

ANÁLISIS DE COBERTURA Y CAPACIDAD DE UNA RED INALÁMBRICA  
COMUNITARIA COMO SOLUCIÓN DE CONECTIVIDAD EN VEREDAS  
DEL MUNICIPIO DE GUAPI CAUCA



**Jenner Arbey Sinisterra Ruiz**  
**Carlos Guillermo Zúñiga Méndez**

UNIVERSIDAD DEL CAUCA  
FACULTAD DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES  
GRUPO DE RADIO E INALÁMBRICAS  
SISTEMAS DE COMUNICACIONES MÓVILES E INALÁMBRICOS  
POPAYÁN, 2023



**ANÁLISIS DE COBERTURA Y CAPACIDAD DE UNA RED INALÁMBRICA  
COMUNITARIA COMO SOLUCIÓN DE CONECTIVIDAD EN VEREDAS DEL  
MUNICIPIO DE GUAPI CAUCA**

**Jenner Arbey Sinisterra Ruiz  
Carlos Guillermo Zúñiga Méndez**

**Tesis presentada a la Facultad de Ingeniería Electrónica y Telecomunicaciones de la  
Universidad del Cauca para la obtención del título de Ingeniero en Electrónica y  
Telecomunicaciones**

**Director:  
Víctor Manuel Quintero Flórez**

UNIVERSIDAD DEL CAUCA  
FACULTAD DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES  
GRUPO DE RADIO E INALÁMBRICAS  
SISTEMAS DE COMUNICACIONES MÓVILES E INALÁMBRICOS  
POPAYÁN, 2023



---

## **AGRADECIMIENTOS**

Queremos expresar nuestra gratitud a todas las personas e instituciones que han contribuido a hacer posible este proyecto. En primer lugar, agradecemos a nuestras familias por su amor, paciencia y apoyo incondicional durante todo este proceso, su confianza nos ha dado la fuerza y la motivación necesarias para seguir adelante.

En segundo lugar, agradecemos a la Universidad del Cauca, profesores y miembros del personal que nos han acompañado en esta travesía, puesto que han compartido su conocimiento, los recursos y brindado oportunidades que nos ha ayudado a crecer y aprender. No podemos dejar de mencionar al ingeniero Víctor Manuel Quintero Flórez, nuestro tutor, por su guía, paciencia y dedicación en cada etapa de este trabajo de grado. Gracias por compartir con nosotros su experiencia y conocimientos, y por ser un modelo de compromiso y perseverancia.

Finalmente, agradecemos a todos nuestros amigos y compañeros que han estado a nuestro lado durante estos años, por sus risas, sus ánimos y su apoyo en los momentos difíciles. Gracias por ser parte de esta experiencia que nunca olvidaremos. Este logro no es solo nuestro, sino de todos los que nos han acompañado y apoyado en el camino. ¡Gracias a cada uno de ustedes por hacer realidad este sueño emocionante e inolvidable!

---

## RESUMEN

Este trabajo de grado se enfoca en el diseño de una Red Comunitaria para las veredas Quiroga, Limones y Juanico del municipio de Guapi, Cauca, el cual considera tecnologías inalámbricas para llevar conectividad y garantizar su funcionamiento. La conectividad y el acceso a tecnologías digitales es esencial para el desarrollo **tecnológico y social en zonas** rurales, y de esta manera ofrecer herramientas que permitan reducir las brechas sociales, educativas, culturales, y económicas entre el campo y la ciudad, evitando el desplazamiento de los campesinos a los centros urbanos, y brindando nuevas y mejores oportunidades a sus habitantes, para participar de manera importante en el desarrollo económico de la región y el país. Las Redes Comunitarias pueden ser una solución efectiva para permitir el acceso a internet y a otras tecnologías importantes para el desarrollo de la región.

Es fundamental involucrar a la comunidad de Guapi, Cauca, y sus veredas Quiroga, Limones y Juanico, en el desarrollo, mantenimiento y cuidado de este tipo de soluciones, para garantizar su funcionamiento, disponibilidad y sostenibilidad a largo plazo, y con ello todas las ventajas que ofrece la conectividad.

Este **trabajo de grado** contribuye **al futuro despliegue de** las redes comunitarias, y destaca la relevancia de considerar en su diseño el uso de tecnologías de comunicación como un mecanismo para llevar conectividad a las zonas rurales del municipio de Guapi, Cauca.

---

## ABSTRACT

This **graduation project** focuses on the design of a Community Network for the rural communities of Quiroga, Limones, and Juanico in the municipality of Guapi, Cauca, which considers wireless technologies to provide connectivity and ensure its operation. Connectivity and access to digital technologies are essential for human development in rural areas and in this way offer tools that help to reduce social, educational, cultural, and economic gaps between the countryside and the city, preventing the displacement of **population** to urban centers, and **offers to them** new and better opportunities, to participate significantly in the economic development of the region and the country. Community **networks** can be an effective solution to allow internet access for the region's development.

It is essential to involve the community of Guapi, Cauca, and its rural communities of Quiroga, Limones, and Juanico, in the development, maintenance, and care of these types of solutions, to ensure their operation, availability, and long-term sustainability, and with this, all the advantages that connectivity offers.

This **graduation project** contributes to the **future deployment** of community networks and highlights the relevance of considering in their design the use of communication technologies as a mechanism to provide connectivity to rural areas of the municipality of Guapi, Cauca.

---

## TABLA DE CONTENIDO

|                                                                  |             |
|------------------------------------------------------------------|-------------|
| <b>AGRADECIMIENTOS.....</b>                                      | <b>V</b>    |
| <b>RESUMEN ... ..</b>                                            | <b>VI</b>   |
| <b>ABSTRACT .....</b>                                            | <b>VII</b>  |
| <b>TABLA DE CONTENIDO.....</b>                                   | <b>VIII</b> |
| <b>LISTA DE FIGURAS.....</b>                                     | <b>X</b>    |
| <b>LISTA DE TABLAS .....</b>                                     | <b>XII</b>  |
| <b>LISTA DE ACRÓNIMOS.....</b>                                   | <b>XIV</b>  |
| <b>INTRODUCCIÓN .....</b>                                        | <b>1</b>    |
| <b>CAPÍTULO 1. GENERALIDADES .....</b>                           | <b>3</b>    |
| 1.1.    REDES COMUNITARIAS.....                                  | 3           |
| 1.2.    TRABAJOS DE REFERENCIA .....                             | 5           |
| 1.3.    MUNICIPIO DE GUAPI .....                                 | 6           |
| 1.4.    TECNOLOGÍAS INALÁMBRICAS PARA LA CONECTIVIDAD .....      | 10          |
| 1.4.1.    Sistemas de Radio Móvil Convencional.....              | 10          |
| 1.4.2.    Sistemas Celulares. ....                               | 11          |
| 1.4.2.1.    Evolución a largo plazo. ....                        | 12          |
| 1.4.3.    Redes Inalámbricas de Área Local.....                  | 13          |
| 1.4.3.1.    Wi-Fi 2.4 GHz.....                                   | 13          |
| 1.4.3.2.    Wi-Fi 5 GHz. ....                                    | 14          |
| 1.4.3.3.    Wi-Fi 900 MHz. ....                                  | 15          |
| 1.4.4.    WiMAX.....                                             | 16          |
| 1.4.5.    Espacios en Blanco de Televisión.....                  | 16          |
| 1.4.6.    Sistemas de Plataformas a Gran Altitud.....            | 17          |
| 1.4.7.    Sistemas Satelitales para Acceso a Internet. ....      | 19          |
| 1.5.    TECNOLOGÍAS PARA LA EXTENSIÓN DE LA RED TRANSPORTE ..... | 20          |
| 1.5.1.    WiBack.....                                            | 21          |
| 1.5.2.    WiBro. ....                                            | 21          |
| 1.6.    REDES EN MALLA .....                                     | 22          |



|                                                                                            |           |
|--------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>CAPÍTULO 2. METODOLOGÍA DE PLANIFICACIÓN DE LA RED<br/>COMUNITARIA INALÁMBRICA.....</b> | <b>25</b> |
| 2.1. PLANIFICACIÓN DE LA RED DE TELECOMUNICACIONES.....                                    | 25        |
| 2.1.1. FASE 1. Estudio de Necesidades.....                                                 | 26        |
| 2.1.2. FASE 2. Toma de Datos. ....                                                         | 27        |
| 2.1.2.1. Diagnóstico de la zona. ....                                                      | 30        |
| 2.1.3. FASE 3. Diseño de la Arquitectura de Red.....                                       | 31        |
| 2.1.3.1. Dimensionamiento. ....                                                            | 37        |
| 2.1.3.2. Cobertura radioeléctrica. ....                                                    | 41        |
| 2.1.3.3. Compatibilidad electromagnética. ....                                             | 45        |
| 2.1.4. FASE 4. Asignación de Frecuencias.....                                              | 46        |
| 2.1.5. FASE 5. Equipamiento de Estaciones. ....                                            | 47        |
| <b>CAPITULO 3. SIMULACIONES Y ANALISIS DE RESULTADOS.....</b>                              | <b>63</b> |
| 3.1. ANÁLISIS DE RESULTADOS.....                                                           | 63        |
| 3.1.1. Parámetros de las Simulaciones.....                                                 | 63        |
| 3.1.2. Análisis de Cobertura.....                                                          | 64        |
| 3.1.3. Análisis de Capacidad. ....                                                         | 77        |
| <b>CAPÍTULO 4. CONCLUSIONES Y TRABAJOS FUTUROS .....</b>                                   | <b>83</b> |
| 4.1. CONCLUSIONES .....                                                                    | 83        |
| 4.2. TRABAJOS FUTUROS.....                                                                 | 84        |
| <b>REFERENCIAS .....</b>                                                                   | <b>87</b> |

---

## LISTA DE FIGURAS

|                                                                    |    |
|--------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 1.1. Mapa Político Departamento del Cauca. ....             | 8  |
| Figura 1.2. Municipio de Guapi, Cauca. ....                        | 9  |
| Figura 1.3. Vista Aérea de Guapi. ....                             | 9  |
| Figura 1.4. Red en Malla. ....                                     | 23 |
| Figura 2.1. Diagrama de la Metodología. ....                       | 25 |
| Figura 2.2. Mapa de Cobertura Red Celular Claro. ....              | 26 |
| Figura 2.3. Mapa de Cobertura Red Celular Movistar. ....           | 27 |
| Figura 2.4. Captura Vereda Quiroga, Guapi. ....                    | 29 |
| Figura 2.5. Captura Vereda Limones, Guapi. ....                    | 29 |
| Figura 2.6. Captura Vereda Juanico, Guapi. ....                    | 30 |
| Figura 2.7. Diseño General de la Red Comunitaria. ....             | 31 |
| Figura 2.8. Esquema Etapa I. ....                                  | 34 |
| Figura 2.9. Esquema Etapa II. ....                                 | 35 |
| Figura 2.10. Esquema Etapa III. ....                               | 36 |
| Figura 2.11. Captura Institución Educativa Quiroga, Guapi. ....    | 38 |
| Figura 2.12. Captura Institución Educativa Limones, Guapi. ....    | 38 |
| Figura 2.13. Captura Institución Educativa Juanico, Guapi. ....    | 39 |
| Figura 2.14. Captura Ubicaciones Red Comunitaria. ....             | 40 |
| Figura 2.15. Red Comunitaria Guapi. ....                           | 40 |
| Figura 2.16. Zona de Cobertura Quiroga. ....                       | 41 |
| Figura 2.17. Zona de Cobertura Limones. ....                       | 42 |
| Figura 2.18. Zona de Cobertura Juanico. ....                       | 42 |
| Figura 2.19. Zonas de Cobertura de Quiroga, Limones, Juanico. .... | 43 |
| Figura 2.20. Distribución de Canales 5.8 GHz. ....                 | 47 |
| Figura 2.21. Transmisor (Par). ....                                | 48 |
| Figura 2.22. Antenas Directivas (32.8 dBi). ....                   | 48 |
| Figura 2.23. Antenas directivas (29.5 dBi). ....                   | 48 |
| Figura 2.24. Protección contra Sobretensiones Eléctricas. ....     | 48 |
| Figura 2.25. Antena Omnidireccional. ....                          | 49 |
| Figura 2.26. Conmutador. ....                                      | 49 |
| Figura 2.27. Enrutador Malla. ....                                 | 49 |
| Figura 2.28. Puntos de Acceso Malla. ....                          | 49 |
| Figura 2.29. Panel Solar. ....                                     | 49 |
| Figura 2.30. Controlador o Regulador. ....                         | 50 |
| Figura 2.31. Baterías de Gel (12V 250A). ....                      | 50 |
| Figura 2.32. Inversor. ....                                        | 50 |
| Figura 2.33. Mástil. ....                                          | 50 |

|                                                                              |    |
|------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 2.34. Puesta a Tierra.....                                            | 53 |
| Figura 3.1. Radioenlaces Guapi-Veredas.....                                  | 65 |
| Figura 3.2. Radioenlace Guapi-Limonos. ....                                  | 66 |
| Figura 3.3. Radioenlace Guapi-Juanico. ....                                  | 66 |
| Figura 3.4. Mapa del Radioenlace de Guapi-Limonos.....                       | 67 |
| Figura 3.5. Mapa del Radioenlace de Guapi-Juanico. ....                      | 67 |
| Figura 3.6. Radioenlace Guapi-Limonos. ....                                  | 68 |
| Figura 3.7. Radioenlace Guapi-Juanico. ....                                  | 68 |
| Figura 3.8. Mapa de Cobertura del Enrutador Limonos.....                     | 69 |
| Figura 3.9. Mapa de Cobertura de Enrutadores y Puntos de Acceso Limonos..... | 69 |
| Figura 3.10. Radioenlaces Redes Comunitarias-LinkPlanner.....                | 70 |
| Figura 3.11. Perfil del Radioenlace Transmisor-Quiroga. ....                 | 70 |
| Figura 3.12. Perfil del Radioenlace Transmisor-Limonos. ....                 | 71 |
| Figura 3.13. Perfil del Radioenlace Transmisor-Juanico. ....                 | 71 |
| Figura 3.14. Perfil del Radioenlace Quiroga-Limonos. ....                    | 72 |
| Figura 3.15. Perfil del Radioenlace Limonos-Juanico.....                     | 72 |
| Figura 3.16. Red Comunitaria Quiroga Enlace de Bajada. ....                  | 78 |
| Figura 3.17. Red Comunitaria Quiroga Enlace de Subida. ....                  | 79 |
| Figura 3.18. Red Comunitaria Juanico Cálculo Capacidad Usuarios.....         | 80 |

---

## LISTA DE TABLAS

|                                                                                  |    |
|----------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tabla 1.1. Características de TETRA. ....                                        | 11 |
| Tabla 1.2. Características de LTE. ....                                          | 12 |
| Tabla 1.3. Características de Wi-Fi 2.4 GHz. ....                                | 13 |
| Tabla 1.4. Características de Wi-Fi 5 GHz ....                                   | 14 |
| Tabla 1.5. Características de Wi-Fi 900 MHz. ....                                | 15 |
| Tabla 1.6. Características Wimax.....                                            | 16 |
| Tabla 1.7. Características TVWS. ....                                            | 17 |
| Tabla 1.8. Características HAP. ....                                             | 18 |
| Tabla 1.9. Características Sistemas Satelitales.....                             | 19 |
| Tabla 1.10. Resumen de las Tecnologías. ....                                     | 20 |
| Tabla 2.1. Datos de las Veredas. ....                                            | 28 |
| Tabla 2.2. Resumen de Análisis de Tecnologías.....                               | 36 |
| Tabla 2.3. Canales de 40 MHz en 5.8 GHz. ....                                    | 46 |
| Tabla 2.4. Equipos de la Red Comunitaria. ....                                   | 48 |
| Tabla 2.5. Costos de Equipos Torre de Telecom en Guapi. ....                     | 51 |
| Tabla 2.6. Costos de Equipos en las Veredas.....                                 | 51 |
| Tabla 2.7. Total Costos de Equipos de la Red Comunitaria. ....                   | 52 |
| Tabla 2.8. Equipos Consumos de Energía Sitios de Red Limones. ....               | 53 |
| Tabla 2.9. Equipos Consumos de Energía Sitios de Red Quiroga Y Juanico. ....     | 54 |
| Tabla 2.10. Equipos Consumos de Energía Puntos de Acceso.....                    | 55 |
| Tabla 2.11. Eficiencia Paneles Solares. ....                                     | 55 |
| Tabla 2.12. Tiempo de Carga de Baterías.....                                     | 57 |
| Tabla 2.13. Cantidad de Paneles Solares y Baterías. ....                         | 58 |
| Tabla 2.14. Costos de Equipos de Sistema Eléctrico por Sitio de Red. ....        | 59 |
| Tabla 2.15. Costos de Equipos de Sistema Eléctrico por Punto de Acceso. ....     | 59 |
| Tabla 2.16. Costo Mano de Obra. ....                                             | 60 |
| Tabla 2.17. Costo Transporte de Materiales. ....                                 | 60 |
| Tabla 2.18. Costo de Construcciones y Adecuaciones.....                          | 60 |
| Tabla 2.19. Costo Alquiler del Servicio de Internet. ....                        | 61 |
| Tabla 2.20. Costo de la Red Comunitaria.....                                     | 61 |
| Tabla 3.1. Parámetros de la Red Comunitaria.....                                 | 63 |
| Tabla 3.2. Resultados Obtenidos de las Simulaciones.....                         | 64 |
| Tabla 3.3. Resultados Obtenidos en LinkPlanner.....                              | 72 |
| Tabla 3.4. Resultados de Disponibilidad y Velocidad de Transmisión de Datos. ... | 74 |
| Tabla 3.5. Resultados Obtenidos en LinkPlanner con 2+0 Link.....                 | 75 |

|                                                                           |    |
|---------------------------------------------------------------------------|----|
| Tabla 3.6. Disponibilidad y Tiempo Medio Entre Fallos de las Veredas..... | 77 |
| Tabla 3.7. Resultados Obtenidos Red Malla Matlab.....                     | 79 |
| Tabla 3.8. Resultados Obtenidos Capacidad de Usuarios.....                | 81 |

---

## LISTA DE ACRÓNIMOS

|                       |                                                                                                                                        |
|-----------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>2G</b>             | <i>Second Generation</i> , Segunda Generación.                                                                                         |
| <b>3G</b>             | <i>Third Generation</i> , Tercera Generación.                                                                                          |
| <b>4G</b>             | <i>Fourth Generation</i> , Cuarta Generación.                                                                                          |
| <b>ANE</b>            | Agencia Nacional del Espectro.                                                                                                         |
| <b>AP</b>             | <i>Access Point</i> , Punto de Acceso.                                                                                                 |
| <b>APSK</b>           | <i>Amplitude Phase-Shift Keying</i> , Modulación por Desplazamiento de Amplitud y Fase.                                                |
| <b>B-FWA</b>          | <i>Broadband Fixed Wireless Access</i> , Acceso Inalámbrico Fijo de Banda Ancha.                                                       |
| <b>BPSK</b>           | <i>Binary Phase-Shift Keying</i> , Modulación por Desplazamiento de Fase Binaria.                                                      |
| <b>BS</b>             | <i>Base Stations</i> , Estaciones Base.                                                                                                |
| <b>CDMA</b>           | <i>Code Division Multiple Access</i> , Acceso Múltiple por División de Código.                                                         |
| <b>CN</b>             | <i>Community Networks</i> , Redes Comunitarias.                                                                                        |
| <b>CSMA/CA</b>        | <i>Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance</i> , Acceso múltiple por detección de portadora y prevención de colisiones. |
| <b>DANE</b>           | Departamento Administrativo Nacional de Estadísticas.                                                                                  |
| <b>DP-QPSK</b>        | <i>Dual-polarization Quadrature Phase Shift Keyin</i> , Modulación por Desplazamiento de Fase en Cuadratura de Polarización Dual.      |
| <b>DS-CDMA (DSSS)</b> | <i>Direct Sequence Spread Spectrum</i> , Espectro Ensanchado por Secuencia Directa.                                                    |
| <b>ETSI</b>           | <i>European Telecommunications Standards Institute</i> , Instuto de Estándares de Telecomunicaciones Europeo.                          |

|                |                                                                                                                           |
|----------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>FDD</b>     | <i>Frequency-Division Duplexing</i> , Duplexación por División de Frecuencia.                                             |
| <b>FDMA</b>    | <i>Frequency-Division Multiple Access</i> , Acceso Múltiple por División de Frecuencia.                                   |
| <b>FDN</b>     | <i>French Data Network</i> , Red de Datos Francesa.                                                                       |
| <b>FSK</b>     | <i>Frequency Shift Keying</i> , Modulación por Desplazamiento de Frecuencia.                                              |
| <b>FWA</b>     | <i>Fixed Wireless Access</i> , Acceso Inalámbrica Fija.                                                                   |
| <b>GSM</b>     | <i>Global System For Mobile Communication</i> , Sistema Global para las Comunicaciones Móviles.                           |
| <b>HAP</b>     | <i>High Altitude Platform</i> , Plataformas a Gran Altitud.                                                               |
| <b>IEEE</b>    | <i>Institute of Electrical and Electronics Engineers</i> , Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos.             |
| <b>ITU</b>     | <i>International Telecommunications Union</i> , Unión Internacional de Telecomunicaciones.                                |
| <b>ISM</b>     | <i>Industrial, Scientific and Medical</i> , Industriales, Científicas y Médicas.                                          |
| <b>LTE</b>     | <i>Long-Term Evolution</i> , Evolución a Largo Plazo.                                                                     |
| <b>MCS</b>     | <i>Modulation and Coding Scheme</i> , Esquema de Modulación y Codificación.                                               |
| <b>MP</b>      | <i>Mesh Points</i> , Puntos de Malla.                                                                                     |
| <b>MS</b>      | <i>Mobile Stations</i> , Estaciones Móviles.                                                                              |
| <b>MTBF</b>    | <i>Mean Time Between Failures</i> , Tiempo Medio Entre Fallos.                                                            |
| <b>MU-MIMO</b> | <i>Multiple-User MIMO</i> , Múltiples Antenas.                                                                            |
| <b>OFDMA</b>   | <i>Orthogonal Frequency Division Multiple Access</i> , Acceso Múltiple por División de Frecuencia Ortogonal.              |
| <b>ONU</b>     | Organización de las Naciones Unidas.                                                                                      |
| <b>QAM</b>     | <i>Quadrature Amplitude Modulation</i> , Modulación de Amplitud de Cuadratura.                                            |
| <b>S-Aloha</b> | <i>Slotted Aloha</i> , Aloha Ranurado.                                                                                    |
| <b>SC-FDMA</b> | <i>Single Carrier Frequency Division Multiple Access</i> , Acceso Múltiple por División de Frecuencia de Portadora Única. |

|               |                                                                                                               |
|---------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>SNR</b>    | <i>Signal-to-Noise Ratio, Relación Señal/Ruido.</i>                                                           |
| <b>TDD</b>    | <i>Time-Division Duplexing, Duplexación por División de Tiempo.</i>                                           |
| <b>TDMA</b>   | <i>Time-Division Multiple Access, Acceso Múltiple por División de Tiempo.</i>                                 |
| <b>TDT</b>    | <i>Terrestrial Digital Television, Televisión Digital Terrestre.</i>                                          |
| <b>TETRA</b>  | <i>Terrestrial Trunked Radio, Radio Troncalizado Terrestre.</i>                                               |
| <b>TIC</b>    | Tecnologías de la Información y la Comunicación.                                                              |
| <b>TVWS</b>   | <i>TV White Spaces, Espacios en Blanco de Televisión.</i>                                                     |
| <b>UHF</b>    | <i>Ultra High Frequency, Frecuencia Ultra Alta.</i>                                                           |
| <b>UMTS</b>   | <i>Universal Mobile Telecommunications System, Sistema Universal de Telecomunicaciones Móviles.</i>           |
| <b>VHF</b>    | <i>Very High Frequency, Frecuencia muy Alta.</i>                                                              |
| <b>WAN</b>    | <i>Wide Area Network, Tecnología de Red de Área Amplia.</i>                                                   |
| <b>WCN</b>    | <i>Wireless Community Network, Red Inalámbrica Comunitaria.</i>                                               |
| <b>WiBack</b> | <i>Wireless Backhaul.</i>                                                                                     |
| <b>WiBro</b>  | <i>Wireless Broadband.</i>                                                                                    |
| <b>Wi-Fi</b>  | Wireless Fidelity.                                                                                            |
| <b>WiMAX</b>  | <i>Worldwide Interoperability for Microwave Access, Interoperabilidad Mundial para Acceso por Microondas.</i> |
| <b>WLAN</b>   | <i>Wireless Local Area Network, Red de Área Local Inalámbrica.</i>                                            |
| <b>WMN</b>    | <i>Wireless Mesh Networks, Redes Inalámbricas en Malla.</i>                                                   |



---

## INTRODUCCIÓN

Este trabajo de **grado** propone un diseño de una Red Comunitaria (CN, *Community Network*) para proporcionar conectividad a las comunidades rurales de Quiroga, Limones y Juanico en el municipio de Guapi, Cauca. El diseño incorpora tecnologías inalámbricas para conectar la comunidad con Internet, implementando un sistema que utiliza equipos de alta confiabilidad y desempeño, diseño que se soporta con simulaciones que consideran aspectos geográficos del municipio de Guapi y sus comunidades rurales.

El municipio de Guapi, situado en el litoral pacífico del departamento del Cauca, junto con otros dos municipios, enfrenta desafíos singulares debido a su geografía y al abandono a nivel departamental y nacional. Las dificultades son multifacéticas, incluyendo aspectos sociales, económicos, agrarios, educativos y, especialmente, tecnológicos.

Dentro de este contexto, la conectividad surge como una preocupación principal. Las veredas de Guapi, que se extienden a lo largo de las orillas de sus ríos más importantes el Guapi, el Guaji y el San Francisco enfrentan limitaciones de infraestructura que restringen su acceso a internet y, por ende, sus oportunidades. Este trabajo de grado se enfoca en las veredas de Limones, Quiroga y Juanico, todas ubicadas a orillas del río Guaji, donde los problemas de conectividad son especialmente notorios.

Sin embargo, pese a los obstáculos, estas comunidades muestran una tenacidad indomable y una voluntad inquebrantable de superación. Continúan luchando por su desarrollo, buscando asegurar un futuro prometedor para las nuevas generaciones. A través de esta investigación, se explora en profundidad la problemática de la conectividad en estas veredas y cómo, a pesar de las adversidades, sus habitantes persisten en su búsqueda de un futuro mejor.

El trabajo de grado consta de 4 capítulos. El Capítulo 1 presenta definiciones y aspectos generales relacionados con las Redes Comunitarias Inalámbricas (WCN, *Wireless Community Network*), la ubicación y descripción del municipio de Guapi (Cauca) y las tecnologías que pueden ser una opción factible para resolver los problemas de conectividad, examinando sus ventajas y limitaciones en el contexto de las necesidades específicas de las comunidades en cuestión. El Capítulo 2 adapta y aplica una metodología de planificación de redes para el diseño de la WCN. Este capítulo proporciona una explicación de los pasos, aspectos técnicos y

consideraciones realizadas en el proceso de planificación de la red, ofreciendo una visión de los fundamentos técnicos de la solución propuesta. El Capítulo 3 analiza los resultados de cobertura y capacidad de la red diseñada. Este análisis implica un examen de las métricas de desempeño evaluadas en el diseño: área de cobertura y velocidad de transmisión de datos. Los resultados de estos análisis proporcionan información sobre las capacidades y restricciones operativas de la red, ofreciendo una visión realista de lo que el sistema implementado puede lograr. Finalmente, en el Capítulo 4, se presentan las conclusiones del trabajo de grado y se sugieren posibles trabajos futuros. Este capítulo de conclusión sintetiza los resultados y las implicaciones en el diseño de WCN en contextos similares.

Este trabajo de grado presenta una solución pragmática y viable a un problema crítico que enfrentan muchas comunidades rurales alrededor del mundo y en especial en nuestro país. Los resultados de este trabajo de grado pueden ser utilizados para brindar soluciones de conectividad y de reducción de la brecha digital en otros contextos similares.

# CAPÍTULO 1. GENERALIDADES

Este capítulo presenta una descripción, ventajas y ejemplos de redes comunitarias como solución al problema de conectividad en zonas rurales. De igual manera, se describe información general del municipio de Guapi (Cauca), retos tecnológicos que la comunidad presenta en su día a día. Al final del capítulo, se introducen las tecnologías que ofrecen soluciones de conectividad, destacando sus principales características, ventajas y desventajas. Además, se analizan las redes en malla y ciertas tecnologías de transporte, considerándolas como extensiones de las redes existentes y comerciales.

## 1.1. REDES COMUNITARIAS

Las CN son una alternativa a las estrategias tradicionales de conectividad, las cuales buscan reducir las brechas digitales existentes. La Unión Internacional de Telecomunicaciones (ITU, *International Telecommunications Union*) indica que, los proyectos en los que la toma de decisiones, el desarrollo y la operación de las redes de último kilómetro sea realizado por las propias comunidades, son las únicas iniciativas que han mostrado ofrecer opciones funcionales para el desarrollo sostenible de la conectividad en zonas apartadas [1] Por diversas razones muchas comunidades buscan estar conectadas con el mundo en busca de su desarrollo, y estas comunidades encuentran en las CN la solución a sus problemas de conectividad. Las CN son redes construidas de forma colaborativa, participativa, por grupos de individuos que desarrollan y gestionan nuevas infraestructuras de red como bienes comunes [2].

Las CN abarcan una gran diversidad de proyectos y experiencias que incluyen distintas formas de administración, servicios y opciones tecnológicas. Estas redes tienen un despliegue de infraestructura impulsado por la comunidad local [], [4] Su desarrollo implica la movilización y coordinación de esfuerzos y recursos humanos, técnicos y financieros para construir una infraestructura de red con el objetivo de brindar conectividad a la comunidad sin ánimo de lucro [5]. Además, las CN buscan proporcionar acceso a servicios de telecomunicaciones en zonas que carecen de ello, crear oportunidades de participación ciudadana y fomentar la adquisición de conocimientos técnicos por parte de los miembros de la comunidad [6] .

Con el fin de comprender con mayor profundidad el desarrollo de las CN desde una mirada histórica que permita entrelazar y articular su evolución con Internet, se

presentan los dos casos que impulsaron la primera generación de este movimiento: la Red de Datos Francesa (FDN, *French Data Network*) fundada en 1992 en París (pionera en brindar acceso a internet al público general y aún en funcionamiento), y *Consume*, un proyecto creado en 1999 y basado en la aparición del Wi-Fi, que buscó promover una administración de la red local y la prestación de servicios de acceso a internet por parte del operador *British Telecom* [7] .

Hacia el año 2000 se produjo una expansión de experiencias basadas en CN, impulsadas en gran medida por el caso de *Consume*. Un hito destacable fue la conferencia “Ber Lon” (Berlín y Londres), en la que participaron grupos de ambas ciudades interesados en la tecnología Wi-Fi. En el Reino Unido, este modelo comenzó a perder relevancia a partir de 2003, aunque continuó en zonas rurales en articulación con operadores, como puntos de acceso abiertos, ofertas de “*triple play*” y mayores velocidades de transmisión de datos [8].

Las CN fueron definidas en la declaración de la Primera Cumbre Latinoamericana de Redes Comunitarias, la cual se llevó a cabo en septiembre de 2018. Las CN fueron definidas como redes de propiedad y gestión colectiva de la comunidad, sin fines de lucro y con fines comunitarios, que permiten ejercer su derecho a la comunicación, bajo principios de participación democrática de sus miembros, equidad, igualdad de género, diversidad y pluralidad. Estas redes están estructuradas para ser abiertas, libres y respetar la neutralidad de la red [9].

El objetivo es que las comunidades construyan redes de bajo costo y bajo consumo de energía que satisfagan sus propias necesidades de conectividad y educación. Las redes comunitarias emergen de la necesidad de las comunidades de acceder a una conectividad asequible y confiable. Mientras que, en áreas urbanas, los operadores tradicionales suelen ofrecer servicios de alta calidad, en zonas rurales o marginadas, la inversión que requieren estos operadores a menudo no es viable debido a la baja densidad de población o al limitado poder adquisitivo. Aquí es donde las redes comunitarias cobran relevancia.

Estas redes, que pueden abarcar desde un pequeño pueblo hasta regiones enteras, son diseñadas y operadas por las propias comunidades o con la colaboración de organizaciones no gubernamentales. Las CN al centrarse en satisfacer las necesidades locales en lugar de perseguir beneficios económicos, suelen ser más asequibles. Además, al ser gestionadas localmente por la misma comunidad, tienden a ser más sostenibles, resilientes y adaptativas ante los desafíos específicos de cada comunidad [10].

Para llevar conectividad a las veredas del municipio de Guapi, Cauca, propuestos en el trabajo de grado, se analizan tecnologías y topologías de red que permitan la conexión inalámbrica de estas zonas con la cabecera municipal, garantizando un mínimo de calidad y cobertura. Se tendrán en cuenta las limitaciones geográficas, económicas, sociales y climáticas.

## **1.2. TRABAJOS DE REFERENCIA**

A continuación, se presentan artículos y proyectos que emplean Redes Comunitarias Inalámbricas (WCN, *Wireless Community Networks*). Estos trabajos sirven como referencia y muestran diversas formas de implementar y utilizar las WCN como soluciones de conectividad en áreas rurales y que se han convertido en una tendencia creciente en las áreas metropolitanas y rurales de todo el mundo.

### ***“Towards Scalable Community Networks Topologies” [11].***

Este artículo de investigación presenta una metodología de desarrollo de una herramienta de balance de carga, la cual permite analizar la conexión de nuevos nodos a una WCN, con el objeto de garantizar un mínimo de calidad de servicio en su operación. El artículo muestra los beneficios de utilizar WCN tanto en escenarios urbanos como rurales, concluyendo que las WCN son muy efectivas a la hora de llevar conectividad a zonas rurales con bajos índices de desarrollo. El objetivo de dicha investigación es contar con la información suficiente para tomar decisiones en la conexión de nuevos nodos a la WCN, de tal forma que la red pueda crecer con equilibrio. Los resultados muestran que las WCN desplegadas con la metodología asistida son más equilibradas y tienen un menor costo por nodo para el mismo ancho de banda o velocidad de transmisión de datos garantizada. Crecer con equilibrio a bajo costo y con fácil administración implica una red de menor costo en su construcción y más fácil de mantener.

### ***“Internet Village Motoman Project in Rural Cambodia: Bridging the digital divide” [12].***

Presenta las ventajas de utilizar un sistema de comunicación inalámbrico asíncrono donde las personas no se comunican en tiempo real, en una aldea rural de Camboya, examinando los diferentes inconvenientes que conlleva el diseño y la implementación de WCN en países con bajo índice de desarrollo. Además, se exponen desafíos que se presentan en las zonas rurales en relación con la conectividad. Los autores también analizan diferentes tecnologías teniendo en cuenta el factor económico.

