

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ

FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA



**EVALUACIÓN Y DISEÑO DE TRES MODELOS TÉCNICOS DE REDES COMUNITARIAS
PARA SU ADOPCIÓN EN LAS ZONAS DE BRECHA RESIDUAL DE
TELECOMUNICACIONES EN EL PERÚ**

Tesis para obtener el título profesional de Ingeniero de las Telecomunicaciones

AUTOR:

Rafael Alberto Rodríguez Huamani

ASESOR:

Mag. Alan Alberto Ramírez García

Lima, octubre de 2023

Informe de Similitud

Yo, ALAN ALBERTO RAMÍREZ GARCÍA,

docente de la Facultad de Ciencias e Ingeniería de la Pontificia

Universidad Católica del Perú, asesor de la tesis titulada

EVALUACIÓN Y DISEÑO DE TRES MODELOS TÉCNICOS DE REDES COMUNITARIAS PARA SU ADOPCIÓN EN LAS ZONAS DE BRECHA RESIDUAL DE TELECOMUNICACIONES EN EL PERÚ

del autor

RODRIGUEZ HUAMANI, RAFAEL ALBERTO

dejo constancia de lo siguiente:

- El mencionado documento tiene un índice de puntuación de similitud de 19%. Así lo consigna el reporte de similitud emitido por el software *Turnitin* el 17/10/2023.
- He revisado con detalle dicho reporte y la Tesis o Trabajo de Suficiencia Profesional, y no se advierte indicios de plagio.
- Las citas a otros autores y sus respectivas referencias cumplen con las pautas académicas.

Lugar y fecha: Lima, 2 de noviembre de 2023

Apellidos y nombres del asesor: RAMÍREZ GARCÍA, ALAN ALBERTO	
DNI: 43110749	Firma 
ORCID: 0000-0001-7088-249X	

RESUMEN

En la actualidad el uso del Internet se ha vuelto indispensable en el desarrollo de la sociedad, generando oportunidades en los distintos ámbitos de la vida de las personas. Sin embargo, aún existen poblaciones que no cuentan con acceso a este servicio, principalmente en las zonas rurales, donde el alcance de las políticas públicas por parte del Estado, para llevar este servicio, ha sido insuficiente, aplazando involuntariamente su desarrollo. No obstante, como alternativa de solución, algunas comunidades rurales de diversas partes del mundo han optado por organizarse y con la ayuda de organizaciones de diversa naturaleza, implementan sus propias redes de Internet, denominándolas redes comunitarias.

En tal sentido, la importancia de desarrollar este tema se sostiene en que la falta de conectividad ocasiona exclusión social y desigualdad en el acceso a la educación, la salud, el trabajo, el ejercicio de los derechos, entre otros, perpetuando las diferencias sociales, tal como pudo apreciarse, en mayor medida debido a los efectos de la pandemia de la COVID-19. En esa línea, la exploración de nuevos modelos alternativos de conectividad, como es el de redes comunitarias, es un tema de interés desde los distintos espacios de debate de políticas globales de Internet y el ámbito académico.

En concordancia, la presente tesis tiene como objeto identificar y evaluar las condiciones operativas, y de arquitectura de red con las que las redes comunitarias operan técnicamente, así como sintetizar y proponer tres modelos técnicos, que puedan ser adoptados como una alternativa viable de acceso a Internet en las zonas de brecha residual de telecomunicaciones en el Perú. Por otro lado, de acuerdo a los cálculos estimados se determinó que las inversiones relativas de implementación de los modelos propuestos son significativamente menores a las estimaciones oficiales del MEF para el cierre de brechas de telecomunicaciones en el Perú.

DEDICATORIA

A mi madre por haberme brindado siempre su apoyo incondicional, gracias por inculcarme a seguir adelante siempre a pesar de las dificultades.



AGRADECIMIENTOS

A mi esposa e hijos quienes constantemente me impulsan a alcanzar mis metas y objetivos.

A mi asesor, Mag. Alan Ramírez García, por su orientación y enseñanzas brindadas durante el desarrollo de la presente tesis.

A todos aquellos quienes de alguna manera u otra forma contribuyeron al desarrollo de esta tesis con sus sugerencias, ideas u opiniones.



ÍNDICE GENERAL

INTRODUCCIÓN	1
Capítulo 1. Diagnóstico del problema de acceso a Internet en zonas rurales y objetivos.....	3
1.1 Planteamiento del problema y justificación	3
1.1.1 Problemática de conectividad en América Latina y el Caribe	3
1.1.2 Brecha de conectividad en zonas rurales del Perú y rol del Estado	6
1.1.3 Las redes comunitarias como alternativa para el cierre de brecha residual de telecomunicaciones	11
1.1.4 Importancia del cierre de brecha residual de telecomunicaciones	15
1.1.4.1 Ámbito educativo	15
1.1.4.2 Ámbito de la salud.....	16
1.1.4.3 Ámbito socioeconómico.....	17
1.1.4.4 Ámbito ambiental.....	18
1.2 Objetivos de la tesis.....	19
1.2.1 Objetivo general	19
1.2.2 Objetivos específicos.....	19
1.3 Alcances y limitaciones.....	20
1.4 Razones que motivaron el desarrollo del trabajo	20
Capítulo 2. Estudio del desarrollo de soluciones al problema de acceso de Internet en zonas rurales y marco teórico y normativo	22
2.1 Antecedentes	22
2.2 Fundamento teórico de redes comunitarias.....	25
2.2.1 Concepto de redes comunitarias.....	25

2.2.1.1	Características de las redes comunitarias	25
2.2.1.2	Esquema de funcionamiento de la red comunitaria	26
2.2.2	Estructura de red de las redes comunitarias	26
2.2.3	Tecnología de red utilizadas por las redes comunitarias.....	27
2.2.4	Infraestructura para redes comunitarias de telecomunicaciones	35
2.2.3.1	Torres de telecomunicaciones	36
2.2.3.2	Energía y protección eléctrica	37
2.3	Marco normativo	40
2.4	Justificación e importancia de la investigación.....	42
2.5	Metodología de la investigación	42
2.6	Estimación y análisis de localidades de la brecha residual de telecomunicaciones.	43
Capítulo 3. Identificación, evaluación y modelamiento de tres diseños de arquitectura de redes comunitarias		50
3.1	Metodología Benchmarking para el diseño de redes comunitarias	50
3.1.1	Planificación y selección de redes comunitarias	51
3.1.2	Recolección de datos de las redes comunitarias seleccionadas.....	53
3.1.2.1	Red comunitaria INC	55
3.1.2.2	Red comunitaria Maní - Casanare	57
3.1.2.3	Red Comunitaria Quinta Libre	58
3.1.2.4	Red Comunitaria San Pablo Libre.....	59
3.1.2.5	Red Comunitaria Pifeiros	61
3.1.2.6	Red Comunitaria Penalva	62
3.1.2.7	Red Comunitaria El Cuy	62
3.1.2.8	Red Comunitaria Terra do Meio	63

3.1.2.9 Red Comunitaria Murambinda Works	64
3.1.2.10 Red Comunitaria Castilla y León	64
3.1.3 Análisis comparativo para el diseño de redes comunitarias.....	65
3.1.3.1 Análisis de parámetros de redes comunitarias en base a indicadores	65
3.1.3.2 Evaluación para la selección de componentes de redes comunitarias.....	75
3.1.4 Propuesta de diseño de modelo técnico de redes comunitarias.....	81
3.1.4.1 Modelo técnico de red comunitaria 1	83
3.1.4.2 Modelo técnico de red comunitaria 2	88
3.1.4.3 Modelo técnico de red comunitaria 3	92
Capítulo 4. Análisis y valoración de la aplicación de los modelos sintetizados en zonas de brecha residual en el Perú.....	95
4.1 Análisis de la aplicabilidad de los modelos propuestos	95
4.1.1 Análisis y evaluación del modelo técnico de red comunitaria 1	96
4.1.2 Análisis y evaluación del modelo técnico de red comunitaria 2	98
4.1.3 Análisis y evaluación del modelo técnico de red comunitaria 3	99
4.2 Valoración de los modelos propuestos.....	102
4.2.1 Costos del modelo técnico de red comunitaria 1.....	103
4.2.2 Costos del modelo técnico de red comunitaria 2.....	104
4.2.3 Estimación de costos de infraestructura de la brecha residual	108
4.3 Sostenibilidad de las redes comunitarias.....	109
CONCLUSIONES	110
RECOMENDACIONES Y OBSERVACIONES	111
BIBLIOGRAFÍA.....	112

