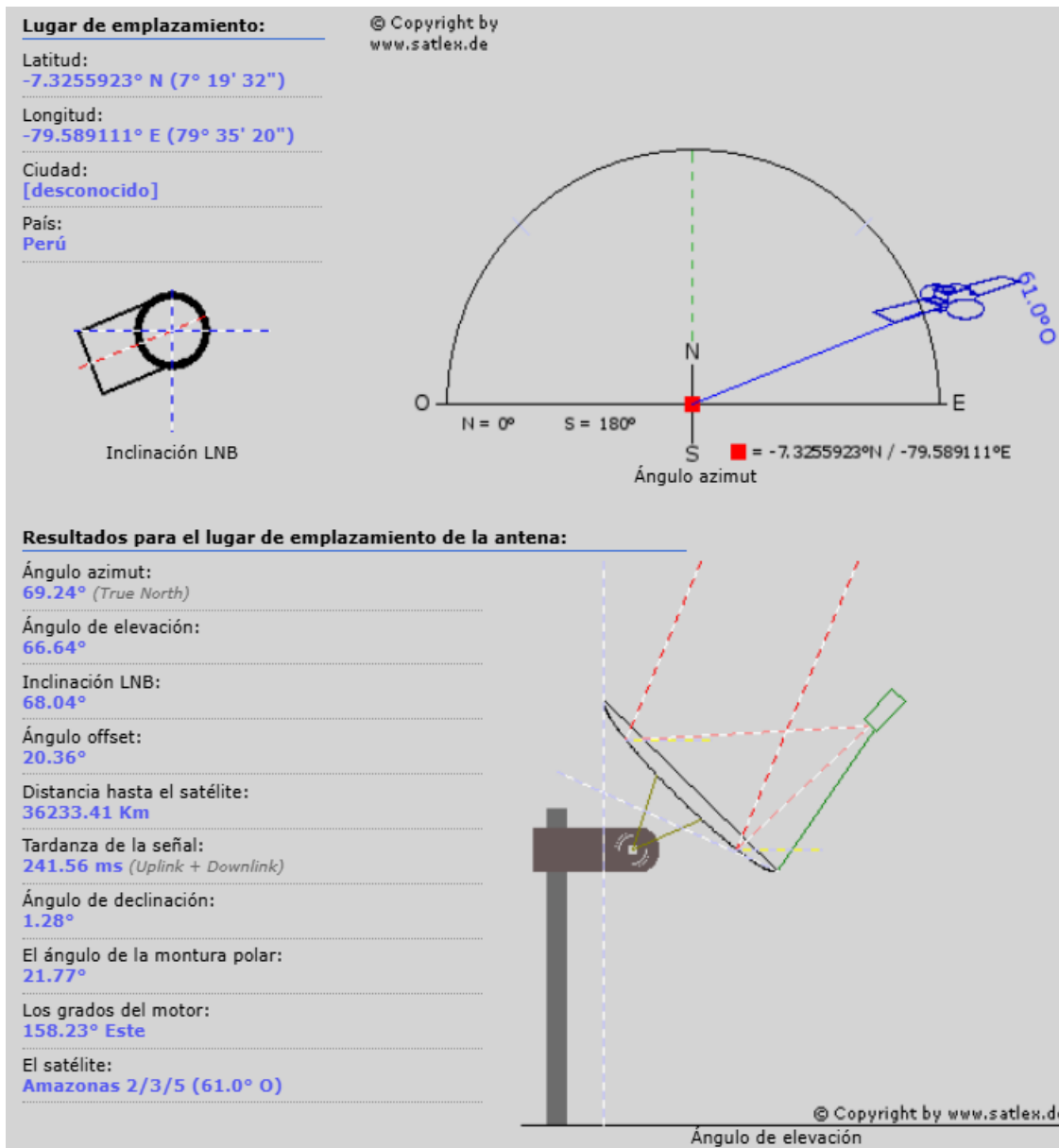
### ***3.1.3 Análisis del desempeño de Comunicación Satelital***

Con el propósito de garantizar una conectividad inalámbrica confiable en el centro poblado de La Barranca, se ha considerado la implementación de un sistema de comunicación satelital

como alternativa viable de enlace primario, esta decisión responde a la limitada cobertura de infraestructura terrestre en la zona, caracterizada por la ausencia de fibra óptica y la escasa disponibilidad de torres de microondas, lo que dificulta el acceso a tecnologías convencionales de telecomunicaciones.

**Figura 16**

*Enlace satelital Amazonas (61.0° O) para La Barranca*



- **Selección del satélite: Amazonas 2/3/5 (61.0° Oeste).**

Para el presente estudio se seleccionó el satélite Amazonas 2/3/5, perteneciente a la constelación geostacionaria operada por Hispasat, en virtud de su amplia cobertura en Sudamérica y, particularmente, en las zonas rurales del Perú, este satélite opera principalmente en bandas Ku y C, frecuencias óptimas para la prestación de servicios de transmisión de datos, acceso a Internet, comunicaciones de voz sobre IP y aplicaciones orientadas a educación y salud remota.

Su cobertura abarca de manera favorable el norte del país y, en específico, la región de La Libertad, proporcionando un ángulo de elevación de  $66.64^\circ$ , lo que reduce el riesgo de interferencias por obstáculos físicos en el entorno, además, la utilización del satélite Amazonas ha sido validada previamente en diversos proyectos de inclusión digital, tanto gubernamentales como privados, lo que respalda su viabilidad técnica, operativa y social como alternativa de conectividad para la comunidad de La Barranca.

- a. **Parámetros de orientación satelital**

A partir de las coordenadas geográficas de La Barranca (Latitud:  $-7.3255923^\circ$ , Longitud:  $-79.589111^\circ$ ), se determinó la orientación óptima de la antena parabólica hacia el satélite Amazonas 2/3/5 ( $61.0^\circ$  O), con el fin de garantizar la máxima calidad y estabilidad en la recepción de la señal. Los principales parámetros obtenidos fueron los siguientes:

- ✓ Ángulo de azimut (horizontal):  $69.24^\circ$  desde el norte verdadero, orientado hacia el este, lo que asegura la correcta alineación lateral de la antena.
- ✓ Ángulo de elevación (vertical):  $66.64^\circ$ , considerado óptimo para minimizar pérdidas por obstrucciones físicas, ya que proporciona una trayectoria despejada hacia el satélite.