## **“RedINC: Oportunidades, Conectividad y la Esperanza de un Territorio Rural de Colombia” [13].**

La investigación llevada a cabo en el norte del Cauca, municipio de Buenos Aires, presenta las ventajas de las WCN en la región, además del impacto social que estas redes ofrecen. Se expone las ventajas y desventajas a la hora de utilizar Wi-Fi como solución de conectividad en zonas rurales, se puede ver que RedINC “Red de Indígenas, Negros y Campesinos” motiva al trabajo en equipo y fomenta un sentimiento de pertenencia con el proyecto, ya que los miembros de la comunidad serán los dueños y beneficiarios de la WCN.

### **1.3. MUNICIPIO DE GUAPI**

En este apartado se realiza una breve descripción del municipio, en cuanto a su ubicación, situación tecnológica, los problemas que enfrenta y las afectaciones sociales de las poblaciones, las cuales han generado un impacto, así mismo se resalta el por qué la importancia de llevar conectividad a estas zonas del país.

Los municipios de la costa pacífica caucana son territorios aislados de las capitales de los departamentos de la región y de la capital del país, en los cuales se presenta un alto abandono por parte del Gobierno Nacional y Departamental, y una falta de servicios públicos básicos de calidad. Esto se refleja en las estadísticas de los diferentes organismos nacionales e internacionales [14],[15], que evidencian serios problemas en áreas como la educación, salud, empleo, economía, transporte, comunicación, entre otras.

En el 2020, durante la pandemia COVID-19, el gobierno nacional implementó medidas para amortiguar los efectos de la pandemia, las cuales se apoyaron en el uso de las Tecnologías de la Información y las Comunicaciones (TIC). Este hecho permitió visibilizar aún más la realidad del país y la desigualdad que existe entre las zonas rurales y los grandes centros urbanos [14]. El departamento del Cauca presenta un alto déficit de hogares con computadores de escritorio o portátiles, lo anterior se demuestra con el último censo del Departamento Administrativo Nacional de Estadísticas (DANE) en 2018, en que informa que en el departamento del Cauca se encuentra por debajo de la media del país en hogares con dispositivos tecnológicos [14].

Ahora bien, es importante señalar que el acceso a Internet se considera un derecho fundamental, puesto que, en efecto, el 5 de julio de 2012, el Consejo de Derechos

Humanos de la Organización de las Naciones Unidas (ONU) declaró el acceso a Internet como un derecho humano altamente protegido [16].

Analizando el caso para los municipios de la costa pacífica caucana, zona de difícil acceso y de bajos recursos económicos hace que se resalte la falta de elementos tecnológicos y que ello conlleve a limitadas formas de interacción con el mundo mediante el internet. **Los habitantes cuentan** para la **conexión a internet** con los teléfonos celulares, que se convierten en el principal medio de comunicación mediante planes de datos (prepagado y pospagado), y que este servicio opera con dificultad en las cabeceras municipales

Al hablar del servicio de internet fijo en los hogares urbanos es muy limitado, mientras que en las zonas rurales el servicio de internet móvil no logra la cobertura requerida. Dado que el servicio de internet fijo en los hogares de las zonas rurales es ausente debido a la falta de fluido eléctrico, de redes de comunicaciones, la alta dispersión de las casas, y problemas de orden público, ya que las zonas rurales se encuentran muy distantes de los centros urbanos, en lugares muy selváticos, donde la humedad y la lluvia es muy fuerte. Estos factores deben ser considerados a la hora de llevar acceso a Internet a estas comunidades.

Como resultado de mencionado anteriormente solo uno de cada diez hogares cuenta con el servicio de internet móvil prepagado, y esta estadística disminuye notablemente en las zonas rurales [14].

Guapi, es un municipio ubicado en el occidente del departamento del Cauca sobre la costa pacífica, como se puede apreciar en la Figura 1.1, el cual tiene una superficie de 2.885 km<sup>2</sup>, una altitud de 4 metros sobre el nivel del mar (msnm) y está situado en la latitud 2° 34' 1" norte y longitud 77° 52' 59" oeste. Guapi limita al norte con el municipio de Timbiquí (Cauca), al oriente con el municipio de Argelia (Cauca), al sur con el municipio de Santa Bárbara (Nariño) y al occidente con el Océano Pacífico [14].



Figura 1.1. Mapa Político Departamento del Cauca.

Fuente [18].

El municipio se cuenta con invaluable recursos naturales y con oportunidades para el desarrollo, y su gente tiene la fuerza, la energía y la perseverancia para buscar soluciones que les permitan, como comunidad, salir adelante y mejorar su calidad de vida.

Desafortunadamente, por condiciones geográficas, históricas y políticas, estos territorios siguen desconectados del resto del país. La cabecera municipal de Guapi cuenta con energía eléctrica las 24 horas del día, los 7 días de la semana, gracias a la interconexión con una hidroeléctrica en el departamento de Nariño, a través de la cual también se extienden hilos de fibra óptica, incluyendo hilos de fibra oscura. En la Figura 1.2 se logra apreciar el centro del municipio de Guapi.





*Figurb 1.2. Municipio de Guapi, Cauca.*

*Fuente [19]*

El municipio, según datos del DANE, tiene 27696 habitantes, de los cuales un poco más del 51% reside en la cabecera municipal y aproximadamente el 48% se ubica en la zona rural. Según el mismo informe, el municipio cuenta con 7538 viviendas, de las cuales 3773 están en la cabecera municipal y los 3765 restantes, en las zonas rurales [14]. Como se puede apreciar en la Figura 1.3, los habitantes del municipio de Guapi, tanto la cabecera municipal como de la zona rural, viven a orillas de los ríos Guajui, San Francisco y Guapi.



*Figurc 1.3. Vista Aérea de Guapi.*

*Fuente: Google Maps.*

En el municipio de Guapi se encuentran diferentes instituciones educativas: cuatro colegios que ofrecen todos los grados de bachillerato, un gran número de escuelas primarias y una institución educativa técnica del Servicio Nacional de Aprendizaje (SENA), donde los estudiantes pueden realizar carreras técnicas y otros cursos. Aunque todas las instituciones educativas del municipio de Guapi cuentan en papel con servicio de internet, en realidad solo el SENA tiene acceso a Internet.

Las otras instituciones educativas no cuentan con el servicio debido a varios factores, incluyendo el olvido y la corrupción de los gobiernos centrales del país. Cada gobierno de turno conecta nuevas zonas con contratos, pero estos contratos no garantizan mínimos de calidad y cobertura, además los equipos de estos sistemas no duran más de dos años de funcionamiento.

#### **1.4. TECNOLOGÍAS INALÁMBRICAS PARA LA CONECTIVIDAD**

Hoy en día, la conectividad de banda ancha es un servicio esencial no solo en escenarios urbanos, sino también en escenarios rurales. Las TIC tienen la capacidad de facilitar el despliegue de diferentes servicios, por lo que a continuación se presentan algunas tecnologías inalámbricas para brindar conectividad en zonas rurales o de difícil acceso [21].

##### **1.4.1. Sistemas de Radio Móvil Convencional.**

Los sistemas de radio troncalizados son sistemas de comunicación de misión crítica, que se enfocan en las necesidades de comunicación de las empresas e instituciones. Cuentan con un conjunto de canales que se asignan a los usuarios o grupos de usuarios de manera dinámica y automática [22]. El servicio principal es la voz, pero también existe la posibilidad de transmitir datos a bajas velocidades. Existen sistemas de radio troncalizado analógicos y digitales. Actualmente, uno de los estándares de radio troncalizado digital más importantes es el sistema de Radio Troncalizado Terrestre (TETRA, *Terrestrial Trunked Radio*) [23].

**Radio troncalizado terrestre:** TETRA es un sistema de radio troncalizado definido por el Instituto de Estándares de Telecomunicaciones Europeo (ETSI, *European Telecommunications Standards Institute*). Su aplicación principal es en sistemas de comunicaciones de misión crítica (voz) y servicios de datos a bajas velocidades de transmisión.

La Tabla 1.1. presenta las principales características, ventajas, desventajas, entre otras consideraciones relevantes de la tecnología TETRA.

Tabla 1.1.  
Características de TETRA.

| TETRA                                                           |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
|-----------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>POTENCIA</b>                                                 | <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Potencias de Estaciones Móviles (MS, <i>Mobile Stations</i>): 1 W, 1.8 W, 3 W y 10W [21].</li> <li>➤ Potencias de Estaciones Base (BS, <i>Base Stations</i>): Entre 0.6 W y 20 W [21].</li> </ul>                                                                                                            |
| <b>COBERTURA/<br/>TIPO DE<br/>ACCESO/<br/>DUPLEXACIÓN</b>       | <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Radio de alcance: Hasta 30 km [22].</li> <li>➤ Técnica de Duplexación: FDD [21].</li> <li>➤ Técnica de Acceso Aleatoria: ALOHA ranurado [21].</li> <li>➤ Técnica de Acceso Múltiple: FDMA/TDMA (4 intervalos de tiempo por portadora) [22].</li> <li>➤ Modulación: <math>\pi/4</math> DQPSK [21].</li> </ul> |
| <b>RANGO DE<br/>FRECUENCIA/<br/>FRECUENCIA<br/>DE OPERACIÓN</b> | <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Rangos de Frecuencias de Operación: (350-370) MHz, (380-400) MHz, (410-430) MHz, (450-470) MHz y (806-870) MHz [20].</li> <li>➤ Ancho de Banda por Portadora: 25 kHz [21].</li> </ul>                                                                                                                        |
| <b>TIPOS DE<br/>ANTENAS</b>                                     | <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Antenas tipo monopolo o dipolo con ganancia igual a -2 dBi [23] [24].</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                             |
| <b>VENTAJAS</b>                                                 | <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Mayor alcance de cobertura (km) en bajas frecuencias [22].</li> <li>➤ La comunicación se puede dar uno a uno, en un grupo cerrado de usuarios y entre grupos cerrados de usuarios [22].</li> </ul>                                                                                                           |
| <b>DESVENTAJAS</b>                                              | <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Puede ocasionar interferencia con otros dispositivos electrónicos sensibles (marcapasos, entre otros.) [22].</li> <li>➤ Por ser un sistema de banda estrecha, la velocidad de transmisión de datos es baja [22].</li> </ul>                                                                                  |
| <b>FABRICANTES</b>                                              | <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Algunos de los principales fabricantes son: Sepura, Hytera, Airbus OS, Thales, Selex E.S.P.A., y Motorola, entre otros.</li> </ul>                                                                                                                                                                           |

#### 1.4.2. Sistemas Celulares.

Los sistemas de comunicación móvil celular dividen una zona geográfica en áreas más pequeñas llamadas celdas, en donde a cada celda se le asigna un conjunto de transceptores de baja potencia, resaltando el reuso de frecuencias para incrementar la capacidad del sistema y la eficiencia espectral [25].

Respecto a las zonas rurales, existen dos escenarios bien diferenciados en el mundo: las zonas rurales de países desarrollados (Europa y EE. UU.) y las de países en desarrollo. Para el caso de los países en desarrollo, existen grandes desafíos debido a que las zonas rurales tienen baja densidad poblacional y se deben utilizar tecnologías que se adecuen a sus condiciones, ya que el relieve de estas zonas suele ser accidentado o con gran densidad vegetal [26]. Las zonas rurales se han empezado a considerar áreas económicas importantes para el PIB (Producto

Interno Bruto) de los países en desarrollo y con gran potencial de crecimiento a mediano y largo plazo. Por esta razón, las mejores infraestructuras tecnológicas para llegar a estas poblaciones son aquellas que utilizan sistemas de comunicación móvil celular [27].

En cuanto a los sistemas celulares, las versiones 2G (Segunda Generación) están siendo apagadas o ya no son utilizadas, la versión 3G (Tercera generación) está siendo reemplazada por la versión 4G (Cuarta Generación), que es Evolución de Largo Plazo (LTE, *Long-Term Evolution*).

#### 1.4.2.1. Evolución a largo plazo.

LTE es un estándar especificado por el 3GPP, el cual hace uso de Acceso Múltiple por División de Frecuencia Ortogonal (OFDMA, *Orthogonal Frequency-Division Multiple Access*) en el enlace de bajada y FDMA de Portadora Única (SC-FDMA, *Single Carrier Frequency Division Multiple Access*) en el enlace de subida, con espaciamentos entre subportadoras de 15 kHz.

La Tabla 1.2. presenta las principales características, ventajas, desventajas, entre otras consideraciones relevantes de la tecnología LTE.

Tabla 2.2.  
Características de LTE.

| LTE                                                             |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
|-----------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>POTENCIA</b>                                                 | <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Potencia de Transmisión: Desde 200 mW hasta 2000 W de PIRE en BS.</li> <li>➤ Sensibilidad: -110 dBm [28].</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                              |
| <b>COBERTURA/<br/>TIPO DE<br/>ACCESO/<br/>DUPLEXACIÓN</b>       | <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Coberturas: Desde 10 metros hasta 100 km [29].</li> <li>➤ Técnica de Duplexación: FDD y TDD [30].</li> <li>➤ Técnica de Acceso Aleatoria: CSMA/CA [30].</li> <li>➤ SC-FDMA en el Enlace de Subida y OFDMA en el Enlace de Bajada con espaciamentos entre subportadoras de 15 kHz [29].</li> <li>➤ Modulación: QPSK, QAM y 64-QAM [30].</li> </ul> |
| <b>RANGO DE<br/>FRECUENCIA/<br/>FRECUENCIA<br/>DE OPERACIÓN</b> | <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ 800 MHz (791-862 MHz), 1800 MHz (1710-1880 MHz), 2100 MHz (1920-2170 MHz), 2600 MHz (2500-2690 MHz), entre otras [31].</li> <li>➤ Anchos de Banda: Desde 1.4 MHz a 20 MHz [29] [30].</li> </ul>                                                                                                                                                   |
| <b>TIPOS DE<br/>ANTENAS</b>                                     | <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Usa MU-MIMO tanto para multiplexación espacial como para diversidad espacial [32].</li> <li>➤ Antenas directivas y omnidireccionales [32].</li> </ul>                                                                                                                                                                                             |
| <b>VENTAJAS</b>                                                 | <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Baja latencia (&lt;56 ms) [33].</li> <li>➤ Fácil instalación.</li> <li>➤ Arquitectura simple [33].</li> <li>➤ Altas velocidades de transmisión de datos teóricas de hasta 100 Mbps [34].</li> <li>➤ Compatible con tecnologías antecesoras [34].</li> </ul>                                                                                       |

|                    |                                                                                                                                                   |
|--------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>DESVENTAJAS</b> | <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Requiere espectro licenciado [34].</li> <li>➤ Tecnología aplicada en escenarios urbanos [34].</li> </ul> |
| <b>FABRICANTES</b> | <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Nokia Siemens Networks (NSN), Alcatel, Ericsson, Huawei, Teltronic, Motorola.</li> </ul>                 |

### 1.4.3. Redes Inalámbricas de Área Local.

Las Redes Inalámbricas de Área Local (WLAN, *Wireless Local Area Network*) han aumentado la productividad y la comodidad en oficinas y hogares, ya que ofrecen una conectividad a redes de alta velocidad. La tecnología Wi-Fi opera en dos bandas de frecuencia: la banda de 2.4 GHz, que va desde los 2412 MHz hasta los 2472 MHz, con 14 canales de 20 MHz de ancho de banda cada uno y con traslape entre canales; y la banda de 5 GHz, que va desde los 5180 MHz hasta los 5825 MHz, con 25 canales de 20 MHz de ancho de banda, 12 canales de 40 MHz, 6 canales de 80 MHz y 2 canales de 160 MHz de ancho de banda [35].

#### 1.4.3.1. Wi-Fi 2.4 GHz.

La Tabla 1.3. presenta las principales características, ventajas, desventajas, entre otras consideraciones relevantes de la tecnología Wi-Fi 2.4 GHz.

Tabla 3.3.  
Características de Wi-Fi 2.4 GHz.

| Wi-Fi 2.4 GHz                                                   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
|-----------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>POTENCIA</b>                                                 | <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Potencia de Transmisión: 30 mW hasta 1 W.</li> <li>➤ Sensibilidad: -110 dBm [36] [37].</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
| <b>COBERTURA/<br/>TIPO DE<br/>ACCESO/<br/>DUPLEXACIÓN</b>       | <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Ofrece coberturas de hasta 100 m de alcance (área local) con velocidades de transmisión de datos en el enlace de bajada de hasta 54 Mbps [38].</li> <li>➤ Técnica de Duplexación: TDD [38].</li> <li>➤ Técnica de Acceso Aleatorio: CSMA/CA [39].</li> <li>➤ Técnica de Acceso Múltiple: DS-CDMA (DSSS) y OFDM [39].</li> <li>➤ Modulaciones: 64-QAM, 256-QAM, entre otras [39].</li> </ul> |
| <b>RANGO DE<br/>FRECUENCIA/<br/>FRECUENCIA<br/>DE OPERACIÓN</b> | <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ 2412 MHz a 2472 MHz. 14 canales y cada canal con un ancho de banda de 20 MHz [35].</li> <li>➤ Se presentan traslapes en frecuencia entre los canales, excepto para los canales 1, 6 y 11 [35].</li> </ul>                                                                                                                                                                                   |
| <b>TIPOS DE<br/>ANTENAS</b>                                     | <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Antenas omnidireccionales con ganancias de hasta 5.5 dBi [40].</li> <li>➤ Antenas directivas con ganancias de más 30 dBi [40].</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                   |
| <b>VENTAJAS</b>                                                 | <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Puede ser adaptado para lograr distancias mayores [40].</li> <li>➤ Estandarizado a nivel mundial [35].</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                                           |

|                    |                                                                                                                                                                                                                                                                         |
|--------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                    | <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Opera en Bandas Libres (ISM, <i>Industrial, Scientific and Medical</i>).</li> </ul>                                                                                                                                            |
| <b>DESVENTAJAS</b> | <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ La cantidad de dispositivos que pueden conectarse simultáneamente a un punto de acceso es limitado [40].</li> <li>➤ A mayor número de usuarios conectados menor velocidad de transmisión de datos por usuario [40].</li> </ul> |
| <b>FABRICANTES</b> | <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Asus, D-Link, Tp-Link, Alfa Network, Ubiquiti Networks, ARRIS, Netgear, Aruba Networks, Cambium Networks.</li> </ul>                                                                                                           |

### 1.4.3.2. Wi-Fi 5 GHz.

La Tabla 1.4. presenta las principales características, ventajas, desventajas, entre otras consideraciones relevantes de la tecnología Wi-Fi 5 GHz.

*Tabla 4.4.  
Características de Wi-Fi 5 GHz*

| <b>Wi-Fi 5 GHz</b>                                              |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
|-----------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>POTENCIA</b>                                                 | <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Potencia de Transmisión: Desde 200 mW hasta 1 W [41].</li> <li>➤ Sensibilidad: -120 dBm [41].</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
| <b>COBERTURA/<br/>TIPO DE<br/>ACCESO/<br/>DUPLEXACIÓN</b>       | <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Ofrece coberturas alrededor de los 100 m [38].</li> <li>➤ Velocidades de transmisión de datos de hasta 1 Gbps teóricas para el estándar IEEE 802.11a [38].</li> <li>➤ Técnica de Duplexación: TDD [42].</li> <li>➤ Técnica de Acceso Aleatoria: CSMA/CA [42].</li> <li>➤ Técnica de acceso múltiple: DS-CDMA (DSSS) y OFDM [42].</li> <li>➤ Modulaciones: 256-QAM, 1024-QAM, entre otras [42].</li> </ul> |
| <b>RANGO DE<br/>FRECUENCIA/<br/>FRECUENCIA<br/>DE OPERACIÓN</b> | <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ (5180-5825) MHz, con 25 canales y cada canal con un ancho de banda de 20 MHz; con 12 canales y cada canal con un ancho de banda de 40 MHz; con 6 canales y cada canal con un ancho de banda de 80 MHz y con 2 canales y cada canal con un ancho de banda de 160 MHz [43].</li> </ul>                                                                                                                      |
| <b>TIPOS DE<br/>ANTENAS</b>                                     | <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Utiliza múltiples antenas (MU-MIMO) para lograr mayores velocidades de transmisión de datos, y conformación de haces (<i>Beamforming</i>) para enfocar la energía en una determinada dirección del espacio, mejorar la SNR y reducir la interferencia [40][43].</li> </ul>                                                                                                                                |
| <b>VENTAJAS</b>                                                 | <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Mayor ancho de banda [38].</li> <li>➤ Mayores velocidades de transmisión de datos [43].</li> <li>➤ Menor utilización y por lo tanto menor interferencia que en la banda de 2.4 GHz [43].</li> <li>➤ Estandarizado a nivel mundial [35].</li> <li>➤ Opera en Bandas Libres.</li> </ul>                                                                                                                     |
| <b>DESVENTAJAS</b>                                              | <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Menor área de cobertura debido a mayores pérdidas de propagación por uso de más altas frecuencias [38].</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
| <b>FABRICANTES</b>                                              | <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Asus, D-Link, Tp-Link, Alfa Network, Ubiquiti Networks, ARRIS, Netgear, Aruba Networks, Cambium Networks.</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                      |

### 1.4.3.3. Wi-Fi 900 MHz.

Con el aumento en la cantidad de dispositivos inteligentes, también crece la necesidad de cobertura y el **ancho de banda requerido**. En este contexto, el estándar IEEE 802.11ah se lanzó en 2017 y utiliza frecuencias menores a 1 GHz, excluyendo las bandas de Espacios en Blanco de Televisión (TVWS, *TV White Spaces*), para brindar solución a la necesidad de aumentar la cobertura en las comunicaciones de las redes IEEE 802.11 tradicionales [44]. Sin embargo, los estándares Wi-Fi actuales carecen de un control de potencia y utilizan bandas inadecuadas. IEEE 802.11ah fue diseñado como una enmienda del estándar de redes inalámbricas IEEE 802.11-2007 [45].

La Tabla 1.5. presenta las principales características, ventajas, desventajas, entre otras consideraciones relevantes de la tecnología Wi-Fi 900 MHz.

Tabla 5.5.  
Características de Wi-Fi 900 MHz.

| Wi-Fi 900 MHz                                                   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
|-----------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>POTENCIA</b>                                                 | <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Potencia de Transmisión: 100mW hasta 400 mW [45].</li> <li>➤ Sensibilidad: -95 dBm [46].</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                      |
| <b>COBERTURA/<br/>TIPO DE<br/>ACCESO/<br/>DUPLEXACIÓN</b>       | <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Ofrece coberturas de hasta 1 km [46].</li> <li>➤ Velocidades de transmisión de datos de hasta 30 Mbps [46].</li> <li>➤ Técnica de Duplexación: TDD [47].</li> <li>➤ Técnica de Acceso Aleatorio: CSMA/CA [47].</li> <li>➤ Técnica de Acceso Múltiple: DS-CDMA (DSSS) y OFDM [48].</li> <li>➤ Modulaciones: BPSK, QPSK, 16-QAM y 256-QAM [48].</li> </ul> |
| <b>RANGO DE<br/>FRECUENCIA/<br/>FRECUENCIA<br/>DE OPERACIÓN</b> | <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ (902-928) MHz [44].</li> <li>➤ Canales con ancho de banda de 4, 8 y 16 MHz [45].</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                              |
| <b>TIPOS DE<br/>ANTENAS</b>                                     | <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Antenas omnidireccionales con ganancias de hasta 5.5 dBi [44].</li> <li>➤ Antenas directivas con ganancias de hasta 20 dBi [45].</li> <li>➤ Utiliza múltiples antenas (MU-MIMO) [48].</li> </ul>                                                                                                                                                         |
| <b>VENTAJAS</b>                                                 | <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Mayores distancias de alcance [45].</li> <li>➤ Estandarizado a nivel mundial [47].</li> <li>➤ Opera en Bandas Libres.</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                         |
| <b>DESVENTAJAS</b>                                              | <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ La cantidad de dispositivos que pueden conectarse simultáneamente a un punto de acceso es limitado [48].</li> <li>➤ Estándar nuevo pocos fabricantes.</li> <li>➤ Pocos equipos actualmente en el mercado.</li> </ul>                                                                                                                                     |
| <b>FABRICANTES</b>                                              | <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Alfa Network, Silex Technology, DEKRA, Lintratek, Ubiquiti.</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                   |

#### 1.4.4. WiMAX.

Interoperabilidad Mundial para Acceso por Microondas (WiMAX, *Worldwide Interoperability for Microwave Access*), es una tecnología de Red de Área Amplia (WAN, *Wide Area Network*) que brinda acceso a Internet con cobertura de varios kilómetros, permitiendo cubrir grandes áreas metropolitanas, suburbanas o rurales con acceso a Internet de banda ancha móvil [49].

La Tabla 1.6. presenta las principales características, ventajas, desventajas, entre otras consideraciones relevantes de la tecnología WiMAX.

Tabla 6.6.  
Características Wimax.

| WiMAX                                                           |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
|-----------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>POTENCIA</b>                                                 | <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Potencia de Transmisión: 100 mw (20 dBm) [50].</li> <li>➤ Sensibilidad: -100 dBm [51].</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                  |
| <b>COBERTURA/<br/>TIPO DE<br/>ACCESO/<br/>DUPLEXACIÓN</b>       | <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Alcance de hasta 60 km, velocidades de transmisión de datos teóricas de hasta 70 Mbps [52].</li> <li>➤ Técnica de Duplexación: TDD [50].</li> <li>➤ Técnica de Acceso Aleatoria: CSMA/CA [50].</li> <li>➤ Técnicas de Acceso Múltiple: DS-CDMA(DSSS) y OFDMA [50].</li> <li>➤ Modulaciones: QPSK, 16-QAM y 64-QAM [49].</li> </ul> |
| <b>RANGO DE<br/>FRECUENCIA/<br/>FRECUENCIA<br/>DE OPERACIÓN</b> | <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Frecuencias de operación de 2 GHz hasta 6 GHz, siendo las bandas más utilizadas: 2.3, 2.5, 3.5 y 5.7 GHz [50].</li> <li>➤ Los anchos de banda de canal van desde 1.25 MHz hasta 20 MHz [53].</li> </ul>                                                                                                                            |
| <b>TIPOS DE<br/>ANTENAS</b>                                     | <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Utiliza múltiples antenas (MU-MIMO) para lograr mayores velocidades de transmisión de datos, y conformación de haces (<i>Beamforming</i>) para enfocar la energía en una determinada dirección del espacio, mejorar la SNR y reducir la interferencia [54].</li> </ul>                                                             |
| <b>VENTAJAS</b>                                                 | <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Ofrece mayores alcances, mayor desempeño y menor interferencia [54].</li> <li>➤ No requiere condición de línea de vista [54].</li> <li>➤ Mayor eficiencia espectral [54].</li> <li>➤ Diseñado para coberturas en exteriores [50].</li> </ul>                                                                                       |
| <b>DESVENTAJAS</b>                                              | <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Costo mayor que Wi-Fi [53].</li> <li>➤ Necesita conexión directa con un repetidor para extender el alcance [55].</li> </ul>                                                                                                                                                                                                        |
| <b>FABRICANTES</b>                                              | <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Vecima Networks, Alvarion, Motorola, Huawei, Airspan, Netgear y ZTE.</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                    |

#### 1.4.5. Espacios en Blanco de Televisión.

Espacios en Blanco de Televisión (TVWS, *Television White Spaces*), es una tecnología que utiliza las bandas de frecuencia de televisión libres para brindar servicios de banda ancha. Los sistemas de TVWS pueden operar en el espectro



utilizado principalmente para la transmisión de Televisión Digital Terrestre (TDT), es decir, 470 MHz a 968 MHz, para dar acceso a Internet en zonas alejadas [56].

La Tabla 1.7. presenta las principales características, ventajas, desventajas, entre otras consideraciones relevantes de la tecnología TVWS.

Tabla 7.7.  
Características TVWS.

| TVWS                                                            |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
|-----------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>POTENCIA</b>                                                 | <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Potencias de Transmisión: 1 W por canal de TV.</li> <li>➤ Sensibilidad: -98 dBm a -108 dBm [56].</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
| <b>COBERTURA/<br/>TIPO DE<br/>ACCESO/<br/>DUPLEXACIÓN</b>       | <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Alcanza velocidades de transmisión de datos teóricas de hasta 30 Mbps [57].</li> <li>➤ Alcance del enlace de hasta 30 km sin Línea de Vista (LOS, <i>Line of Sight</i>) [57].</li> <li>➤ Técnica de Duplexación: FDD [56].</li> <li>➤ Técnica de Acceso Aleatoria: CSMA/CA [56].</li> <li>➤ Técnica de Acceso Múltiple: OFDMA [56].</li> <li>➤ Modulaciones: QPSK, 16-QAM y 64-QAM [56].</li> </ul> |
| <b>RANGO DE<br/>FRECUENCIA/<br/>FRECUENCIA<br/>DE OPERACIÓN</b> | <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Opera en las bandas de frecuencia de televisión en VHF y UHF: 54 a 862 MHz [57], con anchos de banda de 6, 7 y 8 MHz [56]. En Colombia, la ANE ha designado el rango de frecuencias de (480 - 698) MHz con anchos de banda de 6 MHz [58].</li> </ul>                                                                                                                                                |
| <b>TIPOS DE<br/>ANTENAS</b>                                     | <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ En transmisión se utilizan antenas tipo panel con ancho de haz de 120° y ganancias de hasta 14 dBd, y con alturas en promedio de antena de 50 m con respecto a la altura promedio del terreno en el cual se instala la torre, y en la recepción se utilizan antenas tipo Yagui [56].</li> </ul>                                                                                                     |
| <b>VENTAJAS</b>                                                 | <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Brinda Acceso Inalámbrico Fijo (FWA, <i>Fixed Wireless Access</i>) a regiones que no cuentan con infraestructura de telecomunicaciones [58].</li> <li>➤ Brinda conexiones de banda ancha sin necesidad de línea de vista [57].</li> <li>➤ No requiere espectro licenciado [59].</li> <li>➤ Se hace uso de infraestructura ya instalada (Torres) [59].</li> </ul>                                    |
| <b>DESVENTAJAS</b>                                              | <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Nueva Reglamentación.</li> <li>➤ Pocos proyectos y pilotos en Colombia.</li> <li>➤ Dificultad a la hora de encontrar soportes para equipos.</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                              |
| <b>FABRICANTES</b>                                              | <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Lanbowan Communication Ltd, KP Performance Antennas, Adapttrum, Redline Communications, Carlson Wireless, entre otros.</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                                   |

#### 1.4.6. Sistemas de Plataformas a Gran Altitud.

Los sistemas de Plataformas a Gran Altitud (HAP, *High Altitude Platform*), pueden utilizarse para conectividad de banda ancha fija para usuarios finales. Estos sistemas permiten el despliegue de servicios de telecomunicaciones en zonas

remotas, con una cobertura de un radio mayor a 200 km, lo que elimina costos de instalación, mantenimiento, riesgo e impacto ambiental. La principal aplicación de sistemas HAPS es el Acceso Inalámbrico Fijo de Banda Ancha (B-FWA, *Broadband Fixed Wireless Access*) [60].

La Tabla 1.8. presenta las principales características, ventajas, desventajas, entre otras consideraciones relevantes de la tecnología HAP.

Tabla 8.8.  
Características HAP.

| HAP                                                             |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
|-----------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>POTENCIA</b>                                                 | <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Potencia de Transmisión de Estación en Tierra: 700 mW [60].</li> <li>➤ Potencia de Transmisión de Estación en el HAP: 2.2 W [60].</li> <li>➤ Sensibilidad: -90 dBm [60].</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
| <b>COBERTURA/<br/>TIPO DE<br/>ACCESO/<br/>DUPLEXACIÓN</b>       | <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Velocidades de transmisión de datos teóricas entre 25 Mbps y 155 Mbps, con una cobertura en zonas con radios de 200 km a 400 km [60].</li> <li>➤ Técnica de Duplexación: TDD [60].</li> <li>➤ Técnica de Acceso Aleatoria: CSMA/CA [60].</li> <li>➤ Técnica de Acceso Múltiple: FDMA, TDMA y CDMA [60].</li> <li>➤ Modulaciones: BPSK, QPSK, 16-QAM y 64-QAM [60].</li> </ul>                                                                                                                                                                                                        |
| <b>RANGO DE<br/>FRECUENCIA/<br/>FRECUENCIA<br/>DE OPERACIÓN</b> | <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Maneja un extenso rango de frecuencias y reusó de frecuencias: en la banda entre 27.5 GHz y 28.35 GHz con 300 MHz de ancho de banda, en la banda entre 30 GHz y 31.3 GHz con 300 MHz de ancho de banda y en la banda de los 48 GHz con 600 MHz [60].</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
| <b>TIPOS DE<br/>ANTENAS</b>                                     | <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Utilizan antenas de apertura y arreglos de antenas en frecuencias de 1 a 100 GHz, con la capacidad de manejar hasta 700 haces. En tierra se utilizan antenas directivas de alta ganancia. Las ganancias de las antenas dependen si la estación está en tierra o en el HAP, o si está en escenarios rurales o suburbanos. Para zonas rurales la ganancia de antena de la estación en tierra es alrededor de 38 dBi y de la antena de la estación en el HAP es de 41 dBi [60].</li> </ul>                                                                                              |
| <b>VENTAJAS</b>                                                 | <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ La tecnología brinda conectividad de banda ancha fija para zonas remotas, incluidas zonas montañosas, costeras y desérticas [61].</li> <li>➤ Las estaciones en tierra son fáciles de instalar [61].</li> <li>➤ Aplicaciones alternativas como sistema de comunicación de emergencia ante desastres y en comunicaciones militares, debido a su rápido despliegue y respuesta [60].</li> <li>➤ La cobertura alcanzada permite cubrir áreas con radio de más de 200 km, reduciendo considerablemente los costos de instalación y mantenimiento, y el impacto ambiental [60].</li> </ul> |
| <b>DESVENTAJAS</b>                                              | <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Una de sus mayores desventajas es que se necesitan de un gran número de puntos de emisión, lo cual presenta interferencia entre celdas y haces, afectando la capacidad del sistema [60].</li> <li>➤ Los enlaces experimentan atenuaciones por lluvia [60].</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |

|                    |                                                                                                                                                   |
|--------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                    | <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Elevados costos de despliegue y mantenimiento de las estaciones base del sistema HAP [62].</li> </ul>    |
| <b>FABRICANTES</b> | <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ I.E., SmartHAPS, AeroVironment, Inc, Airbus Group SE, AlphaLink, Bye Aerospace, Project Loon.</li> </ul> |

#### 1.4.7. Sistemas Satelitales para Acceso a Internet.

Los sistemas satelitales brindan servicios de internet a zonas rurales, remotas, sin cobertura y de difícil acceso [63]. Estos sistemas habilitan distintos servicios debido a sus características de fácil instalación y uso. En las instalaciones del usuario, se requiere una antena parabólica (de aproximadamente 90 cm de diámetro) en línea de vista al satélite. La antena se debe conectar a un enrutador que proporciona Wi-Fi o conexión directa a los dispositivos del hogar [63].