Anexo A: Mapas de Brecha Residual de Telecomunicaciones..... 120

Anexo B : Descripción de Redes Comunitarias Seleccionadas 144



ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.	Población de 6 años y más que hace uso del Internet, según área de residencia ...	8
Tabla 2.	Características generales de la familia IEEE 802.11.....	34
Tabla 3.	Bandas de frecuencias para sistemas VSAT	33
Tabla 4.	Estimación de la brecha residual de telecomunicaciones.....	45
Tabla 5.	Estimación de cantidad de habitantes promedio por centro poblado	45
Tabla 6.	Identificación de redes comunitarias.....	52
Tabla 7.	Características técnicas de las redes comunitarias seleccionadas	55
Tabla 8.	Indicadores de los parámetros de las redes comunitarias.....	67
Tabla 9.	Medios de transmisión y acceso de redes comunitarias.....	67
Tabla 10.	Evaluación de índices de la red de transporte de las redes comunitarias.....	69
Tabla 11.	Evaluación de índices del backhaul de las redes comunitarias	72
Tabla 12.	Evaluación de índices de la red de acceso de las redes comunitarias	73
Tabla 13.	Medios de transmisión de red comunitaria	81
Tabla 14.	Presupuesto de equipos y materiales del modelo 1	103
Tabla 15.	Presupuesto de servicios de instalación del modelo 1.....	104
Tabla 16.	Presupuesto de equipos y materiales del modelo 2	105
Tabla 17.	Presupuesto de servicios de instalación del modelo 2.....	106
Tabla 18.	Presupuesto de equipos y materiales del modelo 3	107
Tabla 19.	Presupuesto de servicios de instalación del modelo 3.....	107

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.	Evolución de la población rural en América Latina según país, 1960 - 2019.....	5
Figura 2.	Hogares con acceso a Internet según ámbito geográfico, 2015-2019	8
Figura 3.	Ubicación en cuadrante alcance-tiempo en las intervenciones de vías directa e indirecta	12
Figura 4.	Ubicación en cuadrante alcance-tiempo en las intervenciones de vías directa e indirecta, y la tercera vía de redes comunitarias	14
Figura 5.	Sección transversal de una fibra óptica	28
Figura 6.	Tamaños de núcleo y cinco variantes de modos ópticos.....	29
Figura 7.	Elementos de una red VSAT	33
Figura 8.	Perú: Brecha residual de telecomunicaciones	46
Figura 9.	Perú: Brecha residual por departamentos.....	47
Figura 10.	Perú: Brecha residual por zonas	47
Figura 11.	Condiciones de energía eléctrica en centros poblados	48
Figura 12.	Ubicación geográfica de redes comunitarias identificadas	53
Figura 13.	Elementos del modelo de gobernanza de las redes comunitarias.....	54
Figura 14.	Topología física referencial de la red comunitaria INC.....	56
Figura 15.	Topología física referencial de la red comunitaria Mani – Casanare.....	58
Figura 16.	Topología física referencial de la red comunitaria Quintana Libre.....	59
Figura 17.	Topología física referencial de la red comunitaria San Pablo Libre	60
Figura 18.	Topología física referencial de la red comunitaria Pifeiros	61
Figura 19.	Topología física referencial de la red comunitaria Penalva	62
Figura 20.	Topología física referencial de la red comunitaria El Cuy.....	63
Figura 21.	Topología física referencial de la red comunitaria Terra do Meio.....	63
Figura 22.	Topología física referencial de la red comunitaria Murambinda Works.....	64

Figura 23. Topología física referencial de la red comunitaria Castilla y León	65
Figura 24. Topología del modelo técnico de la red comunitaria 1	84
Figura 25. Topología del modelo técnico de la red comunitaria 2	89
Figura 26. Topología del modelo técnico de la red comunitaria 3	93
Figura A1. Brecha residual de telecomunicaciones del departamento de Amazonas	120
Figura A2. Brecha residual de telecomunicaciones del departamento de Ancash	121
Figura A3. Brecha residual de telecomunicaciones del departamento de Apurímac	122
Figura A4. Brecha residual de telecomunicaciones del departamento de Arequipa	123
Figura A5. Brecha residual de telecomunicaciones del departamento de Ayacucho	124
Figura A6. Brecha residual de telecomunicaciones del departamento de Cajamarca	125
Figura A7. Brecha residual de telecomunicaciones del departamento de Cusco	126
Figura A8. Brecha residual de telecomunicaciones del departamento de Huancavelica	127
Figura A9. Brecha residual de telecomunicaciones del departamento de Huánuco	128
Figura A10. Brecha residual de telecomunicaciones del departamento de Ica	129
Figura A11. Brecha residual de telecomunicaciones del departamento de Junín	130
Figura A12. Brecha residual de telecomunicaciones del departamento de La Libertad	131
Figura A13. Brecha residual de telecomunicaciones del departamento de Lambayeque	132
Figura A14. Brecha residual de telecomunicaciones del departamento de Lima	133
Figura A15. Brecha residual de telecomunicaciones del departamento de Loreto	134
Figura A16. Brecha residual de telecomunicaciones del departamento de Madre de Dios ...	135
Figura A17. Brecha residual de telecomunicaciones del departamento de Moquegua	136
Figura A18. Brecha residual de telecomunicaciones del departamento de Pasco	137
Figura A19. Brecha residual de telecomunicaciones del departamento de Piura	138
Figura A20. Brecha residual de telecomunicaciones del departamento de Puno	139
Figura A21. Brecha residual de telecomunicaciones del departamento de San Martín	140

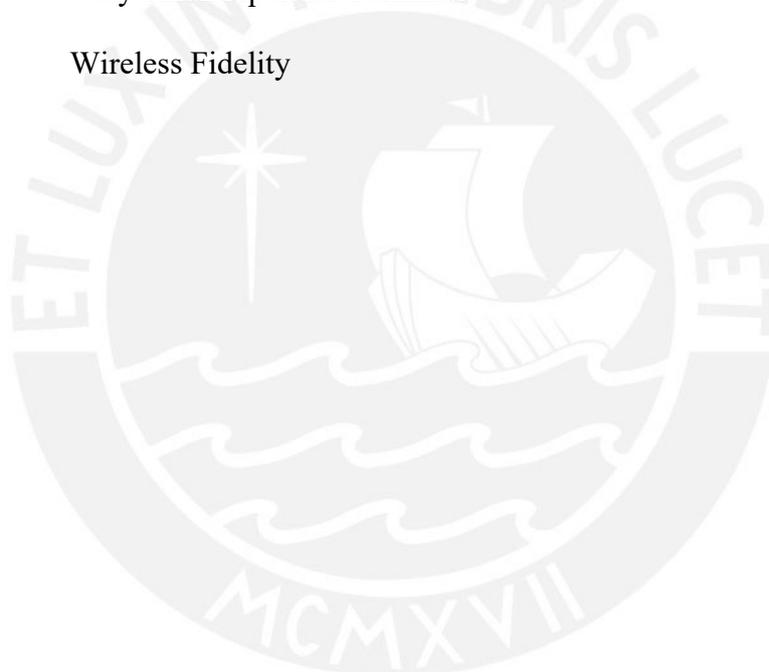
Figura A22. Brecha residual de telecomunicaciones del departamento de Tacna	141
Figura A23. Brecha residual de telecomunicaciones del departamento de Tumbes	142
Figura A24. Brecha residual de telecomunicaciones del departamento de Ucayali.....	143
Figura B1. Ubicación red comunitaria RedINC	144
Figura B2. Zona rural de intervención Cauca – Colombia.....	145
Figura B3. Ubicación red comunitaria Mani - Casanare.....	146
Figura B4. Comunidad de Mani	147
Figura B5. Ubicación red comunitaria Quintana Libre	148
Figura B6. Antena comunitaria Quintana Libre	149
Figura B7. Ubicación red comunitaria San Pablo Libre	150
Figura B8. Instalación radioenlace – San Pablo	151
Figura B9. Ubicación red comunitaria Pifeiros.....	152
Figura B10. Instalación antena – Pifeiros	153
Figura B11. Ubicación red comunitaria Penalva.....	154
Figura B12. Instalación antena – Penalva	155
Figura B13. Ubicación red comunitaria El Cuy	156
Figura B14. Instalación radioenlace en el pueblo El Cuy	156
Figura B15. Ubicación red comunitaria Muranbinda - Zimbabue	157
Figura B16. Localidad de Muranbinda.....	158
Figura B17. Ubicación red comunitaria Terra do Meio	159
Figura B18. Reserva ecológica Terra do Meio.....	160
Figura B19. Ubicación red comunitaria de Castilla y León	160
Figura B20. Comunidad Navares de la Cuevas.....	161