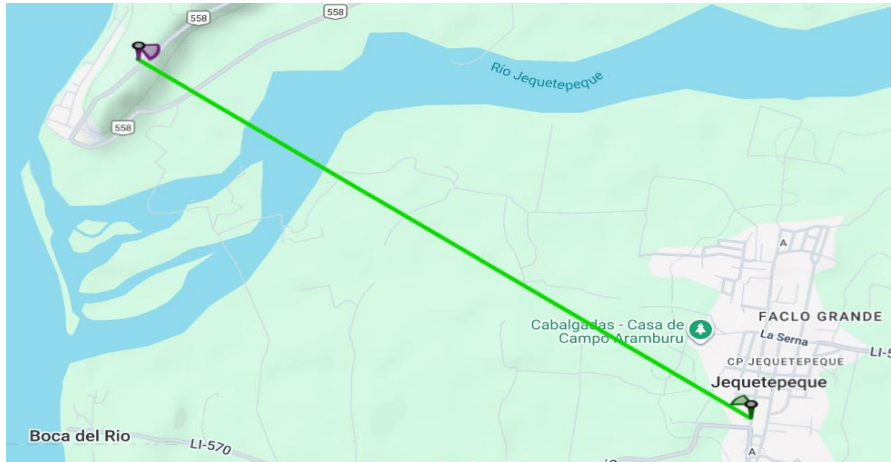
- ✓ Inclinación del LNB:  $68.04^\circ$ , fundamental para garantizar la adecuada polarización de la señal y evitar degradaciones por errores de alineación.
- ✓ Distancia al satélite: 36,233.41 km, correspondiente a la órbita geoestacionaria.
- ✓ Latencia de la señal: 241.56 ms (ida y vuelta), valor típico en enlaces satelitales, aceptable para aplicaciones de datos y comunicaciones generales.
- ✓ Offset de la antena:  $20.36^\circ$ , vinculado al diseño estructural del reflector parabólico.
- ✓ Ángulo de declinación:  $1.28^\circ$ , que compensa la curvatura de la Tierra en la trayectoria.
- ✓ Ángulo de montura polar:  $21.77^\circ$ , necesario para sistemas con motorización.
- ✓ Posición del motor:  $158.23^\circ$  Este, aplicable en antenas con seguimiento motorizado.

La orientación de la antena debe ejecutarse con alta precisión, utilizando instrumentos especializados como brújulas satelitales, inclinómetros digitales o analizadores de espectro, a fin de obtener la máxima intensidad y calidad de la señal., de igual manera, el ajuste fino del LNB resulta crítico, ya que un error de apenas algunos grados puede ocasionar pérdidas en la polarización y degradación sustancial en el rendimiento del enlace.

### 3.1.4 Análisis del desempeño de Wireless Local Loop (WLL)

**Figura 17**

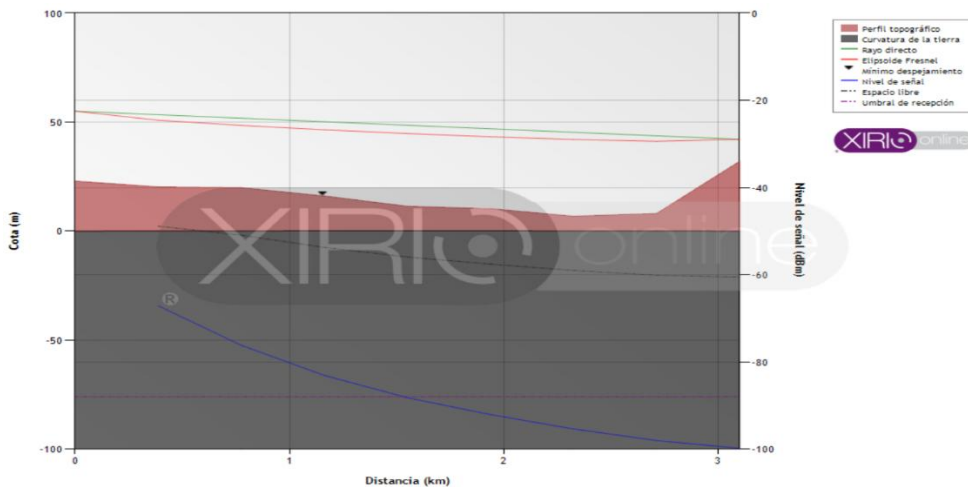
Enlace mediante Wireless Local Loop (WLL) entre La Barranca y Jequetepeque



El perfil de un enlace inalámbrico mediante Wireless Local Loop (WLL) entre Jequetepeque y La Barranca, con una distancia aproximada de 3 km, permite evaluar la viabilidad técnica de la conexión, esta gráfica es fundamental para analizar factores críticos como el perfil topográfico del terreno, la curvatura de la Tierra, el elipsoide de Fresnel y el nivel de señal estimado a lo largo del trayecto, elementos que inciden en la calidad y estabilidad del enlace.

**Figura 18**

Enlace inalámbrico WLL en La Barranca



**b. Elementos principales del perfil de enlace WLL:**

- ✓ **Eje horizontal (distancia en km):** Representa la extensión total del enlace, que en este caso alcanza aproximadamente 3 km entre los puntos de transmisión y recepción. Este eje permite visualizar cómo evoluciona el comportamiento de la señal a lo largo de la distancia, lo cual resulta fundamental para identificar los tramos críticos de propagación.
- ✓ **Eje vertical izquierdo (cota en metros):** Indica la elevación del terreno en metros. El perfil muestra las variaciones topográficas presentes en el trayecto, lo que permite detectar zonas de mayor altura o depresión que podrían influir en la propagación de la señal, afectando la línea de vista entre los extremos del enlace.
- ✓ **Eje vertical derecho (nivel de señal en dBm):** Expresa la intensidad de la señal en decibelios milivatio (dBm) conforme avanza la transmisión a lo largo de la distancia. Este eje es esencial, pues refleja la disminución progresiva de la potencia recibida debido a factores como la atenuación, dispersión o interferencias, y permite evaluar la eficiencia del sistema propuesto.
- ✓ **Perfil topográfico (área sombreada en rojo):** Representa la elevación real del terreno entre los puntos de transmisión y recepción. Su análisis es determinante, dado que la topografía local puede generar obstrucciones parciales o totales al paso de la señal, condicionando la calidad y continuidad del enlace inalámbrico.
- ✓ **Curvatura de la Tierra (línea gris):** Muestra la influencia de la curvatura terrestre sobre la propagación. Aunque en trayectos cortos como el de 3 km el impacto es mínimo, su consideración es importante en enlaces de mayor alcance, ya que puede llegar a generar pérdidas de visibilidad directa entre las antenas.