La Tabla 1.9. presenta las principales características, ventajas, desventajas, entre otras consideraciones relevantes de la tecnología Sistemas Satelitales.

Tabla 9.9.  
Características Sistemas Satelitales.

| <b>Sistemas Satelitales</b>                                     |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
|-----------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>POTENCIA</b>                                                 | <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Potencias de Transmisión: 20 W, 50 W, 200 W (En el satélite), entre otras. [65].</li> <li>➤ Sensibilidad: -100 dBm [65].</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
| <b>COBERTURA/<br/>TIPO DE<br/>ACCESO/<br/>DUPLEXACIÓN</b>       | <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Velocidades de Transmisión de Datos de hasta 100 Mbps, con un radio de cobertura de hasta 500 km [63].</li> <li>➤ Técnica de Duplexación: TDD [63].</li> <li>➤ Técnica de Acceso Aleatoria: CSMA/CA, FDMA, TDMA y CDMA [66].</li> <li>➤ Modulación: 16 y 32 APSK, FSK y QAM [66].</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
| <b>RANGO DE<br/>FRECUENCIA/<br/>FRECUENCIA<br/>DE OPERACIÓN</b> | <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Opera en la banda Ka, desde los 26.5 GHz hasta los 40 GHz, con ancho de banda de 500 MHz por canal [67].</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
| <b>TIPOS DE<br/>ANTENAS</b>                                     | <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Las antenas tipo Offset (Tipo Parabólica), de 1.2 m de diámetro [68], presentan ganancias de 45 dBi y 49.2 dBi. Otras antenas son las de tipo foco de anillo (Ring-Focus), con diámetros de 2.4 m y ganancias de 51.6 dBi y 55.2 dBi [65].</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
| <b>VENTAJAS</b>                                                 | <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Habilita distintos tipos de servicios por sus características de fácil instalación y uso [63].</li> <li>➤ La señal está disponible en cualquier parte del mundo y la facilidad para acceder al sistema [70].</li> <li>➤ Con respecto a las velocidades de transmisión de datos, el internet satelital garantiza teóricamente el "100%" de la velocidad contratada, debido a que la señal entregada es directamente enlazada desde el satélite hasta el hogar y es independiente de las horas pico de uso o que distintos usuarios compartan el mismo servicio [64].</li> </ul> |

|                    |                                                                                                                                                                                                                                                             |
|--------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                    | <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ La seguridad en sistemas satelitales otorga mayores beneficios en la protección de la información [64].</li> </ul>                                                                                                 |
| <b>DESVENTAJAS</b> | <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Es una tecnología de alto costo, porque el ensamblaje, lanzamiento y registro del satélite es una inversión grande [63].</li> <li>➤ Los enlaces experimentan atenuaciones por lluvia y otros fenómenos.</li> </ul> |
| <b>FABRICANTES</b> | <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ AXXES Networks, HughesNet, SkyNet, BanSat, Huaxin Antenna.</li> </ul>                                                                                                                                              |

En la Tabla 1.10 se hace comparación de algunas características de las tecnologías que se evaluaron anteriormente, en relación con la necesidad de conectar las veredas de Guapi a Internet.

*Tabla 10.10.  
Resumen de las Tecnologías.*

| <b>TECNOLOGÍA</b>    | <b>APLICABLE A REDES COMUNITARIAS</b> | <b>ALTAS VELOCIDADES DE TRANSMISIÓN DE DATOS</b> | <b>NECESITA LICENCIAMIENTO DE ESPECTRO</b> |
|----------------------|---------------------------------------|--------------------------------------------------|--------------------------------------------|
| TETRA                | SÍ                                    | NO                                               | SÍ                                         |
| LTE                  | SÍ                                    | SÍ                                               | SÍ                                         |
| WI-FI                | SÍ                                    | SÍ                                               | NO                                         |
| WIMAX                | SÍ                                    | SÍ                                               | SÍ                                         |
| TVWS                 | SÍ                                    | SÍ                                               | NO                                         |
| HAPS                 | SÍ                                    | SÍ                                               | SÍ                                         |
| SISTEMAS SATÉLITALES | SÍ                                    | SÍ                                               | SÍ                                         |

### 1.5. TECNOLOGÍAS PARA LA EXTENSIÓN DE LA RED TRANSPORTE

Para conectar el país se ha utilizado fibra óptica, y está ya llega hasta las cabeceras municipales, pero existen lugares de Colombia donde no existe conectividad y acceso a Internet. En estos casos, la tecnología satelital ha sido la mejor solución para llevar Internet a estas zonas. Un ejemplo de esto es el convenio firmado en 2012 entre la multinacional O3b Networks y Skynet Colombia [71], el cual buscó proporcionar acceso a Internet de alta velocidad y bajo costo en regiones como la Amazonía. No obstante, existen también otras alternativas tecnológicas para extender la red de transporte.

### **1.5.1. WiBack.**

Retransmisión Inalámbrica (WiBack, *Wireless Backhaul*), es una tecnología de red inalámbrica de largo alcance que extiende la red de transporte. Esta tecnología está siendo desarrollada por el instituto alemán Fraunhofer como parte del proyecto denominado Focus [72]. Entre las principales características de esta tecnología se encuentra su reducido costo tanto de adquisición como de mantenimiento, su capacidad de autoconfiguración y su gran resistencia al clima [73]. Con esta tecnología se puede extender el acceso a Internet por cientos de kilómetros. Además, si uno de los enrutadores falla, la red se restaura automáticamente para que el enlace se mantenga [74]. Una estación central puede comunicarse con otras centrales y estas brindarle cobertura a una región objetivo.

WiBack, puede contar con interfaces Sistema Global para Comunicaciones Móviles (GSM, *Global System for Mobile Communications*) y Sistema Universal de Telecomunicaciones Móviles (UMTS, *Universal Mobile Telecommunications System*), por lo tanto, esta red tiene la capacidad de soportar telefonía móvil [75]. Otra gran ventaja es su **baja potencia** (6 W), por lo que los enrutadores pueden ser alimentados por medio de paneles solares [76]. Otras aplicaciones de esta tecnología se encuentran en los eventos de participación masiva, permitiendo el aumento de la capacidad de la red existente y/o como soporte de comunicaciones ante desastres o situaciones de emergencia. Es una tecnología *Carrier Grade* (**alta confiabilidad**), la cual garantiza una disponibilidad de por lo menos 0.99999 [77].

La tecnología WiBack utiliza una topología de red en malla y no requiere de un servidor central. Además, los enrutadores WiBack se pueden instalar en cualquier construcción de altura considerable, lo que reduce el gasto en infraestructura [78]. Esta tecnología se especifica a través del estándar IEEE 802.21 y puede hacer uso de las tecnologías inalámbricas existentes como Wi-Fi y WiMAX, lo que permite la interconexión con otras tecnologías y la reducción de costos. También, hace uso de sistemas de antenas de Múltiple Entrada y Múltiple Salida (MIMO, *Multiple-Input Multiple-Output*), lo cual implica que se pueden obtener mayores velocidades de transmisión de datos y con ello aumentar la eficiencia espectral [79]. WiBack garantiza una alta calidad de servicio con gran disponibilidad para tráfico de voz y datos [80],[81]. La desventaja de esta tecnología es que es nueva y no goza en el país (Colombia) de reconocimiento, con muy pocos proyectos piloto.

### **1.5.2. WiBro.**

Banda Ancha Inalámbrica (WiBro, *Wireless Broadband*) es la apuesta de Corea del Sur y es el equivalente asiático a la tecnología WiMAX (con sus respectivas diferencias). La tecnología está basada en Acceso Múltiple por División de Frecuencia Ortogonal (FDMA, *Orthogonal Frequency Division Multiple Access*), Duplexación por División de Tiempo (TDD, *Time Division Duplexing*), y diferentes

esquemas de modulación, los cuales permiten una asignación asimétrica y dinámica de los recursos radio. Los sistemas actuales garantizan velocidades de transmisión de datos que va desde 30 Mbps por celda/sector, con velocidades de transmisión de datos por usuario desde 3 Mbps en el enlace de bajada y 1 Mbps en el enlace de subida [82]. La tecnología también incluye calidad de servicio (QoS, *Quality of Service*) [83].

El Gobierno de Corea ha asignado a esta tecnología un ancho de banda de 100 MHz del espectro situado entre los 2.3 GHz y los 2.4 GHz y ha adjudicado tres licencias de WiBro a tres operadoras, las cuales son: Korean Telecom, SK Telecom y Hanaro Telecom [83].

WiBro implementa el estándar IEEE 802.16e, al igual que WiMAX, pero los objetivos son diferentes, ya que la tecnología coreana no busca obtener enlaces de largo alcance. La explicación de ello es que Corea ya dispone de cobertura Wi-Fi en todo su territorio. Una posible desventaja de WiBro para los países latinoamericanos es la utilización de una banda licenciada del espectro que posiblemente no estará disponible o incrementa los costos del proyecto [83].

## 1.6. REDES EN MALLA

Las Redes Inalámbricas en Malla (WMN, *Wireless Mesh Networks*) son una evolución y variante de aplicación de las WLAN, en las que un grupo de nodos o dispositivos inalámbricos se comunican entre sí. Más de un nodo tiene acceso a Internet, lo que les permite adaptarse a diferentes tipos de escenarios y, de esta manera, brindar una conectividad básica con una mayor cobertura y disponibilidad de red [84].

Las WMN son una alternativa para la implementación de WCN debido a su facilidad de instalación y administración, así como a su bajo costo. Las WMN están conformadas por dos tipos de nodos: **enrutadores malla y puntos de acceso** a las redes en malla, que tienen movilidad mínima y forman la estructura general (*backbone* o columna vertebral) de la WMN. Los enrutadores malla pueden ser fijos o móviles, además, pueden contar con capacidades para crear una red en malla a través de los Puntos de Malla (MP, *Mesh Points*) [85].

**Los enrutadores malla y los puntos de acceso malla son componentes clave en las WMN, pero tienen funciones distintas. Un enrutador malla actúa como el nodo principal o "puerta de enlace" que conecta la WMN con el mundo exterior, ya sea a través de un módem o una conexión de banda ancha. Por otro lado, los puntos de acceso malla funcionan como repetidores o extensores dentro de la WMN, asegurando que la señal inalámbrica llegue a todas las áreas requeridas, lo que brinda una conectividad uniforme y reduce las zonas sin señal. Mientras el enrutador malla establece la base de la red, los puntos de acceso malla expanden y fortalecen esa base para proporcionar una cobertura más amplia y estable.**

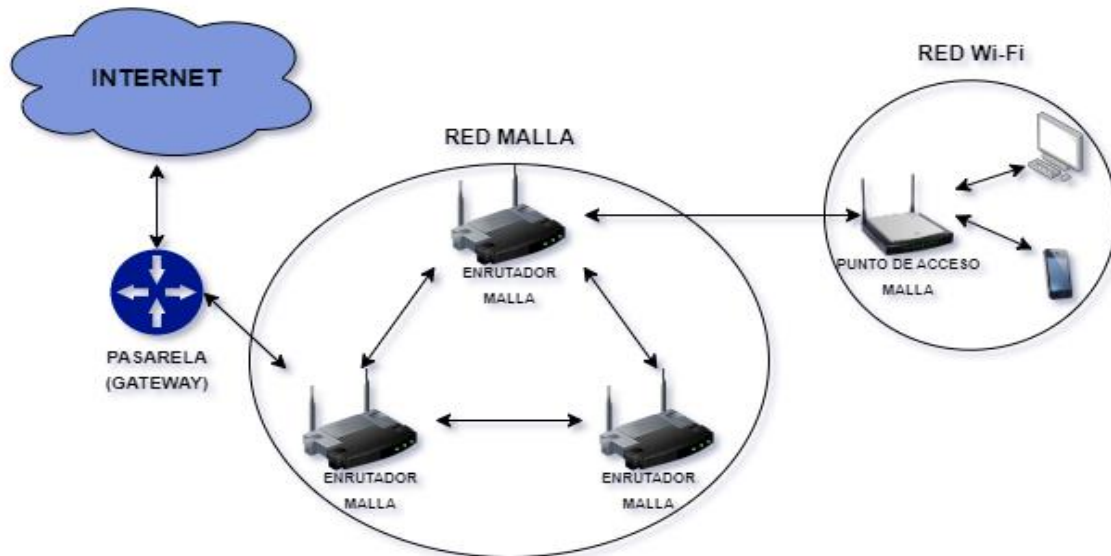


Figura 1.4. Red en Malla.

Las WMN presentan una operación mucho más estable y confiable, dado que pueden continuar en servicio, aunque un nodo salga de servicio (red distribuida, no centralizada) [85]. Un aspecto fundamental del funcionamiento de las redes en malla es que la comunicación entre un nodo y cualquier otro puede ir más allá del rango de cobertura de un nodo individual. Esto se logra mediante un enrutamiento multisalto; es decir, si un par de nodos desean comunicarse entre sí, pueden hacerlo a través de nodos intermedios presentes en la ruta. Esto es importante si se compara con las redes inalámbricas tradicionales, en las cuales los nodos deben estar dentro del rango de cobertura de la estación base y sólo pueden comunicarse con otros nodos mediante esa estación base o Punto de Acceso (AP, *Access Point*). Estos, a su vez, necesitan de una red cableada para comunicarse entre sí.

Con las WMN, la conexión directa a la estación base no es una limitación, ya que existe un nodo central con conexión a Internet mediante una pasarela [86]. Dado que se trata de una red de topología dinámica y autoconfigurable, las rutas que se establecen entre nodos y dispositivos cambian dinámicamente. Por lo tanto, es necesario un conjunto de protocolos de enrutamiento para dirigir los datos a través de rutas con el menor número de saltos [87].





## CAPÍTULO 2. METODOLOGÍA DE PLANIFICACIÓN DE LA RED COMUNITARIA INALÁMBRICA

En este capítulo se desarrolla la metodología seleccionada para llevar a cabo el proceso de planificación de una WCN para las veredas Limones, Quiroga y Juanico del municipio de Guapi (Cauca). Se incluye la obtención de información y retroalimentación por parte de los habitantes de las comunidades. Dicho proceso permite conocer las necesidades, expectativas y dificultades sociales presentes en sus comunidades, aspectos clave para analizar las tecnologías disponibles y seleccionar aquellas que ofrezcan la mejor solución para mejorar la conectividad en las veredas mencionadas.

### 2.1. PLANIFICACIÓN DE LA RED DE TELECOMUNICACIONES

Para la planificación de la WCN se considera el proceso metodológico propuesto en [84], en el cual se define el proceso y las etapas en la planificación de una red de telecomunicaciones. La Figura 2.1 presenta las diferentes etapas asociadas a esta metodología.

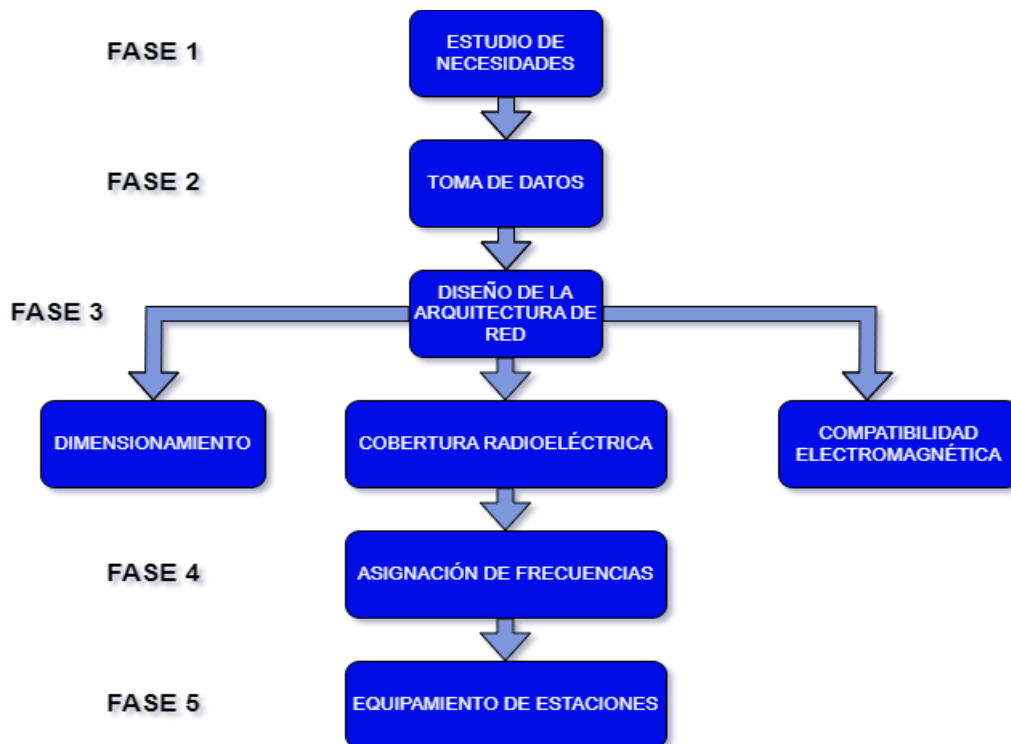


Figure 2.1. Diagrama de la Metodología.

Fuente [85]

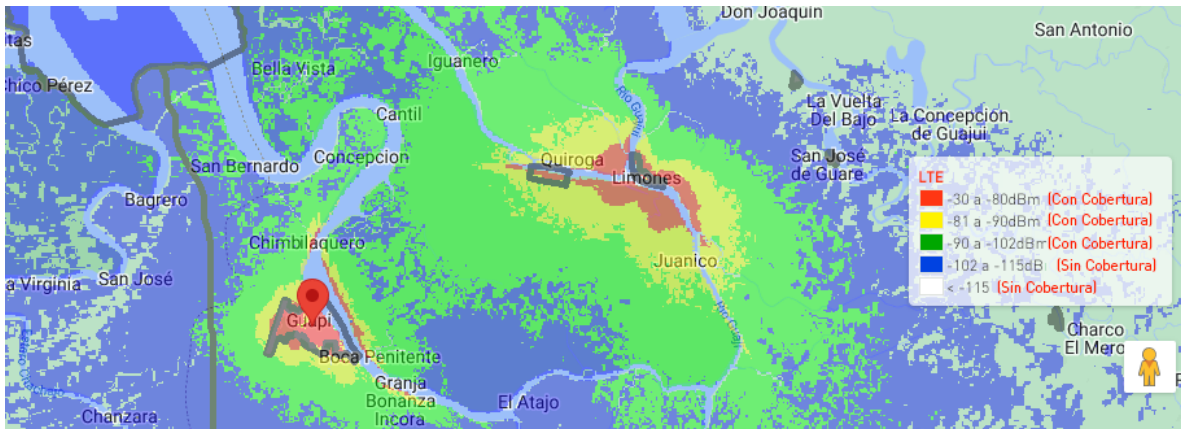
### 2.1.1. FASE 1. Estudio de Necesidades.

La primera fase de *Planificación de la Red de Telecomunicaciones* se centra en exponer las necesidades a las cuales se enfrentan, en el ámbito tecnológico, los habitantes de las veredas de Guapi (Quiroga, Limones y Juanico), lugares en los cuales se presenta dificultades de acceso a una conexión a Internet.

Las necesidades que enfrentan en el ámbito tecnológico los habitantes de las veredas son diversas, pero la más importante es estar conectados con el resto del mundo mediante una conexión a Internet.

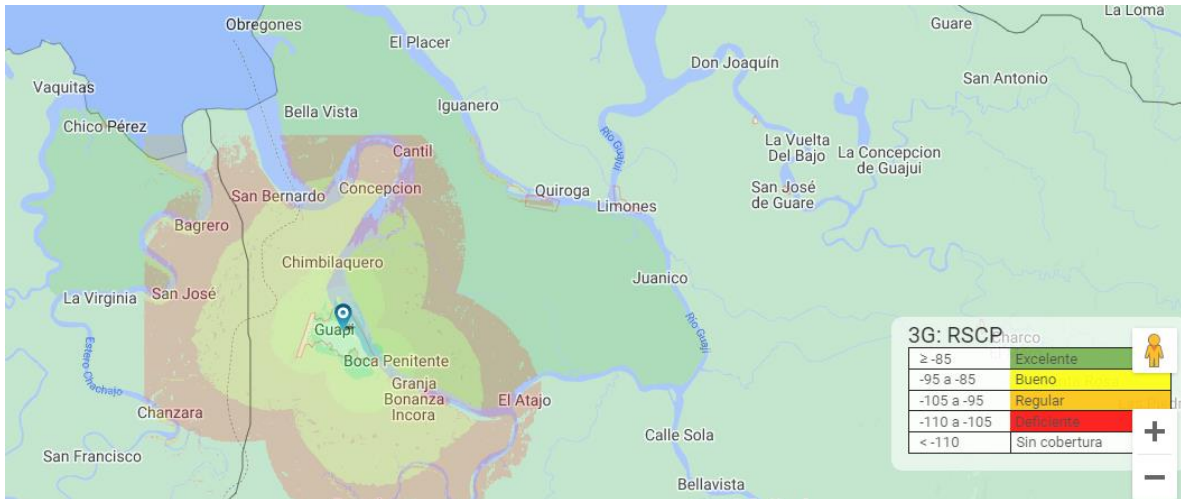
El uso de herramientas tecnológicas que cuenten con internet en la zona es bajo y aunque dicha población cuente con el apoyo de la telefonía móvil, **servicio que es de alto costo y deficiente.**

En la Figura 2.2 y la Figura 2.3 se presentan mapas de cobertura de las redes móviles Claro y Movistar en el municipio y las veredas, mostrando que en las veredas objeto del presente estudio solo existe cobertura de la red del operador Claro.



Figur 2.2. Mapa de Cobertura Red Celular Claro.

Fuente: [Claro.com.co/Cobertura](http://Claro.com.co/Cobertura)



Figur 2.3. Mapa de Cobertura Red Celular Movistar.

Fuente: [Movistar.com.co/Cobertura](http://Movistar.com.co/Cobertura)

Existe una gran colaboración entre los habitantes de la zona, para que las personas que no tienen servicio de telefonía móvil puedan recibir llamadas en teléfonos de sus familiares y vecinos. Por esta y muchas otras razones, se busca brindar solución a su gran necesidad de tener acceso a Internet, lo cual permitirá a los habitantes de las veredas estar conectados con el resto de Colombia y el mundo.

En los municipios de la costa pacífica caucana, aproximadamente el 49% de su población vive en zonas rurales, según el DANE [14]. Es decir, durante la pandemia producida por el virus COVID-19, al menos el 48% de los habitantes del municipio de Guapi no tenía acceso a Internet y debía gastar entre 2 y 5 horas de viaje a la cabecera municipal (el tiempo de viaje depende si la embarcación es motorizada o no es motorizada, y el clima) para acceder a este servicio.

Las zonas rurales de los municipios de la costa pacífica caucana merecen tener una conexión fiable y de calidad a Internet que brinde nuevas herramientas de apoyo en las actividades económicas, sociales, culturales y educativas de la región.

### 2.1.2. FASE 2. Toma de Datos.

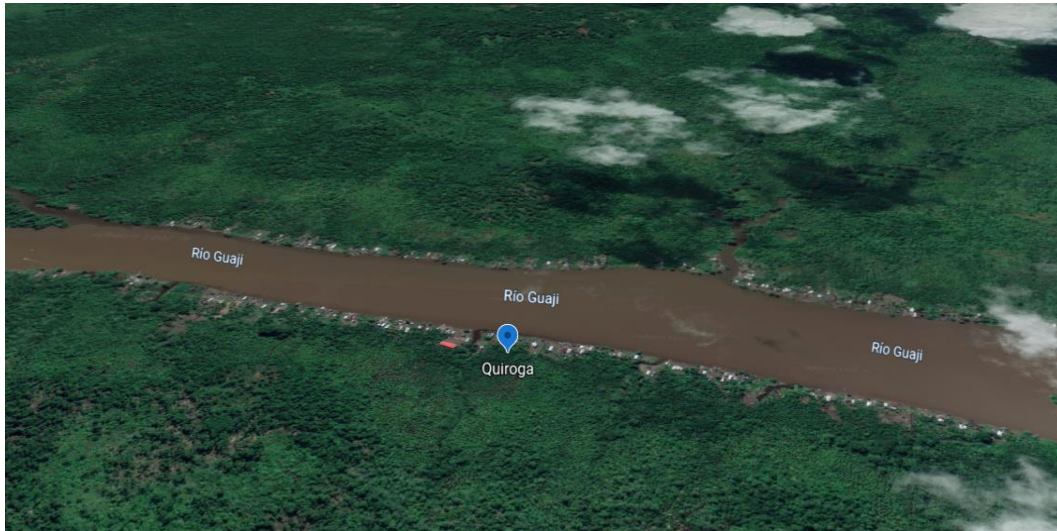
La segunda fase de la *planificación* es recolectar datos de vital importancia para el diseño de la red inalámbrica, por lo tanto, se llevó a cabo un ejercicio de campo en las veredas de Quiroga, Limones y Juanico. La localización se obtuvo mediante *Google Earth* y para obtener la información de acerca de la población, como número de hogares, servicio eléctrico 24/7, instituciones educativas, puestos de salud, servicios de saneamiento básico, calles y caminos, lugar de concentración de los habitantes y principales actividades económicas, se estableció un dialogo directo con las comunidades ver (Tabla 2.1).

Para la toma de mencionados datos se estableció un proceso de trabajo de campo, el cual duro un mes y medio, ya que en estas zonas se presentan problema de orden público y en ocasiones no es posible entrar en la zona. Por lo tanto, fue necesario aprovechar cada instante en el que se tuvo contacto con la comunidad. Los datos geográficos presentados en la siguiente tabla fueron recolectados entre el 12 de agosto de 2022 y el 5 de septiembre de 2022.

Tabla 211.1.  
Datos de las Veredas.

| PARÁMETROS                                      | QUIROGA                                                     | LIMONES                                                     | JUANICO                                                      |
|-------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------|
| <b>LOCALIZACIÓN</b>                             | Latitud 2° 36' 56.16" Norte y Longitud 77° 49' 7.89" Oeste. | Latitud 2° 36' 39.13" Norte y Longitud 77° 47' 48.26" Oeste | Latitud 2° 35' 19.52" Norte y Longitud 77° 47' 19.91" Oeste. |
| <b>POBLACIÓN (HABITANTES)</b>                   | 1830                                                        | 1900                                                        | 450                                                          |
| <b>NÚMERO DE CASAS</b>                          | 230                                                         | 265                                                         | 80                                                           |
| <b>SERVICIO ELÉCTRICO 24/7</b>                  | No                                                          | No                                                          | No                                                           |
| <b>INSTITUCIONES EDUCATIVAS</b>                 | Una escuela. Sólo Primaria                                  | Un colegio (Primaria y Bachillerato)                        | Una escuela. Sólo Primaria                                   |
| <b>PUESTO DE SALUD</b>                          | Si                                                          | Si                                                          | No                                                           |
| <b>SERVICIOS DE SANEAMIENTO BÁSICO</b>          | No                                                          | No                                                          | No                                                           |
| <b>CALLES Y CAMINOS</b>                         | 3 calles, varios caminos.                                   | 3 calles, varios caminos.                                   | 1 calle, varios caminos.                                     |
| <b>LUGAR DE CONCENTRACIÓN DE LOS HABITANTES</b> | 1                                                           | 2                                                           | Ninguno                                                      |
| <b>PRINCIPALES ACTIVIDADES ECONÓMICAS</b>       | Pesca, Agricultura, Minería Artesanal y Oficios varios.     | Pesca, Agricultura y Oficios varios.                        | Pesca, Agricultura y Oficios varios.                         |

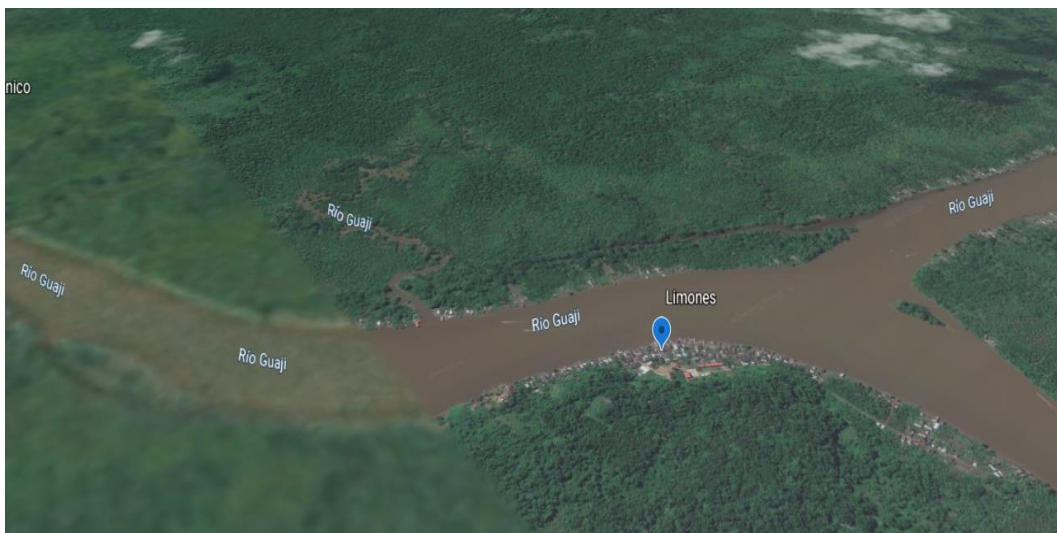
Quiroga es una vereda del municipio de Guapi, el 70% de sus habitantes se encuentran a lo largo del río Guaji. La Figura 2.4 presenta una captura de Google Maps de la vereda, mostrando que es más larga que ancha y que se encuentra a orillas del río Guaji. En la vereda de Quiroga no existe una "caseta" o centro de reunión. Para realizar otras actividades de formación los habitantes de Quiroga deben trasladarse a Guapi, para lo cual deben recorrer unos 20 km a través del río Guaji y parte del río Guapi, que es la única vía de acceso a la vereda.



Figurh 2.4. Captura Vereda Quiroga, Guapi.

Fuente: Google Earth.

Limones es una vereda del municipio de Guapi, el 70% de sus habitantes se encuentran a lo largo del río Guaji. La Figura 2.5. presenta una captura de *Google Maps* de la vereda, mostrando que es más larga que ancha y que se encuentra a orillas del río Guaji. En la vereda Limones existe una "caseta" o centro de reunión. También hay una cancha donde los jóvenes practican fútbol y actividades al aire libre. Para realizar otras actividades de formación, los habitantes de Limones deben trasladarse a Guapi, para lo cual deben recorrer unos 18 km a través del río Guaji y parte del río Guaji, que es la única vía de acceso a la vereda.

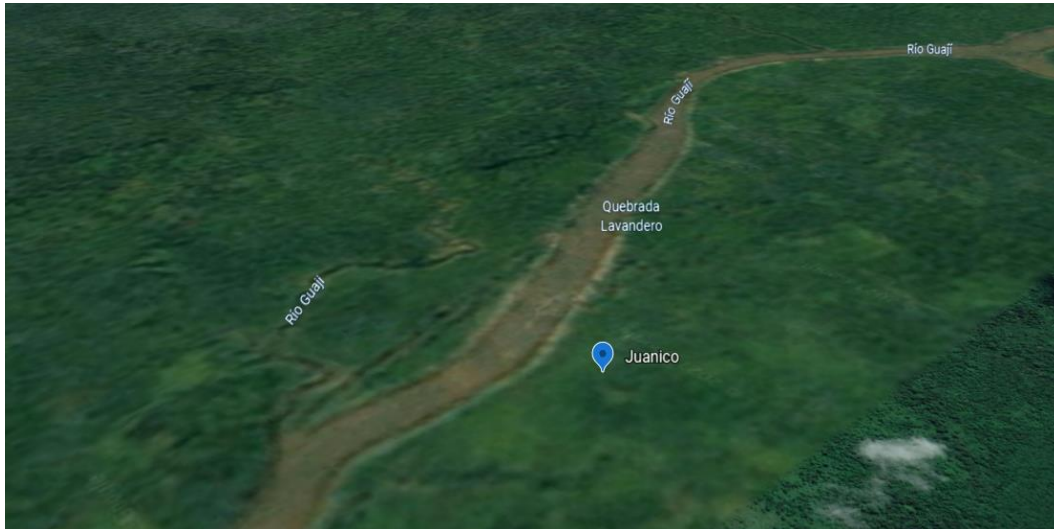


Figuri 2.5. Captura Vereda Limones, Guapi.

Fuente: Google Earth

Juanico es una vereda del municipio de Guapi, el 90% de sus habitantes se encuentran a lo largo del río Guaji. La Figura 2.6 presenta una captura de *Google*

Maps de la Vereda, mostrando que es más larga que ancha y que se encuentra a orillas del río Guajui. Para realizar otras actividades de formación, los habitantes de Juanico deben trasladarse a Guapi, para lo cual deben recorrer unos 16 km a través del río Guaji y parte del río Guapi que es la única vía de acceso a la vereda.



Figurj 2.6. Captura Vereda Juanico, Guapi.

Fuente: Google Earth

#### 2.1.2.1. Diagnóstico de la zona.

El tipo de comunicación que las comunidades necesitan para estar conectadas con el mundo es una conexión dúplex, los tipos de terminales serían cualquier equipo electrónico móvil que pueda conectarse a Internet tales como celulares, tabletas, computadores.

La infraestructura disponible en las veredas es limitada. No existen torres de comunicaciones, pero existen lugares altos cerca de los colegios para la instalación de mástiles e infraestructuras que permitan alcanzar las alturas requeridas, si es necesario.

- Terrenos: Se cuenta con terrenos públicos en los cuales es posible instalar infraestructura que beneficie a la comunidad. Estos terrenos son altos y estratégicos para lograr los objetivos de cobertura.
- Casetas: Hay pocas casetas disponibles en los mejores lugares para instalar los equipos, lo que dificulta el proceso, ya que algunos equipos en los lugares óptimos estarían expuestos a la intemperie.
- Torres: No hay torres disponibles con acceso gratuito, sin embargo, existen terrenos altos y despejados donde se pueden instalar mástiles.