GLOSARIO

ADSS	:	All Dielectric Self-Supporting
ALC	:	América Latina y el Caribe
AP	:	Access point
APC	:	Association for Progressive Communications
BID	:	Banco Interamericano de Desarrollo
BW	:	Ancho de Banda
CABASE	:	Cámara Argentina de Internet
CC	:	Corriente Continua
CC.PP.	:	Centros Poblados
CITEL	:	Comisión Interamericana de Telecomunicaciones
CSMA	:	Carrier Sense Multiple Access
DGE	:	Dirección General de Electricidad
DHCP	:	Dynamic Host Configuration Protocol
ENACOM	:	Ente Nacional de Comunicaciones
FITEL	:	Fondo de Inversiones en Telecomunicaciones
GB	:	Gigabyte
Gbps	:	Gigabit/s
GHz	:	Gigahertz
GSM	:	Global System for Mobile Communication
HERMES	:	High-frequency Emergency and Rural Multimedia Exchange System
HF	:	High Frequency
IDU	:	Indoor Unit
IEC	:	International Electrotechnical Commission
IEEE	:	Institute of Electrical and Electronics Engineers

ISOC	:	Internet Society
ITU	:	International Telecommunication Union
LACNIC	:	Latin American and Caribbean Internet Addresses Registry
LAN	:	Local Area Network
MAN	:	Metropolitan Area Network
Mbps	:	Megabit/s
MEF	:	Ministerio de Economía y Finanzas
MIQCB	:	Movimiento Interestatal de Quebradoras de Cocos Babasú
MPPT	:	Maximum Power Point Tracker
NAT	:	Network Address Translation
NFPA	:	National Fire Protection Association
NTP	:	Norma Técnica Peruana
OCDE	:	Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico
ODU	:	Outdoor Unit
OEA	:	Organización de los Estados Americanos
ONG	:	Organismo no Gubernamental
OSIPTEL	:	Organismo Supervisor de Inversión Privada en Telecomunicaciones
PAT	:	Puesta a Tierra
POTRAZ	:	Postal & Telecommunications Regulatory Authority of Zimbabwe
PtMP	:	Punto Multipunto
PtP	:	Punto a Punto
PWM	:	Pulse Width Modulation
RDNFO	:	Red Dorsal Nacional de Fibra Óptica
RLAN	:	Radio Local Area Network
SELA	:	Sistema Económico Latinoamericano y del Caribe

SFV	:	Sistemas Fotovoltaicos
TIC	:	Tecnologías de la Información y las Comunicaciones
TVWS	:	TV White Spaces
UNESCO	:	Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura
UPS	:	Uninterruptable Power Supply
VLAN	:	Virtual Local Area Network
VoIP	:	Voice over IP
VSAT	:	Very Small Aperture Terminal
Wi-Fi	:	Wireless Fidelity



INTRODUCCIÓN

Las telecomunicaciones han realizado un aporte fundamental al desarrollo de la humanidad. Un claro ejemplo es el Internet, el cual nos permite acceder a una amplia cantidad de información y poder comunicarnos, permitiendo acortar distancias y generar oportunidades en los diversos ámbitos de la vida de las personas, por esta razón, hoy en día, es innegable que el Internet es primordial para el desarrollo de la sociedad. Sin embargo, en la actualidad aún existen poblaciones que no cuentan con este servicio, principalmente, en las zonas rurales. En concordancia a lo expuesto, según datos obtenidos del Ministerio de Transportes y Comunicaciones (2020), se estima que de un aproximado de 100,000 centros poblados que hay a nivel nacional, hasta el 2020 habían 59,161 que no contaban con ningún servicio reportado de telecomunicaciones. Por lo que, debido a su importancia social, resulta preocupante y es imprescindible dar a conocer esta problemática a fin de contribuir a solucionarlo, ya que afecta principalmente a las personas con menores recursos económicos y viven en las zonas rurales desatendidas por el Estado peruano. En ese sentido, según la experiencia regional comparada, las redes comunitarias como modelos de conectividad alternativos a los mecanismos tradicionales de mercado o proyectos públicos, vienen siendo una alternativa viable de acceso a Internet en zonas rurales.

En esa línea, la presente tesis busca proponer tres modelos técnicos de redes comunitarias para ser adoptados como una alternativa de acceso a Internet en las zonas de brecha residual de telecomunicaciones en el Perú. Para lo cual, se realizó la evaluación y el análisis del diseño y funcionamiento de modelos de redes comunitarias existentes, utilizando la metodología benchmarking, el cual permite compararlos en base a parámetros e indicadores de su estructura técnica y operativa, lo cual permite sintetizar y realizar mejoras buscando proponer nuevos modelos. Al respecto, si bien el alcance de este estudio se limita al ámbito técnico, es

imprescindible que la promoción de las redes comunitarias se dé con un enfoque de desarrollo e interculturalidad, ética y responsabilidad social por parte de los múltiples actores involucrados.

En resumen, este trabajo consta de cuatro capítulos; en el primer capítulo se analiza la problemática del limitado acceso a Internet en zonas rurales del Perú y evalúa a las redes comunitarias como vía para el cierre de la brecha residual de telecomunicaciones, así como también se definen los alcances y objetivos de esta investigación. En el capítulo dos se describen los diferentes conceptos y tecnologías que permitirán identificar distintas consideraciones para la elaboración de los modelos técnicos de redes comunitarias; además, se determina la metodología para elaborar los modelos propuestos. En el capítulo tres se identifica y evalúa las condiciones operativas y de arquitectura de red con las que las redes comunitarias operan técnicamente con base en la experiencia internacional comparada, así como se sintetizan modelos que puedan ser aplicables en las zonas de brecha residual de telecomunicaciones en el Perú, de acuerdo con su caracterización. Y, en el capítulo cuatro, se realiza el análisis respecto a su aplicabilidad en zonas de brecha residual de telecomunicaciones en el Perú y valoración de costos de implementación de los modelos técnicos de redes comunitarias propuestos, destacando que la aplicación de estos modelos es viable debido a que las inversiones necesarias resultan significativamente menores a las estimaciones oficiales del Ministerio de Economía y Finanzas (MEF) para el cierre de brechas de telecomunicaciones en el Perú, ya que, según los cálculos estimados en esta investigación, la implementación de infraestructura de telecomunicaciones mediante redes comunitarias para el 97.7 % de los centros poblados de la brecha residual se requiere una inversión aproximada de 5 476 millones de soles, que representa aproximadamente el 45 % de la estimación proyectada por el MEF.

Capítulo 1. Diagnóstico del problema de acceso a Internet en zonas rurales y objetivos

En el primer capítulo se brinda un panorama general de la problemática de la brecha digital y se realiza un análisis de las redes comunitarias como vía para el cierre de la brecha residual de telecomunicaciones, así como se definen el alcance y los objetivos.

1.1 Planteamiento del problema y justificación

1.1.1 Problemática de conectividad en América Latina y el Caribe

Gracias a la masificación del Internet a nivel mundial, en los últimos años se ha observado un incremento acelerado en el acceso y uso de las Tecnologías de Información y Comunicaciones (TIC), lo cual se evidencia debido a que su uso se ha vuelto cada vez más necesario en todas las actividades de las personas. En ese sentido, García, Huici, Puig, & Iglesias (2021) afirman que la falta de acceso a Internet en la actualidad limita las oportunidades de las personas para desarrollar diversas áreas, tales como la educación, salud y el proceso productivo de las empresas, y, cada vez más, estas áreas son dependientes de las TIC.

A pesar de que el uso del Internet se ha vuelto en algo fundamental en la vida de las personas sin importar el oficio que tengan, se puede apreciar que todavía existe un gran conjunto de personas en todo el mundo que no tienen acceso a este servicio. Al respecto, en el estudio realizado por la Comisión Europea en su revista Panorama (Comisión Europea, 2019), indica que la conectividad en Europa llega al 80 % de la población, pero en zonas rurales, el porcentaje desciende a menos del 50 %, siendo un caso similar al de América Latina y el Caribe (ALC), donde las estadísticas del Sistema Económico Latinoamericano y del Caribe (SELA) en su informe de conectividad digital rural del 2021, señala que el 32 % de la población no tiene acceso a Internet, siendo las zonas más afectadas las zonas rurales con un 77 %.