- ✓ **Rayo directo (línea verde):** Representa el trayecto ideal de propagación de la señal entre las antenas, sin considerar interferencias ni obstáculos. Su análisis es clave, pues permite comprobar la existencia de línea de vista, condición necesaria para un enlace inalámbrico confiable en tecnologías como WLL.
- ✓ **Elipsoide de Fresnel (zona sombreada en blanco y gris):** Define la región crítica alrededor del rayo directo en la que debe evitarse la presencia de obstáculos. Este espacio tridimensional se expande a medida que aumenta la distancia, y cualquier obstrucción parcial o total dentro de él puede ocasionar difracción, dispersión o atenuación significativa de la señal.
- ✓ **Mínimo despejamiento (triángulo negro):** Indica el punto más sensible del trayecto donde la obstrucción del elipsoide de Fresnel puede afectar gravemente la propagación. Identificar este punto permite prever la necesidad de incrementar la altura de las antenas o reubicar estaciones para garantizar un despeje adecuado.
- ✓ **Nivel de señal (línea azul):** Refleja la intensidad de la señal a lo largo del trayecto del enlace. Su tendencia decreciente muestra cómo factores como distancia, condiciones atmosféricas y características del terreno reducen progresivamente la potencia recibida. Evaluar este comportamiento es fundamental para determinar si la señal cumple con los márgenes técnicos requeridos por el sistema de comunicación.
- ✓ **Umbral de recepción (línea punteada morada):** Indica el nivel mínimo de potencia de señal que el sistema receptor requiere para operar de manera confiable. Si la señal cae por debajo de este umbral, la comunicación se torna inestable, con posibles cortes o degradación del servicio. Este parámetro establece el límite práctico para definir la viabilidad del enlace.

**Tabla 4***Desempeño de la señal simulada en un enlace de La Barranca*

| Distancia (km) | Cota (m) | Nivel de señal (dBm) |
|----------------|----------|----------------------|
| 0              | 23       | ---                  |
| 0.388          | 20.21    | -67.12               |
| 0.775          | 19.84    | -76.2                |
| 1.163          | 16       | -83.1                |
| 1.55           | 11.28    | -88.22               |
| 1.938          | 10.17    | -92.09               |
| 2.325          | 6.75     | -95.38               |
| 2.713          | 8.07     | -98.05               |
| 3.1            | 32.09    | -99.82               |

**c. Análisis en función de distancia, cota y nivel de señal**

El comportamiento del enlace inalámbrico se evaluó considerando tres parámetros principales: la distancia (km), la cota del terreno (m) y el nivel de señal (dBm), a lo largo de un trayecto de 3.1 km entre los puntos de conexión.

- ✓ **Distancia (km):** El recorrido total del enlace se extiende desde el punto de origen (0 km) hasta alcanzar una longitud aproximada de 3.1 km, lo que lo clasifica como un enlace relativamente corto. Esta extensión es coherente con las aplicaciones propias de las redes Wireless Local Loop (WLL), orientadas a proveer acceso local en comunidades rurales o semiurbanas.
- ✓ **Cota (m):** La elevación del terreno presenta valores que oscilan entre 23 m en el inicio del enlace y un máximo de 32.09 m en el extremo final. Esta variabilidad moderada de la topografía evidencia ciertas irregularidades del terreno, aunque sin diferencias de relieve lo suficientemente pronunciadas como para generar obstrucciones críticas en la propagación de la señal.
- ✓ **Nivel de señal (dBm):** La intensidad de la señal experimenta una disminución progresiva conforme aumenta la distancia desde el punto de origen. En la fase inicial

(0 km), no se dispone de un valor registrado, mientras que a los 0.388 km se alcanza un nivel de -67.12 dBm, considerado relativamente fuerte para un enlace inalámbrico. Este valor sugiere una calidad de señal adecuada en esta primera etapa, con capacidad para sostener servicios de comunicación de datos y voz sin interrupciones significativas.

El análisis de la propagación muestra que, conforme aumenta la distancia del enlace inalámbrico, la intensidad de la señal experimenta una disminución progresiva, lo que condiciona la viabilidad del sistema WLL (Wireless Local Loop) en La Barranca, a una distancia de 0.775 km, el nivel de señal registrado es de -76.2 dBm, valor considerado aceptable para mantener un servicio estable, cabe indicar que los tramos intermedios, como a 1.163 km (-83.1 dBm) y 1.55 km (-88.22 dBm), la señal presenta una reducción significativa, aunque todavía se conserva dentro de un rango operativo para aplicaciones como telefonía fija o acceso a internet con márgenes de tolerancia razonables.

No obstante, a partir de los 2.325 km, donde la intensidad de la señal alcanza -95.38 dBm, esta cae por debajo del umbral técnico de -90 dBm, lo que representa un límite crítico para la confiabilidad del enlace, cabe indicar que, a los 3.1 km, el nivel de señal desciende hasta -99.82 dBm, valor cercano a la pérdida total de conectividad, en estas condiciones, el sistema inalámbrico no logra sostener una comunicación estable, lo que confirma la necesidad de considerar estrategias complementarias como el incremento en la altura de las antenas, la instalación de repetidores o la adopción de tecnologías alternativas para garantizar la viabilidad del proyecto en la localidad de La Barranca.