- Fuentes de energía: Este es el principal inconveniente que se presenta en las veredas del municipio de Guapi, Cauca. La conexión eléctrica ofrece el servicio 24/7 al municipio de Guapi, pero este servicio no se ofrece en las zonas rurales. El suministro eléctrico en áreas rurales es apenas de 8 horas diarias y depende del estado de la única planta que presta el servicio eléctrico. Si esta planta presenta fallas, el suministro eléctrico se interrumpe por tiempo indefinido.

### 2.1.3. FASE 3. Diseño de la Arquitectura de Red.

La red que ofrecerá solución al problema de conectividad en algunas de las veredas del municipio de Guapi, Cauca, como se puede apreciar en la Figura 2.7, consta de una CN para cada una de las veredas. Cada una de las CN se conectará al municipio de Guapi mediante enlaces basados en tecnologías inalámbricas, y desde el municipio de Guapi la conectividad se garantizará mediante la conexión a la red de transporte basada en fibra óptica existente en la cabecera municipal.

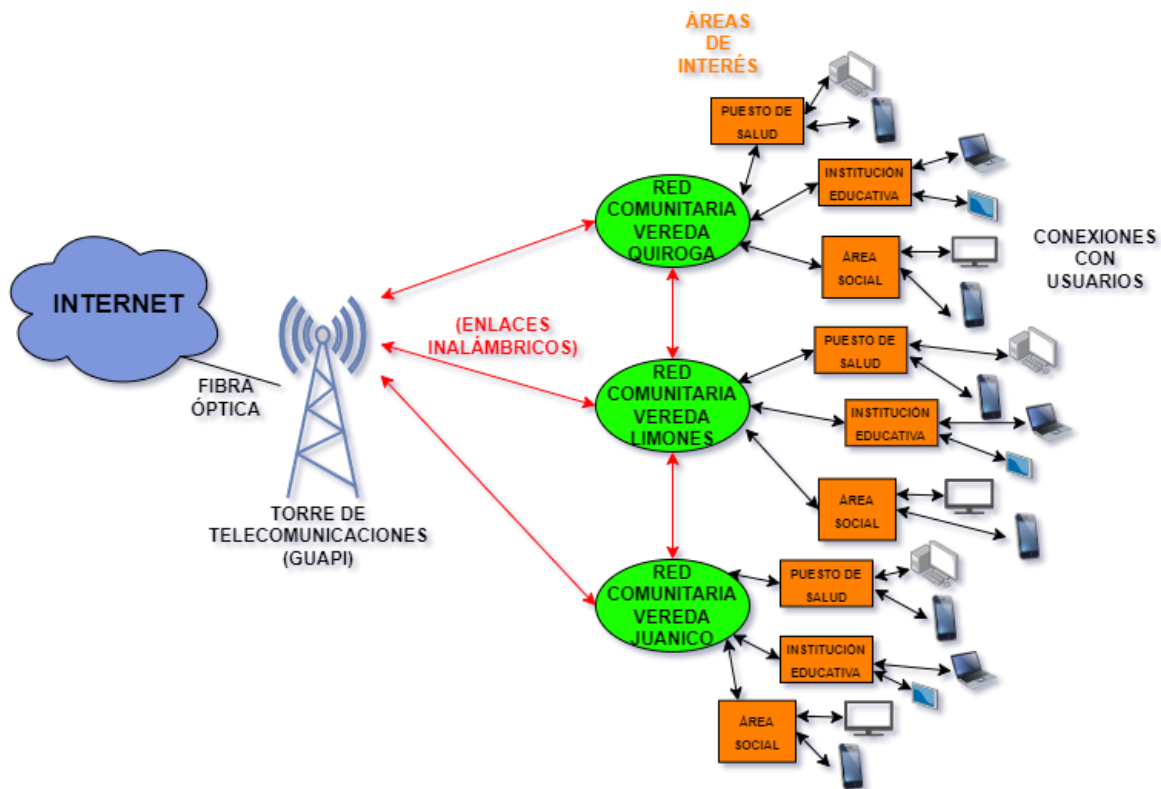


Figura 2.7. Diseño General de la Red Comunitaria.

Las zonas seleccionadas como áreas de interés se determinaron considerando la densidad poblacional de cada vereda y las necesidades de comunicación. De acuerdo con los habitantes de las veredas consideradas, los lugares más concurridos son los puestos de salud, las instituciones educativas y las áreas

sociales, ya sea un parque o una caseta comunal. La ubicación de estos lugares busca maximizar la utilidad de la red al fomentar una interacción prolongada y significativa con la comunidad.

El diseño de la arquitectura de red se basa en utilizar tecnologías inalámbricas, esto se debe a las características de la zona, distancia y por facilidad de acceso, todas las conexiones a Internet a excepción de la de Guapi, serán con tecnologías inalámbricas, para ofrecer la mejor solución al problema de conectividad. Se analizan cada una de las tecnologías investigadas, sus ventajas y desventajas, su disponibilidad en el mercado, y se toman en cuenta aspectos socioeconómicos.

Para elaborar el diseño adecuado, es necesario escoger las tecnologías que cumplan con los requerimientos que proporcionen un mínimo de calidad y cobertura a los habitantes de estas comunidades. Con el análisis de las tecnologías planteadas anteriormente, se eligen las diferentes opciones tecnológicas para realizar el diseño que solucionará la carencia, el diseño cuenta con tres (3) etapas:

La etapa I consiste en establecer radioenlaces desde el municipio de Guapi hasta sus respectivas veredas. La etapa II, es la conexión entre las diferentes veredas y la distribución entre los habitantes para que se conecten a la CN. La etapa III es la de establecer una fuente de energía que alimente los equipos.

La arquitectura de red y los aspectos energéticos, para brindar solución de conectividad constan de las siguientes etapas:

- 1. Establecer radioenlaces entre las veredas y corregimientos con el municipio de Guapi:** Esta etapa consta del establecimiento de radioenlaces inalámbricos con velocidades de transmisión de datos alrededor de los 200 Mbps, para aprovechar la fibra óptica presente en la cabecera municipal.
- 2. Establecer conexión con los habitantes de las veredas y conectar las veredas entre sí:** En esta etapa, se instalarán enrutadores malla y/o puntos de acceso (AP), en lugares estratégicos dentro de las veredas para brindar cobertura a los habitantes. Además, se establecerán radioenlaces inalámbricos entre las veredas, de manera que garantice la conectividad en caso de que un enlace con la cabecera municipal se interrumpa.
- 3. Establecer un sistema eléctrico para alimentar los equipos de comunicaciones en las veredas:** Dado que las comunidades no cuentan con energía eléctrica 24/7, es fundamental y necesario garantizar una fuente de alimentación confiable y sostenible para los equipos de comunicación. Para ello, se puede considerar la instalación de sistemas de energía solar fotovoltaica, baterías de respaldo y/o generadores de energía eólica en las zonas donde se ubiquen los equipos de comunicación.



Al completar estas tres etapas, se proporcionará una solución de conectividad a las veredas, mejorando así la calidad de vida de sus habitantes y ofreciendo oportunidades para el desarrollo económico, social, político y cultural de la región.

### **ETAPA I.**

La primera etapa contempla el diseño de los radioenlaces punto a punto que se plantean para conectar el municipio de Guapi con las veredas Quiroga, Limones y Juanico, debido a que Guapi, cuenta con servicio de Internet las 24 horas del día:

1. *Selección de equipos:* Es importante elegir dispositivos de comunicación inalámbrica adecuados para implementar los enlaces de comunicación y cubrir las distancias requeridas que son alrededor de los 12 km, considerando las condiciones específicas de la región. Esto incluye antenas y radios de alta calidad que sean capaces de soportar las velocidades de transmisión de datos necesarias y proporcionar una conexión confiable y estable.
2. *Ubicación:* Se deben buscar y seleccionar puntos estratégicos en el municipio de Guapi y en las veredas para instalar los equipos de comunicación. Estos puntos deben ser lo suficientemente altos y despejados para asegurar una línea de visión clara entre las antenas.
3. *Establecer enlaces punto a punto:* Configurar los enlaces de radio entre el municipio de Guapi y las veredas Quiroga, Limones y Juanico. Hay que asegurar que las antenas se encuentran alineadas correctamente para garantizar una comunicación óptima y minimizar posibles pérdidas de señal.
4. *Monitoreo y mantenimiento:* Una vez que la red esté en funcionamiento, es importante monitorear regularmente su desempeño y realizar el mantenimiento necesario para asegurar la continuidad del servicio. Esto puede incluir la actualización de *firmware*, el reemplazo de equipos defectuosos y la solución de problemas de conectividad.

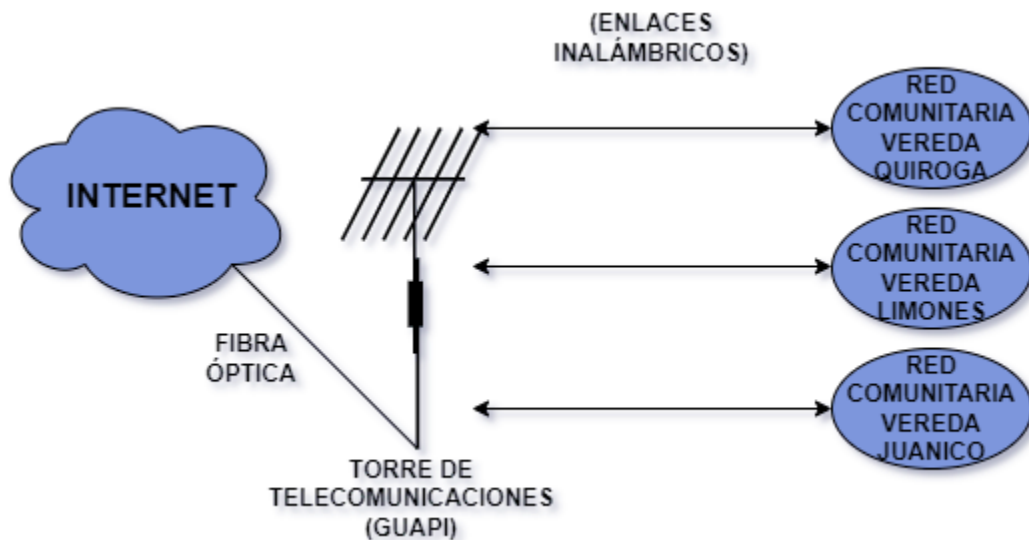


Figura 2.8. Esquema Etapa I.

Se aprovecha la infraestructura ya disponible en la zona, que incluye una torre de telecomunicaciones de 50 metros en la cabecera municipal ubicada en el antiguo Telecom del municipio. Las antenas en Guapi podrán instalarse a una altura entre 40 m y 50 m con respecto al nivel del municipio, mientras que las antenas en las veredas se instalarán cerca a colegios y escuelas, para establecer estos radioenlaces se utiliza Wi-Fi 5.8 GHz. En algunos de estos lugares, será necesario instalar torres o mástiles adicionales para garantizar una mayor altura a las antenas.

## **ETAPA II.**

La segunda etapa contempla la distribución de la señal de Internet en las veredas, además de los radioenlaces entre las veredas, que son los siguientes, Quiroga-Limones y Limones-Juanico. Con ayuda de *Google Earth* se extraen los puntos dónde se van a ubicar cada uno de los sitios de red, estos sitios se eligieron:

**Escuela Quiroga, Colegio Limones y Escuela Juanico:** Se eligen estos puntos debido a que están centralizados entre la población y en caso de mantenimiento o una futura mejora a la red, esta tendrá una rápida ejecución debido al fácil acceso que tiene la comunidad al establecimiento respectivo.

**Puestos de salud, áreas sociales y centros de las veredas:** Se eligen estos lugares para los enrutadores mallas y/o puntos de acceso de distribución, ya que en estos lugares son los más transitados por la comunidad.

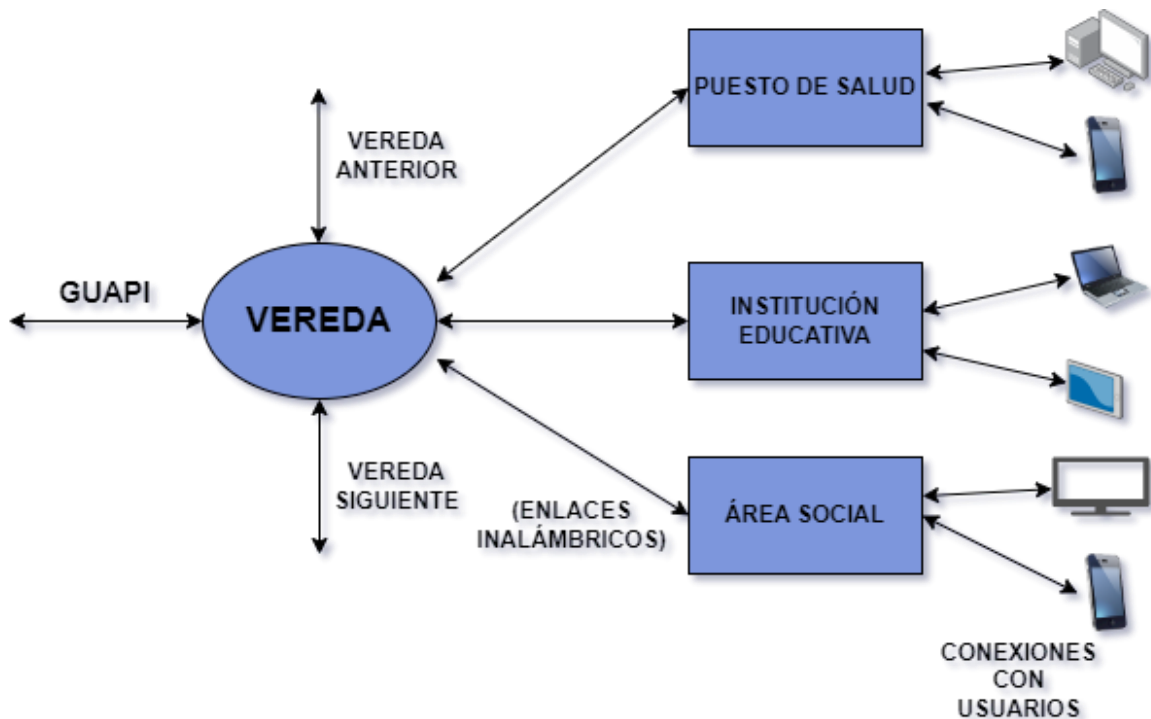


Figura 2.9. Esquema Etapa II.

En esta etapa, se utiliza Wi-Fi 5.8 GHz para conectar las veredas y los enrutadores en puestos de salud, áreas sociales y centros de las veredas, además la conexión de los usuarios con las CN es por medio de Wi-Fi 2.4 GHz ya que todos los equipos en las veredas utilizan esa banda para su conexión a internet.

### ETAPA III.

La tercera etapa contempla un sistema eléctrico basado en energía renovable, ya que es fundamental contribuir al cuidado del planeta, este sistema eléctrico **está** orientado hacia el beneficio de la sociedad y el mundo. De las diferentes energías renovables existentes, se selecciona la energía solar o fotovoltaica. ¿Por qué este tipo de energía renovable? La respuesta es que esta tecnología aprovecha las ventajas del clima tropical que ofrece la zona, caracterizado por un sol inclemente y espacios abiertos. Este sistema incluye paneles solares, controladores, baterías, inversores, puesta a tierra, cables, entre otros.

En la Figura 2.10 se puede apreciar un sistema de energía solar convencional. Para calcular el tamaño del sistema de energía solar en el contexto del trabajo de grado, se deberán tener en cuenta consumos y eficiencia. Con estos datos, se identificará el consumo de los equipos y elementos por hora, y basado en ello se determinará las características del sistema energético necesario.

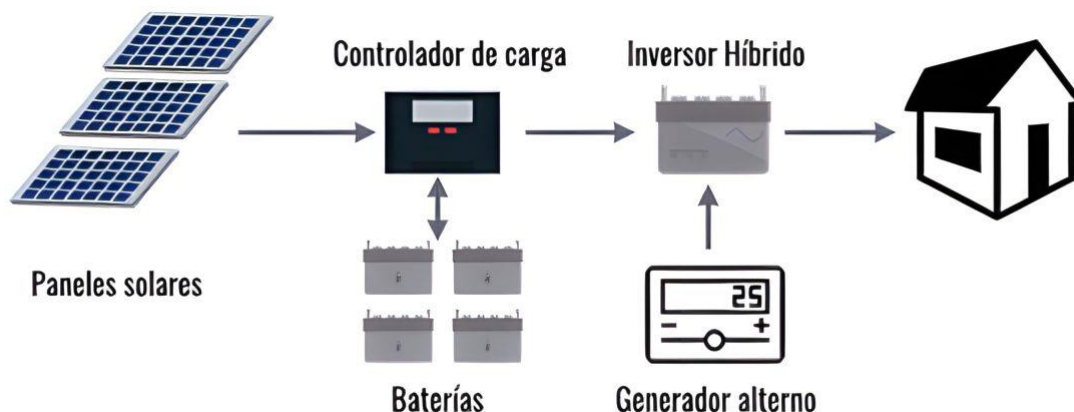


Figura 2.10. Esquema Etapa III.

Fuente: <https://www.sunsupplyco.com>

En la Tabla 2.2 se muestra un análisis detallado de las tecnologías investigadas, destacando sus ventajas y desventajas más significativas. Esto facilitará determinar si son adecuadas para la implementación de la red según sus requerimientos.

Tabla 2.12.2.  
Resumen de Análisis de Tecnologías.

| TECNOLOGIAS   | EVALUACIÓN DEL ANÁLISIS                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
|---------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| TETRA         | Puede ocasionar interferencia con otros dispositivos electrónicos sensibles (marcapasos, entre otros.). Por ser un sistema de banda estrecha, la velocidad de transmisión de datos es baja (Descartada).                                                                                                                                 |
| LTE           | Requiere espectro licenciado, elevado costo para su implementación en zonas rurales, mantenimiento es con personal capacitado (Descartada).                                                                                                                                                                                              |
| Wi-Fi 2.4 GHz | La cantidad de dispositivos que pueden conectarse simultáneamente a un punto de acceso es limitado, se presentan traslapes en frecuencia entre los canales, excepto para los canales 1, 6 y 11, reservada para la conectividad con los usuarios ya que todos los equipos electrónicos en las veredas utilizan esa banda para conectarse. |
| Wi-Fi 5 GHz   | Estandarizado a nivel mundial, opera en Bandas Libres ideal para distancias cortas no mayores a 15 km (escogida para los radioenlaces Guapi- veredas y entre las veredas)                                                                                                                                                                |
| Wi-Fi 900 MHz | Estándar nuevo pocos fabricantes, pocos equipos actualmente en el mercado (Descartada).                                                                                                                                                                                                                                                  |
| WiMAX         | Costo mayor que Wi-Fi, necesita conexión directa con un repetidor para extender el alcance (Descartado).                                                                                                                                                                                                                                 |
| TVWS          | Dificultad a la hora de encontrar soportes para equipos, presenta una limitante en su velocidad máxima, que es de 60 Mbps en los equipos presentes hasta la fecha (Descartada).                                                                                                                                                          |
| HAP           | Los enlaces experimentan atenuaciones por lluvia y el clima en la zona es muy lluvioso, elevados costos de despliegue y                                                                                                                                                                                                                  |

|                             |                                                                                                                                                                                                                                                |
|-----------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                             | mantenimiento de las estaciones base del sistema HAP (Descartada).                                                                                                                                                                             |
| <b>Sistemas Satelitales</b> | Los enlaces experimentan atenuaciones por lluvia y otros fenómenos, los usuarios que utilizan estas tecnologías dicen que las velocidades presentadas son muy diferentes a las reales y con lluvia es muy deficiente el servicio (Descartada). |
| <b>WiBack</b>               | Dificultad a la hora de encontrar soportes para equipos, muy pocas empresas que comercian esta tecnología en Colombia (Descartada).                                                                                                            |
| <b>WiBro</b>                | Reglamentación poca y escasa esto puede presentar problemas en el transcurso del tiempo, Pocos proyectos en Colombia ya que es la versión coreana de WiMAX, Dificultad a la hora de encontrar soportes para equipos (Descartada).              |

### **2.1.3.1. Dimensionamiento.**

En el diseño planteado, los radioenlaces se les condiciona con un mínimo de calidad y cobertura, las velocidades de transmisión de datos planteadas son de 200 Mbps con una relación de 75/25, 75% de la conexión para el enlace de bajada y 25% para el de subida, para lograr estas velocidades se debe tener una muy buena calidad del canal, se debe tener en cuenta las eficiencias de los equipos para poder compensarlas, documentarse con los fabricantes (*Datasheets*) y utilizar los artículos de referencias para establecer márgenes que permitan mantener una buena calidad del canal en estos radioenlaces. La cobertura está asociada a las zonas de mayor necesidad de conectividad por los habitantes de las veredas, priorizando colegios y escuelas, además de puestos de salud, y en las zonas recomendadas por los habitantes de cada vereda. La cantidad de personas conectadas a la red por zona dependerá de la cantidad de puntos de acceso. Para garantizar buena cobertura y buen acceso se planea tener 2 puntos de acceso en cada vereda, la red está planteada para 100 usuarios, cada usuario con velocidades de transmisión de datos de 1 Mbps en el enlace de bajada y 0.3 Mbps en el enlace de subida.

#### **Requisitos de cobertura.**

El diseño propuesto contempla que en cada vereda exista un Enrutador (este el encargado de recibir la señal desde el municipio de Guapi), en Quiroga, Limones y Juanico. Estos estarán ubicados en lugares estratégicos planificados con la comunidad, tales como: La escuela de la vereda de Quiroga, el colegio en la vereda de Limones y la escuela de la vereda de Juanico. Estos lugares cuentan con la aprobación de la comunidad, ya que los principales beneficiarios serán los niños, y de esta manera, podrán contar con una nueva herramienta en su proceso educativo.

En la Figura 2.11, la Figura 2.12. y la Figura 2.13 se presenta la ubicación de los tres sitios de red, en las veredas de Quiroga, Limones y Juanico, respectivamente. En las imágenes se observa que hay espacios disponibles para ubicar los equipos, además de contar con zonas elevadas donde se pueden instalar mástiles para alcanzar las alturas deseadas (si son requeridas) y donde se pueden instalar elementos de red.



*Figuro 2.11. Captura Institución Educativa Quiroga, Guapi.*

*Fuente: Google Earth*



*Figurp 2.12. Captura Institución Educativa Limones, Guapi.*

*Fuente: Google Earth*



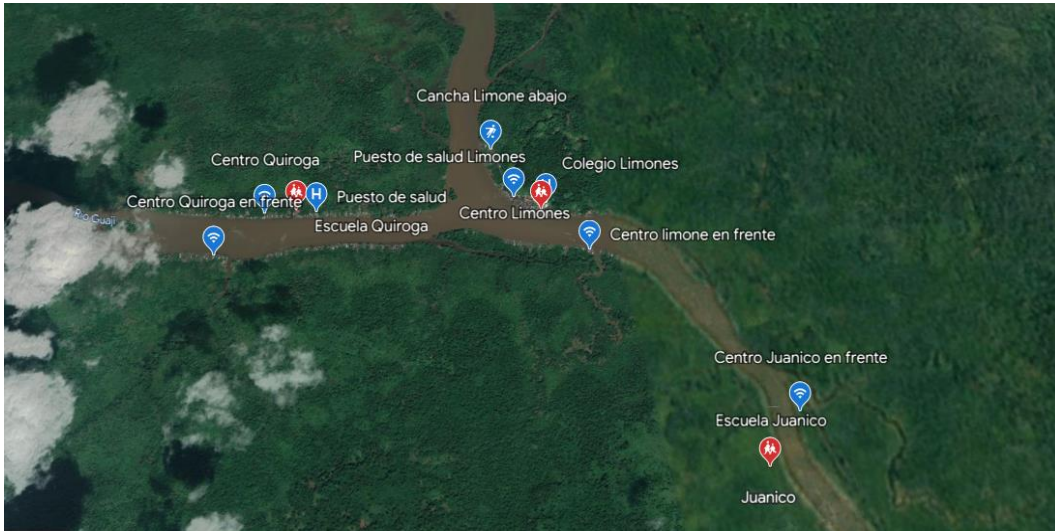
Figura 2.13. Captura Institución Educativa Juanico, Guapi.

Fuente: Google Earth

Para garantizar una cobertura y calidad aceptable de la señal deseada, se planifica instalar los enrutadores malla y/o puntos de acceso de distribución en zonas estratégicas para brindar conectividad. También se tiene en cuenta la cantidad de habitantes y su distribución. En Quiroga, tres enrutadores, sumando el principal en la escuela, en Limones, se instalarán cuatro enrutadores, agregando el principal ubicado en el colegio y en Juanico, un enrutador, más el principal en la escuela.

En la vereda de Juanico, hay un caso especial, ya que, con el enrutador ubicado en la escuela, posee una cobertura que cubre a la mayor parte de la población. Para dar conectividad al resto, se necesita aproximadamente un equipo por hogar. Por esta razón, se plantea tener un sólo enrutador malla de distribución para los habitantes que viven al frente de la vereda.

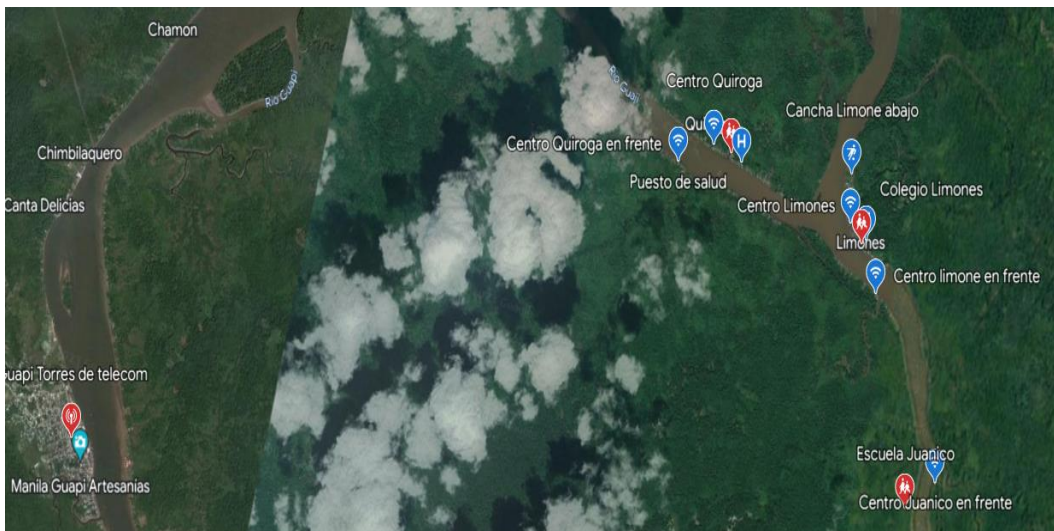
Es importante tener en cuenta que estas comunidades construyen sus viviendas a lo largo del río, los habitantes viven en ambas orillas del río. En la Figura 2.14 se puede apreciar la ubicación de los enrutadores de distribución y Enrutador en las veredas. Los enrutadores malla en Quiroga, puesto de salud, centro de Quiroga al frente; en Limones se ubican en Cancha de Limones abajo, puesto de salud, centro de Limones y Limones al frente, por último, en Juanico se ubica en Juanico al frente.



Figur 2.14. Captura Ubicaciones Red Comunitaria.

Fuente: Google Earth

En la Figura 2.15 se puede apreciar el diseño total de la CN, los puntos rojos son los Enrutadores que estarán en Guapi, exactamente en la torre de la antigua Telecom y los enrutadores estarán ubicados en Escuela Quiroga, Colegio de Limones y Escuela Juanico. Los puntos azules son enrutadores malla y/o puntos de acceso de distribución. Para lograr que las tres CN estén interconectadas, se conectarán de la siguiente manera: Quiroga-Limones y Limones-Juanico mediante radioenlaces, al hacer esto se garantiza que la red no dependa exclusivamente de un radioenlace principal.



Figurs 2.15. Red Comunitaria Guapi.

Fuente: Google Earth



El diseño se elabora de la siguiente forma, tal como se ilustra en la figura anterior: En el punto de Guapi, específicamente en la torre de Telecom, se instala un Enrutador junto con su respectiva antena. En los puntos señalados como la Escuela Quiroga, el Colegio Limones y la Escuela Juanico, se instalan Enrutadores con sus correspondientes antenas, un enrutador Wi-Fi, un conmutador, un enrutador de malla y puntos de acceso. El número de equipos de distribución variará según el número de habitantes de la zona.

Por otro lado, en los lugares que incluyen el centro de Juanico y su frente, el centro y el centro de salud de Limones, la Cancha Limones Abajo, el centro de Quiroga y su frente, así como el puesto de salud de Quiroga, se instalarán enrutadores de malla y puntos de acceso. Cabe mencionar que, a excepción del punto de Guapi en la torre de Telecom, todos los demás lugares ilustrados en la Figura 2.15 requerirán de un sistema de energía eléctrica fotovoltaico. Esta necesidad surge dado que estas áreas rurales no cuentan con una fuente de energía constante las 24 horas del día, los 7 días de la semana.

### **2.1.3.2. Cobertura radioeléctrica.**

#### **Zonas de cobertura.**

Las zonas de cobertura son áreas geográficas en las que se puede obtener un servicio específico; en el caso de este proyecto, son las zonas en las que los usuarios pueden acceder al servicio de Internet.

Zonas de cobertura en las veredas: En la Figura 2.16, la Figura 2.17 y la Figura 2.18 se pueden apreciar las zonas que deben cubrir los enrutadores de distribución. Se planea cubrir un rango de 1 km a la redonda por cada enrutador de distribución que se encuentran en Escuela Quiroga, Colegio Limones y Escuela Juanico.



*Figura 2.16. Zona de Cobertura Quiroga.*

*Fuente: Google Earth*

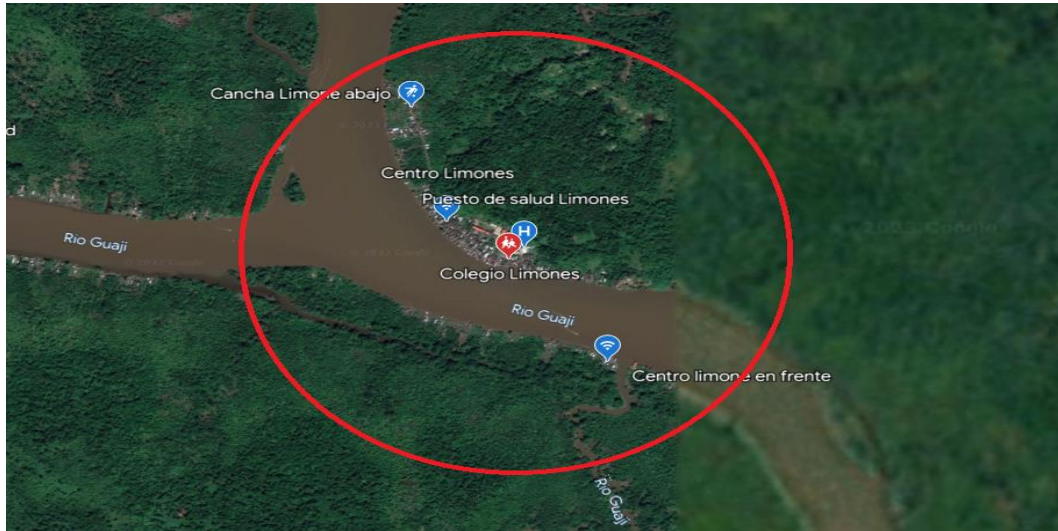


Figura 2.17. Zona de Cobertura Limones.

Fuente: Google Earth

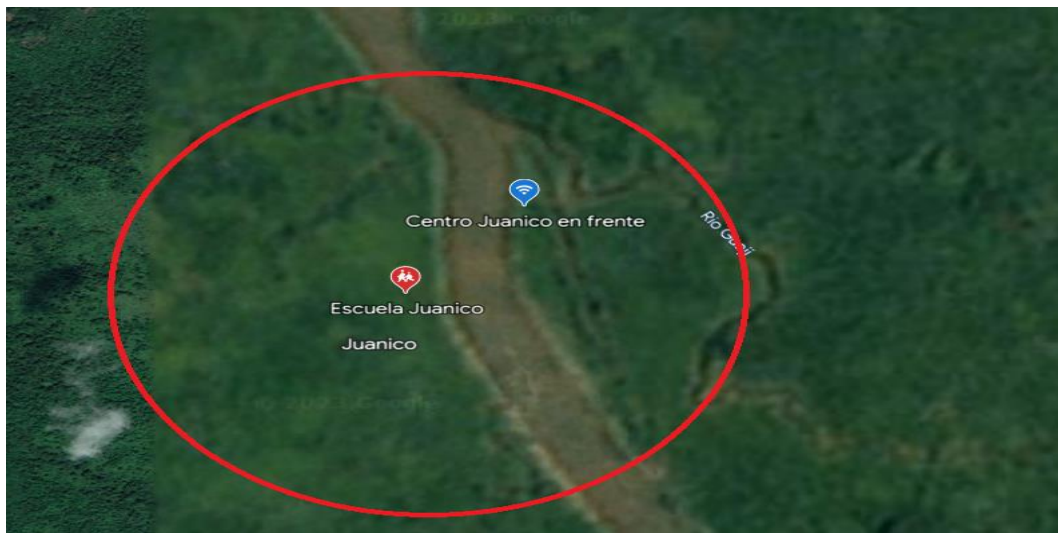
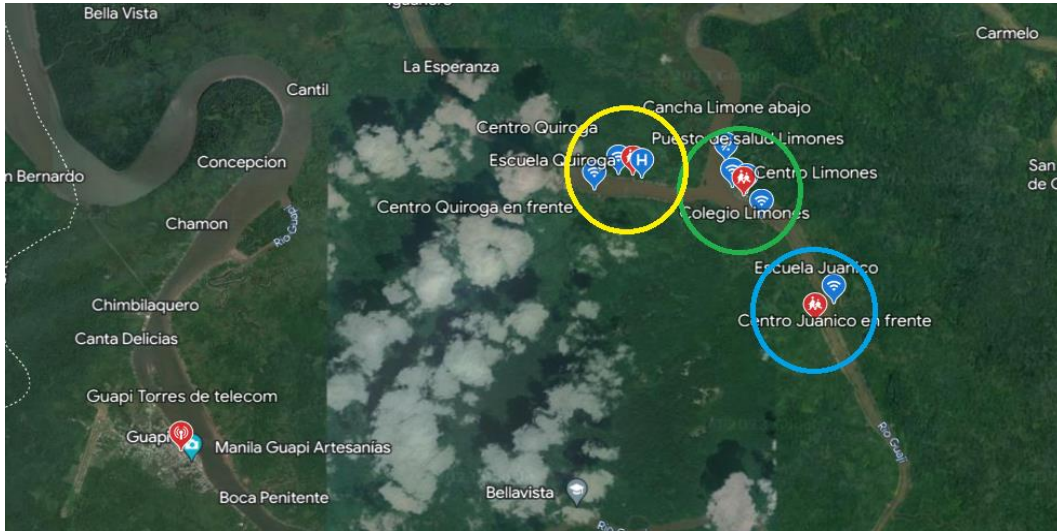


Figura 2.18. Zona de Cobertura Juanico.