En relación con lo señalado, los países de ALC son los más afectados con este problema en comparación con los países de Europa; asimismo, cabe resaltar que esta problemática afecta principalmente a las personas que viven en zonas rurales. Por otra parte, está claro que, si bien hay cobertura de servicios de Internet en ciertas áreas rurales, su acceso se encuentra limitado por la baja calidad de la señal, ocasionando pesar en los usuarios por no poder utilizarlo. Sobre el particular, Arias, Ziegler, Bosio, & Camacho (2020) indican que en América Latina y el Caribe existen un aproximado de 77 millones de personas que viven en zonas rurales que cuentan con acceso a Internet sin la calidad mínima requerida para acceder a los servicios de educación a distancia, telemedicina, teletrabajo u otros servicios, que resultan indispensables en estos tiempos de pandemia, por lo cual enfatiza que la calidad de la señal es tan importante como la cobertura.

Por otra parte, si bien existe un rápido crecimiento en la cantidad de personas que pueden acceder a Internet en los últimos años, esto usualmente no sucede así en las poblaciones de zonas rurales; especialmente de economías bajas, las cuales se quedan atrasadas en este aspecto en comparación con las zonas urbanas. Al respecto, según autores como Arias *et al.* (2020) y Ramírez & Blanco (2021), esta situación se debe, principalmente, a que la mayoría de las comunidades rurales se encuentran ubicadas en áreas geográficas de difícil acceso, lo cual implementar infraestructura de telecomunicaciones no lo hace rentable para la empresa privada, debido a los altos costos de instalación y mantenimiento, sumado a la baja demanda por la condición económica de los habitantes que no les permite adquirir dispositivos y servicios de telefonía móvil e Internet; asimismo, se tiene que las políticas públicas por parte del Estado no han sido suficientes para crear las condiciones necesarias que incentiven la inversión del sector privado o que sus proyectos de financiamiento público se encuentran limitados en su alcance.

En consecuencia, esta situación ha generado desigualdad en el acceso a la educación, salud, trabajo, entre otros, de las personas en áreas rurales, incrementando las diferencias sociales existentes y los motivos para migrar hacia centros urbanos en busca de mejores condiciones de vida, en especial, de gente joven. Esta migración poblacional se aprecia en la Figura 1, donde existe una tendencia a la disminución relativa de la población rural en los países de América Latina en el periodo 1960 - 2019, lo cual ha generado su disminución poblacional afectando sus actividades económicas. En torno a lo comentado, Barrantes, Agüero & Aguilar (2020) sostienen que las poblaciones de las zonas rurales son importantes para el desarrollo del país, ya que realizan múltiples aportes a las distintas áreas como la producción de alimentos, energía, servicios ambientales, cultura e identidad, hasta la conservación de los recursos naturales que son importantes para la sostenibilidad de la vida.

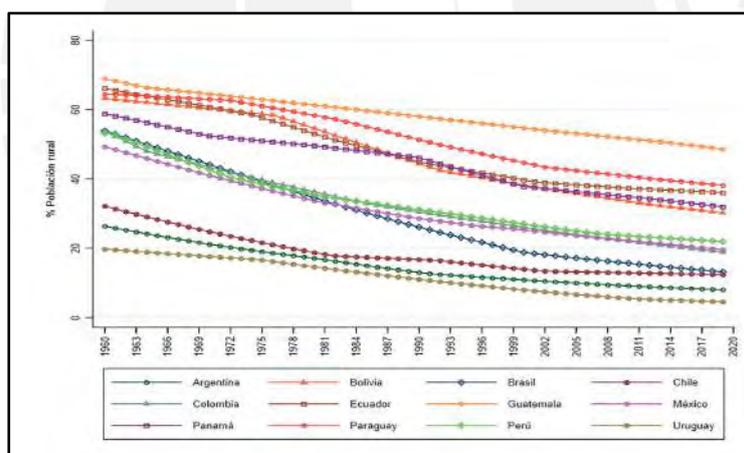


Figura 1. Evolución de la población rural en América Latina según país, 1960 - 2019

Fuente: Barrantes *et al.*, 2020

Específicamente, la realidad de la población del campo se vio reflejada con mayor énfasis durante la pandemia de la COVID-19, la cual evidenció esta gran problemática de acceso a Internet que existe desde hace muchos años, donde se pudo apreciar que no pueden acceder a la teleeducación, telemedicina, teletrabajo y otros servicios que brinda la era digital, y que los gobiernos han dispuesto su uso para mitigar los efectos de la pandemia. En relación con esto, Melgarejo (2022) señala que la desigualdad en el acceso a Internet y las TIC por la falta de

servicios públicos de telecomunicaciones conlleva a que no todos puedan acceder al trabajo remoto y las clases virtuales, originando que se pierda la posibilidad de contar con una educación de calidad y un desarrollo económico que beneficie a todos.

Asimismo, durante la pandemia de la COVID-19 se fue testigo de la carencia de este servicio y cómo esta afecta en todos los ámbitos, como, por ejemplo, la educación, la cual agrava la problemática ya existente en este ámbito. Por otro lado, la pandemia ha provocado el cierre masivo de los centros de estudios; por ende, hubo suspensión de las clases presenciales, donde según datos de la Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO, 2020) a mayo de 2020, más de 165 millones de estudiantes en todos los niveles de enseñanza en ALC dejaron de tener clases presenciales. En este contexto, se destaca la importancia de la conectividad para ampliar oportunidades en momentos de crisis, como las clases virtuales y el acceso a plataformas en línea, que se han ido implementando a pesar de la falta de preparación. Sin embargo, estas es importante señalar que estas oportunidades no están al alcance para las personas en zonas menos favorecidas, como las zonas rurales.

1.1.2 Brecha de conectividad en zonas rurales del Perú y rol del Estado

La problemática presentada sobre la falta de cobertura de acceso a Internet posiciona a ALC por debajo de la mayoría de los países europeos en términos de acceso a Internet, siendo esta brecha más pronunciada en las zonas rurales. De manera similar, según un informe anual del Banco Interamericano de Desarrollo (BID) en 2021 sobre el índice de desarrollo de banda ancha, donde se evaluaron diversos factores, como políticas públicas, visión estratégica, regulación, infraestructura, aplicación y capacitación, con el objetivo de medir el acceso a la banda ancha. Los resultados revelaron que los países de ALC han quedado rezagados en comparación con los pertenecientes a la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE), por lo que recomienda a países andinos como el Perú, invertir en

infraestructura y desarrollar políticas públicas que fomenten asociaciones público-privada, especialmente para llegar a las zonas rurales (García, Iglesias & Pau, 2021).

En particular, en el indicado informe del BID el Perú se posicionó en el puesto 14 de 26 países de ALC destacando especialmente en el factor de regulación estratégica, donde experimentó una mejora significativa con respecto a 2018, lo cual refleja un cambio positivo en términos de suscripción de banda ancha, concentración de operadores de banda ancha, efectividad del Fondo de Servicio Universal y asignación del espectro de comunicaciones. A pesar de estos avances, aún falta mucho por mejorar en torno a otros factores donde se ha mantenido o incluso retrocedido en comparación con años anteriores (García, Iglesias & Pau, 2021).

Por otro lado, según el artículo de Fomón (2021) sobre velocidad de Internet, Perú se posicionó en el cuarto lugar entre las seis principales economías de América Latina, con una velocidad media de descarga de 40.65 Mbps. Sin embargo, a pesar de que Perú ha mejorado su velocidad de Internet en zonas con cobertura, todavía la falta de esta en zonas rurales sigue siendo un problema que aún no logra superar limitándolo en el crecimiento como nación. Consiguientemente, según estadísticas del Organismo Supervisor de Inversión Privada en Telecomunicaciones (2020), se puede apreciar que a pesar de que ha habido un crecimiento sostenido en el acceso a Internet en zonas rurales en los últimos años, de 25.5 % a 41.5 % entre el 2015 al 2019 respectivamente, este crecimiento no es comparable a Lima Metropolitana, donde alcanzó un 92 % en 2019. Esta disparidad se explica por la facilidad de acceso y alta demanda de este servicio en las zonas urbanas, lo que lo hace rentable para el sector privado, tal como se muestra en la Figura 2.