En los sistemas Wireless Local Loop (WLL), se establece que el nivel de señal debe mantenerse por encima de -85 dBm para garantizar una operación confiable, aunque este valor

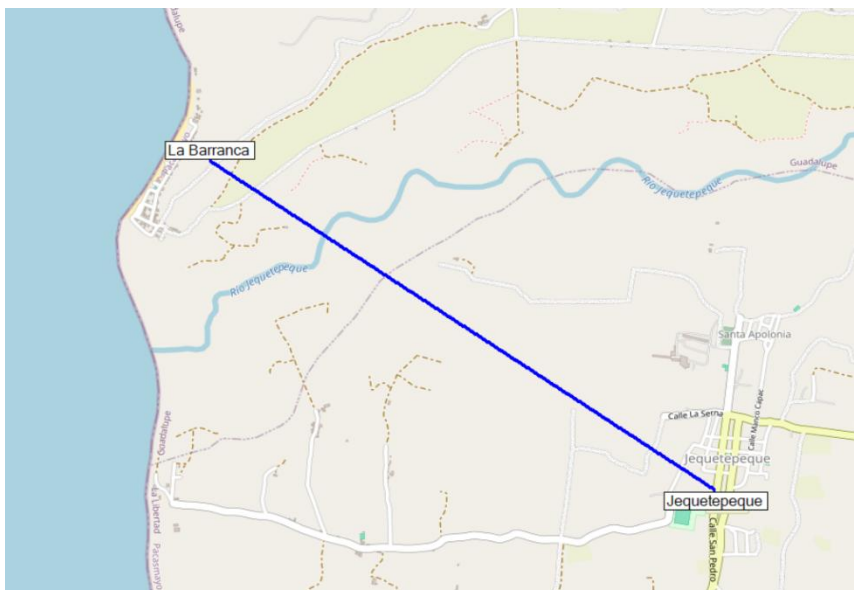
puede variar en función de la calidad de los equipos empleados, tales como antenas, amplificadores y receptores, con base en la simulación realizada para el enlace en La Barranca, se identifican los siguientes resultados:

- ✓ En las distancias iniciales, hasta aproximadamente 1.938 km, los niveles de señal se mantienen por encima de -80 dBm, lo que asegura una conectividad estable y con márgenes adecuados para sostener servicios de comunicación inalámbrica bajo la tecnología WLL.
- ✓ A partir de los 2.325 km y hasta los 3.1 km, la señal desciende progresivamente hasta valores cercanos a -90 dBm e incluso -99 dBm, estos niveles críticos sugieren que el enlace podría experimentar pérdida de estabilidad, interferencias frecuentes o interrupciones del servicio, a menos que se implementen estrategias de optimización, como el incremento en la altura de las antenas, el uso de repetidores intermedios o la mejora en la infraestructura de transmisión y recepción.

### 3.1.5 *Análisis del desempeño de WiMAX*

**Figura 19**

*Enlace inalámbrico WiMAX (IEEE 802.16) entre La Barranca y Jequetepeque*



**Tabla 5***Configuración de antenas para el sistema WiMAX en La Barranca – Jequetepeque*

| Jequetepeque (1)      |                         | (2) La Barranca       |                         |
|-----------------------|-------------------------|-----------------------|-------------------------|
| Latitud               | -7.339520 °             | Latitud               | -7.323640 °             |
| Longitud              | -79.563800 °            | Longitud              | -79.586940 °            |
| Elevación del terreno | 25.0 m                  | Elevación del terreno | 30.0 m                  |
| Altura de la antena   | 30.0 m                  | Altura de la antena   | 30.0 m                  |
| Azimuth               | 304.68 TN   306.39 MG ° | Azimuth               | 124.68 TN   126.38 MG ° |
| Inclinación           | 0.08 °                  | Inclinación           | -0.11 °                 |

Parámetros de emplazamiento de antenas para el enlace La Barranca – Jequetepeque

Para el diseño del enlace inalámbrico propuesto se determinaron las coordenadas geográficas y parámetros técnicos de las antenas ubicadas en los extremos del sistema: Jequetepeque (Ubicación 1) y La Barranca (Ubicación 2).

#### **Jequetepeque (Ubicación 1):**

- ✓ Latitud: -7.339520° (Sur)
- ✓ Longitud: -79.563800° (Oeste)
- ✓ Elevación del terreno: 25.0 m sobre el nivel del mar
- ✓ Altura de la antena: 30.0 m
- ✓ Azimut: 304.68° (Norte verdadero) | 306.39° (Magnético)
- ✓ Inclinación: 0.08°

#### **La Barranca (Ubicación 2):**

- ✓ Latitud: -7.323640° (Sur)
- ✓ Longitud: -79.586940° (Oeste)
- ✓ Elevación del terreno: 30.0 m sobre el nivel del mar
- ✓ Altura de la antena: 30.0 m

- ✓ Azimut: 124.68° (Norte verdadero) | 126.38° (Magnético)
- ✓ Inclinación: -0.11°

Estos parámetros son fundamentales para garantizar la alineación precisa del enlace, optimizar la propagación de la señal y reducir posibles pérdidas por desajustes en la orientación de las antenas.

**Tabla 6**

*Características de transmisión y recepción en el enlace inalámbrico WiMAX*

| <b>Sistema de radio</b> |             |
|-------------------------|-------------|
| Potencia TX             | 43.01 dBm   |
| Pérdida en cable TX     | 3.00 dB     |
| Ganancia de antena TX   | 6.00 dBi    |
| Ganancia de antena RX   | 2.00 dBi    |
| Pérdida en cable RX     | 0.50 dB     |
| Sensibilidad RX         | -113.02 dBm |

En el diseño del enlace inalámbrico propuesto entre La Barranca y Jequetepeque, resulta fundamental establecer los parámetros técnicos del sistema de radio, ya que estos determinan la capacidad de transmisión, la calidad de la señal y, en consecuencia, la viabilidad operativa del proyecto. A continuación, se describen los valores más relevantes del transmisor (TX) y el receptor (RX), los cuales son esenciales para configurar y evaluar el rendimiento del sistema:

**a. Potencia de transmisión (TX):**

La potencia de salida se establece en 43.01 dBm, equivalente a aproximadamente 20 W. Este nivel de potencia es considerado adecuado para enlaces de mediano y largo alcance, ya que permite que la señal se propague a lo largo de varios kilómetros manteniendo un nivel aceptable de calidad y disponibilidad.

**b. Pérdida en cable de transmisión (TX):**

Se registra un valor de 3 dB asociado a la atenuación de la señal dentro del cable coaxial de transmisión. Este nivel de pérdida es razonable y se encuentra dentro de los márgenes aceptables, lo que sugiere que el sistema no presenta afectaciones significativas en este componente y que la mayor parte de la potencia generada por el transmisor llega efectivamente a la antena.