Fuente: Google Earth

En la Figura 2.19 se puede observar las zonas de cobertura planificadas para cada uno de los enrutadores. Es importante garantizar que todos los enrutadores y/o puntos de acceso se encuentren dentro de las zonas de cobertura de cada enrutador principal, estos son Escuela Quiroga, Colegio Limones y Escuela Juanico. Se les denomina principales debido a que están conectados directamente al conmutador que recibe las transmisiones de los radioenlaces.



Figurw 2.19. Zonas de Cobertura de Quiroga, Limones, Juanico.

Fuente: Google Earth

### **Factores que afectan la cobertura.**

Las principales perturbaciones que afectan los sistemas de telecomunicación son el ruido y la interferencia. En este trabajo de grado, además de las perturbaciones mencionadas, se consideran factores asociados a obstáculos por vegetación y pérdidas por lluvias, ya que en las zonas rurales del municipio de Guapi las lluvias son constantes y la vegetación es abundante.

### **Parámetros de entorno.**

El entorno en el que se realizará el trabajo de grado es un medio rural disperso y aislado con algunas características particulares. Una de ellas es que las comunidades están situadas a lo largo del río, lo que significa que los habitantes están dispersos en ambas orillas, separados por unos 250 metros, correspondientes al ancho del río. Por esta razón, las veredas son mucho más largas que anchas, alcanzando extensiones de hasta 1 km, con apenas 20 m de ancho. Además, hay áreas que se encuentran a unos 200 metros o más de distancia de los centros de cada una de las veredas.

Las veredas del municipio de Guapi presentan una geografía compleja, con terrenos planos, ondulados, montañosos y hasta cerros. Sin embargo, en los lugares donde se llevará a cabo el trabajo de grado, predominan terrenos planos con algunas ondulaciones, sin montañas o cerros protuberantes.

Los obstáculos que se presentan en las veredas son principalmente los bosques o selvas. Aunque hay áreas despejadas en las veredas, al salir de ellas se encuentran selvas densas y exuberantes, lo que puede afectar la propagación de las señales de radiofrecuencia en estas zonas.

### ***Parámetros del sistema.***

Para brindar una solución de alta calidad y cobertura, además, de abordar todos los problemas y obstáculos que surgen al llevar conectividad a estas áreas del municipio, se opta por elegir tecnologías comprobadas en el campo que ofrezcan una excelente calidad, evitando la necesidad o la adquisición de equipos distintos o no compatibles.

Para proporcionar conectividad a las veredas y asegurar que la mayoría de los habitantes de estas comunidades estén conectados, el objetivo es lograr una cobertura de más del 90% con una distancia de alcance de hasta 1 km en todas las direcciones.

Se configura para un ancho de banda por canal (*Bandwidth*) equivalente a 40 MHz, un *DownLink* (DL) del 75% y un *UpLink* (UL) de 25%, y una regulación (*Regulation*) acorde a nuestro país, Colombia, lo que evita interferencias o problemas legales. El tipo de enlace (*Link Type*) es 1+0, lo que indica que el enlace se compone de un solo canal de radiofrecuencia en cada extremo del enlace, es decir, un transmisor y un receptor en cada estación. Cabe resaltar que los equipos cuentan con la opción de tipo de enlace de 2+0 o al menos se considera, para aprovechar las ventajas que hoy en día los equipos comerciales ofrecen.

Se establecen 5 enlaces punto a punto (PTP, *Point-to-Point*). Esto nos permite conectar inalámbricamente Guapi con las veredas y las veredas entre sí. Los enlaces PTP ofrecen varias ventajas, como la capacidad de transmitir datos a larga distancia y un alto grado de control sobre la configuración y el desempeño del enlace. El período de trama (*Frame Period*) se establece en 5 ms, que se refiere al tiempo que toma para transmitir una trama completa de datos en un enlace de radiofrecuencia.

MCS9 (256 QAM 0.83 Dual) se refiere a un índice de esquema de modulación y codificación (MCS, *Modulation and Coding Scheme*). Este índice define el esquema de modulación y la tasa de codificación utilizada para transmitir datos en un enlace de radiofrecuencia. En este caso, MCS9 se refiere a un esquema de modulación 256 QAM (*Quadrature Amplitude Modulation*) con una tasa de codificación de 0.83 y un esquema dual (generalmente, se refiere a la polarización dual). La modulación 256 QAM es un esquema de modulación avanzado que permite transmitir 8 bits de información por símbolo. La tasa de codificación de 0.83 indica que aproximadamente el 83% de los bits transmitidos en la señal son datos útiles, mientras que el 17% restante son bits de redundancia agregados por el esquema de codificación de canal utilizado para mejorar la robustez y la confiabilidad de la comunicación, estos últimos parámetros son utilizados en los planteamientos para darle búsqueda y asignación de los equipos que se van a requerir en el proyecto.

El diseño de la red está planteado para ser implementado utilizando tecnologías inalámbricas que garanticen calidad y cobertura a los habitantes de estas

comunidades. Algunas de las tecnologías inalámbricas adecuadas para este propósito incluyen tecnologías Wi-Fi, redes malla, WiBack, WiMAX y LTE, que pueden adaptarse a las condiciones geográficas y ambientales desafiantes de la zona. Estas tecnologías también permiten escalabilidad y la infraestructura relacionada requiere de un mantenimiento **relativamente sencillo** en comparación con las soluciones cableadas, además de un menor costo y un despliegue más rápido.

Al implementar una red basada en tecnologías inalámbricas, es fundamental considerar factores como la planificación adecuada de los sitios de red o sitios de instalación de enrutadores malla y/o puntos de acceso, así como la selección de equipos y frecuencias apropiadas para minimizar las interferencias y garantizar una conectividad confiable y de alta calidad en toda la región.

### **2.1.3.3. Compatibilidad electromagnética.**

Para asegurar un excelente funcionamiento de la red que brinda conectividad a algunas de las veredas del municipio de Guapi, es esencial considerar los siguientes aspectos:

1. *Evaluación de sistemas existentes:* Investigación sobre los sistemas de telecomunicaciones implementados actualmente en las veredas, incluidas sus características técnicas. Esto ayuda a garantizar que el sistema no cause interferencias y no sea afectado por otros sistemas existentes.
2. *Selección de tecnología y frecuencias:* Selección de tecnologías y frecuencias que minimicen las interferencias con otros sistemas. Aseguramiento de que las bandas de frecuencia seleccionadas son permitidas y son apropiadas para su uso en la región.
3. *Compatibilidad de equipos:* Selección de equipos que aseguran su compatibilidad con otros sistemas de telecomunicaciones en la zona. Esto incluye la selección de equipos que soporten múltiples estándares y frecuencias, así como la capacidad de adaptarse a diferentes entornos y condiciones.
4. *Selección del fabricante:* Selección de los fabricantes con experiencia en el campo de las comunicaciones y que brinde soporte y apoyo técnico. Verificación de que los fabricantes cumplan con requisitos de calidad y desempeño establecidos en el trabajo de **grado**.
5. *Planificación y diseño de la red:* Realización del diseño de red que tenga en cuenta la ubicación de los enrutadores malla y/o puntos de acceso, así como la topología de la red en función de las condiciones geográficas y ambientales de la región. La planificación cuidadosa del diseño de la red minimizará las interferencias y garantizará una conectividad de alta calidad. Ejemplo, asignación o búsqueda de sitios de red

6. *Pruebas y ajustes:* Una vez que la red esté diseñada, se deben realizar simulaciones exhaustivas para garantizar que no haya interferencias con otros sistemas y que la red funcione según lo previsto. Realización de ajustes en la configuración de la red y en los equipos según sea necesario para mejorar el desempeño y la calidad de la futura conexión.

*Nota:* En este trabajo de **grado** sólo se va a plantear el diseño de la CN, además, de algunos análisis de funcionamiento, capacidad y cobertura debido a que la implementación del proyecto está fuera del alcance trabajo de **grado**.

Al tener en cuenta estos aspectos, se puede desarrollar e implementar una solución de conectividad efectiva y eficiente para las veredas del municipio de Guapi que minimice las interferencias y garantice un servicio de alta calidad a los habitantes de la zona.

#### **2.1.4. FASE 4. Asignación de Frecuencias.**

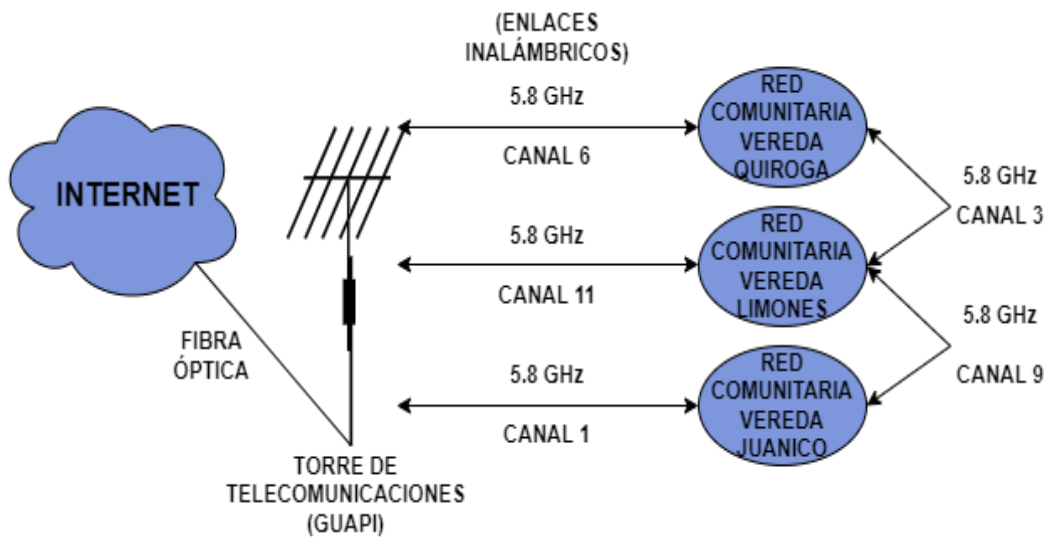
Se realizó una búsqueda de sistemas en las veredas en referencia con otros proyectos de telecomunicaciones activos y se concluye que no existen sistemas Wi-Fi en las frecuencias de 900 MHz, 2.4 GHz y 5 GHz (bandas ISM). Esto brinda la oportunidad de utilizar todos los canales disponibles en las tecnologías inalámbricas sin preocuparse por interferencias con otros sistemas en la región.

Dado que se ha identificado que las tecnologías propuestas en el anterior capítulo de este trabajo de **grado** no existen en las áreas objetivo, se pueden implementar soluciones de conectividad utilizando estas frecuencias sin causar interferencias con otros sistemas existentes, tales como, sistemas celulares 2G, 3G, 4G y televisión satelital.

Al seleccionar y desplegar tecnologías inalámbricas en las frecuencias de 5.8 GHz, se puede proporcionar una solución de conectividad de alta calidad a las veredas del municipio. Además, al utilizar canales que no están ocupados, se reduce la posibilidad de interferencia y garantiza una conexión estable y confiable para los habitantes de la zona. Al utilizar los anchos de banda por canal de 40 MHz en 5.8 GHz se tienen 12 canales de los cuales **se utilizan 5**, como se puede apreciar en la Tabla 2.3 y la Figura 2.20.

*Tabla 213.3.  
Canales de 40 MHz en 5.8 GHz.*

| <b>RADIOENLACES</b> | <b>NÚMERO DEL CANAL DE 40 MHZ</b> |
|---------------------|-----------------------------------|
| GUAPI-QUIROGA       | 6                                 |
| GUAPI-LIMONES       | 11                                |
| GUAPI-JUANICO       | 1                                 |
| QUIROGA-LIMONES     | 3                                 |
| LIMONES-JUANICO     | 9                                 |



Figurx 2.20. Distribución de Canales 5.8 GHz.





No obstante, se recomienda continuar monitoreando el entorno de radiofrecuencia en las áreas donde se implementará la red, para asegurarse de que no aparezcan nuevos sistemas que puedan causar interferencias o afectar el desempeño de la red. De esta manera, la red diseñada se puede adaptar para mantener un servicio de alta calidad.

#### 128.28.2. **FASE 5. Equipamiento de Estaciones.**

Para la selección de equipos, se tiene en cuenta la frecuencia de operación, que en este caso particular es de 5.8 GHz, saber que los equipos de los usuarios se conectan en la banda de los 2.4 GHz, además de que no hay fuente de alimentación 24/7 en las veredas. Con estas principales características, existen múltiples productos que podrían servir; sin embargo, se consideran tres ítems: disponibilidad del producto (*stock*), costo y sus principales características.




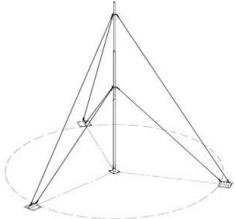
A continuación, se presenta la Tabla 2.4 donde **están** los equipos a utilizar en este trabajo de grado:

Tabla 214.4.  
Equipos de la Red Comunitaria.

| EQUIPOS                                            | REFERENCIAS DE EQUIPOS         | POTENCIA DE CONSUMO | IMAGEN                                                                                                                                                                                                                          | COSTO (USD\$) |
|----------------------------------------------------|--------------------------------|---------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------|
| <b>TRANSMISOR (Par)</b>                            | PTP 550E                       | 30 W                |  <p>Figury 2.21. Transmisor (Par).<br/>Fuente: <a href="https://www.discomp.cz/">https://www.discomp.cz/</a></p>                              | 4520          |
| <b>ANTENAS DIRECTIVAS (32.8 dBi)</b>               | RDH4504C                       |                     |  <p>Figurz 2.22. Antenas Directivas (32.8 dBi).<br/>Fuente: <a href="https://www.discomp.cz/">https://www.discomp.cz/</a></p>                 | 1900          |
| <b>ANTENAS DIRECTIVAS (29.5 dBi)</b>               | RDH4503C                       |                     |  <p>Figuraa 2.23. Antenas directivas (29.5 dBi).<br/>Fuente: <a href="https://www.discomp.cz/">https://www.discomp.cz/</a></p>              | 1700          |
| <b>PROTECCIÓN CONTRA SOBRETENSIONES ELÉCTRICAS</b> | Gigabit Surge Suppressor (56V) |                     |  <p>Figurb 2.24. Protección contra Sobretensiones Eléctricas.<br/>Fuente: <a href="https://www.discomp.cz/">https://www.discomp.cz/</a></p> | 100           |



|                                      |                             |                   |                                                                                                                                                                                                                |            |
|--------------------------------------|-----------------------------|-------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| <p><b>ANTENA OMNIDIRECCIONAL</b></p> | <p>Antaira ANT-OM-58xx</p>  | <p>5 W</p>        |  <p>Figurcc 2.25. Antena Omnidireccional.</p> <p>Fuente: <a href="https://www.discomp.cz/">https://www.discomp.cz/</a></p>   | <p>250</p> |
| <p><b>CONMUTADOR</b></p>             | <p>D-Link DGS-1210-10</p>   | <p>5 W a 10 W</p> |  <p>Figurdd 2.26. Conmutador.</p> <p>Fuente: <a href="https://www.discomp.cz/">https://www.discomp.cz/</a></p>               | <p>300</p> |
| <p><b>ENRUTADOR MALLA</b></p>        | <p>TP-Link Deco Mesh</p>    | <p>40 W</p>       |  <p>Figuree 2.27. Enrutador Malla.</p> <p>Fuente: <a href="https://www.discomp.cz/">https://www.discomp.cz/</a></p>         | <p>500</p> |
| <p><b>PUNTOS DE ACCESO MALLA</b></p> | <p>TP-Link Eap225</p>       | <p>40 W</p>       |  <p>Figurff 2.28. Puntos de Acceso Malla.</p> <p>Fuente: <a href="https://www.discomp.cz/">https://www.discomp.cz/</a></p> | <p>400</p> |
| <p><b>PANEL SOLAR</b></p>            | <p>Evo 5 Series 500 W/p</p> |                   |  <p>Figurgg 2.29. Panel Solar.</p> <p>Fuente: <a href="https://www.discomp.cz/">https://www.discomp.cz/</a></p>            | <p>223</p> |

|                                          |  |             |                                                                                                                                                                                                                              |             |
|------------------------------------------|--|-------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------|
| <p><b>CONTROLADOR O REGULADOR</b></p>    |  | <p>1 W</p>  |  <p>Figurhh 2.30. Controlador o Regulador.</p> <p>Fuente:<br/><a href="https://suneoenergy.com.co/">https://suneoenergy.com.co/</a></p>    | <p>80</p>   |
| <p><b>BATERÍAS DE GEL (12V 250ª)</b></p> |  |             |  <p>Figurii 2.31. Baterías de Gel (12V 250ª).</p> <p>Fuente:<br/><a href="https://suneoenergy.com.co/">https://suneoenergy.com.co/</a></p> | <p>444</p>  |
| <p><b>INVERSOR</b></p>                   |  | <p>10 W</p> |  <p>Figurjj 2.32. Inversor.</p> <p>Fuente:<br/><a href="https://suneoenergy.com.co/">https://suneoenergy.com.co/</a></p>                 | <p>330</p>  |
| <p><b>MÁSTIL</b></p>                     |  |             |  <p>Figurkk 2.33. Mástil.</p> <p>Fuente:<br/><a href="https://www.syscomcolombia.com">https://www.syscomcolombia.com</a></p>             | <p>4000</p> |

**Nota:** Los equipos cuentan con sus respectivos conectores y demás accesorios, por esta razón no hacen parte de la lista de equipos. Además, cada uno de los respectivos equipos cuentan con diferentes garantías, varían según el fabricante o distribuidor. (Dólares de los Estados Unidos-USD, *United States Dollar*)

En la Tabla 2.5 se presentan el número de equipos y sus precios estimados (Varían con el tiempo) en el transmisor ubicado en Guapi.

*Tabla 215.5.  
Costos de Equipos Torre de Telecom en Guapi.*

| <b>EQUIPOS</b>                               | <b>CANTIDAD DE EQUIPOS</b> | <b>VALOR UNITARIO (USD\$)</b> | <b>VALOR TOTAL (USD\$)</b> |
|----------------------------------------------|----------------------------|-------------------------------|----------------------------|
| TRANSMISOR (Par)                             | 3                          | 4500                          | 13500                      |
| ANTENA DIRECTIVA (32.8 dBi)                  | 3                          | 1900                          | 5700                       |
| PROTECCIÓN CONTRA SOBRETENSIONES ELÉCTRICAS. | 3                          | 100                           | 300                        |
| <b>VALOR TOTAL (USD\$)</b>                   |                            |                               | <b>19500</b>               |

Los equipos de la torre de transmisión en Guapi tienen un costo de USD \$19500.

En la Tabla 2.6, se presentan el número de equipos y sus precios estimados (Varían con el tiempo) en el transmisor ubicado en las Veredas.

*Tabla 216.6.  
Costos de Equipos en las Veredas.*

| <b>EQUIPOS</b>                              | <b>CANTIDAD DE EQUIPOS</b> | <b>VALOR UNITARIO (USD\$)</b> | <b>VALOR TOTAL (USD\$)</b> |
|---------------------------------------------|----------------------------|-------------------------------|----------------------------|
| TRANSMISOR (Par)                            | 2                          | 4500                          | 9000                       |
| ANTENA DIRECTIVA (32.8 dBi)                 | 3                          | 1900                          | 5700                       |
| ANTENA DIRECTIVA (29.5 dBi)                 | 4                          | 250                           | 1000                       |
| PROTECCIÓN CONTRA SOBRETENSIONES ELÉCTRICAS | 7                          | 100                           | 700                        |
| ANTENA OMNIDIRECCIONAL                      | 11                         | 250                           | 2750                       |
| CONMUTADOR                                  | 3                          | 300                           | 900                        |
| ENRUTADOR MALLA                             | 3                          | 500                           | 1500                       |
| PUNTOS DE ACCESO MALLA                      | 8                          | 400                           | 1200                       |
| MÁSTIL                                      | 3                          | 4000                          | 12000                      |
| SISTEMA PUESTA A TIERRA                     | 3                          | 66                            | 198                        |
| <b>VALOR TOTAL (USD\$)</b>                  |                            |                               | <b>34984</b>               |

Los equipos de red de todas las veredas tienen un costo de USD \$34984.

En la Tabla 2.7, se muestra el costo total de los equipos involucrados en la CN. Nota: (Se debe tener presente que todos los precios están sujetos a cambios, ya sea por tiempo o por stock)

Tabla 217.7.  
Total Costos de Equipos de la Red Comunitaria.

| <b>COSTOS CN</b>                             | <b>VALOR TOTAL (USD\$)</b> |
|----------------------------------------------|----------------------------|
| Costos de Equipos Torre de Telecom en Guapi. | 19500                      |
| Costos de Equipos en las Veredas             | 34984                      |
| <b>TOTAL (USD\$)</b>                         | <b>54484</b>               |

Todo el sistema de red tiene un costo de USD \$54484.

Utilizar la banda de 2.4 GHz para conectar con los terminales de los usuarios y la banda de 5.8 GHz para establecer conexiones entre los enrutadores malla es una estrategia efectiva y ampliamente utilizada en el diseño de redes inalámbricas. Cada banda ofrece ventajas específicas que pueden ser aprovechadas para maximizar el desempeño y la eficiencia de la red.

Existen tres componentes esenciales en la instalación y mantenimiento de equipos de telecomunicaciones, que es parte fundamental para el correcto funcionamiento del proyecto: la puesta a tierra, las cajas y protecciones y las protecciones eléctricas. Cada uno de estos elementos cumple un papel crucial para garantizar la seguridad y la funcionalidad óptima del equipo, protegiéndolo contra diversas condiciones adversas y anomalías eléctricas.

**Puesta a tierra:** La puesta a tierra es un componente crucial para garantizar la seguridad eléctrica y proteger los equipos electrónicos de alto costo. Consiste en conectar los componentes eléctricos y electrónicos a la tierra mediante un conductor, proporcionando un camino seguro para la corriente eléctrica en caso de falla o cortocircuito. La puesta a tierra ayuda a proteger los equipos de telecomunicaciones de posibles daños causados por sobretensiones, descargas eléctricas y rayos, además de reducir el riesgo de electrocución para las personas que trabajan con el sistema [89].

**Cajas y protecciones:** Las cajas y protecciones son contenedores diseñados para albergar y proteger dispositivos eléctricos y electrónicos, como dispositivos de telecomunicaciones y sus componentes asociados. Estas cajas pueden ser resistentes al agua, al polvo y a impactos, y protegen los equipos sensibles de los elementos y de posibles daños físicos. Además, las cajas y protecciones pueden ofrecer protección térmica y disipación del calor, lo que es esencial para mantener el funcionamiento adecuado de los equipos electrónicos en diversas condiciones ambientales.

Protecciones eléctricas: Las protecciones eléctricas, como los dispositivos de protección contra sobretensiones, los fusibles y los disyuntores, protegen los equipos de telecomunicaciones de daños causados por sobretensiones, cortocircuitos y otras anomalías eléctricas. Estos dispositivos actúan como "interruptor"s que se activan cuando se detecta una condición eléctrica anormal, desconectando de forma segura el equipo de la fuente de alimentación para evitar daños [89].

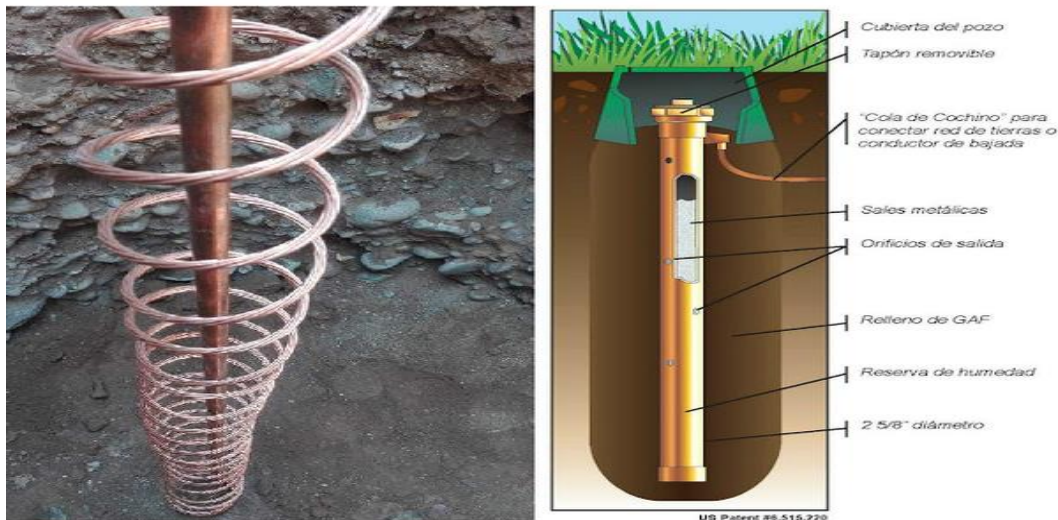


Figura 2.34. Puesta a Tierra.

Fuente: <https://91le.com.ar/>

A continuación, se presentarán los cálculos de los respectivos consumos energéticos de los equipos involucrados.

Para saber el número de paneles y de baterías necesarias para que el sistema se mantenga funcionando las 24 horas del día es necesario hacer cálculos que nos darán la cantidad de equipos a adquirir para tener una fuente de energía constante, además, como se expresó anteriormente una característica para elegir los equipos es una eficiencia aceptable entre el 70% y el 80%, para todos los cálculos se establece una eficiencia del 70% en los equipos. En la Tabla 2.8, se presentan los cálculos de potencia de los equipos ubicados en el Colegio Limones con los objetivos de conocer su consumo total energético de cada equipo involucrado y el número de paneles solares y baterías a utilizar.

Tabla 218.8.  
Equipos Consumos de Energía Sitios de Red Limones.

| EQUIPOS                  | NÚMERO DE EQUIPOS | POTENCIA DE FUNCIONAMIENTO DEL EQUIPO | TOTAL POTENCIA DE FUNCIONAMIENTO |
|--------------------------|-------------------|---------------------------------------|----------------------------------|
| TRANSMISOR               | 3                 | 30 W                                  | 90 W                             |
| ANTENA OMNIDIRECCIONALES | 1                 | 5 W                                   | 5 W                              |

|                                                             |   |      |              |
|-------------------------------------------------------------|---|------|--------------|
| CONMUTADOR                                                  | 1 | 10 W | 10 W         |
| ENRUTADOR MALLA                                             | 1 | 40 W | 40 W         |
| CONTROLADOR O REGULADOR                                     | 1 | 1 W  | 1 W          |
| TOTAL POTENCIA                                              |   |      | 146 W        |
| <b>TOTAL POTENCIA TENIENDO EN CUENTA EFICIENCIA DEL 70%</b> |   |      | <b>209 W</b> |

Para determinar la cantidad necesaria de paneles solares y baterías, es crucial identificar primero el consumo energético requerido diariamente. Este consumo energético diario se calcula considerando la demanda energética por hora y multiplicándola por las 24 horas que conforman un día.

Por ejemplo, si la demanda energética de los equipos es de 209 vatios por hora (W/h), el cálculo sería el siguiente:

$$209 \text{ W} \times 24 \text{ h} = 5016 \text{ W/h}$$

Esto significa que se necesitan 5016 vatios al día para mantener en funcionamiento el sistema en las ubicaciones donde se encuentran los transmisores.

Tabla 219.9.  
Equipos Consumos de Energía Sitios de Red Quiroga Y Juanico.

| EQUIPOS                                                     | NÚMEROS DE EQUIPOS | POTENCIA DE FUNCIONAMIENTO DEL EQUIPO | TOTAL POTENCIA DE FUNCIONAMIENTO |
|-------------------------------------------------------------|--------------------|---------------------------------------|----------------------------------|
| TRANSMISOR                                                  | 2                  | 30 W                                  | 60 W                             |
| ANTENA OMNIDIRECCIONALES                                    | 1                  | 5 W                                   | 5 W                              |
| CONMUTADOR                                                  | 1                  | 10 W                                  | 10 W                             |
| ENRUTADOR MALLA                                             | 1                  | 40 W                                  | 40 W                             |
| CONTROLADOR O REGULADOR                                     | 1                  | 1 W                                   | 1 W                              |
| TOTAL POTENCIA                                              |                    |                                       | 116 W                            |
| <b>TOTAL POTENCIA TENIENDO EN CUENTA EFICIENCIA DEL 70%</b> |                    |                                       | <b>166 W</b>                     |

En la Tabla 2.9 se presentan los cálculos de potencia de los equipos ubicados en la escuela de Quiroga y en la escuela de Juanico, con los objetivos de conocer su consumo total energético de cada equipo involucrado y el número de paneles solares y baterías a utilizar.

Para calcular la cantidad necesaria de los paneles solares y las baterías, primero se debe tener en cuenta el consumo de energía que se requiere por día.

$$166 \text{ W} \times 24 \text{ h} = 3984 \text{ W/h}$$

Esto significa que se necesitan 3984 vatios al día para mantener en funcionamiento el sistema en las ubicaciones donde se encuentran los transmisores.

En la Tabla 2.10, se presentan los cálculos de potencia de los equipos ubicados en el puesto de salud de Quiroga, centro de Quiroga, Quiroga en frente, puesto de salud de Limones, cancha de Limones abajo, centro de Limones, Limones en frente y en frente de Juanico, con los objetivos de conocer su consumo total energético de cada equipo involucrado y el número de paneles solares y baterías a utilizar.

Tabla 220.10.  
Equipos Consumos de Energía Puntos de Acceso.

| EQUIPOS                                                     | NÚMEROS DE EQUIPOS | POTENCIA DE FUNCIONAMIENTO DEL EQUIPO | TOTAL POTENCIA DE FUNCIONAMIENTO |
|-------------------------------------------------------------|--------------------|---------------------------------------|----------------------------------|
| ANTENA OMNIDIRECCIONALES                                    | 1                  | 5 W                                   | 5 W                              |
| PUNTO DE ACCESO MALLA                                       | 1                  | 40 W                                  | 40 W                             |
| CONTROLADOR O REGULADOR                                     | 1                  | 1 W                                   | 1 W                              |
| TOTAL POTENCIA                                              |                    |                                       | 46 W                             |
| <b>TOTAL POTENCIA TENIENDO EN CUENTA EFICIENCIA DEL 70%</b> |                    |                                       | <b>66 W</b>                      |

Se requieren 66 vatios para alimentar un punto de acceso por hora, ahora se realiza el cálculo de cuanto consume en un día.

$$66 \text{ W} \times 24 \text{ h} = 1584 \text{ W/h}$$

Para que el sistema funcione las 24 horas del día Se necesitan 1584 para que el sistema funcione en los lugares donde se encuentran los puntos de acceso.

Para establecer el número de paneles solares se deben ver en sus características su forma de carga que está dada por un valor y en las unidades de  $Wp$  (Vatio pico), hay muchos desde 10  $Wp$ , hasta más de 1000  $Wp$ . Además, saber cuántas son las horas de radiación solar en el año, según los mapas sobre radiación solar mundial, la costa pacífica caucana obtiene entre 5 y 5.5 horas de radiación solar, por ende, se establece que la radiación será equivalente a 5 horas [89].

Tabla 221.11.  
Eficiencia Paneles Solares.

| TIPO DE PANEL SOLAR ( $Wp$ ) | TIPO DE PANEL SOLAR ( $Wp$ ) CON EFICIENCIA DEL 70% |
|------------------------------|-----------------------------------------------------|
| <b>550 <math>Wp</math></b>   | <b>385 <math>Wp</math></b>                          |

Se calcula el número de paneles que se necesitan en los determinados sitios de red:

$$\left(5016 \frac{W}{h} \times \frac{1}{385 Wp}\right) \times \frac{1}{5 h} = 2.6 \approx 3 \text{ Paneles Solares}$$

Se necesitan 3 paneles solares para alimentar el sitio de red *colegio Limones*.

$$\left(3984 \frac{W}{h} \times \frac{1}{385 Wp}\right) \times \frac{1}{5 h} = 2.1 \approx 3 \text{ Paneles Solares}$$

Se necesitan 3 paneles solares para alimentar el sitio de red *escuela Quiroga*.

Se necesitan 3 paneles solares para alimentar el sitio de red *escuela Juanico*.

$$\left(1584 \frac{W}{h} \times \frac{1}{385 Wp}\right) \times \frac{1}{5 h} = 0.8 \approx 1 \text{ Panel Solar}$$

Se necesita 1 panel solar para alimentar los sitios de red *punto de acceso*.

Se escoge el mayor entero, por lo tanto, se necesitan tres paneles solares de 550 *Wp* para los transmisores y los componentes de los sitios de red, es decir, en los lugares donde estén los enrutadores malla y para los puntos de acceso con dos o uno de 550 *Wp*.

Para calcular el número de baterías se necesita saber las características de voltaje, amperaje y el porcentaje de la profundidad de descargar de las baterías, el porcentaje más comercial en las baterías cotizadas es del 60% de profundidad de descarga, las baterías elegidas presentan una característica de 12 V con 250 Ah.

Se toma entre el 60% y el 70% es el tiempo que según el sistema no recibe sol es decir el tiempo que el sistema solo utilice las baterías para este caso se toma el 70% para darle margen al sistema eléctrico ya que en las veredas no se cuenta con otra fuente de sistema eléctrico.

Se calcula la capacidad que tiene la batería al multiplicar el voltaje de esta y su amperaje por hora.

$$12 V \times 250 Ah = 3000 Wh$$

La batería tiene una capacidad de 3000 Wh.

$$3000 Wh \times 0.6 (\text{Profundidad de descarga}) = 1800 Wh$$

La capacidad de la batería para entregarle al sistema, 1.800 Wh.

$$5016 Wh \times 0.7 (\text{PorcentajeUso}) = 3512 Wh$$

Profundidad de descarga: El porcentaje de la capacidad total de la batería a utilizar durante el día.



Porcentaje Uso: El porcentaje de tiempo que las baterías van a entrar en funcionamiento sin ayuda del sol.

$$\frac{3512}{1800} = 1.95 \approx 2 \text{ Baterías}$$

Es la relación entre cantidad de *vatios* que necesito usando solo las baterías y el límite de carga que tengo en las baterías. Dando como resultado el número de baterías que necesito instaladas en el sitio de red, Limones, es decir, el punto colegio Limones.