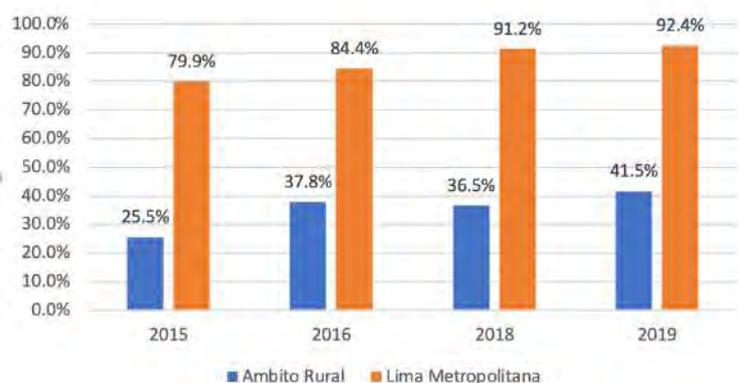


Figura 2. Hogares con acceso a Internet según ámbito geográfico, 2015-2019

Fuente: Organismo Supervisor de Inversión Privada en Telecomunicaciones (2020)

En concordancia con la información proporcionada por OSIPTEL, otra encuesta del Instituto Nacional de Estadística e Informática (2021) a una población de mayores a cinco años que utilizan Internet (ver Tabla 1) revela una marcada diferencia entre el área de Lima Metropolitana y el área rural. Mientras que la población de Lima Metropolitana alcanza un 80.9 % de usuarios de Internet, en el área rural este porcentaje se reduce considerablemente a tan solo el 34 %.

Tabla 1. Población de 6 años y más que hace uso del Internet, según área de residencia

Área de residencia	Ene-Feb-Mar 2020	Ene-Feb-Mar 2021	Variación (puntos porcentuales)
Total	60.3	66.8	6.5
Lima Metropolitana	78.5	80.9	2.4
Resto urbano	64.2	71.0	6.8
Área Rural	23.8	34.4	10.6

Fuente: Instituto Nacional e Informática (2021)

Por otra parte, según el informe técnico del Instituto Nacional de Estadística e Informática (2020), el sector de Telecomunicaciones y Otros Servicios de Información ha experimentado un crecimiento sostenido en los últimos años, incluso durante el aislamiento provocado por la pandemia de la COVID-19. Destaca especialmente el subsector de Telecomunicaciones, que registró un aumento del 12 % en el segundo trimestre del año 2020. Este crecimiento se debió

a la creciente demanda de servicios como telefonía móvil, Internet y procesamiento de datos, impulsada por la necesidad de realizar trabajo remoto, telesalud, teleducación y otros servicios.

Asimismo, según la proyección del Organismo Supervisor de Inversión Privada en Telecomunicaciones (2022), los ingresos en dicho sector se mantendrán por encima de los S/ 20 000 millones en los años 2022 y 2023, a causa de la expansión de conectividad de los servicios de telecomunicaciones ocasionada por una mayor demanda de conectividad y la expectativa de la adopción del 5G. En resumen, el crecimiento del sector de telecomunicaciones seguirá desarrollándose debido al avance de las tecnologías que requieren de un mayor ancho de banda y a los nuevos hábitos adquiridos durante la pandemia.

No obstante, es poco lo que se ha avanzado en las zonas rurales con respecto a este tema. En ese aspecto, según estadísticas del Organismo Supervisor de Inversión Privada en Telecomunicaciones (2020) solo existen 35 754 de los más de 90 000 centros poblados que cuentan con cobertura de Internet móvil (tecnología 3G o 4G). Esta situación limita de cierto modo a una cantidad de la población rural a poder desarrollarse, de no lograr un incremento en la cobertura, la brecha de conectividad existente seguirá aumentando, al ser superado por las nuevas tecnologías que requieren de mayores velocidades de ancho de banda (Quiso, 2020).

Durante el confinamiento de la COVID-19, se han evidenciado muchas de las carencias de las personas que viven en zonas rurales como, por ejemplo, en la educación, dejando a relucir la gran brecha digital existente, donde se encontró con una realidad altamente desfavorable: que muchas zonas rurales no cuentan con acceso a Internet ni electricidad; por ende, no cuentan con lo necesario para poder acceder a las clases virtuales dispuesto por el gobierno. En ese escenario, según Meza (2021), solo 5.9 % de las familias del área rural en el Perú lograron acceder al Internet al término del primer trimestre del 2020 y, aproximadamente, 300 000 alumnos dejaron la educación básica.

Por su parte, respecto al problema de acceso a Internet que afecta desde hace mucho tiempo a las personas que viven en zonas rurales, el Estado, a partir de la Ley de Telecomunicaciones del año 1993, creó el Fondo de Inversiones en Telecomunicaciones (FITEL), con el fin promover el acceso a los servicios esenciales de telecomunicaciones en todo el Perú, la cual fue modificada en el año 2012 con la Ley N° 29904: “Promoción de la Banda Ancha y Construcción de la Red Dorsal Nacional de Fibra Óptica”, que tiene como objetivo promover la infraestructura, acceso y uso en zonas rurales, y lugares con mayor necesidad para garantizar el acceso a Internet (García, Huici, Puig, & Iglesias, 2021).

En el 2018, mediante el Decreto Supremo N° 018-2018-MTC, el FITEL se fusiona con el Ministerio de Transporte y Comunicaciones; además, se creó el Programa Nacional de Telecomunicaciones (PRONATEL), con el objetivo de promover el acceso universal a los servicios de telecomunicaciones y de administrar los recursos del FITEL, otorgándosele así los aportes de los operadores de servicios en general del 1 %, los recursos del tesoro público, los ingresos financieros del FITEL, aplicación de multas y otros (García, Huici, Puig, & Iglesias, 2021).

En este contexto, la Secretaría Técnica del FITEL del Ministerio de Transportes y Comunicaciones, de acuerdo a la Ley N° 29904, en el artículo 7.4, formuló veintiún proyectos regionales con el nombre de “Instalación de Banda Ancha para la conectividad y desarrollo social”, de los cuales en la actualidad diez se encuentran en etapa de ejecución, otros ocho proyectos en operación y mantenimiento, y tres proyectos en etapa de reformulación (Pronatel, 2022).

Sin embargo, según la experiencia de los proyectos de inversión públicos realizados por el Estado, estos, en su mayoría, terminan siendo paralizados o ineficientes, generando una gran pérdida económica y repercusión en el índice de aumento de pobreza, ya que genera un aumento

al presupuesto de las obras e impide brindar puestos de trabajo por la inactividad rural. Tal como lo manifiesta la Contraloría General de la República del Perú (2019), en su reporte de las obras paralizadas del año 2018, en la cual alude que a nivel de Gobierno Nacional y Regional se paralizó 372 obras incluyendo a las zonas rurales, de las cuales 88 pertenecen al sector de Transportes y Comunicaciones.

Con respecto a experiencias recientes en el Perú sobre proyectos de telecomunicaciones realizados y que no han resultado como se esperaba, Ramírez & Blanco (2021) citan lo referido por el Banco Mundial (2019), el cual considera a la Red Dorsal Nacional de Fibra Óptica como “costosa y (...) notablemente infrautilizada”. Por otro lado, sobre los proyectos inconclusos o paralizados, mencionan que, a enero de 2021, de los 21 proyectos regionales de banda ancha se contaban solo con cuatro en operación mientras que tres de estos se encontraban en reformulación con contratos resueltos.

1.1.3 Las redes comunitarias como alternativa para el cierre de brecha residual de telecomunicaciones

Según lo descrito hasta el momento, se ha observado cómo las estrategias del Estado para brindar soluciones a esta problemática no permiten una solución rápida y eficiente, tal como refieren Ramírez & Blanco (2021) al analizar la efectividad del diseño institucional actual del Estado peruano para brindar conectividad en las zonas rurales, basándose principalmente en dos vías de intervención (ver Figura 3): la directa y la indirecta. En la vía directa, el Estado proporciona infraestructura de telecomunicaciones mediante proyectos públicos, la cual se caracteriza por el retraso en la puesta en operación y su alcance es, en términos relativos, bajo o medio, en el mejor de los casos puede llegar a 7 000 localidades. Por otro lado, la vía indirecta, el Estado desarrolla incentivos de interés para el sector privado para la expansión de infraestructura y servicios caracterizándose por tener un alcance limitado, aunque su tiempo desde el inicio hasta la puesta en operación suelen ser menores que la vía directa.