**c Ganancia de antena de transmisión (TX):**

La antena de transmisión presenta una ganancia de 6.00 dBi, lo que implica que la energía radiada se concentra en una dirección específica para optimizar el alcance y la eficiencia del enlace. Este valor es habitual en antenas de propósito general, pues ofrece un equilibrio adecuado entre cobertura amplia y direccionalidad suficiente para aplicaciones de comunicación inalámbrica rural, como en el caso del centro poblado La Barranca.

**d Ganancia de antena de recepción (RX):**

La antena receptora cuenta con una ganancia de 2.00 dBi, lo que refleja una sensibilidad menor en comparación con la antena transmisora. Este valor es técnicamente aceptable en sistemas donde no se requiere un enfoque demasiado direccional en la recepción, ya que el enlace depende en mayor medida de la potencia y la direccionalidad del transmisor. Su empleo resulta adecuado en escenarios donde se busca mantener un equilibrio entre simplicidad de instalación y eficiencia en la captura de señal.

**e Pérdida en cable de recepción (RX):**

La pérdida registrada en el cable de recepción es de apenas 0.50 dB, un valor considerado bajo y técnicamente favorable. Este resultado evidencia que el sistema está correctamente diseñado para minimizar la atenuación de la señal durante su trayecto desde la antena hasta el equipo receptor, lo que contribuye a preservar la calidad de la comunicación.

**f Sensibilidad del receptor (RX):**

La sensibilidad del receptor se establece en -113.02 dBm, lo que representa el nivel mínimo de potencia de señal que este puede detectar y procesar de manera confiable. Este valor es técnicamente relevante, ya que indica la capacidad del receptor de detectar señales muy débiles y, aun así, mantener la integridad de la información transmitida. Una sensibilidad de este orden garantiza un margen amplio de operación frente a pérdidas naturales de propagación, lo que refuerza la viabilidad del enlace inalámbrico propuesto para La Barranca.

**Tabla 7**

*Factores de pérdida de señal y pérdida total en el enlace WiMAX*

|                          | <b>Propagation</b> |
|--------------------------|--------------------|
| Pérdida en espacio libre | 113.12 dB          |
| Pérdida por obstrucción  | 5.85 dB            |
| Pérdida por bosque       | 0.00 dB            |
| Pérdida por urbanización | 0.00 dB            |
| Pérdida estadística      | 6.58 dB            |
| Pérdida total            | 125.54 dB          |

En el diseño del enlace propuesto entre La Barranca y Jequetepeque, es fundamental analizar los valores de pérdida de propagación, ya que estos inciden directamente en la calidad y

estabilidad de la comunicación, se describe cada uno de los tipos de pérdidas consideradas en la simulación del sistema:

- **Pérdida en espacio libre:**

El valor estimado es de 113.12 dB, correspondiente a la atenuación que experimenta la señal al propagarse a través del espacio libre, sin interferencias directas por obstáculos, reflejando la disminución de potencia debida principalmente a la distancia entre el transmisor y el receptor y a las características propias del medio de transmisión, donde fenómenos como la absorción atmosférica contribuyen a la atenuación de la señal, este parámetro constituye la pérdida dominante en el enlace y, por tanto, representa el principal reto a superar mediante la correcta selección de potencia de transmisión, ganancias de antena y altura de instalación.

- **Pérdida por obstrucción:**

Este tipo de pérdida se produce cuando la señal se ve afectada por la presencia de obstáculos físicos en la trayectoria del enlace, tales como edificaciones, colinas o elementos del entorno natural. En la simulación realizada para el enlace entre La Barranca y Jequetepeque, se obtuvo un valor de 5.85 dB, lo que indica un nivel de atenuación reducido. Este resultado sugiere que, si bien existen pequeñas interferencias en la línea de vista, estas no representan una limitación crítica para el desempeño del sistema. Dicho valor es coherente con lo esperado en entornos rurales, donde la topografía y algunos elementos dispersos del paisaje generan obstrucciones menores en la propagación de la señal.

- **Pérdida por bosque:**

En el análisis realizado no se consideró atenuación asociada a la presencia de vegetación densa o áreas boscosas, registrándose un valor de 0.00 dB. Este resultado indica que el trayecto del enlace no atraviesa zonas con suficiente cobertura arbórea como para generar una afectación significativa en la propagación de la señal. En consecuencia, este tipo de pérdida no representa un factor relevante en el desempeño del sistema de comunicación propuesto para La Barranca.

- **Pérdida por urbanización:**

De igual manera, no se identificaron pérdidas vinculadas a la presencia de infraestructura urbana (edificaciones, construcciones o interferencias propias de áreas densamente habitadas), con un valor de 0.00 dB. Esto confirma que el enlace no atraviesa zonas urbanizadas de alta densidad y que, por lo tanto, no existen limitaciones derivadas de este factor. En este sentido, el escenario de propagación es favorable, dado que la señal no se ve comprometida por interferencias propias de entornos metropolitanos o congestionados en el espectro radioeléctrico.

- **Pérdida estadística:**

El valor estimado para este parámetro es de 6.58 dB, correspondiente a las fluctuaciones aleatorias que pueden presentarse en la propagación de la señal. Este tipo de pérdida se asocia a fenómenos como la difracción, el desvanecimiento por trayectorias múltiples (multipath) y el ruido ambiental, los cuales afectan de manera variable la estabilidad

del enlace. Si bien no constituyen una pérdida fija, su incorporación en el modelo de simulación resulta esencial, ya que permiten representar condiciones más cercanas a la operación real del sistema en escenarios rurales como el de La Barranca.

- **Pérdida total:**

El valor de 125.54 dB corresponde a la suma de todas las pérdidas identificadas en el enlace, constituyendo la atenuación total de la señal desde el transmisor hasta el receptor. Este parámetro integra los efectos del espacio libre, las obstrucciones parciales, las fluctuaciones estadísticas y demás factores incidentes en la propagación. La magnitud obtenida representa la cantidad final de señal atenuada a lo largo del trayecto, y constituye un indicador crítico para determinar los requerimientos técnicos del sistema, tales como la potencia de transmisión, la ganancia de las antenas y la sensibilidad del receptor. En este sentido, la pérdida total calculada establece la base para evaluar la viabilidad del enlace propuesto en La Barranca y para definir las condiciones bajo las cuales se garantizaría la continuidad y estabilidad de la comunicación inalámbrica.