Ahora, se calcula para los sitios de red de Quiroga y Juanico.

$$3984 \text{ Wh (70\%)} = 2789 \text{ Wh}$$

$$\frac{2789}{1800} = 1.5 \approx 2 \text{ Baterías}$$

En Quiroga y Juanico, se instalarán 2 baterías en cada sitio de red correspondiente. Por otra parte, se calcula el número de baterías necesarias en los puntos aislados (Puntos de enrutadores malla y/o puntos de acceso).

$$1584 \text{ Wh (70\%)} = 1109 \text{ Wh}$$

$$\frac{1109}{1800} = 0.6 \approx 1 \text{ Batería}$$

En los puntos aislados se necesitarán solamente 1 Batería.

Tabla 222.12.  
Tiempo de Carga de Baterías.

| NÚMERO DE PANEL SOLAR<br>550 WP (4A) | NÚMERO DE BATERÍAS<br>(12V/20A) | TIEMPO PARA CARGA (h) |
|--------------------------------------|---------------------------------|-----------------------|
| 3                                    | 2                               | 12                    |
| 6                                    | 2                               | 6                     |
| 8                                    | 2                               | 5                     |

En general, los datos de la Tabla 2.12 ilustran que aumentar el número de paneles solares reduce el tiempo necesario para cargar las baterías. Sin embargo, también sugiere que después de cierto punto, aumentar el número de paneles podría tener menos impacto en la reducción del tiempo de carga, lo que podría ser importante al considerar el costo y el espacio para la instalación de paneles adicionales.

Tabla 223.13.  
Cantidad de Paneles Solares y Baterías.

| UBICACIÓN DEL SISTEMA ELÉCTRICO | POTENCIA CONSUMO TOTAL DEL SISTEMA CON (EFICIENCIA 70 %) | VATIOS DEL SISTEMA PARA AUTONOMÍA DIÁRIA (24 h) | PANEL SOLAR CON (EFICIENCIA DEL 70%) | NÚMERO DE PANELES | NÚMERO DE BATERÍAS (12V/2 <sup>a</sup> 0A) |
|---------------------------------|----------------------------------------------------------|-------------------------------------------------|--------------------------------------|-------------------|--------------------------------------------|
| Colegio Limones                 | 209 W                                                    | 5016 W/h                                        | 385 Wp                               | 6                 | 2                                          |
| Escuela Quiroga                 | 166 W                                                    | 3984 W/h                                        | 385 Wp                               | 6                 | 2                                          |
| Escuela Juanico                 | 166 W                                                    | 3984 W/h                                        | 385 Wp                               | 6                 | 2                                          |
| Puesto de salud Limones         | 66 W                                                     | 1584 W/h                                        | 385 Wp                               | 2                 | 1                                          |
| Centro de Limones               | 66 W                                                     | 1584 W/h                                        | 385 Wp                               | 2                 | 1                                          |
| Limones en frente               | 66 W                                                     | 1584 W/h                                        | 385 Wp                               | 2                 | 1                                          |
| Cancha de Limones abajo         | 66 W                                                     | 1584 W/h                                        | 385 Wp                               | 2                 | 1                                          |
| Puesto de salud Quiroga         | 66 W                                                     | 1584 W/h                                        | 385 Wp                               | 2                 | 1                                          |
| Centro de Quiroga               | 66 W                                                     | 1584 W/h                                        | 385 Wp                               | 2                 | 1                                          |
| Quiroga en frente               | 66 W                                                     | 1584 W/h                                        | 385 Wp                               | 2                 | 1                                          |
| Juanico en frente               | 66 W                                                     | 1584 W/h                                        | 385 Wp                               | 2                 | 1                                          |

**Nota:** Es esencial tener en cuenta una serie de factores adicionales para el correcto dimensionamiento de un sistema de energía solar. Entre estos se incluyen las condiciones climáticas de la región, la ubicación geográfica en términos de latitud y altitud, la orientación e inclinación ideal de los paneles solares para maximizar la captura de luz solar, y el factor inevitable de la degradación de las baterías a lo largo del tiempo. Todos estos elementos tienen un impacto en la eficacia y eficiencia del sistema solar y son fundamentales para asegurar su desempeño óptimo a largo plazo.

En resumen, la **Tabla 2.13** muestra como se ha planeado el uso de energía solar para cubrir las necesidades de energía en estas ubicaciones específicas, tomando en cuenta el consumo de energía total de cada sitio, la autonomía deseada, la eficiencia de los paneles solares y la cantidad de baterías necesarias.

En la Tabla 2.14 se presenta el número de equipos y sus precios estimados (que varían con el tiempo) en los enrutadores de: la escuela Quiroga, colegio Limones y escuela Juanico (Sitios de red).

*Tabla 224.14.  
Costos de Equipos de Sistema Eléctrico por Sitio de Red.*

| <b>EQUIPOS</b>             | <b>CANTIDAD DE EQUIPOS</b> | <b>VALOR UNITARIO (USD\$)</b> | <b>VALOR TOTAL (USD\$)</b> |
|----------------------------|----------------------------|-------------------------------|----------------------------|
| PANELES SOLARES 500 (Wp)   | 6                          | 223                           | 1338                       |
| BATERIAS                   | 2                          | 444                           | 888                        |
| REGULADOR O CONTROLADOR    | 1                          | 80                            | 80                         |
| SISTEMA PUESTA A TIERRA    | 1                          | 66                            | 66                         |
| <b>VALOR TOTAL (USD\$)</b> |                            |                               | <b>2372</b>                |

Se estima que cada sitio de la red (escuela Quiroga, colegio Limones y escuela Juanico) necesitará una inversión de USD \$2372 para garantizar una adecuada fuente de alimentación. Esto suma un total de USD \$7116 que se requerirán para cubrir la necesidad de energía de estos tres sitios de manera integral.

En la Tabla 2.15 se presentan el número de equipos y sus precios estimados (varían con el tiempo) en los sitios de red, escuela Quiroga, colegio Limones y escuela Juanico.

*Tabla 225.15.  
Costos de Equipos de Sistema Eléctrico por Punto de Acceso.*

| <b>EQUIPOS</b>             | <b>CANTIDAD DE EQUIPOS</b> | <b>VALOR UNITARIO (USD\$)</b> | <b>VALOR TOTAL (USD\$)</b> |
|----------------------------|----------------------------|-------------------------------|----------------------------|
| PANELES SOLARES 500 (Wp)   | 2                          | 223                           | 446                        |
| BATERIAS                   | 1                          | 444                           | 444                        |
| REGULADOR O CONTROLADOR    | 1                          | 80                            | 80                         |
| SISTEMA PUESTA A TIERRA    | 1                          | 66                            | 66                         |
| <b>VALOR TOTAL (USD\$)</b> |                            |                               | <b>1036</b>                |

El costo de los “mal llamados” puntos aislados (Puntos de acceso a distancia considerable) es de USD \$1036. Es decir, que existen 8 puntos de acceso estimados para la correcta ejecución de este trabajo de grado, planteados anteriormente, por lo tanto, los USD \$1036 se multiplican por los 8 puntos de acceso estimados en el diseño obteniendo un costo total para los puntos de acceso igual a USD \$8288.

Tabla 226.16.  
Costo Mano de Obra.

| PERSONAL                   | CANTIDAD | VIÁTICOS (USD\$) | SUELDO (USD\$) | VALOR (USD\$) |
|----------------------------|----------|------------------|----------------|---------------|
| INGENIERO                  | 1        | 114              | 727            | 841           |
| TÉCNICO                    | 1        | 68               | 410            | 478           |
| OBRERO                     | 4        |                  | 182            | 728           |
| <b>VALOR TOTAL (USD\$)</b> |          |                  |                | <b>2047</b>   |

En la Tabla 2.16 se calcula el costo de la instalación de los equipos de telecomunicaciones de la red comunitaria, el costo es de USD \$2047.

Tabla 227.17.  
Costo Transporte de Materiales.

| TRAYECTO DE TRANSPORTE     | MEDIO DE TRANSPORTE  | TIEMPO DE TRANSPORTE | VALOR (USD\$) |
|----------------------------|----------------------|----------------------|---------------|
| BOGOTÁ-BUENAVENTURA        | Camión de transporte | 2 días               | 89            |
| BUENAVENTURA-GUAPI         | Barco                | 1 día                | 200           |
| GUAPI-VEREDAS              | Lancha               | 3 horas              | 134           |
| <b>VALOR TOTAL (USD\$)</b> |                      |                      | <b>423</b>    |

En la Tabla 2.17 se calcula el costo del transporte de los equipos hacia los sitios de red, el costo es de USD \$423.

Para la implementación del proyecto se debe tener en cuenta que se necesita adecuar algunas de las zonas donde se instalaran los equipos, tener buenos medios de comunicación entre los integrantes de la implementación, además de imprevistos etc. Entre las adecuaciones más importantes están: podar las zonas verdes donde se instalarán los sistemas fotovoltaicos, también la construcción de algunas casetas o cajas de protección para estos sistemas en la siguiente tabla se presenta el costo de las adecuaciones y construcciones. Estos cálculos se muestran en la Tabla 2.18, que se presenta a continuación:

Tabla 228.18.  
Costo de Construcciones y Adecuaciones.

| NOMBRE DE ACTIVIDAD        | CANTIDAD | TIEMPO POR ACTIVIDAD | COSTO DE ACTIVIDAD (USD\$) | VALOR (USD\$) |
|----------------------------|----------|----------------------|----------------------------|---------------|
| PODAR                      | 8        | 1 hora               | 11                         | 88            |
| CONSTRUCCIÓN DE CASSETAS   | 6        | 3 días               | 88                         | 528           |
| MATERIALES PARA CASSETAS   | 6        |                      | 200                        | 1200          |
| <b>VALOR TOTAL (USD\$)</b> |          |                      |                            | <b>1816</b>   |

A continuación, en la Tabla 2.19 se presenta el costo del alquiler del servicio de internet que va desde Guapi y posteriormente será distribuido en las veredas:

Tabla 229.19.  
Costo Alquiler del Servicio de Internet.

| NOMBRE DEL SERVICIO                              | VALOR UNITARIO AL AÑO (USD\$) | CANTIDAD | VALOR TOTAL (USD\$) |
|--------------------------------------------------|-------------------------------|----------|---------------------|
| SERVICIO DE INTERNET DESDE EL MUNICIPIO DE GUAPI | 720                           | 3        | 2160                |
| ALQUILER DE LUGAR EN LA TORRE EN GUAPI           | 6000                          | 3        | 18000               |
| <b>TOTAL</b>                                     |                               |          | <b>20160</b>        |

Tabla 230.20.  
Costo de la Red Comunitaria.

| NOMBRE DE SISTEMA                                       | VALOR UNITARIO (USD\$) | CANTIDAD | VALOR TOTAL (USD\$) |
|---------------------------------------------------------|------------------------|----------|---------------------|
| COSTOS EQUIPOS RADIO DE TORRE TELECOM GUAPI             | 19500                  | 1        | 19500               |
| COSTOS EQUIPOS RADIO EN LAS VEREDAS (LAS 3)             | 34984                  | 3        | 104952              |
| COSTOS DE EQUIPOS DE SISTEMA ELÉCTRICO POR SITIO DE RED | 2372                   | 3        | 7116                |
| COSTOS EQUIPOS SISTEMA ELÉCTRICO POR PUNTOS DE ACCESO   | 1036                   | 8        | 8288                |
| COSTOS DE MANO DE OBRA                                  | 2047                   | 1        | 2047                |
| COSTOS DE TRANSPORTE DE MATERIALES                      | 423                    | 1        | 423                 |
| COSTOS DE CONSTRUCCIONES Y ADECUACIONES                 | 1816                   | 1        | 1816                |
| COSTOS ALQUILER TORRE Y SERVICIO DE INTERNET            | 20160                  | 1        | 20160               |
| <b>SUBTOTAL</b>                                         |                        |          | <b>164302</b>       |
| IMPREVISTOS (10% del subtotal) (USD\$)                  |                        |          | 16431               |
| <b>COSTO TOTAL DE LA RED COMUNITARIA (USD\$)</b>        |                        |          | <b>180733</b>       |

Sumando todos estos costos, **se obtiene** un subtotal de USD \$164302. A esto se le añade un valor adicional de USD \$16431 para imprevistos, que corresponde al 10% del subtotal. Esto cubre cualquier costo no planificado o no previsto que pueda surgir durante la implementación del proyecto.

Finalmente, el costo total estimado para la implementación de la Red Comunitaria es de USD \$**180733**.



## CAPITULO 3. SIMULACIONES Y ANALISIS DE RESULTADOS

Se analizan los resultados obtenidos de las herramientas de software utilizadas para establecer los radioenlaces y las zonas de cobertura, de acuerdo con el diseño planteado en el Capítulo 2.

Para esta parte, se emplearon herramientas como **MATLAB**, Radio-Mobile y LinkPlanner, siendo este último en mención, un software recomendado por profesionales que trabajan en la implementación de radioenlaces en diferentes regiones del país y el mundo. El software se utilizó con el propósito de familiarizarse con los equipos, ya que en esta herramienta solo se puede simular radioenlaces con equipos existentes.

### 3.1. ANÁLISIS DE RESULTADOS

Las simulaciones con las herramientas de software se llevaron a cabo siguiendo el diseño establecido en el segundo capítulo, por lo tanto, primero, se establece un radioenlace desde la cabecera municipal de Guapi, con las veredas de Quiroga, Limones y Juanico. Todas las imágenes de las simulaciones estas se encuentran en la carpeta Imágenes de simulaciones en el anexo del trabajo de grado.

Estos radioenlaces punto a punto se establecen utilizando tecnología Wi-Fi de 5.8 GHz. Posteriormente, las veredas se conectarán entre sí mediante otros radioenlaces en 5.8 GHz, y los enrutadores malla se encargarán de conectar todos los puntos de acceso establecidos en las veredas. Todos estos radioenlaces emplearán la banda de frecuencia de 5.8 GHz, mientras que los usuarios se conectarán a la CN mediante la banda de 2.4 GHz. A continuación, en la Tabla 3.1 se plantean los parámetros utilizados para las simulaciones.

#### 3.1.1. Parámetros de las Simulaciones.

Tabla 331.1.  
Parámetros de la Red Comunitaria.

| PARÁMETROS                          | MATLAB & RADIO MOBILE | LINKPLANNER       |
|-------------------------------------|-----------------------|-------------------|
| FRECUENCIA DE TRANSMISIÓN           | 5.8 GHz               | 5.8 GHz           |
| ANCHO DE BANDA POR CANAL            | 40 MHz                | 40 MHz            |
| POTENCIA DE TRANSMISIÓN             | 1 W                   | 0.5 W             |
| ALTURA TORRE DE TRANSMISIÓN (GUAPI) | 40 m                  | 40 m              |
| ALTURA TORRE DE RECEPCIÓN (VEREDAS) | 15 m a 20 m           | 20 m              |
| DISTANCIAS                          | GUAPI-QUIROGA         | 9.53 km/8,8 km    |
|                                     | GUAPI-LIMONES         | 11.52 km/10,37 km |
|                                     | GUAPI-JUANICO         | 11.91 km/10,91 km |

|                                                  |                 |          |          |
|--------------------------------------------------|-----------------|----------|----------|
|                                                  | QUIROGA-LIMONES | 1.93 km  | 1.83 km  |
|                                                  | LIMONES-JUANICO | 1.1 km   | 0.85 km  |
| SENSIBILIDAD DE LOS TRANSMISORES EN LA RECEPCIÓN |                 | -100 dBm | -100 dBm |
| SENSIBILIDAD ENRUTADORES                         |                 | -90 dBm  | -90 dBm  |
| GANANCIA DE ANTENAS DIRECTIVAS                   |                 | 32 dBi   | 32 dBi   |
| GANANCIA DE ANTENA ONMIDIRECCIONAL               |                 | 15 dBi   | 15 dBi   |

(Las distancias se midieron desde la torre de telecomunicaciones de Guapi y cada uno de los sitios de red en las veredas).

### 3.1.2. Análisis de Cobertura.

La Tabla 3.2 muestra los resultados que se obtuvieron al simular los radioenlaces, se recuerda que un radioenlace es aquel que tiene un enlace de subida y otro de bajada.

Tabla 332.2.  
Resultados Obtenidos de las Simulaciones.

| SOFTWARE    | CARACTERÍSTICAS DEL RADIOENLACE             | GUAPI-QUIROGA    | GUAPI-LIMONES    | GUAPI-JUANICO    |
|-------------|---------------------------------------------|------------------|------------------|------------------|
| RADIOMOBILE | DISTANCIA                                   | 9.53 km          | 11.52 km         | 11.91 km         |
|             | NIVEL DE RECEPCIÓN                          | -48.7 dBm        | -39.2 dBm        | 61.3 dBm         |
|             | PÉRDIDA TOTAL DE TRAYECTORIA                | 142.2 dB         | 132.7 dB         | 154.8 dB         |
| MATLAB      | DISTANCIA                                   | 8.8 km           | 10.37 km         | 10.91            |
|             | POTENCIA DE RECEPCIÓN                       | -56.4 dBm        | -50.4 dBm        | -61.3 dBm        |
| LINKPLANNER | DISTANCIA                                   | 8.85 km          | 10.29 km         | 10.57 km         |
|             | POTENCIA DE RECEPCIÓN                       | -40 dBm +/- 5 dB | -41 dBm +/- 5 dB | -44 dBm +/- 5 dB |
|             | VELOCIDAD DE TRANSMISIÓN DE DATOS (UL + DL) | 298.64 Mbps      | 295.55 Mbps      | 295.53 Mbps      |
|             | PÉRDIDA TOTAL DE TRAYECTO                   | 126.76 dB        | 128.09 dB        | 128.28 dB        |

Ahora, se muestran resultados gráficos de los radioenlaces que se encuentran en Guapi y se quiere llegar a conectar con las veredas en cuestión.





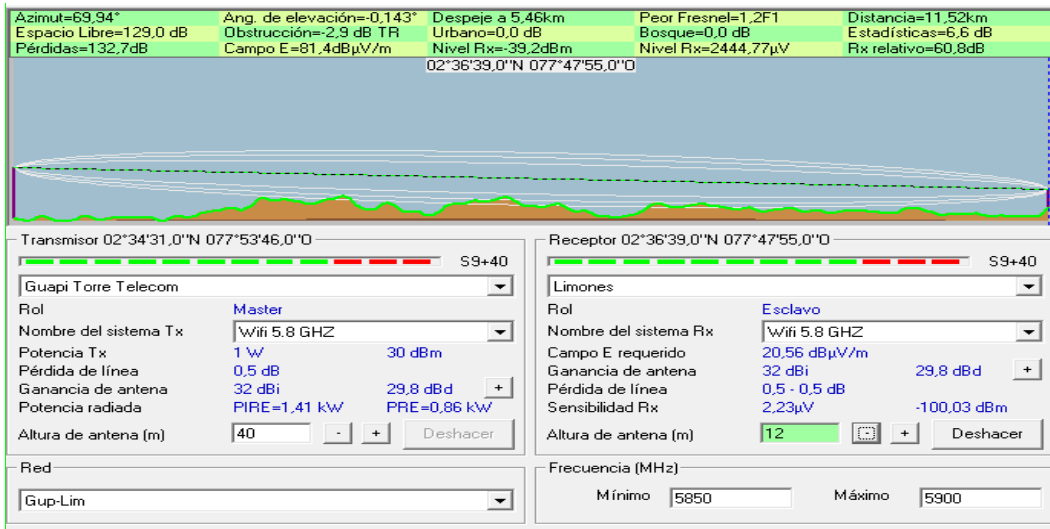
Figurmm 3.1. Radioenlaces Guapi-Veredas.

Fuente: RadioMobile

A continuación, se presentan algunas imágenes de los resultados obtenidos en RadioMobile.

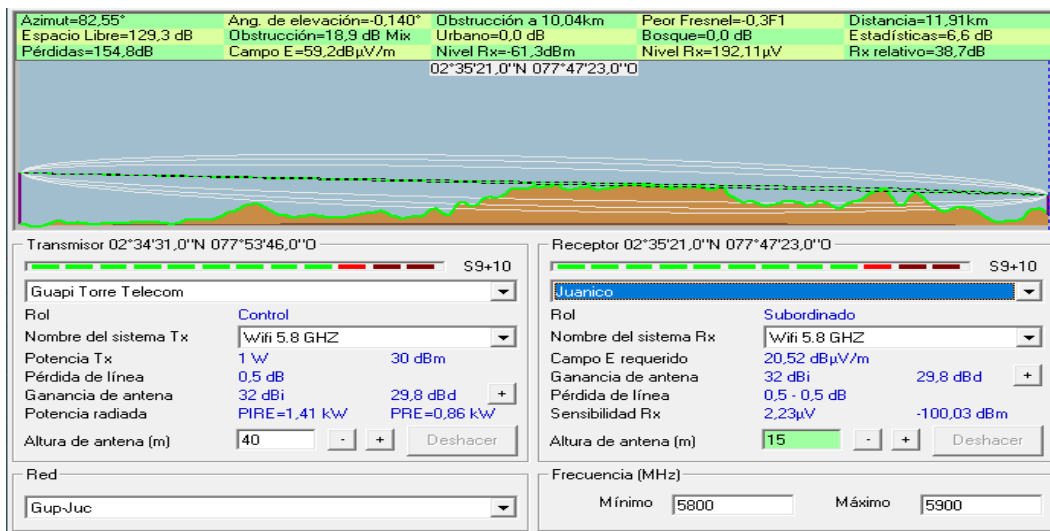
En Figura 3.1 se observa que los radioenlaces son viables para resolver el problema de conectividad en las veredas objetivo del trabajo de grado. En RadioMobile se considera que los radioenlaces son viables si se despliegan en color verde. Si el radioenlace es de color rojo, significa que no hay conexión o la señal es insuficiente. En el caso de la Figura 3.1 los radioenlaces entre Guapi y cada una de las veredas son viables, lo que indica que sí es posible conectarse entre sí mediante radioenlaces a 5.8 GHz.

En la Figura 3.2 y la Figura 3.3 se observan los resultados de los radioenlaces desde Guapi-Veredas, junto con sus respectivas características de los resultados. Lo más importante es que se puede constatar la ausencia de obstrucciones y que el nivel de recepción es muy bueno, con -39.2 dBm, -48.7 dBm y -61.3 dBm en Limones, Quiroga y Juanico respectivamente. En Juanico se presenta una leve obstrucción que hace que el nivel de señal se degrade con respecto a los radioenlaces de las otras veredas.



Figurnn 3.2. Radioenlace Guapi-Limones.

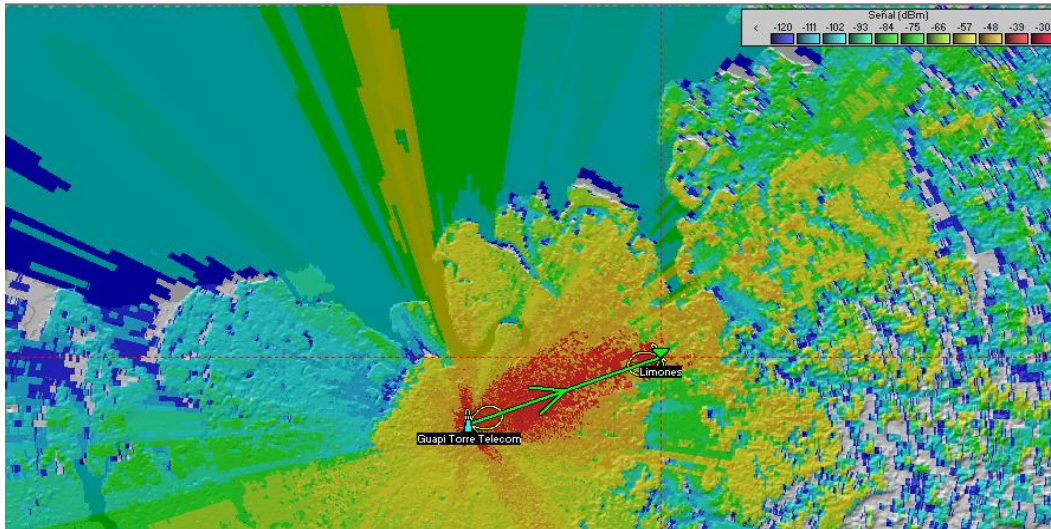
Fuente: RadioMobile



Figuroo 3.3. Radioenlace Guapi-Juanico.

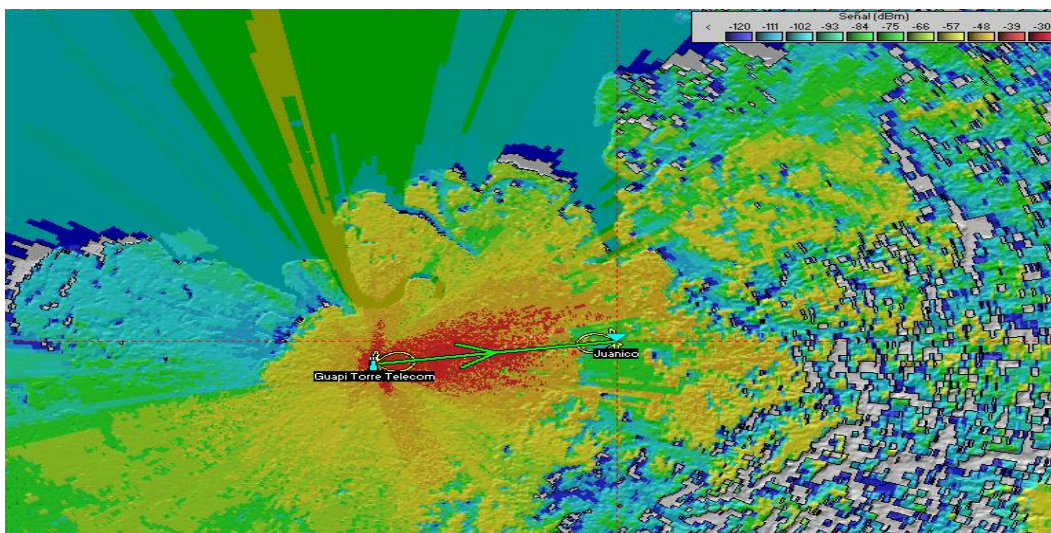
Fuente: RadioMobile

En Figura 3.4 y la Figura 3.5 se **observan** que el receptor en las veredas Quiroga y Limones se encuentra en la zona roja de la figura, y esta zona es donde se presentan los mejores niveles de recepción. Esto es importante, ya que se logra que el receptor reciba los mayores niveles de energía. De esta forma se garantiza que los receptores **presenten adecuados** niveles de recepción de la potencia transmitida, esto garantiza excelentes condiciones del canal y así lograr altas velocidades de transmisión de datos, mediante esquemas de modulación de alto nivel y técnicas de codificación de canal con baja redundancia (mayor eficiencia espectral). En la vereda de Juanico el receptor se encuentra en la zona amarilla que también es **bastante buena (-48 dBm)**.



Figurpp 3.4. Mapa del Radioenlace de Guapi-Limonos.

Fuente: RadioMobile



Figurqq 3.5. Mapa del Radioenlace de Guapi-Juanico.

Fuente: RadioMobile

Ahora, se presentan algunas imágenes de los resultados obtenidos en **MATLAB** los otros resultados estarán en el documento anexo.

En Figura 3.6 y la Figura 3.7 se puede observar los resultados de los radioenlaces desde Guapi-Veredas, junto con sus respectivas características de los resultados. Lo más importante es que se puede constatar la ausencia de obstrucciones y que el nivel de recepción es muy bueno con niveles de  $-50$  dBm para las veredas de Limones y Quiroga y un menor nivel de recepción de potencia en Juanico con un  $-62$  dBm, estos niveles son muy buenos y se aprecia que la conexión se establece entre los puntos.



Figurr 3.6. Radioenlace Guapi-Limones.

Fuente: MATLAB



Figurss 3.7. Radioenlace Guapi-Juanico.

Fuente: MATLAB

En Figura 3.8 y la Figura 3.9 se pueden observar las simulaciones realizadas con los equipos de enrutamiento en malla. Estos equipos presentan un arreglo de antenas omnidireccionales con una ganancia de 15 dBi. El fabricante sugiere que estos equipos proporcionan conexiones estables y seguras en las áreas donde las recepciones de señales son mayores a los -80 dBm o dentro de un radio de 1 km. Además, mantienen las velocidades de transmisión de datos establecidas en las configuraciones de estos enrutadores de malla.

La potencia de transmisión es de 500 mW, un valor máximo que caracteriza a los equipos considerados de excelente calidad.

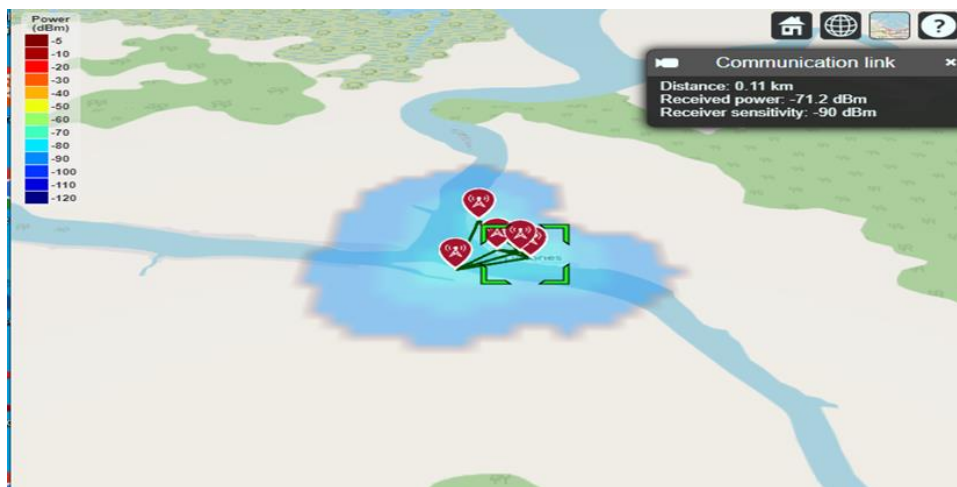
Se puede apreciar en la Figura 3.8, la cual representa la simulación en la vereda de Limones, que las coberturas simuladas superan las expectativas y se ajustan a las planteadas en el diseño original. Es notable que el Enrutador principal puede brindar cobertura al nodo malla más alejado, alcanzando niveles de -75 dBm.



Figurtt 3.8. Mapa de Cobertura del Enrutador Limones.

Fuente: MATLAB

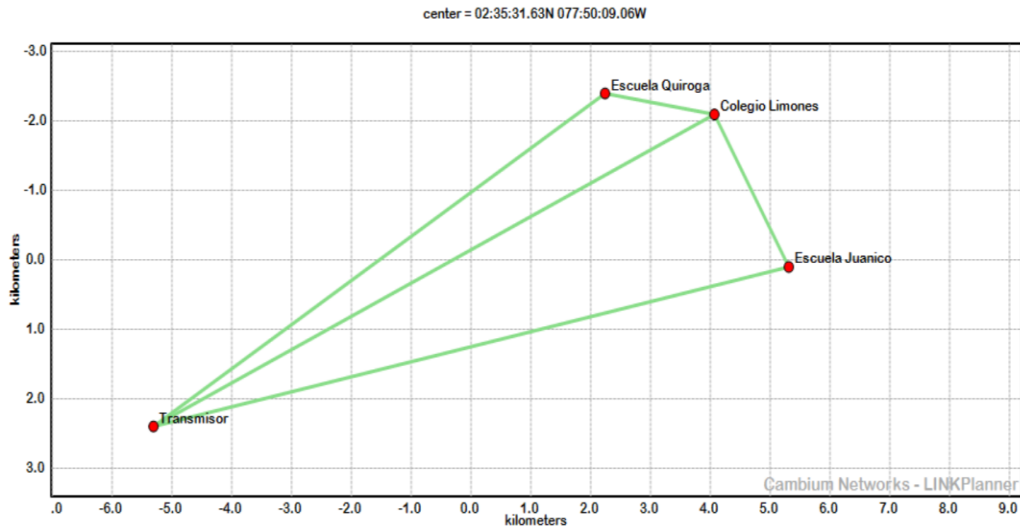
En la Figura 3.9 se aprecia la cobertura con todos los enrutadores y puntos de acceso establecidos en las veredas, se puede ver que la cobertura es mucho mayor y en los lugares más alejados la recepción mejora y es de -72 dBm.



Figuruu 3.9. Mapa de Cobertura de Enrutadores y Puntos de Acceso Limones.

Fuente: MATLAB

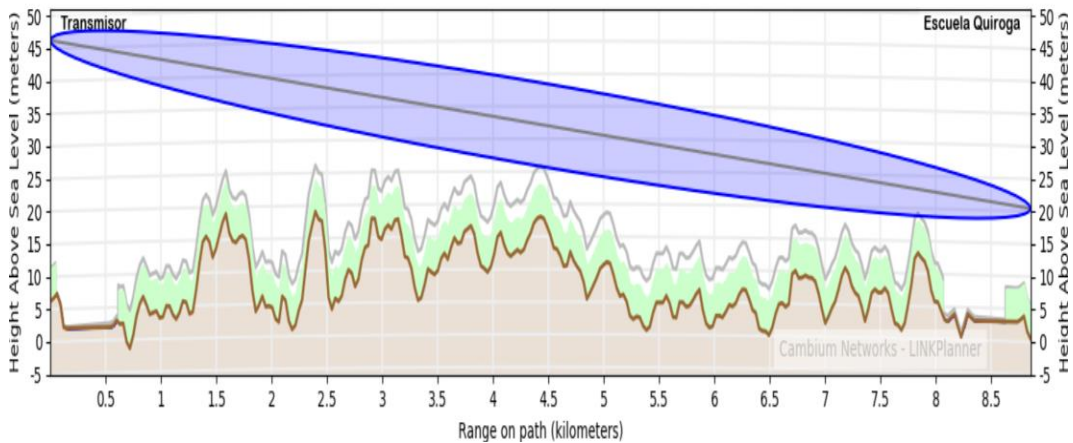
En seguida, se presentan algunas imágenes de los resultados obtenidos en [LinkPlanner](#).



Figurvv 3.10. Radioenlaces Redes Comunitarias-LinkPlanner.