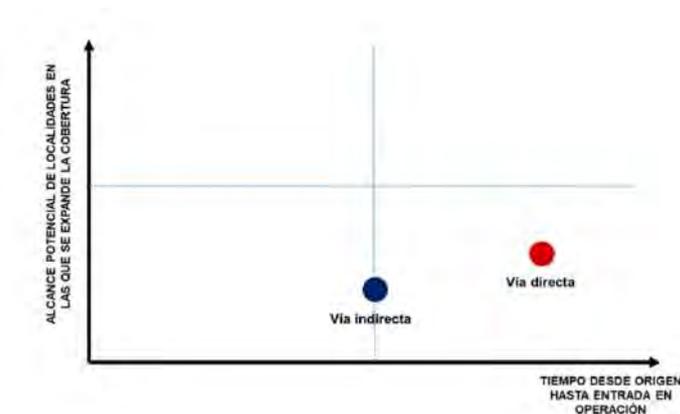


Figura 3. Ubicación en cuadrante alcance-tiempo en las intervenciones de vías directa e indirecta

Fuente: Ramírez & Blanco (2021)

Esta insuficiencia de los mecanismos de atención por parte del Estado afecta significativamente a aquellas comunidades situadas en zonas rurales con geografía muy accidentada y con poblaciones dispersas, ya que tienen poca o nula probabilidad de que el Estado pueda desarrollar o incentivar algún tipo de proyecto en un corto o mediano plazo por alguna de las dos vías descritas. De acuerdo con lo referido, el conjunto integrado por centros poblados que se encuentran fuera del alcance de las intervenciones públicas tradicionales es denominado brecha residual de telecomunicaciones, término acuñado por Ramírez & Blanco (2021). La brecha residual se cuantifica como la diferencia entre las localidades que no cuentan con ningún servicio de telecomunicaciones y las que explícitamente han sido priorizadas por el Estado en algún proyecto o intervención en los próximos cinco años tanto en la vía directa como en la indirecta.

Por otro lado, esta problemática del Estado para poder llevar cobertura a las zonas rurales la tienen muchos países en el mundo, en especial, los países de América Latina por su geografía y se agrava con el pasar del tiempo. Por ello, muchas comunidades rurales de varias partes del mundo, al verse con la necesidad de contar con servicios de telecomunicaciones, por ser de necesidad básica para su desarrollo como comunidad, han optado por organizarse e implementar su propia infraestructura de telecomunicaciones y llevar cobertura de Internet en

beneficio de su comunidad. Es así como, por la necesidad de ejercer su derecho a la comunicación e información, surgen las primeras redes comunitarias las cuales principalmente se caracterizan por ser sin ánimo de lucro.

Sobre el particular, existen diversos conceptos para definir a las redes comunitarias, sin embargo, para el caso de este trabajo de tesis, se tomará el concepto que se definió en la Declaración de la primera Cumbre Latinoamericana de Redes Comunitarias (2018) en Argentina, el cual dice:

“Las redes comunitarias son redes de propiedad y gestión colectiva de la comunidad, sin finalidad de lucro y con fines comunitarios. Se constituyen como colectivos, comunidades indígenas u organizaciones de la sociedad civil sin fines de lucro, que ejercen su derecho a la comunicación, bajo principios de participación democrática de sus miembros, equidad, igualdad de género, diversidad y pluralidad” (Cumbre Latinoamericana de Redes Comunitarias, 2018, p. 1).

En este aspecto, según la Internet Society (2021), en los últimos años, las redes comunitarias han aumentado en América Latina, convirtiéndose en una alternativa al modelo tradicional para proporcionar conectividad de última milla para zonas donde el Estado ni la empresa privada han llegado. Sin embargo, su éxito está condicionado a muchas variables como, por ejemplo, la presencia de organizaciones locales efectivas y sostenibles, la disponibilidad de capacidades tecnológicas, la extensión de recursos disponibles y las condiciones institucionales y regulatorias que pueden facilitar o dificultar la implementación (Baca, Belli, Huerta & Velasco, 2018).

En concordancia a lo expuesto, Ramírez & Blanco (2021) realizaron un análisis sobre las redes comunitarias determinando que, al ser proyectos específicos y al adaptarse a los intereses y circunstancias de la organización comunitaria, el tiempo desde su inicio hasta su puesta en

operación puede ser significativamente bajo y su alcance potencialmente mayor respecto de las otras dos vías de intervención del diseño institucional actual con el que se aborda este problema desde el Estado peruano (ver Figura 4). Por ello, proponen su aplicación como una tercera vía de intervención del Estado peruano para el cierre de brecha residual de telecomunicaciones. No obstante, consideran que tendría un mayor impacto si se desarrolla un marco específico de política pública para la brecha residual y se promuevan las condiciones adecuadas para el surgimiento de las redes comunitarias.

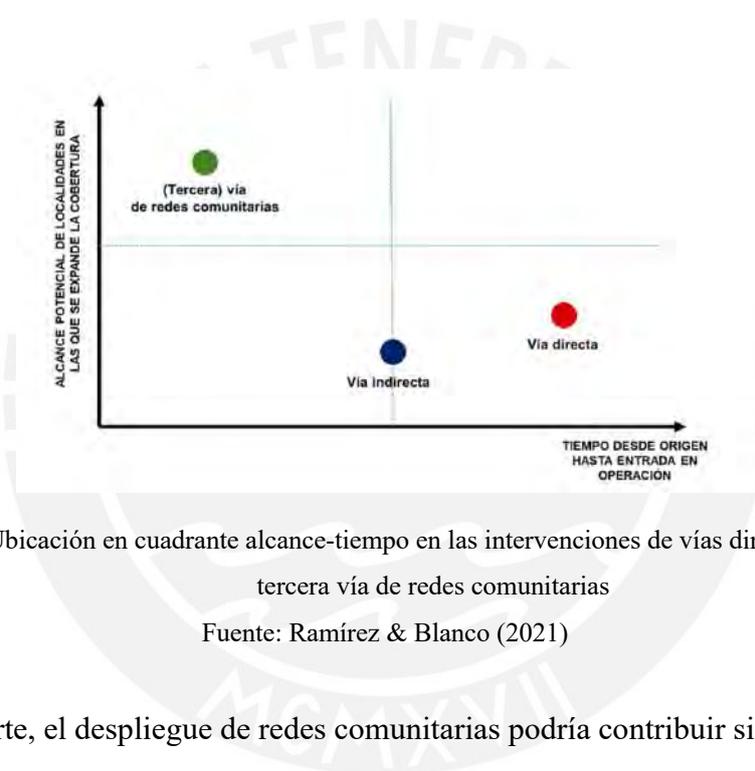


Figura 4. Ubicación en cuadrante alcance-tiempo en las intervenciones de vías directa e indirecta, y la tercera vía de redes comunitarias

Fuente: Ramírez & Blanco (2021)

Por otra parte, el despliegue de redes comunitarias podría contribuir significativamente a cerrar la brecha residual, debido a que es una propuesta de solución complementaria a las vías tradicionales y está enfocada, principalmente, a las comunidades que no podrán ser atendidas en los próximos cinco años. Asimismo, se ha demostrado que, con las debidas regulaciones, así como el involucramiento y el compromiso de la propia comunidad, estas han conseguido un alto grado de efectividad en diversos países del mundo, por lo que se busca replicar esas experiencias en el Perú.

En tal sentido, un claro ejemplo de éxito en América Latina, en el que las redes comunitarias demuestran ser una alternativa de solución para resolver el problema de la brecha residual, es la red comunitaria Quintana Libre, desarrollado por la Organización No Gubernamental (ONG) AlterMundi en el pueblo José Quintana, de la provincia de Córdoba, en Argentina, la cual brinda acceso a Internet a más de 1 000 personas y que ha valido de modelo para otras comunidades de la zona. La indicada red cuenta con más de 10 años de funcionamiento y se mantiene hasta ahora gracias al trabajo voluntario y un aporte mensual de sus miembros, siendo autónoma y autosustentable. Su infraestructura consiste en una red tipo malla con 70 nodos, que durante el tiempo ha renovado su infraestructura, pues cuenta actualmente con equipos con una tecnología, exclusiva para redes comunitarias, desarrollada por AlterMundi que aporta ventajas técnicas y económicas (Cumbre Latinoamericana de Redes Comunitarias, 2018).

No obstante, según Internet Society (2021) señala que, si bien la implementación y operación de la red comunitaria suele parecer simple, se debe tener en cuenta que no se tiene mucho conocimiento sobre los modelos existentes, su organización y mantenimiento, así como las condiciones que favorecen su puesta en marcha y éxito. Por tal razón, la propuesta principal de esta tesis es identificar y evaluar las condiciones operativas y de arquitectura de red con las que las redes comunitarias operan técnicamente, con la finalidad de sintetizar modelos que puedan ser aplicables en las zonas de brecha residual de telecomunicaciones en el Perú.