**c. Distancia**

La separación entre los dos puntos del enlace es de 3.103 km, lo que lo clasifica como un enlace de medio alcance. Este valor es determinante para el cálculo de la atenuación de la señal y la cobertura efectiva, ya que la distancia influye directamente en las pérdidas de propagación y en la potencia de transmisión requerida para garantizar una conexión estable en el escenario de La Barranca.

**d. Precisión:**

Se obtuvo un nivel de precisión de 10 metros en la ubicación de los puntos de transmisión y recepción. En sistemas de comunicación inalámbrica, una alta precisión resulta esencial para asegurar la alineación en línea de vista (LOS) y evitar obstrucciones que puedan comprometer la propagación de la señal, especialmente en entornos rurales donde la topografía presenta irregularidades.

**e. Frecuencia:**

El enlace opera en una frecuencia de 3500 MHz (3.5 GHz), banda utilizada comúnmente en tecnologías como WiMAX (IEEE 802.16) y ciertos sistemas de microondas. El uso de frecuencias elevadas ofrece la ventaja de permitir mayores velocidades de transmisión y eficiencia espectral; sin embargo, también implica una mayor susceptibilidad a la atenuación por obstáculos físicos y condiciones atmosféricas, lo que requiere un diseño cuidadoso de los parámetros del sistema.

**f. Potencia de Radiación Isotrópica Equivalente (EIRP):**

El valor de 39.905 W corresponde a la potencia isotrópica equivalente radiada, la cual integra tanto la potencia de transmisión como la ganancia de la antena. Este nivel de potencia se considera relativamente alto y resulta adecuado para mantener un enlace de medio y largo alcance, garantizando una calidad de señal aceptable a lo largo del trayecto entre La Barranca y Jequetepeque.

**g. Ganancia del sistema:**

La ganancia total del sistema, estimada en 160.53 dB, refleja la capacidad del enlace para enfocar y amplificar la señal en el proceso de transmisión y recepción. Este parámetro es esencial, pues maximiza el alcance efectivo del enlace y optimiza la eficiencia de la comunicación inalámbrica en un escenario con limitaciones de infraestructura como el de La Barranca.

**h. Fiabilidad requerida:**

El nivel de 70 % de fiabilidad indica que el sistema está diseñado para tolerar pérdidas moderadas de señal e interferencias sin comprometer en exceso el rendimiento global. Este valor resulta adecuado para entornos rurales con condiciones variables de propagación, ya que asegura un balance entre eficiencia técnica y factibilidad operativa en el contexto del proyecto.

**i. Señal recibida (dBm):**

El nivel de señal recibido se estimó en -78.03 dBm, lo que indica que la potencia captada por el receptor se encuentra dentro de un rango funcional aceptable. En sistemas de comunicación inalámbrica, valores superiores a -80 dBm suelen garantizar una conectividad estable; sin embargo, al encontrarse cercano a dicho umbral, existe el riesgo de que la calidad del enlace se vea comprometida en condiciones de propagación desfavorables o ante la presencia de interferencias.

**j. Señal recibida ( $\mu\text{V}$ ):**

En términos de intensidad eléctrica, la señal recibida corresponde a  $28.08 \mu\text{V}$ . Este valor refleja que la señal es suficientemente fuerte para ser procesada por el receptor, aunque puede estar sujeta a fluctuaciones de calidad en función de la variabilidad atmosférica o de la interferencia electromagnética del entorno.

**k. Margen de escucha:**

El margen de seguridad calculado es de  $34.99 \text{ dB}$ , lo que asegura que la señal se mantenga por encima del umbral mínimo de recepción incluso ante fluctuaciones menores ocasionadas por fenómenos como interferencias, ruido o desvanecimiento por trayectorias múltiples. Este valor constituye un indicador positivo, ya que garantiza un grado adicional de robustez y confiabilidad en el desempeño del enlace propuesto para el centro poblado La Barranca.

## **2.1. Discusión**

El diseño del sistema de comunicación inalámbrica para la localidad de La Barranca responde a la necesidad urgente de cerrar la brecha digital en comunidades rurales del Perú. En concordancia con lo planteado en los antecedentes internacionales y nacionales, la revisión de literatura evidenció que la conectividad en zonas aisladas no solo depende de la disponibilidad tecnológica, sino también de la factibilidad económica y de la adaptación a las condiciones geográficas específicas. Investigaciones como las de Llongo (2022) en Colombia y Quillas & Gálvez (2020) en Perú destacan la importancia de comparar tecnologías y realizar simulaciones que permitan prever el rendimiento real de las soluciones, lo cual coincide con la metodología empleada en este estudio.

Los resultados de la simulación en La Barranca muestran que los sistemas de radioenlace y microondas ofrecen alta capacidad de transmisión (hasta 1054 Mbps) y disponibilidad casi perfecta (99.9999 %), lo que confirma su viabilidad técnica para garantizar conectividad robusta en la zona. Sin embargo, el costo inicial de implementación y la susceptibilidad a factores climáticos representan limitaciones que deben ser evaluadas en la práctica. El análisis del Wi-Fi 5 evidenció que, aunque es una alternativa económica y de fácil despliegue, su alcance efectivo no supera los 2.7 km sin pérdida significativa de estabilidad, lo que restringe su aplicación a escenarios muy específicos dentro de la localidad. En contraste, la comunicación satelital se mostró como una opción técnicamente viable por su amplia cobertura y facilidad de instalación, pero con desventajas económicas que la hacen poco sostenible en comunidades de baja densidad poblacional, tal como ya lo han señalado proyectos gubernamentales en otras regiones rurales del país. Finalmente, el WLL y el WiMAX demostraron un desempeño intermedio, siendo capaces de ofrecer cobertura aceptable en un radio de hasta 3 km, aunque condicionados a ajustes en altura de antenas o incorporación de repetidores para mantener niveles de señal confiables.

En ese sentido, la propuesta de este trabajo no se limita a identificar una única tecnología, sino a generar un marco comparativo que permita seleccionar la opción más adecuada para La Barranca según criterios de factibilidad técnica, sostenibilidad económica y adaptación geográfica. La investigación confirma lo señalado en la literatura: la implementación de sistemas de comunicación inalámbrica en zonas rurales requiere de soluciones híbridas o combinadas que maximicen cobertura, disponibilidad y eficiencia, minimizando costos y

garantizando sostenibilidad en el tiempo. Además, los resultados obtenidos refuerzan que, más allá de la viabilidad técnica, la conectividad en La Barranca puede generar un impacto transformador en educación, salud y desarrollo económico local, tal como lo han destacado organismos internacionales como la UIT (2023) y el BID (2022).