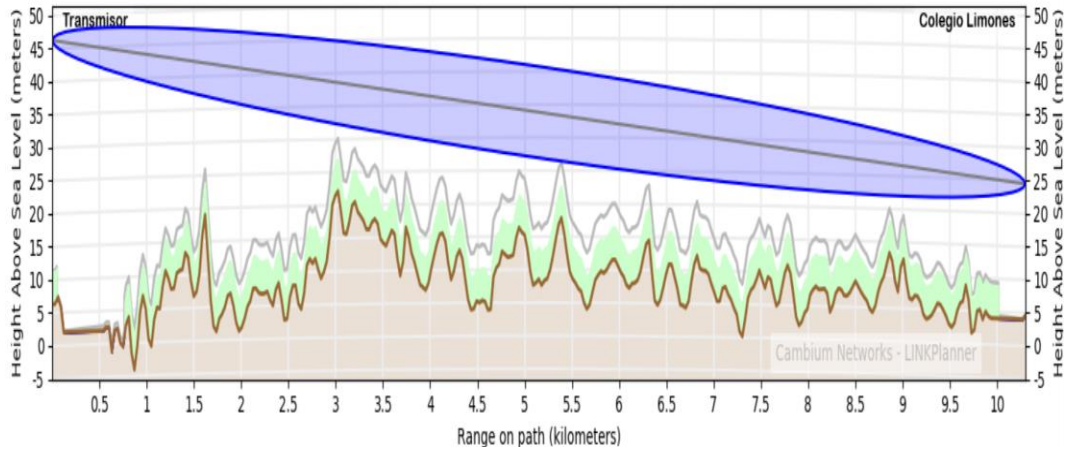
Fuente: LinkPlanner

En la Figura 3.10 se presentan los tres radioenlaces independientes que van desde la torre de telecomunicaciones ubicada en la cabecera municipal de Guapi hasta cada una de las veredas, así mismo, los acompañan los radioenlaces que van entre las veredas, es decir, Quiroga-Limones y Limones-Juanico, esto se hace para aumentar la disponibilidad de la red. Los puntos rojos, simbolizan los sitios de red y las líneas verdes indica que el enlace es viable.



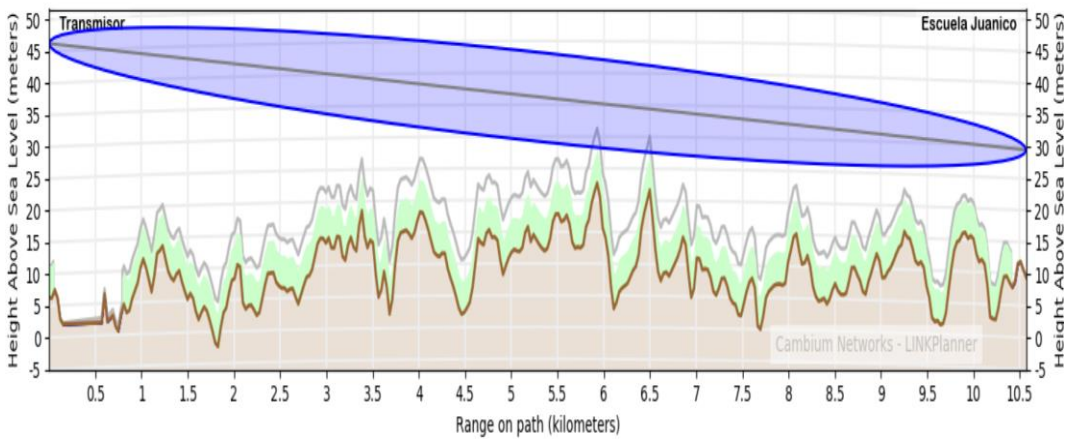
Figurww 3.11. Perfil del Radioenlace Transmisor-Quiroga.

Fuente: LinkPlanner



Figurxx 3.12. Perfil del Radioenlace Transmisor-Limones.

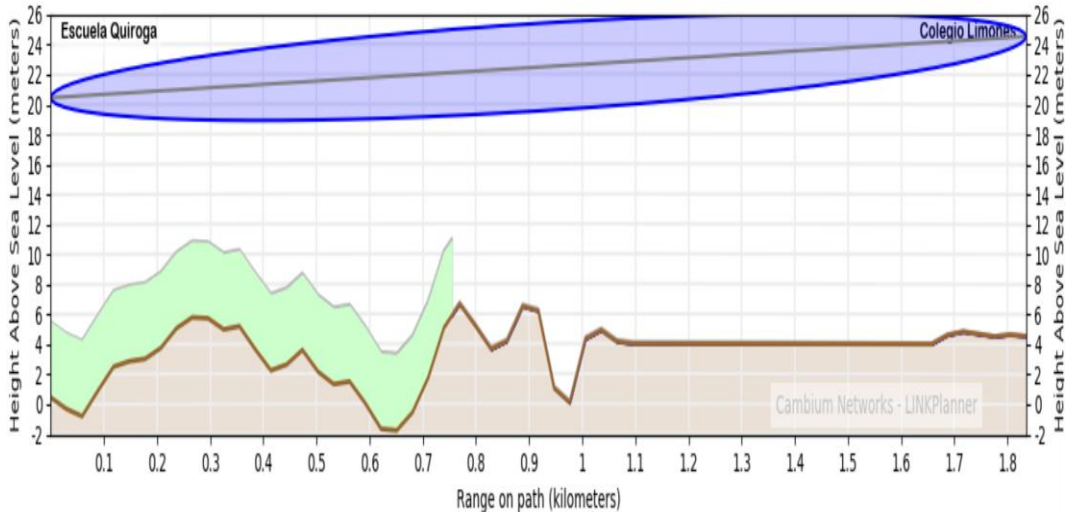
Fuente: LinkPlanner



Figuryy 3.13. Perfil del Radioenlace Transmisor-Juanico.

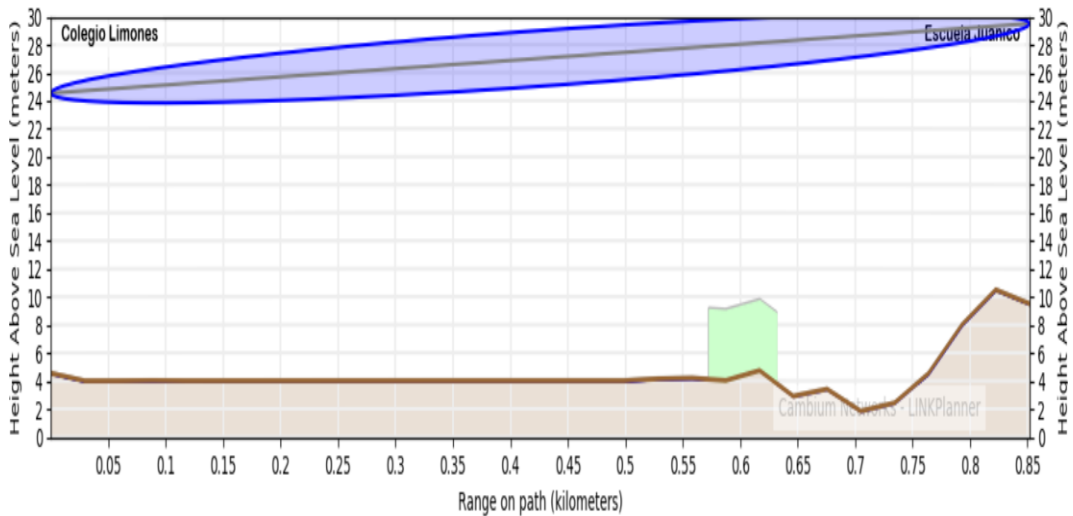
Fuente: LinkPlanner

En la Figura 3.11, la Figura 3.12 y la Figura 3.13 se muestran los perfiles de los radioenlaces que van desde Guapi a cada uno de los sitios de interés en las veredas o sitios de red. La importancia de estos, son que se garantiza que existe línea de vista en cada uno de los radioenlaces y muestran el perfil geográfico acompañado de la vegetación estimada en la zona.



Figurzz 3.14. Perfil del Radioenlace Quiroga-Limones.

Fuente: LinkPlanner



Figuraa 3.15. Perfil del Radioenlace Limones-Juanico.

Fuente: LinkPlanner

En la Figura 3.14 y la Figura 3.15 presentan los perfiles de los radioenlaces entre las veredas, se puede observar que existe línea de vista en ambos casos, la geografía del terreno y la distancia que separa los sitios de red.

Tabla 333.3.  
Resultados Obtenidos en LinkPlanner.

| PARÁMETROS            | GUAPI-QUIROGA     | GUAPI-LIMONES    | GUAPI-JUANICO    | QUIROGA-LIMONES  | LIMONES-JUANICO  |
|-----------------------|-------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|
| POTENCIA DE RECEPCIÓN | -40 dBm +/- 5 dBm | -41 dBm +/- 5 dB | -44 dBm +/- 5 dB | -33 dBm +/- 5 dB | -30 dBm +/- 5 dB |



|                                                 |             |             |             |             |             |
|-------------------------------------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| VELOCIDAD TRANSMISIÓN DE DATOS ENLACE DE SUBIDA | 70.09 Mbps  | 67.01 Mbps  | 67 Mbps     | 149.32 Mbps | 149.32 Mbps |
| VELOCIDAD TRANSMISIÓN DE DATOS ENLACE DE BAJADA | 228.55 Mbps | 228.53 Mbps | 228.52 Mbps | 149.32 Mbps | 152.37 Mbps |
| PÉRDIDA TOTAL DE TRAYECTORIA                    | 126.76 dB   | 128.09 dB   | 128.28 dB   | 113.01 dB   | 106.33 dB   |

En la Tabla 3.3 se presentan de manera detallada los resultados obtenidos para cada uno de los radioenlaces. La "potencia de recepción" se refiere al nivel de señal que se prevé recibir en un receptor determinado. Por otro lado, el "enlace de subida" está asociado a la velocidad de transmisión de datos de los enlaces que van desde las distintas veredas **hacia el proveedor de internet**, mientras que el "enlace de bajada" se refiere a la velocidad de transmisión de datos en los enlaces del proveedor de internet hacia cada una de las veredas.

La "pérdida total de trayectoria" hace alusión a la disminución completa en la potencia de la señal mientras esta se propaga desde el punto de transmisión hasta el receptor. Un ejemplo de ello puede ser el trayecto Guapi-Quiroga. En los radioenlaces que unen Guapi con las distintas veredas, se pueden observar ciertos patrones. Por ejemplo, en las potencias de recepción, el dato más destacable corresponde al enlace Guapi-Juanico, ya que presenta el nivel de potencia más bajo. En lo que respecta a las velocidades de transmisión de datos, se puede notar que estas son muy similares, rondando los 67 Mbps (en promedio) para el enlace de subida, y los 228 Mbps para el enlace de bajada. Esto indica que cada radioenlace mantiene características similares a pesar de ser sistemas independientes. Al analizar los márgenes de ganancia, se concluye que el radioenlace Guapi-Quiroga tiene la capacidad de soportar una pérdida de señal mayor que sus homólogos.

En cuanto a los radioenlaces entre las diferentes veredas, se destaca un aspecto fundamental, y es que, por diseño del sistema, las velocidades de transmisión de datos ya sean de subida o de bajada, deben ser muy similares, si no idénticas. Sin embargo, se ha observado que el enlace de bajada tiende a ser ligeramente mayor al de subida.

Tabla 334.4.  
Resultados de Disponibilidad y Velocidad de Transmisión de Datos.

| RADIOENLACE     | ENLACE | DISPONIBILIDAD |          | CAPACIDAD |          | TIEMPO NO DISPONIBLE POR AÑO |                   |
|-----------------|--------|----------------|----------|-----------|----------|------------------------------|-------------------|
|                 |        | MAYOR          | MENOR    | MAYOR     | MENOR    | MAYOR                        | MENOR             |
| GUAPI-QUIROGA   | SUBIDA | 100.0000%      | 99.9487% | 18 Mbps   | 70 Mbps  | 3 s                          | 4.5 h             |
|                 | BAJADA | 100.0000%      | 99.9821% | 104 Mbps  | 229 Mbps | 3 s                          | 1.6 h             |
| GUAPI-LIMONES   | SUBIDA | 100.0000%      | 99.5582% | 15 Mbps   | 67 Mbps  | 3 s                          | 38.4 h            |
|                 | BAJADA | 100.0000%      | 99.9080% | 52 Mbps   | 229 Mbps | 3 s                          | 8.1 h             |
| GUAPI-JUANICO   | SUBIDA | 100.0000%      | 99.3546% | 3 Mbps    | 67 Mbps  | 3 s                          | 57.6 h (2.4 días) |
|                 | BAJADA | 100.0000%      | 99.8673% | 15 Mbps   | 229 Mbps | 3 s                          | 11.6 h            |
| QUIROGA-LIMONES | SUBIDA | 100.0000%      | 99.9995% | 76 Mbps   | 149 Mbps | 3 s                          | 2.6 min           |
|                 | BAJADA | 100.0000%      | 99.9995% | 76 Mbps   | 149 Mbps | 3 s                          | 2.5 min           |
| LIMONES-JUANICO | SUBIDA | 100.0000%      | 99.9995% | 76 Mbps   | 149 Mbps | 3 s                          | 2.4 min           |
|                 | BAJADA | 100.0000%      | 99.9995% | 76 Mbps   | 152 Mbps | 3 s                          | 2.4 min           |

En la Tabla 3.4. se muestra los enlaces de Quiroga-Limones y Limones-Juanico que tienen la mayor disponibilidad (99.9995% a 100%) y el menor tiempo de inactividad anual (alrededor de 2.5 minutos), lo que indica una alta confiabilidad y eficiencia. Guapi-Juanico presenta la menor disponibilidad (99.3546% a 100% para la subida y 99.8673% a 100% para la bajada) y el mayor tiempo de inactividad anual (hasta 57.6 horas o 2.4 días para la subida), lo que sugiere posibles problemas de fiabilidad con este enlace.

Guapi-Quiroga, Guapi-Limones y Guapi-Juanico tienen las mayores capacidades de bajada (hasta 229 Mbps), lo que indica un alto desempeño potencial para la transmisión de datos en enlace descendente. Guapi-Juanico tiene la capacidad de subida más baja en su punto más bajo (3 Mbps), lo que podría limitar su eficacia en situaciones de alta demanda de datos.

Estos equipos para establecer radioenlaces cuentan con una particularidad, tienen la capacidad de utilizar el tipo de enlace "2+0" (Incluido en el costo de los equipos) es decir, dos canales en paralelo para mejorar la capacidad y/o la fiabilidad de un enlace de radio. A continuación, se presenta la Tabla 3.5, que muestra los resultados que obtienen al realizar este cambio de parámetros.

Tabla 335.5.  
Resultados Obtenidos en LinkPlanner con 2+0 Link.

| PARÁMETROS                                      | GUAPI-QUIROGA     | GUAPI-LIMONES    | GUAPI-JUANICO    | QUIROGA-LIMONES  | LIMONES-JUANICO  |
|-------------------------------------------------|-------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|
| POTENCIA DE RECEPCIÓN                           | -40 dBm +/- 5 dBm | -41 dBm +/- 5 dB | -44 dBm +/- 5 dB | -33 dBm +/- 5 dB | -30 dBm +/- 5 dB |
| VELOCIDAD TRANSMISIÓN DE DATOS ENLACE DE SUBIDA | 140.18 Mbps       | 135.49 Mbps      | 135.27 Mbps      | 298.16 Mbps      | 298.16 Mbps      |
| VELOCIDAD TRANSMISIÓN DE DATOS ENLACE DE BAJADA | 457.11 Mbps       | 451.73 Mbps      | 451.63 Mbps      | 298.16 Mbps      | 298.16 Mbps      |
| PÉRDIDA TOTAL DE TRAYECTORIA                    | 126.76 dB         | 128.09 dB        | 128.28 dB        | 113.01 dB        | 106.33 dB        |

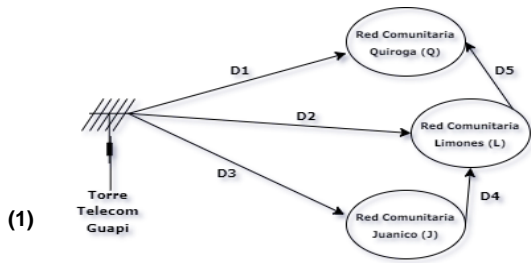
Potencia de Recepción: Limones-Juanico presenta la mayor potencia de recepción con -30 dBm +/- 5 dB, lo que podría indicar un mejor desempeño términos de calidad de la señal. Por otro lado, Guapi-Juanico tiene la menor potencia de recepción con -44 dBm +/- 5 dB, lo cual puede implicar una menor calidad de la señal en comparación con los otros enlaces.

Velocidad de transmisión: Guapi-Quiroga tiene la velocidad de transmisión de subida más alta con 140.18 Mbps, lo que podría resultar en una mejor velocidad de carga de datos. En cuanto a la velocidad de transmisión de datos en el enlace de bajada, Guapi-Quiroga también lidera con 457.11 Mbps, lo que puede indicar una mejor velocidad de descarga de datos. Quiroga-Limones y Limones-Juanico tienen velocidades de transmisión de datos de subida y bajada idénticas, lo que podría indicar una configuración simétrica de su enlace.

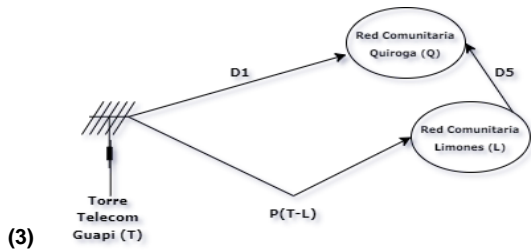
Pérdida Total de Trayectoria: La menor pérdida total de trayectoria se encuentra en Limones-Juanico (106.33 dB), lo que podría significar una mejor eficiencia de la señal durante su propagación. Por otro lado, Guapi-Juanico presenta la mayor pérdida total de trayectoria con 128.28 dB, lo que puede sugerir una mayor degradación de la señal durante su propagación en comparación con los otros enlaces.

*Nota:* Las velocidades de transmisión de datos y demás, que se tendrán en cuenta para las siguientes fases de distribución serán los datos de la Tabla 3.3.

Ahora, se calcula las disponibilidades en cada una de las veredas, teniendo en cuenta la redundancia.

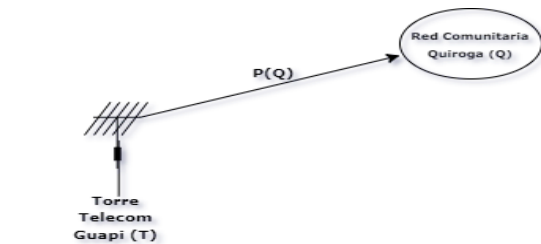


Se calcula la disponibilidad que va a tener el punto Q, es decir P(Q).



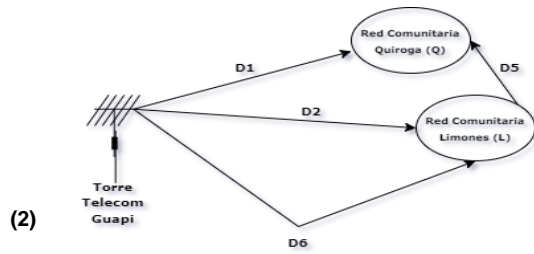
Se calcula P(T-L), que es la probabilidad en paralelo entre P(D<sub>2</sub>) y P(D<sub>6</sub>).

$$P(T-L) = 1 - P(\sim T-L) \\ = 1 - ((1 - P(D_2)) * (1 - P(D_6)))$$



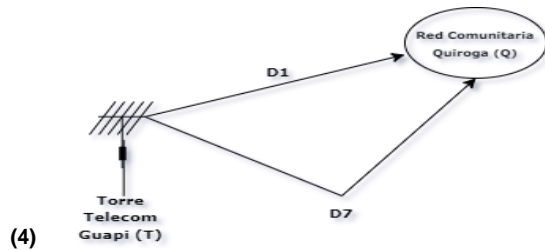
Se calcula P(Q), que es la probabilidad en paralelo entre P(D<sub>1</sub>) y P(D<sub>7</sub>).

$$P(Q) = 1 - P(\sim Q) \\ = 1 - ((1 - P(D_1)) * (1 - P(D_7)))$$



Luego, se calcula P(D<sub>6</sub>) que es la probabilidad en serie entre P(D<sub>3</sub>) y P(D<sub>4</sub>).

$$P(D_6) = P(D_3 \cap D_4) = P(D_3) * P(D_4)$$



Se calcula P(D<sub>7</sub>), que es la probabilidad en paralelo entre P(T-L) y P(D<sub>5</sub>).

$$P(D_7) = P((T-L) \cap D_5) \\ = P(T-L) * P(D_5)$$

Sabemos que las disponibilidades en los enlaces de bajada de cada vereda son:

- P(D<sub>1</sub>) = 0.999821
- P(D<sub>2</sub>) = 0.999080
- P(D<sub>3</sub>) = 0.998673
- P(D<sub>4</sub>) = 0.999995
- P(D<sub>5</sub>) = 0.999995

Por lo tanto, se determina el valor de P(Q) utilizando las medidas previamente establecidas. En cuanto a la disponibilidad del enlace de subida, ajustamos nuestros cálculos utilizando los valores correspondientes de disponibilidad para los enlaces de subida de cada vereda. Para predecir las futuras probabilidades, P(L) y P(J), recurrimos a los mismos principios que utilizamos en esta instancia, es decir, las reglas de probabilidad para eventos en serie y en paralelo.

La Tabla 3.6 presenta los resultados correspondientes a la disponibilidad mínima estimada para cada vereda, tanto en el enlace de subida como en el de bajada. Además, incluye el cálculo del Tiempo Medio Entre Fallos (MTBF, *Mean Time Between Failures*).

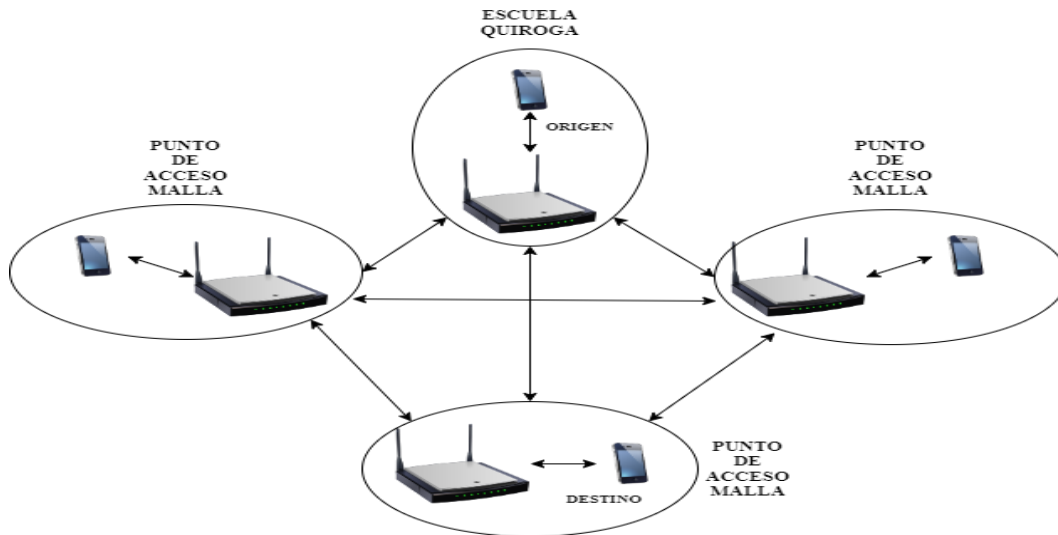
Tabla 336.6.  
Disponibilidad y Tiempo Medio Entre Fallos de las Veredas.

| VEREDAS | DISPONIBILIDAD |              | MTBF (min) |          |
|---------|----------------|--------------|------------|----------|
|         | SUBIDA         | BAJADA       | SUBIDA     | BAJADA   |
| QUIROGA | 99.99998511%   | 99.99999989% | 525599.9   | 525599.9 |
| LIMONES | 99.99999853%   | 99.99999998% | 525599.9   | 525599.9 |
| JUANICO | 99.99999672%   | 99.99999667% | 525599.9   | 525599.9 |

La disponibilidad de todos los enlaces, tanto de subida como de bajada, es extremadamente alta, cercana al 100% en todos los casos. Esto indica que estos enlaces están disponibles y funcionando la gran mayoría del tiempo. Limones tiene la mayor disponibilidad tanto en subida como en bajada, seguido muy de cerca por Quiroga y Juanico. El MTBF para todos los enlaces, tanto de subida como de bajada, es idéntico y se encuentra en 525599.9 minutos (Casi un año). Este es un valor muy alto, lo que sugiere que, en promedio, hay una gran cantidad de tiempo entre las fallas. En otras palabras, se espera que estos enlaces funcionen durante un largo período antes de experimentar una falla.

### 3.1.3. Análisis de Capacidad.

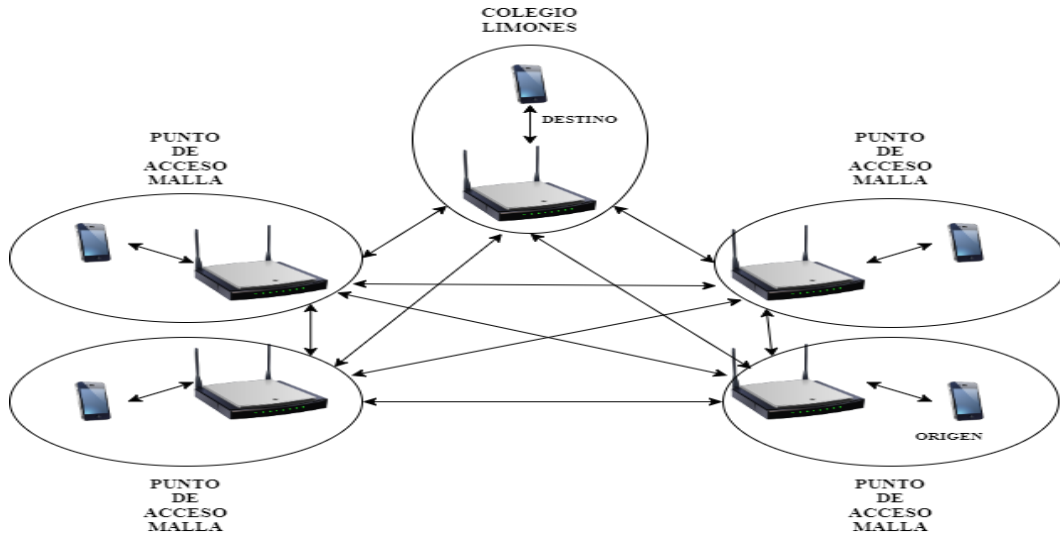
Ahora en la fase de distribución, es decir, cómo distribuimos el acceso a Internet en cada una de las veredas, las redes comunitarias. Primero se debe aclarar que, para realizar una simulación más precisa a la realidad, se deben contar con los equipos en físico, debido a que existen múltiples herramientas de simulación para este tipo de redes en malla. Sin embargo, se planteó un escenario en MATLAB que busca ejemplificar el funcionamiento y mostrar algunas de las características de la red en malla de cada una de las veredas.



Figurbbb 3.16. Red Comunitaria Quiroga Enlace de Bajada.

Para las simulaciones se plantea que la velocidad promedio que se va a transmitir en cada uno de los sitios de red o veredas será de 228 Mbps en el enlace de bajada y 67 Mbps en el enlace de subida (Ver Tabla 3.3). Esas serán un aproximado de las velocidades que se piensan distribuir por cada una de las veredas. Ahora se plantea el escenario de la Figura 3.16, en dónde el enrutador malla o escuela Quiroga, es un emisor de un “mensaje” que va a recibir desde un dispositivo que está conectado a este enrutador (Usuario). El destino va a ser un dispositivo (Usuario) que está conectado a un punto de acceso de la misma red comunitaria.

Entonces, se analiza cuantos **bytes** le llega al destino en un determinado tiempo de simulación que para efectos prácticos se establece en 1 segundo, esto se traducirá a la velocidad que este tiene el destino, ese sería el procedimiento para determinar la velocidad del dispositivo conectado al punto de acceso o enlace de bajada. Así mismo con las redes de las otras veredas, pero diferenciándose en el número de saltos; un salto es el número de puntos de acceso o enrutadores malla (si es el caso) que se encuentran en la red comunitaria.



Figurccc 3.17. Red Comunitaria Quiroga Enlace de Subida.

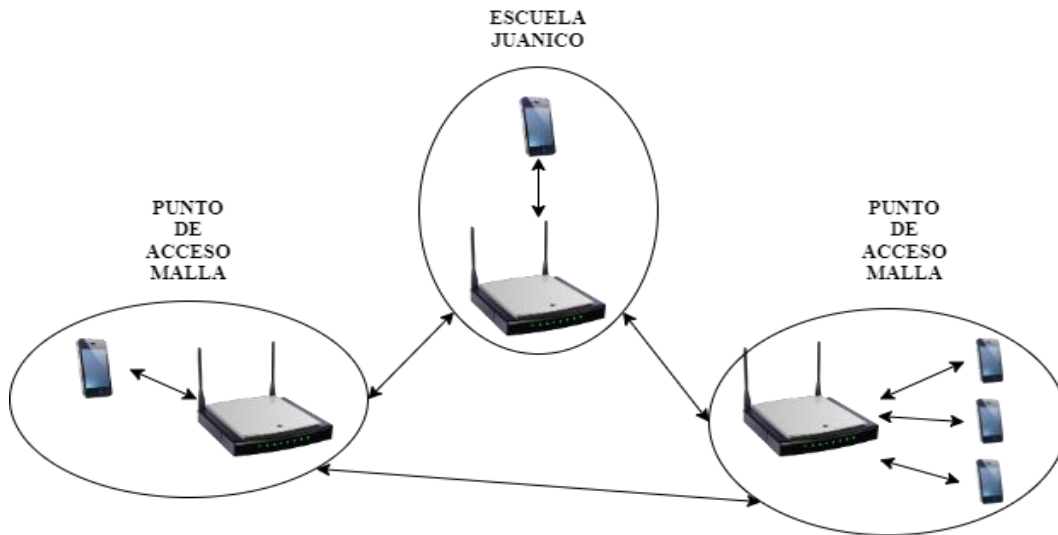
Ahora, en la Figura 3.17 se muestra la red comunitaria de Limones, con su origen en un punto de acceso malla y un destino, que se encuentra conectado al enrutador malla (colegio Limones), este planteamiento nos permite calcular el enlace de subida. Entonces, si en el caso anterior se tiene una velocidad de transmisión de datos igual a 228 Mbps, en este caso se configura para que sea igual a 67 Mbps para que exista la conexión origen-destino, con un tiempo de simulación de 1 segundo, con lo cual se estima cuántos Mbps por segundo le llegan al destino y así conocer un valor aproximado del enlace de subida. Esto se plantea con cada una de las veredas, además, para cada caso se plantean sus respectivas “rutas”, que son las conexiones respectivas entre puntos de acceso y otros puntos de acceso o enrutador malla y puntos de acceso.

Tabla 337.7.  
Resultados Obtenidos Red Malla Matlab.

| VEREDA  | VELOCIDAD TRANSMISIÓN DE DATOS ENLACE DE SUBIDA | VELOCIDAD TRANSMISIÓN DE DATOS ENLACE DE BAJADA | NÚMERO DE NODOS MALLAS |
|---------|-------------------------------------------------|-------------------------------------------------|------------------------|
| QUIROGA | 15.05 Mbps                                      | 51.2 Mbps                                       | 4                      |
| LIMONES | 12 Mbps                                         | 40.7 Mbps                                       | 5                      |
| JUANICO | 21.13 Mbps                                      | 72 Mbps                                         | 3                      |

Quiroga, con 4 nodos, presenta un enlace de subida de 15.05 Mbps y un enlace de bajada de 51.2 Mbps. A pesar de los múltiples nodos, Quiroga mantiene una velocidad de subida considerable, que es crítica para la transmisión de datos. Limones, con 5 nodos, muestra un enlace de subida de 12 Mbps y un enlace de bajada de 40.7 Mbps. Aunque tiene el mayor número de nodos entre las tres veredas, mantiene un nivel adecuado de conectividad. Por último, Juanico, con 3 nodos, presenta un enlace de subida de 21.13 Mbps y un enlace de bajada de 72

Mbps. De las tres veredas, Juanico tiene el enlace de subida más rápido y también la mayor velocidad de bajada. Es observable que la cantidad de nodos en la red tiene un impacto directo y proporcional en la velocidad de los enlaces tanto de subida como de bajada. Concretamente, a medida que el número de nodos aumenta, las velocidades de estos enlaces tienden a disminuir. Este comportamiento es una característica inherente de las redes inalámbricas de malla, donde cada salto adicional puede introducir latencia adicional y potencial congestión, lo que en última instancia afecta la eficiencia general de la transmisión de datos.



Figurddd 3.18. Red Comunitaria Juanico **Cálculo Capacidad Usuarios.**

Se pretende calcular la cantidad de usuarios potenciales para cada una de las redes comunitarias de las veredas, para llevar este proceso a cabo se asignan más usuarios a un punto de acceso evaluado anteriormente y se empieza a observar que a medida que el número de usuarios aumenta, la capacidad de la red empieza a ser **distribuida** equitativamente gracias a los protocolos de distribución (De los equipos, enrutadores), es decir, que el enrutador además de aplicar protocolos de enrutamiento que permiten la selección de rutas dentro de la red para transmitir y enviar datos de la manera más eficiente posible, también se gestionan los recursos para ser compartidos equitativamente dependiendo de los usuarios conectados simultáneamente.

Entonces, como se busca saber cuántos usuarios puede albergar cada red se dividen los valores de enlaces de subida y bajada entre los valores esperados (1 Mbps para el enlace de bajada y 0.3 Mbps para el enlace de subida, se plantearon en el capítulo anterior), el resultado será la cantidad de usuarios máxima por punto de acceso (Que la red permitirá, límite), después ese resultado se multiplica por el número de nodos y se obtendrá el número de usuarios máximo por cada red



comunitaria bajo las directrices establecidas en el capítulo anterior. Todos los datos se muestran a continuación, en la Tabla 3.7.

Tabla 338.8.

**Resultados Obtenidos Capacidad de Usuarios.**

| RED COMUNITARIA | VELOCIDAD TRANSMISIÓN DE DATOS ENLACE DE SUBIDA | VELOCIDAD TRANSMISIÓN DE DATOS ENLACE DE BAJADA | NÚMERO DE NODOS | USUARIOS POR PUNTO DE ACCESO | USUARIOS POR RED COMUNITARIA |
|-----------------|-------------------------------------------------|-------------------------------------------------|-----------------|------------------------------|------------------------------|
| QUIROGA         | 15.05 Mbps                                      | 51.2 Mbps                                       | 4               | 51                           | 204                          |
| LIMONES         | 12 Mbps                                         | 40.7 Mbps                                       | 5               | 40                           | 200                          |
| JUANICO         | 21.13 Mbps                                      | 72 Mbps                                         | 3               | 72                           | 216                          |

**CN Quiroga:** Tiene una velocidad de transmisión de datos en el enlace de subida de 15.05 Mbps y en el enlace de bajada de 51.2 Mbps. El número de nodos es 4, lo que indica que la señal tiene que pasar por 4 nodos diferentes antes de llegar a su destino final. La red admite 51 usuarios por punto de acceso, con un total de 204 usuarios en toda la red comunitaria.