1.1.4 Importancia del cierre de brecha residual de telecomunicaciones

1.1.4.1 Ámbito educativo

La falta de acceso a Internet a nivel territorial no fue tan evidente hasta la llegada de la COVID-19, ya que las clases de educación básica se realizaban de forma presencial. Sin embargo, durante la cuarentena, esta situación cambió, ya que el gobierno peruano dispuso que

las clases sean de manera virtual para poder dar continuidad al desarrollo de la educación. Esta situación afectó drásticamente a muchos niños de las zonas rurales que tuvieron que dejar sus estudios escolares al no tener acceso a esta modalidad por no contar con acceso a Internet.

Por otro lado, la carencia de acceso a Internet ha sido una realidad constante en zonas rurales, a pesar de ser tan importante en la actualidad. En estos tiempos, el acceso a la información y capacitación son fundamentales para garantizar una educación de calidad. Este acceso beneficia no solo a los estudiantes, sino también los docentes, ofreciéndoles la oportunidad de actualizarse y capacitarse, utilizándolo como una herramienta educativa. En esa línea, Riberos (2021) concluye, en su análisis de la educación rural, que la falta de una cobertura de Internet adecuada y la insuficiente capacitación a los docentes, acentúan las diferencias educativas preexistentes y perjudican, principalmente, a los escolares que residen en las áreas rurales del Perú, condicionando su educación a la reapertura de las escuelas.

Por lo expuesto, se estima que el cierre de esta brecha residual impactará positivamente en los estudiantes y docentes de las escuelas rurales, pues contribuye a crear las condiciones necesarias para brindar una educación de calidad. Sin embargo, la cobertura a Internet es el primer paso, ya que deberá estar acompañada de otras condiciones que lo complementen, como son la energía eléctrica, dispositivos electrónicos y la capacitación del uso adecuado de estas tecnologías.

1.1.4.2 Ámbito de la salud

El sector salud es uno de los sectores más importantes; sin embargo, se ha podido atestiguar que, en las zonas rurales, este sector sufre de muchas carencias desde la falta de medicamentos, infraestructura apropiada y equipos médicos apropiados; sumado a esto, la ausencia de médicos especialistas en las diversas áreas. Por lo que muchas de las personas

requieren comúnmente viajar a las ciudades más cercanas o a la capital en busca de un centro de salud que brinde un servicio capaz de atender sus patologías.

Por otro lado, las áreas urbanas, si bien es cierto que también adolecen de carencias, pero en menor medida que las zonas rurales; estas pudieron tener acceso a Internet que fue de esencial ayuda durante la pandemia, principalmente para poder brindar la posibilidad de continuar con las citas médicas mediante consultas médicas online, que permitieron a muchas personas continuar atendándose con el debido cuidado que la emergencia sanitaria lo demandaba, a fin de reducir los casos de contagios por la COVID-19.

Por ende, las comunidades rurales, al contar con cobertura de acceso a Internet y con equipos médicos necesarios, podrían implementar el servicio de telemedicina, lo que será muy beneficioso para sus habitantes, ya que el centro de salud de su comunidad podrá aumentar su capacidad de atención en diversas especialidades con lo que podrán ser atendidos mediante una consulta médica online por un médico especialista en cualquier lugar del país, así se evitarían traslados innecesarios a la ciudad, que muchas veces es complicado, debido a su lejanía de las ciudades (Martins & Romero Group, 2020).

1.1.4.3 Ámbito socioeconómico

Las personas de las zonas rurales, en su mayoría, son de bajos recursos económicos, por lo que adolecen de muchas necesidades básicas, como la energía eléctrica, salud, educación y el acceso a Internet, que es tan necesario en estos días, lo que los hacen vulnerables a cualquier evento o suceso que afecte su condición de vida, como lo es la pandemia de la COVID-19, que los ha llevado a un estancamiento o retraso en los diversos ámbitos de la sociedad.

Por tal motivo, el cierre de la brecha residual es tan importante en estas zonas, ya que se podrán desarrollar profesionalmente mediante el acceso a la información y capacitación, creando nuevas oportunidades en el ámbito laboral, principalmente, en la agricultura y

ganadería, que son sus principales fuentes de ingresos, permitiendo así una mayor distribución de sus productos a un mejor precio, incrementando su calidad de vida y aportando al crecimiento económico del país.

En concordancia a lo expuesto, según un estudio realizado por la ITU (2018) señala que a nivel mundial un incremento del 1 % en la adopción de la banda ancha fija se relaciona con un aumento del 0.08 % en el PIB, mientras que un incremento del 1 % en la adopción de la banda ancha móvil se asocia con un aumento del 0.15 % en el PIB (Arias, *et al.*, 2020), lo cual confirma que hay una relación directa entre el acceso a la Internet y desarrollo económico de un país.

En ese sentido, García, Iglesias & Pau (2021) sostienen que el acceso a Internet llega a ser un elemento esencial, que está íntimamente ligado al desarrollo socioeconómico de un país mejorando la productividad, la eficacia de los procesos, incremento económico y, a la vez contribuye a una mejora en la calidad de vida y el bienestar social.

1.1.4.4 Ámbito ambiental

Tal como se ha visto anteriormente, el uso del Internet en la actualidad ha generado un desarrollo en la sociedad, impactando favorablemente en diversos ámbitos de las personas como la salud, educación, economía y lo social, lo que lo hace prioritario para ser desplegado en las zonas rurales, ya que hasta la actualidad no han conseguido un desarrollo socioeconómico deseado en comparación a las zonas urbanas.

Por otro lado, se sabe que el despliegue para brindar cobertura de acceso a Internet, está asociado a la instalación de infraestructura de telecomunicaciones y el uso del espectro electromagnético, por lo que se debe considerar posibles impactos negativos en su implementación y uso como, por ejemplo, la contaminación electromagnética y contaminación visual, que deben ser analizados previo a su despliegue por el bien de las personas y medio

ambiente, con mayor énfasis si son en zonas rurales debido a sus características propias como su flora y fauna.

Por ello, Sanabria (2017) señala que se debe realizar un estudio de impacto ambiental de las tecnologías de telecomunicaciones previo a su instalación, para evaluar la ubicación de las antenas y determinar los posibles efectos negativos de su instalación y la influencia de la potencia de radiación electromagnética sobre las personas y los ecosistemas a su alrededor, con la finalidad de mitigar las alteraciones adversas a indicados ecosistemas y asentamientos cercanos.

1.2 Objetivos de la tesis

1.2.1 Objetivo general

El objetivo general de la presente tesis es proponer tres modelos técnicos de redes comunitarias para ser adoptados como una alternativa viable de acceso a Internet en las zonas de brecha residual de telecomunicaciones en el Perú; es decir, en las que el alcance de las políticas públicas por parte del Estado es insuficiente y en las que la inversión del sector privado es improbable.

1.2.2 Objetivos específicos

Objetivos específicos:

- Analizar el problema del acceso limitado a Internet en zonas rurales y desatendidas en el Perú.
- Identificar y evaluar las condiciones técnicas y de arquitecturas de redes de transporte y última milla con las que las redes comunitarias operan.
- Identificar modelos técnicos de redes comunitarias con base en la experiencia internacional comparada, así como local.

- Analizar y valorar la aplicación de los modelos de redes comunitarias propuestos en zonas de brecha residual en el Perú y las condiciones para su sostenibilidad en el tiempo.

1.3 Alcances y limitaciones

Alcances:

- Se identificarán los diseños de tres modelos de redes comunitarias aplicables en las zonas de brecha residual de telecomunicaciones.
- Los modelos de redes comunitarias propuestos incluirán la arquitectura de la red de transporte y de última milla.
- Se realizará un evaluación y análisis de los costos de implementación de los modelos de redes comunitarias propuestos.