## 4 CAPÍTULO IV: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 4.1 Conclusiones

- La revisión de la literatura permitió constatar que, en comunidades rurales y costeras como la comunidad de La Barranca, las tecnologías inalámbricas constituyen la opción más factible para reducir la brecha digital, identificando que los sistemas de radioenlace y microondas, las redes WiMAX, LTE/5G, el Wi-Fi 5 y la comunicación satelital han sido implementados en diferentes regiones con resultados positivos, aunque con ventajas y limitaciones particulares.
- Las simulaciones realizadas permitieron analizar el desempeño de distintas tecnologías de comunicación inalámbrica, demostrando que el radioenlace de microondas alcanzó valores sobresalientes en capacidad (1054 Mbps) y disponibilidad (99.9999 %), así mismo Wi-Fi 5 demostró un desempeño adecuado hasta 2.7 km, pero con pérdida de estabilidad en distancias superiores, por otro lado la comunicación satelital demostró ser técnicamente viable y con cobertura garantizada, aunque con una latencia y costos elevados y WLL presentó resultados aceptables en distancias cortas, pero con caídas notables de señal a partir de los 2.3 km, el análisis permitió identificar fortalezas y debilidades de cada opción.
- Se determinó que la tecnología de radioenlace y microondas representa la alternativa más adecuada para la localidad de La Barranca, ya que combina alta capacidad de transmisión, disponibilidad casi perfecta y adaptabilidad a las condiciones topográficas del entorno, además presenta capacidad de sostenibilidad técnica y garantiza estabilidad en el servicio, convirtiéndolo en la opción más viable para atender las necesidades de conectividad de la comunidad.

## 4.2 Recomendaciones

- Se recomienda implementar radioenlaces de microondas, dado que ofrecen una capacidad de transmisión superior a 1 Gbps y una disponibilidad de 99.9999 %, garantizando un servicio estable y robusto, convirtiendo a esta tecnología en la alternativa más adecuada para asegurar la conectividad en la localidad de La Barranca.
  
- Con el fin de mitigar las pérdidas de señal observadas en las simulaciones con Wi-Fi 5 y WLL a distancias superiores a 2.3 km, se recomienda evaluar la instalación de antenas con mayor altura o la incorporación de repetidores intermedios, con el objetivo de preservar el nivel de señal por encima del umbral crítico y mejorar la calidad de servicio en áreas dispersas.
  
- Dado que la comunicación satelital ofrece amplia cobertura y no depende de la topografía local, se sugiere considerar su implementación como sistema de respaldo, para garantizar la continuidad del servicio frente a eventualidades como fallas en la infraestructura terrestre o condiciones climáticas adversas que puedan afectar al radioenlace.
  
- Se sugiere desarrollar programas de capacitación dirigidos a jóvenes, docentes y líderes locales, con el propósito de dotarlos de competencias básicas en operación y supervisión de sistemas de telecomunicaciones, proceso de formación que, permitirá que la comunidad cuente con personal capacitado que apoye en la detección temprana de fallas, fomente un uso responsable del internet y potencie los beneficios en áreas como la educación, la salud y la economía local.

## 5 REFERENCIAS

- Albagory, Y. (2021). An Adaptive Bidirectional Multibeam High-Altitude Platforms Aeronautical Telecommunication Network Using Dual Concentric Conical Arrays. *IEEE Access*, 9, 43324-43338. Scopus. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2021.3066091>
- Arias, A. (2022). *Caracterización de sistemas de comunicación RF y ópticos en aplicaciones submarinas* [Bachelor thesis, Universitat Politècnica de Catalunya]. <https://upcommons.upc.edu/handle/2117/372768>
- Attrah, N. H., H.abdul-Majeed, G., & Abdullah, M. Z. (2021). Implementation of chordal ring network topology to enhance the performance of wireless broadband network. *EUREKA, Physics and Engineering*, 2021(2), 11-18. Scopus. <https://doi.org/10.21303/2461-4262.2021.001734>
- Banco Interamericano de Desarrollo. (2022). *Conectividad Rural en América Latina y El Caribe Un Puente al Desarrollo Sostenible en Tiempos de Pandemia* (p. 120). Banco Interamericano de Desarrollo. <https://repositorio.iica.int/bitstream/handle/11324/21350/BVE22118792e.pdf>
- Belete, D. K., & Salau, A. O. (2024). Adaptation and Performance Evaluation of Existing Power Line for Broadband Communication. *Wireless Personal Communications*, 137(1), 237-257. Scopus. <https://doi.org/10.1007/s11277-024-11398-4>
- Caillaud, C., Bertin, H., Besançon, C., Gnanamani, R., & Mekhazni, K. (2023). High Efficiency/High Bandwidth Preamplified Receiver for High Speed Networks. *IET. Conf. Proc.*, 2023(34), 776-778. Scopus. <https://doi.org/10.1049/icp.2023.2336>

- Deza, J. (2024). *Propuesta de inteligencia artificial en la administración de justicia: Retos y desafíos para mejorar el sistema judicial peruano, 2023* [Tesis, Universidad Cesar Vallejo].  
[https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/132265/Deza\\_PJF-SD.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/132265/Deza_PJF-SD.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Flores, G., Paredes, L., Roldan, S., & Valdizan, D. (2021). *Implementar redes inalámbricas a través de fibra óptica para impulsar la educación en las zonas rurales del Perú*.  
<https://tesis.pucp.edu.pe/repositorio//handle/20.500.12404/20957>
- Flores-Cueto, J., Hernández, R., & Garay-Argandoña, R. (2021). Tecnologías de información: Acceso a internet y brecha digital en Perú. *Revista Venezolana de Gerencia*, 25(90), 17.
- González, J., & Castañeda, R. (2023). *Conectividad a Internet para el progreso rural*. [Tesis de grado, Corporación Universitaria Minuto de Dios].  
<https://repository.uniminuto.edu/handle/10656/18753>
- INEI. (2023). *Compendio Estadístico 2023*. INEI. <https://www.gob.pe/institucion/inei/informes-publicaciones/4932612-compendio-estadistico-peru-2023>
- Lescano, B., & Quiros, C. (2021). *Implementación de dos Sniffers inalámbricos en un sistema Raspberry Pi para el componente práctico de comunicaciones inalámbricas de la ESFOT*. [bachelorThesis, Quito, 2021]. <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/21812>
- Llongo, C. (2022). *Diseño e implementación de sistema de comunicación inalámbrico para monitoreo del sistema de emergencia eléctrico en nodos críticos de comunicación* [bachelorThesis, Universidad Nacional de Chimborazo].  
<http://dspace.unach.edu.ec/handle/51000/8858>