**CN Limones:** Tiene una velocidad de enlace de subida de 12 Mbps y una velocidad de enlace de bajada de 40.7 Mbps. El número de nodos es 5, lo que significa que la señal pasa por 5 nodos diferentes. Esta red admite 40 usuarios por punto de acceso, para un total de 200 usuarios en toda la red.

**CN Juanico:** Presenta una velocidad de enlace de subida de 21.13 Mbps y una velocidad de enlace de bajada de 72 Mbps, las velocidades más altas entre las tres redes. El número de nodos es 3, el más bajo de las tres redes, lo que podría contribuir a su mayor velocidad. La red puede manejar 72 usuarios por punto de acceso, con un total de 216 usuarios en toda la red.

En cada una de las tres redes comunitarias se garantiza, según las simulaciones, que cada usuario de la red tendrá un mínimo de 1 Mbps en el enlace de bajada y 0.3 Mbps en el enlace de subida, se pueden conectar hasta 200 usuarios simultáneamente y a medida que este número descienda, las velocidades de transmisión de datos de los enlaces se irán incrementando, para el caso particular de la red comunitaria que pretende conectar a 100 usuarios, las velocidades serán de 2 Mbps y 0.6 Mbps en los enlaces de bajada y subida, respectivamente.



## **CAPÍTULO 4. CONCLUSIONES Y TRABAJOS FUTUROS**

En este último capítulo del trabajo de grado, se presentan los hallazgos obtenidos de los capítulos anteriores, destacando la importancia de la conectividad de alta calidad y accesible en zonas rurales. Se enfatiza que la conectividad impulsa el desarrollo económico y social. Se sugiere la necesidad de encontrar soluciones más eficientes y sostenibles para superar las barreras geográficas y económicas que impiden la conexión a Internet en estas comunidades.

En cuanto a la investigación futura, se proponen diversas líneas de trabajo, como mejorar las soluciones de conectividad existentes, innovar en tecnologías de conexión más eficientes y asequibles, desarrollar políticas públicas inclusivas y estudiar el impacto social y económico de la inclusión digital en estas áreas. También se sugiere explorar nuevas formas de conectar a la población marginal a Internet, a través de la aplicación de tecnologías emergentes, asociaciones público-privadas, alfabetización digital y concienciación sobre la importancia del acceso a Internet.

### **4.1. CONCLUSIONES**

El presente trabajo de grado ha realizado el diseño de una red comunitaria inalámbrica que integra diversas tecnologías y explora otras, constituyendo así una solución viable para la conectividad en las comunidades rurales de Quiroga, Limones y Juanico, en Guapi, Cauca. Durante la investigación, se adentra en múltiples opciones tecnológicas buscando garantizar alta disponibilidad del sistema, elemento clave para un acceso a Internet ininterrumpido, particularmente vital en áreas rurales y aisladas donde la conectividad puede ser un obstáculo para el acceso a información digital.

Se Identifico diversas tecnologías y arquitecturas para el diseño de redes inalámbricas comunitarias, priorizando sistemas adaptables y de fácil implementación en el particular contexto de las zonas rurales del Pacífico colombiano. Las características geográficas y socioeconómicas únicas de estas áreas requieren soluciones flexibles y fácilmente implementables, ingredientes esenciales para garantizar la sostenibilidad y el éxito de tales proyectos.

A pesar del desafío de encontrar fabricantes de confianza con un sólido soporte técnico, se analiza que estas tecnologías ganarán popularidad en la próxima década, convirtiéndose en opciones más accesibles y viables para estas comunidades. Las simulaciones llevadas a cabo en este estudio demostraron la eficacia del diseño propuesto, con la cobertura y disponibilidad del sistema cumpliendo las expectativas, alcanzando niveles satisfactorios y reafirmando la efectividad del diseño planteado.

En la evaluación de la red inalámbrica comunitaria, se reveló un prometedor potencial para su expansión y adaptación futura. Se constató que la red es capaz de mantener velocidades mínimas de transmisión de datos de 1 Mbps en el enlace de subida y 0.3 Mbps en el enlace de bajada, incluso con más de 100 usuarios simultáneos. Este hallazgo evidencia la capacidad de la red para escalar, mejorando sus velocidades de transmisión y el número de usuarios que puede soportar simultáneamente, demostrando no sólo su capacidad para satisfacer las necesidades actuales, sino también su considerable potencial de crecimiento.

Al momento de cotizar los equipos para nuestro trabajo de investigación, se ha enfrentado a diversos inconvenientes, entre los cuales uno de los más significativos ha sido el desafío económico. Este trabajo de investigación ha propuesto una solución que, si bien implica una inversión considerable, garantiza la adquisición de equipos de excelente calidad que ofrecen confiabilidad y durabilidad a lo largo del tiempo. El costo de estos equipos se convierte en un reto significativo al considerar su implementación. Sin embargo, esta inversión cobra sentido y se vuelve altamente gratificante cuando se observa en el transcurso del tiempo y se evalúa su impacto en la calidad de vida de los habitantes de estas comunidades.

Además, se comprueba que las redes en malla pueden incrementar el área de cobertura de la red. Sin embargo, dicha expansión conlleva un coste: las velocidades de transmisión de datos tienden a disminuir. A pesar de la posible reducción en velocidad, la capacidad para ampliar la cobertura puede justificar el uso de redes en malla, especialmente vital para la conectividad en áreas determinadas.

Al comparar la cobertura propuesta en el diseño de la red con los resultados obtenidos en las simulaciones, se descubre que las simulaciones con equipos de alta calidad proporcionaban mejores resultados, es decir, la cobertura real superaba a la propuesta inicialmente en el diseño, lo que destaca la importancia de utilizar equipos de alta calidad en la implementación de redes inalámbricas comunitarias.

En conclusión, este estudio demuestra la factibilidad de diseñar e implementar una red comunitaria inalámbrica efectiva y confiable en áreas rurales y aisladas. Aunque los desafíos son evidentes, los beneficios de proporcionar conectividad en estas áreas superan con creces los obstáculos.

## **4.2. TRABAJOS FUTUROS**

- **Análisis de Combinaciones de Tecnologías Inalámbricas para Impulsar la Conectividad en las Veredas de los Municipios de la Costa Pacífica Colombiana.**

Análisis y Combinación de Tecnologías: Durante el desarrollo de este proyecto de grado, se llevó a cabo un análisis exhaustivo de tecnologías inalámbricas, tales como WiBack y TVWS, que han demostrado ser

altamente prometedoras para potenciar la conectividad en Guapi. Como parte de una futura línea de investigación, sería altamente beneficioso realizar un estudio detallado entre estas tecnologías y su impacto en la mejora de la infraestructura de comunicación. Esto requeriría la comparación de los resultados obtenidos en esta investigación con una nueva implementación que integre estas tecnologías, con el fin de evaluar en qué aspectos se logra una mejora en la red existente.

- **Análisis de Cobertura y Capacidad de la Implementación del Diseño de una Red Inalámbrica Comunitaria como Solución de Conectividad en Veredas del Municipio de Guapi Cauca.**

Implementación del diseño de la red comunitaria: El trabajo de grado aportó un diseño de una red comunitaria para solucionar el problema de conectividad en las veredas del municipio de Guapi teniendo en cuenta un análisis amplio de diferentes tecnologías, estas tecnologías han demostrado un notable potencial para impulsar la conectividad en áreas rurales como Guapi y otros municipios de la costa pacífica colombiana. Se propone un trabajo de grado futuro que profundice en el diseño pero que se centre en la implementación de una red inalámbrica que utilice estas tecnologías para la conexión de la cabecera municipal con las veredas de este municipio. El objetivo sería implementar el diseño de la red para solucionar problemas de conectividad en veredas del municipio escogido manteniendo mínimos de calidad y cobertura, evaluando el desempeño de la red, su adaptabilidad a las condiciones locales y su impacto en la comunidad.

- **Análisis de Tecnologías que Garanticen la Escalabilidad de la Red de las Veredas del Municipio de Guapi Priorizando la Calidad y Cobertura.**

Escalabilidad de la red: Un elemento crítico para el desarrollo futuro de la red comunitaria en Guapi es la escalabilidad. Se aspira a que la red pueda soportar un creciente número de usuarios, manteniendo estándares de calidad y cobertura elevados. Por consiguiente, un futuro trabajo podría concentrarse en el desarrollo de estrategias y tecnologías que faciliten **esta escalabilidad del diseño presentado en este trabajo de grado.**

- **Diseño e Implementación de Servicios Locales en la Red Comunitaria de las Veredas del Municipio de Guapi para el Fortalecimiento Comunitario.**

Implementación de servicios locales: La inclusión de servidores locales que brinden servicios específicos a los usuarios podría ser un valioso complemento para la red comunitaria. Estos servicios podrían abarcar desde

periódicos digitales locales, podcasts, streaming de contenido local, hasta plataformas de chat para la comunidad. Estos servicios no solo fomentarían la participación comunitaria y el sentido de pertenencia, sino que también mejorarían la utilidad de la red para los usuarios de Guapi. Un futuro trabajo podría implicar el diseño e implementación de estos servicios, así como la evaluación de su impacto en la comunidad.

## REFERENCIAS

- [1] Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT) (2011) Caja de herramientas de mejores prácticas y recomendaciones de política, Módulo 3 TIC para pueblos y comunidades indígenas [Online]. Disponible en: <https://www.itu.int/en/ITU-D/Digital-Inclusion/Indigenous-Peoples/Pages/M%C3%B3dulo-3.aspx> (Accedido May. 31,2023).
- [2] C. Baca (et. al.). Internet Society Redes (2018, noviembre, 13). Comunitarias En América Latina: Desafíos, Regulaciones Y Soluciones [Online]. Disponible en: <https://www.internetsociety.org/es/resources/doc/2018/redes-comunitarias-en-america-latina/> (Accedido May. 31,2023).
- [3] R. Baig (et al.) Guifui.net, a crowdsourced network infrastructure held in common. En Computer Networks. Vol 90. 2017 pp.150-165. <https://doi.org/10.1016/j.comnet.2015.07.009>
- [4] G. Shaffer (2013). Lessons learned from grassroots wireless networks in Europe. En Abdelaal, A. (ed). Social and Economic Effects of Community Wireless Networks and Infrastructures:IGI Global (pp. 252-270).
- [5]A.Abdelaal(2013). Introduction to Social and Economic Effects of Community Wireless Networks. En Abdelaal, A. (ed). (2013). Social and Economic Effects ofCommunity Wireless Networks and Infrastructures: IGI Global (pp. 17-27).
- [6] A. Powell (2010). Community Wi-Fi, resistance, and making infrastructure visible. En Crow, B. (ed.) (2010). The Wireless Spectrum: The Politics, Practices, and Poetics of Mobile Media: University of Toronto Press. (pp. 172-186)
- [7] M. Baladrón (2019). Redes comunitarias: acceso a internet desde los actores locales. Hipertextos, 6(9), 65–98. Recuperado a partir de <https://revistas.unlp.edu.ar/hipertextos/article/view/7646>
- [8] L. Navarro (2016). Report on Existing Community Networks and their Organization. NetCommons. Recuperado el 12 de marzo de 2018 de: [https://netcommons.eu/sites/default/files/attachment\\_0.pdf](https://netcommons.eu/sites/default/files/attachment_0.pdf) (Accedido May. 31,2023).
- [9] Declaración on Community Connectivity [Online] Disponible en: [https://www.intgovforum.org/multilingual/index.php?q=filedepot\\_download/4391/1316](https://www.intgovforum.org/multilingual/index.php?q=filedepot_download/4391/1316) (Accedido May. 31,2023).
- [10] K. Pretz. IEEE Spectrum (2022, abril, 14) This Community-Run Internet is Bridging the Digital Divide The low-power open-source wireless mesh network is

portable [Online]. Disponible en: <https://spectrum.ieee.org/community-run-internet> (Accedido May. 31,2023).

[11] L. Maccari, G. Gemmi, R. Lo Cigno and M. Karaliopoulos (2019, Julio, 15). Towards scalable Community Networks topologies (Volumen 94) [Online]. Available: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1570870518307480?via%3Dihub>. (Accedido May. 31,2023).

[12] M. Meiling Luo and S. Chea (2018, Febrero, 5). Internet Village Motoman Project in rural Cambodia: bridging the digital divide (Information Technology & People) [Online]. Available: <https://www.emerald.com/insight/content/doi/10.1108/ITP-07-2016-0157/full/html>. (Accedido May. 31,2023).

[13] C. Escobar (2020, Diciembre, 18). RedINC: oportunidades, conectividad y la esperanza de un territorio rural de Colombia [Online]. Available: <https://www.colnodo.apc.org/es/redinc-oportunidades-conectividad-y-la-esperanza-de-un-territorio-rural-de-colombia>. (Accedido May. 31,2023).

[14] DANE (2020, Marzo). La información del DANE en la toma de decisiones de los departamentos (Cauca) [Online]. Available: <https://www.dane.gov.co/files/investigaciones/planes-desarrollo-territorial/200313-Info-Dane-Cauca.pdf>. (Accedido May. 31,2023).

[15] El Espectador. M. C. Ramírez Cañón (2021, Agosto, 28). En el Pacífico caucano se reconfigura el conflicto armado tras la promesa de paz [Online]. Available: <https://www.elespectador.com/colombia/mas-regiones/en-el-pacifico-caucano-se-reconfigura-el-conflicto-armado-tras-la-promesa-de-paz/>. (Accedido May. 31,2023).

[16] CNN Español. J. A. Muñoz (2011, Junio, 9). El acceso a Internet, un derecho humano según la ONU [Online]. Available: <https://cnnespanol.cnn.com/2011/06/09/el-acceso-a-internet-un-derecho-humano-segun-la-onu/> (Accedido May. 31,2023).

[17] M. Byanyuma, et al. Overview of Broadband Connectivity for Rural Areas-Tanzania as a Case Study. International Journal of Computer Science and Information Security (IJCSIS), 15(4) 2020.

[18] J. Girón, "Análisis Del Estándar De Radio Troncalizado Digital Tetra (Terrestrial Trunked Radio) Y De Su Posible Aplicación En El Ecuador," vol. 1, p. 25, 2011.

[19] W. Orlando, et al. Sistemas Troncalizados TETRA (TETRA TRUNKED SYSTEMS) [Online]. Disponible en: <https://repository.udistrital.edu.co/bitstream/handle/11349/3374/MedinaPalacioMayerlyPaola2016.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. (Accedido May. 31,2023).



- [20] W. Orlando (2016). Sistemas Troncalizados TETRA (TETRA TRUNKED SYSTEMS) [Online]. Disponible en: <https://repository.udistrital.edu.co/bitstream/handle/11349/3374/MedinaPalacioMayerlyPaola2016.pdf?sequence=1&isAllowed=y> (Accedido May. 31,2023).
- [21] “Redes PMR. Sistema TETRA. Redes de Acceso Celular”. [Online]. Available: <https://www.ea1uro.com/pdf/RedesPMRSistemaTETRA.pdf> (Accedido May. 31, 2023).
- [22] W. Plazas, et. al “Sistemas Troncalizados TETRA TETRA TRUNKED SYSTEMS,” p. 21.
- [23] I. Pellejero. (2010) “Hacia TETRA Release 2 | Telecomunicaciones de Emergencia.” <https://emercomms.ipellejero.es/2010/05/17/hacia-tetra-release-2/> (accedido May 11, 2022).
- [24] 2J Antennas. “380-470MHz/LPWA/TETRA/UHF High Gain TETRA Antenna.” <https://www.2j-antennas.com/antennas/380-470-mhz-antennas-1> (accedido May 11, 2022).
- [25] N. Ioannou, et al. “Comparative techno-economic evaluation of LTE fixed wireless access, FTTdp G.fast and FTTC VDSL network deployment for providing 30 Mbps broadband services in rural areas,” *Telecommunications Policy*, vol. 44, no. 3, p. 101875, 2020, doi: 10.1016/j.telpol.2019.101875.
- [26] F. Simba, (2008) “Broadband Access Technologies for Rural Connectivity in Developing Countries”. [Online]. Available: [https://www.academia.edu/6715117/Broadband\\_Access\\_Technologies\\_for\\_Rural\\_Connectivity\\_in\\_Developing\\_Countries](https://www.academia.edu/6715117/Broadband_Access_Technologies_for_Rural_Connectivity_in_Developing_Countries) Accedido May 11, 2022.
- [27] J. of C. S. Ijcsis and Z. Yonah, “Overview of Broadband Connectivity for Rural Areas-Tanzania as a Case Study”, Accessed: May 11, 2022. [Online]. Available: [https://www.academia.edu/33257778/Overview\\_of\\_Broadband\\_Connectivity\\_for\\_Rural\\_Areas\\_Tanzania\\_as\\_a\\_Case\\_Study](https://www.academia.edu/33257778/Overview_of_Broadband_Connectivity_for_Rural_Areas_Tanzania_as_a_Case_Study) (Accedido May. 31,2023).
- [28] GSMA. (2014, junio). Tecnología LTE y salud [Online]. Disponible en: <https://www.gsma.com/latinamerica/wp-content/uploads/2014/06/GSMA-LTE-tecnologia-salud.pdf>. (Accedido May. 31,2023).
- [29] Long Term Evolution (LTE): A Technical Overview, Motorola Manual, Texas, 2010. (Accedido May. 31,2023).
- [30] S. Jha, R. Rokaya, A. Bhagat, A. Khan and L. Aryal, "LTE Network: Coverage and Capacity Planning — 4G Cellular Network Planning around Banepa," in 2017 International Conference on Networking and Network Applications (NaNA), Kathmandu City, Nepal, pp. 180-185, 2017. Disponible en:

<https://doi.ieeecomputersociety.org/10.1109/NaNA.2017.23>.  
10.1109/NaNA.2017.23.

Doi:

[31] HBR radio frequency technologies. "4G LTE Frequency Bands" [Online]. Disponible en: <https://halberdbastion.com/technology/cellular/4g-lte/4g-lte-frequency-bands>. (Accedido May. 31,2023).

[32] D. Jones and K. Beaver. (2021, Abril). What is LTE? [Online]. Disponible en: [https://www.techtarget.com/searchmobilecomputing/definition/Long-Term-Evolution-LTE#:~:text=LTE%20\(Long-Term%20Evolution\)%20is%20a%20fourth-generation,-generation%20\(3G\)%20technology](https://www.techtarget.com/searchmobilecomputing/definition/Long-Term-Evolution-LTE#:~:text=LTE%20(Long-Term%20Evolution)%20is%20a%20fourth-generation,-generation%20(3G)%20technology). (Accedido May. 31,2023).

[33] N. Imtiaz, et al. (2012) "Coverage and Capacity Analysis of LTE Radio Network Planning considering Dhaka City.", [Online]. Available: <https://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.735.886&rep=rep1&type=pdf#:~:text=The%20LTE%20specification%20provides%20downlink,%5B2%5D%20%5B3%5D>. (Accedido May. 31,2023).

[34] Advantages and Disadvantages of Long-Term Evolution (LTE) technology, 2020 [Online]. Disponible en: <https://www.geeksforgeeks.org/advantages-and-disadvantages-of-long-term-evolution-lte-technology/> (Accedido May. 31,2023).

[35] A. López. (2022). Aprende todo sobre las bandas de frecuencia Wi-Fi: 2.4GHz, 5GHz y 6GHz [Online]. Disponible en: <https://www.redeszone.net/tutoriales/redes-wifi/bandas-frecuencias-wi-fi/>.

[36] B. Mitchell. (2021). Introduction to Wi-Fi Wireless Antennas [Online]. Disponible en: <https://www.lifewire.com/introduction-to-wifi-wireless-antennas-817706>. (Accedido May. 31,2023).

[37] NetSpot. Cómo Medir la Intensidad de Su Señal Wi-Fi con NetSpot [Online]. Disponible en: <https://www.netspotapp.com/es/wifi-signal-strength/#:~:text=Generalmente%2C%20la%20intensidad%20de%20la,su%20router%20inalámbrico%20se%20encuentre>. (Accedido May. 31,2023).

[38] Fireware Help (2018). Modos y Canales Inalámbricos [Online]. Disponible en: [https://www.watchguard.com/help/docs/fireware/12/es-419/Content/es-419/wireless/ap\\_about\\_wireless\\_modes\\_c.html#:~:text=En%20la%20banda%20de%202.4%20GHz%2C%20los%20canales%201%2C%206,al%20espacio%20entre%20sus%20frecuencias](https://www.watchguard.com/help/docs/fireware/12/es-419/Content/es-419/wireless/ap_about_wireless_modes_c.html#:~:text=En%20la%20banda%20de%202.4%20GHz%2C%20los%20canales%201%2C%206,al%20espacio%20entre%20sus%20frecuencias). (Accedido May. 31,2023).

[39] Digital Guide IONOS. CSMA/CA: definición y mecánica de protocolo [Online]. Disponible en: <https://www.ionos.es/digitalguide/servidores/know-how/csmaca-protocolo-de-acceso-al-medio-para-redes-inalambricas/> (Accedido May. 31,2023).

- [40] S. De Luz. (2021, febrero 19). ¿Cuántas antenas debe tener un router para tener buena cobertura? [Online]. Disponible en: <https://www.redeszone.net/tutoriales/redes-wifi/cuantas-antenas-router-cobertura/> (Accedido May. 31,2023).
- [41] A. García. (2017). El WiFi podría ser más potente, pero en España está limitado [Online]. Disponible en: <https://www.adslzone.net/2017/01/12/wifi-podria-mas-potente-espana-esta-limitado/>. (Accedido May. 31,2023).
- [42] J. Lorenzo. (2023) Qué dispositivos debo conectar en el WiFi de 2.4 GHz y cuáles en 5GHz [Online]. Disponible en: <https://www.redeszone.net/tutoriales/redes-wifi/dispositivos-conectar-wifi-24-ghz-5ghz/>. (Accedido May. 31,2023).
- [43] A. López. (2022, febrero 8). Aprende todo sobre las bandas de frecuencia Wi-Fi: 2.4GHz, 5GHz y 6GHz [Online]. Disponible en: <https://www.redeszone.net/tutoriales/redes-wifi/bandas-frecuencias-wi-fi/> (Accedido May. 31,2023).
- [44] P. Jain and S. Taneeru, "Performance Evaluation of IEEE 802.11ah Protocol in Wireless Area Network," in 2016 International Conference on Micro-Electronics and Telecommunication Engineering (ICMETE), Ghaziabad, 2016 pp. 578-583. Doi: 10.1109/ICMETE.2016.23. Disponible en: <https://doi.ieeecomputersociety.org/10.1109/ICMETE.2016.23>
- [45] P. Liborio, et al., "Network Slicing in IEEE 802.11ah," in 2019 IEEE 18th International Symposium on Network Computing and Applications (NCA), Cambridge, MA, USA, 2019 pp. 1-9. Doi: 10.1109/NCA.2019.8935064. Disponible en: <https://doi.ieeecomputersociety.org/10.1109/NCA.2019.8935064>
- [46] TecnoCompras. (2017). El nuevo 802.11ah conoce todo sobre "Wi-Fi HaLow" [Online]. Disponible en: <https://tecnocompras6.webnode.com.co/news/el-nuevo-802-11ah-conoce-todo-sobre-wi-fi-halow/> (Accedido May. 31,2023).
- [47] V. Banos, et al. (2017). Throughput and Range Characterization of IEEE 802.11 ah. IEEE Latin America Transactions, 15(9), 1621-1628.
- [48] Z. Zheng, et al. , "Discussion and Testing of 802.11ah Wireless Communication in Intelligent Substation," in 2018 IEEE International Conference on Energy Internet (ICEI), Beijing, China, 2018 pp. 208-212. Doi: 10.1109/ICEI.2018.00045.
- [49] M. Ruiz. WiMAX y su análisis para el proyecto BAR [Online]. Disponible en: <https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/88113/Wimax+y+su+analis+para+el+proyecto+BAR.pdf?sequence=1> (Accedido May. 31,2023).

- [50] A. Calvillo. (2013) “Estudio y diseño de una red WiMax para dar cobertura de banda ancha en un entorno rural”. Universidad Politécnica de Valencia y Escuela Politécnica Superior de Gandia. Valencia, España. 2013.
- [51] H. Leon, et al. “Diseño de una red WIMAX móvil para Lima metropolitana”. Universidad Ricardo Palma. Lima. 2008. (Accedido May. 31,2023).
- [52] Embou. (2014). “¿Qué es el WiMAX?” [Online]. Disponible en: <https://www.embou.com/blog/que-es-el-wimax>.
- [53] E. Maqueda. Las tecnologías WiFi/WiMax: Aspectos Tecnológicos [Online]. Disponible en: [https://www.dip-badajoz.es/agenda/tablon/jornadaWIFI/doc/presenta\\_wifi\\_wmax.pdf](https://www.dip-badajoz.es/agenda/tablon/jornadaWIFI/doc/presenta_wifi_wmax.pdf)
- [54] A. Vázquez. “Despliegue y análisis de la cobertura de una red WiMax basada en IEEE 802.16-2004”. Universidad Autónoma de Barcelona. Bellaterra, 2008.
- [55] Y. Fernández. WiMax: qué es y cómo funciona [Online]. Disponible en: <https://www.xataka.com/basics/wimax-que-como-funciona>
- [56] D. Vásquez. “Análisis y propuesta técnica para el despliegue e implementación de TV White Space en Ecuador”. Universidad de las Fuerzas Armadas. Sangolquí. 2018.
- [57] Telesemana. TV White Spaces: una gran idea social pero un mal negocio [Online]. Disponible en: <https://www.telesemana.com/blog/2017/06/19/tv-white-spaces-una-gran-idea-social-pero-un-mal-negocio/>
- [58] Rojas, D. F. A., García, L. E. G., Ortiz, G. M. R., & Carrero, W. A. C. (2020). Estudio de la tecnología de TVWS en Colombia y comparación con el mundo. REVISTA COLOMBIANA DE TECNOLOGIAS DE AVANZADA (RCTA), 2(34), 127-136.
- [59] C. Daza. ANE. Espacios en Blanco en Colombia [Online]. Disponible en: [https://www.itu.int/en/ITU-R/seminars/rrs/RRS-17-Americas/Documents/Forum/4\\_ANE%20Carolina%20Daza%20TVWS.pdf](https://www.itu.int/en/ITU-R/seminars/rrs/RRS-17-Americas/Documents/Forum/4_ANE%20Carolina%20Daza%20TVWS.pdf) (Accedido May. 31,2023).
- [60] K. Muñoz, J. Lasso. “HAPS (Estaciones situadas en Plataformas de Gran Altitud), una nueva alternativa para las Telecomunicaciones”. Universidad del Cauca. Popayán.
- [61] UIT. (2019, diciembre). HAPS – Sistemas de estaciones en plataformas a gran altitud [Online]. Disponible en: <https://www.itu.int/es/mediacentre/backgrounders/Pages/High-altitude-platform-systems.aspx>

[62] (June 2021). "High Altitude Platform Systems, Towers in the Skies" [Online]. Available: <https://www.gsma.com/futurenetworks/wp-content/uploads/2021/06/GSMA-HAPS-Towers-in-the-skies-Whitepaper-2021.pdf>.

[63] L. Rodríguez, SELECTRA. (2022, marzo). Internet satelital: proveedores y precios de internet rural en Colombia [Online]. Disponible en: <https://selectra.com.co/internet-hogar/satelital>

[64] HughesNet. ¿Cuáles son las Diferencias Entre Internet Satelital y el Internet Tradicional? [Online]. Disponible en: <https://www.hughesnet.com.pe/blog/cuales-son-diferencias-entre-internet-satelital-internet-tradicional>

[65] Huaxin Antenna [Online]. Disponible en: [https://www.hxantenna.com/products.html?gclid=Cj0KCQjwpImTBhCmARIsAKr58cwRs2qguQK6dRX\\_WkOThAOpjybEyVaAJjcDR9wRrcY1iWS7WikjaDYaAh3FEALw\\_wcB](https://www.hxantenna.com/products.html?gclid=Cj0KCQjwpImTBhCmARIsAKr58cwRs2qguQK6dRX_WkOThAOpjybEyVaAJjcDR9wRrcY1iWS7WikjaDYaAh3FEALw_wcB)

[66] S. Barrera. Tesis: "Internet de banda ancha por acceso satelital para regiones rurales por medio de radio frecuencia". Universidad Nacional Autónoma de México. San Juan de Aragón. 2013.

[67] AXXES Networks. Frecuencia satelital banda Ka [Online]. Disponible en: <https://axessnet.com/frecuencia-satelital-banda-ka/>

[68] Art Chist. "Tipos de antenas satélite | Foco centrado + Offset + Cassegrain + Gregorian + Multisatélite + Plana | Características" [Online]. Disponible en: <https://artchist.blogspot.com/2019/09/tipos-de-antenas-satelite-foco-centrado.html>

[69] Revista Semana. (2014). Bansat trae a Colombia internet satelital para el campo y la ciudad [Online]. Disponible en : <https://www.semana.com/bansat-trae-colombia-internet-satelital-para-campo-ciudad/54286/>

[70] SkyNet. Ventajas del internet satelital en Colombia [Online]. Disponible en: <http://sky.net.co/ventajas-internet-satelital/>

[71] TICDigital. "En Colombia tendremos mayor conectividad y menor costo". La E-Magazine de la Tecnología, La Comunicación Digital y el Emprendimiento Empresarial del nuevo siglo. Online [marzo, 2014]

[72] Fraunhofer Focus. "Wireless Bachaul Technology (WiBack)". Online [mayo, 2014].

[73] D. Corral. "Red alternativa de telecomunicaciones rurales en Ecuador" Máster en Redes de Telecomunicación para Países en Desarrollo. Tutor: Dr. Carlos Figuera Pozuelo. Escuela Técnica Superior de Ingeniería de Telecomunicación. Universidad Rey Juan Carlos. Madrid, España, 2010.

- [74] C. Kobel; W. Baluja Garcia and J. Habermann. "A survey on Wireless Mesh Network applications in rural areas and emerging countries". Global Humanitarian Technology Conference (GHTC), IEEE, 2013.
- [75] M. Kretschmer; P. Hasse; C. Niephaus; T. Horstmann and Jonas. "Connecting Mobile Phones via Carrier-Grade Meshed Wireless Back-Haul Networks". E-Infrastructures and E-Services for Developing Countries. Springer Berlin Heidelberg, 2011. pp. 1-10.
- [76] C. Niephaus and M. Kretschmer. "Towards an Energy Management Framework for Carrier-Grade Wireless Back-Haul Networks". Computer Communications and Networks (ICCCN), 2012 21st International Conference on. IEEE, 2012.
- [77] M. Mathias; C. Niephaus; D. Henkel and G. Ghinea. "QoS-aware wireless backhaul network for rural areas with support for broadcast services in practice". Mobile Adhoc and Sensor Systems (MASS), 2011 IEEE 8th International Conference on. IEEE, 2011.
- [78] H. Viswanathan and S. Mukherjee. "Throughput-range tradeoff of wireless mesh backhaul networks". Selected Areas in Communications, IEEE Journal on 24.3, 2006, pp. 593-602.
- [79] E. M. Mohamed; D. Kinoshita; K. Mitsunaga; Y. Higa and H. Furukawa. "MIMO based wireless backhaul". Ultra-Modern Telecommunications and Control Systems and Workshops (ICUMT), 2010 International Congress on. IEEE, 2010.
- [80] G. Fettweis and E. Zimmermann. "ICT energy consumption-trends and challenges". Proceedings of the 11th International Symposium on Wireless Personal Multimedia Communications, vol. 2, No4, 2008.
- [81] H. Tung. Et al. "QoS for mobile WiMAX networks: call admission control and bandwidth allocation". Consumer Communications and Networking Conference, 2008. CCNC 2008. 5th. IEEE, 2008.
- [82] Andrea Lazzari "El estándar WiBro para redes de banda ancha móvil". Universidad de Parma. 2004. [Online]. Disponible en: [https://www.tesionline.it/tesi/Lo\\_standard\\_WiBro\\_per\\_le\\_reti\\_mobili\\_a\\_larga\\_banda/32200](https://www.tesionline.it/tesi/Lo_standard_WiBro_per_le_reti_mobili_a_larga_banda/32200)
- [83] Localret "Tecnología WiBRO". [Online]. Disponible en: [http://www.localret.es/informatiulocalret/cast/num44/interior\\_tecnologies.htm](http://www.localret.es/informatiulocalret/cast/num44/interior_tecnologies.htm)
- [84] MSc. Dewar Rico Bautista, Ing. Laura Sanchez Espinosa, Eimed Yesid Portillo. Revista ingenio (2014, diciembre) REDES MESH, Una Alternativa A Problemas De

Cobertura De Red: Unarevision De Literatura [Online]. Disponible en: <https://revistas.ufps.edu.co/index.php/ingenio/article/view/2031/3764>

[85] Ing. Aldemar Holguin Rojas, Pedro Solarte, Ruben Noguera. <http://repositorio.unicauca.edu.co> (2009) Criterios Técnicos para el Diseño e Implementacion de Redes WiFi en Malla como solución de acceso banda ancha [Online]. Disponible en: <http://repositorio.unicauca.edu.co:8080/bitstream/handle/123456789/2015/CRITERIOS%20T%C3%89CNICOS%20PARA%20EL%20DISE%C3%91O%20E%20IMPLIMENTACI%C3%93N%20DE%20REDES%20WiFi%20EN%20MALLA.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

[86] Phd. Guefry Agredo, Esp. Virginia Solarte, Ing. Pedro Solarte. Revista GTI (2011, enero) Modelo De Trabajo Para El Diseño E Implementación De Redes En Malla Wifi Como Una Solución Para El Acceso A Banda Ancha En Áreas Rurales [Online]. Disponible en: <https://revistas.uis.edu.co/index.php/revistagti/article/view/1354>

[87] K. Pretz. IEEE Spectrum (2022, abril, 14) This Community-Run Internet is Bridging the Digital Divide The low-power open-source wireless mesh network is portable [Online]. Disponible en: <https://spectrum.ieee.org/community-run-internet>

[88] Intensity. (2016). ¿Qué es y para qué sirve la Puesta a Tierra? [Online] Disponible en : <https://intensity.mx/es/blog/que-es-y-para-que-sirve-la-puesta-tierra>.

[89] IDEAM. (2021). Visor de Atlas de Radiación: Disponible en: <http://atlas.ideam.gov.co/visorAtlasRadiacion.html>. (Accedido May. 31,2023).