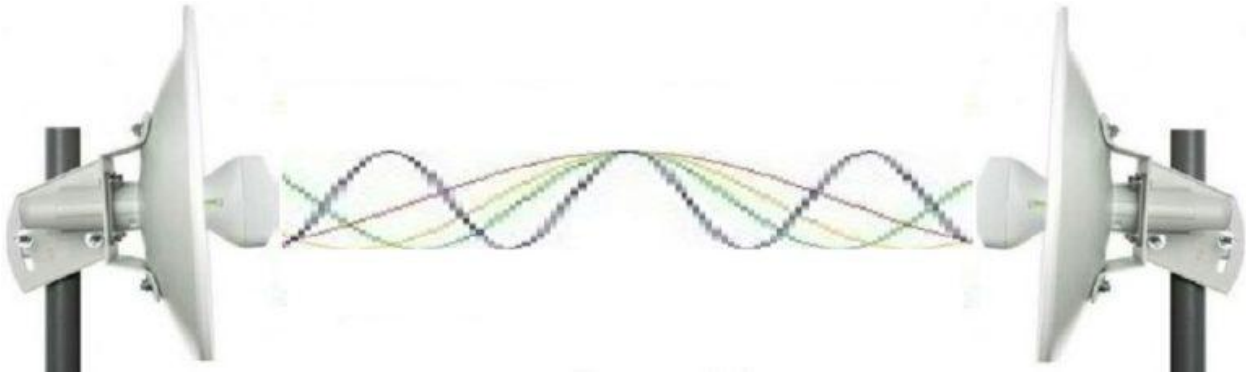
- Maticorena, F. (2020). *Estrategias para mejorar la gestión de la calidad en telecomunicaciones en el Perú* [Tesis de grado, Universidad del Callao].  
<http://repositorio.unac.edu.pe/handle/20.500.12952/5515>
- Paternina, J. (2022). *Propuesta de una solución tecnológica de última milla para los problemas de conectividad de la localidad 20 de Bogotá (Sumapaz)*. [Bachelor thesis, Universidad Santo Tomás]. <https://repository.usta.edu.co/handle/11634/47338>
- Quillas, A., & Gálvez, J. (2020). *Diseño de un sistema de radioenlaces en la banda de 5,4 ghz de red de acceso para poblados rurales sin servicios de telecomunicaciones en el Perú en la región de Huancavelica* [Tesis para optar el título profesional, Universidad del Callao].  
<http://repositorio.unac.edu.pe/handle/20.500.12952/6316>
- Wang, Y., Lyu, M., & Sivaraman, V. (2024). Characterizing User Platforms for Video Streaming in Broadband Networks. *Proc. ACM SIGCOMM Internet Meas. Conf. IMC*, 563-579.  
Scopus. <https://doi.org/10.1145/3646547.3688435>
- Yoza, E. (2020). *Implementación de una red inalámbrica para el acceso a internet con tecnología Ubiquiti en la unidad educativa ocho de enero* [Tesis de grado, Universidad Estatal del Sur de Manabí].  
<https://repositorio.unesum.edu.ec/bitstream/53000/2265/1/YOZA%20SEGOVIA%20EDISON%20ANIBAL%20Falta%20URKUND%20Y%20FORMULARIO.pdf>

**ANEXOS**

## ANEXO 01: Radioenlace punto a punto

**Figura 20**

*Radioenlace punto a punto*



## ANEXO 02: Infraestructura - Radioenlace punto a punto

Figura 21

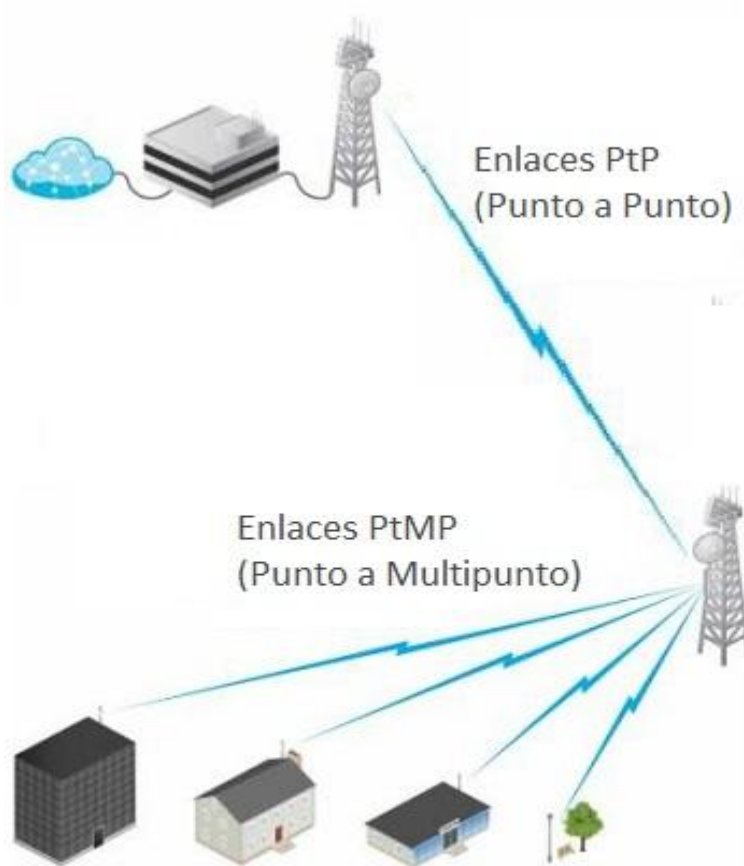
*Radioenlace punto a punto*



## ANEXO 03: Enlace Punto a Punto (PTP) y Enlace Punto a Multipunto

**Figura 22**

*Enlace Punto a Punto (PTP) y Enlace Punto a Multipunto*



## ANEXOS 04: Antenas para comunicaciones inalámbricas

**Figura 23**

*Antenas para comunicaciones inalámbricas*