Limitaciones:

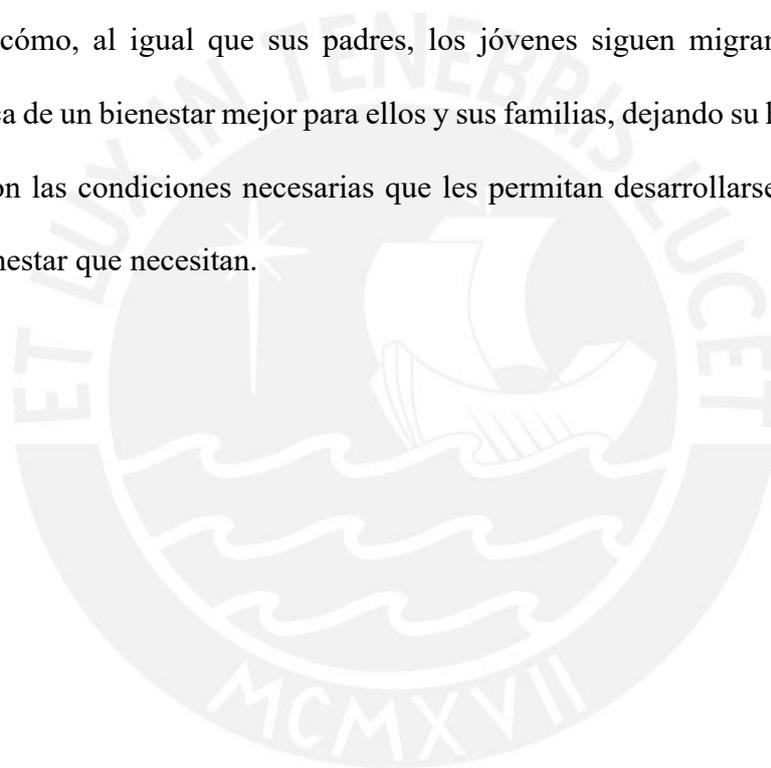
- Los modelos de redes comunitarias propuestos serán únicamente para zonas de brecha residual de telecomunicaciones.
- El estudio no abarca las fases de implementación de los modelos de redes comunitarias propuestos.
- La estimación de la inversión para la implementación de los modelos de redes comunitarias propuestos se realizarán de forma general y referencial.

1.4 Razones que motivaron el desarrollo del trabajo

Las razones que motivaron a desarrollar este tema de tesis son principalmente dos: la primera de ellas fue contribuir a solucionar el problema de conectividad en las zonas rurales del Perú, originado por la falta de efectividad de los mecanismos tradicionales del Estado para llevar conectividad a estas zonas. En ese contexto la implementación de redes comunitarias se ha convertido en una alternativa viable para llevar cobertura de Internet en las zonas rurales en un corto plazo, contribuyendo a su desarrollo socioeconómico. Este último aspecto señalado es

el que lleva a desarrollar esta tesis, proponiendo el diseño de modelos de redes comunitarias para que sean adoptadas en zonas de brecha residual de telecomunicaciones en el Perú.

Por otro lado, el segundo motivo es por la importancia social de esta, ya que la falta de conectividad genera desigualdad en el acceso a la educación, salud, trabajo, entre otros, principalmente en zonas rurales, tal como se pudo apreciar en la pandemia de la COVID-19. Asimismo, el autor ha podido constatar en las diferentes visitas realizadas a sus abuelos, quienes viven en un pueblo de la sierra del Perú, donde ha observado el lento desarrollo de las comunidades y cómo, al igual que sus padres, los jóvenes siguen migrando a las grandes ciudades en busca de un bienestar mejor para ellos y sus familias, dejando su hogar y amistades, por no contar con las condiciones necesarias que les permitan desarrollarse personalmente y conseguir el bienestar que necesitan.



Capítulo 2. Estudio del desarrollo de soluciones al problema de acceso de Internet en zonas rurales y marco teórico y normativo

En el presente capítulo se realizará una descripción de los diferentes conceptos y tecnologías que nos permitirán establecer las consideraciones para la elaboración de los modelos técnicos de redes comunitarias; además, se determinarán los requerimientos generales y el método para elaborar los modelos propuestos.

2.1 Antecedentes

Durante la última década, en diversas partes del mundo, se han implementado redes comunitarias libres gracias a diversas iniciativas de instituciones privadas, de la sociedad civil y estatales para llevar conectividad a zonas rurales, logrando buenos resultados (Ortiz & Suárez, 2019). No obstante, en el Perú, el desarrollo de las redes comunitarias recién se está gestando, por lo cual hay es importante contextualizar su viabilidad en el Perú para el caso local (Ramírez & Blanco, 2021). A continuación, se hará referencia a las investigaciones realizadas en diversos centros universitarios y revistas especializadas, los cuales aportan en diversos aspectos al desarrollo de las redes comunitarias en el Perú. Estas se organizan de acuerdo con la valoración del aporte investigativo relacionado al tema tratado en este trabajo de tesis.

Ramírez & Blanco (2021), en el segundo número de la Revista Latinoamericana de Economía y Sociedad Digital, publicaron el artículo titulado “Rediseño institucional para el cierre de brecha residual de telecomunicaciones en Perú: Una tercera vía de intervención para la emergencia de redes comunitarias sostenibles”, realizado con el objetivo de proponer una nueva forma de intervención del Estado peruano como complemento a las intervenciones públicas tradicionales que promueven la provisión de servicios de telecomunicaciones a áreas rurales. Esta propuesta está basada en políticas públicas *bottom-up*, que incentiven las redes

comunitarias sostenibles para abordar la brecha residual en el corto plazo. En su investigación, precisan que:

“Es importante considerar que la nueva propuesta de tercera vía de redes comunitarias en el Perú no implica proyectos de inversión pública ni privada; a pesar de esto, tiene un alcance potencialmente mucho mayor, sobre todo si es que se desarrollara, para este fin, un marco regulatorio específico para la brecha residual” (Ramírez & Blanco, 2021).

Prieto *et al.* (2020), en su estudio titulado “Small rural operators techno-economic analysis to bring mobile services to isolated communities: The case of Peru Amazon rainforest”, publicado en Telecommunications Policy, se propuso analizar una estrategia factible y sostenible para desplegar servicios de telecomunicaciones móviles en comunidades aisladas de países en desarrollo con menos de 1 000 habitantes, a través de la integración de tecnologías adecuadas de bajo costo junto con un enfoque empresarial innovador. Los resultados del estudio llevaron a la conclusión de que en el Perú existe un segmento de mercado propicio para los operadores que buscan brindar servicios en comunidades remotas con una población inferior a 1 000 habitantes y con baja demanda de tráfico.

Ramírez & Méndez (2019), en su proyecto de pasantía en Bogotá DC – Colombia titulado “Redes inalámbricas comunitarias, casos de éxito, regulación y contribuciones para CITELE (Comisión Interamericana de Telecomunicaciones) - OEA”, realizado con el propósito de brindar la asistencia técnica profesional en el estudio documental de redes inalámbricas para facilitar una guía donde la Agencia Nacional del Espectro (ANE) de Colombia pueda obtener información sobre diversos casos de éxito, su regulación y de esta forma contribuir a la CITELE. Llegaron a la conclusión de que las redes comunitarias pueden desempeñar un papel muy importante al brindan no solo conectividad a Internet, sino también servicios tales como VoIP,

correo electrónico, mensajería instantánea y también permiten la creación de contenido local y su compartición en la red.

Ortiz & Suárez (2019), en su Proyecto de pasantía “Desarrollo de una red comunitaria en el municipio de Buenos Aires, Cauca” Desarrollaron la red comunitaria de Buenos Aires, Cauca - Colombia, con la colaboración de diferentes ONG’s e instituciones del Estado, el cual consistió en el análisis, diseño, implementación y su evaluación, a fin de dar la posibilidad a la comunidad de acceder a las TIC. Al término del proyecto, concluyeron que es posible desarrollar redes comunitarias de bajo costo y financieramente viables en Colombia, que brinden a las comunidades la capacidad de analizar, implementar y mantener infraestructura de telecomunicaciones contribuyendo a cerrar la brecha digital y mejorar su calidad de vida.

Por su parte, Baca, *et al.*, (2018), en la página web de Internet Society, publicaron el estudio “Redes Comunitarias en América Latina: Desafíos, Regulaciones y Soluciones”, realizado con el objetivo de describir y analizar los aspectos distintivos del entorno legal de las redes comunitarias como proceso para solucionar el problema de la conectividad en América Latina. Al término de su estudio, concluyeron que las redes comunitarias implementadas en Latinoamérica demuestran la capacidad de adaptar las tecnologías a su disposición de acuerdo con la forma de vida de cada comunidad. No obstante, es esencial contar con la colaboración de todos los actores involucrados para fomentar un ambiente que promueva el desarrollo y consolidación de las redes comunitarias. A pesar de ello, algunos países del continente han logrado avances significativos, a través de la experiencia que se ha desarrollado, así como a través de las instancias gubernamentales y otras entidades involucradas (García, Iglesias & Pau, 2021).

2.2 Fundamento teórico de redes comunitarias

2.2.1 Concepto de redes comunitarias

Las redes comunitarias son redes de telecomunicaciones de propiedad de las comunidades creadas sin fines de lucro, estas redes pueden ser de Internet, intranet o telefonía móvil. La comunidad participa activamente en la implementación, con la finalidad de contribuir a los procesos educativos, económicos, de salud, políticos de la comunidad y mejoran la calidad de vida en su territorio (Redes Comunitarias en Colombia, 2022).

Las redes comunitarias se distinguen principalmente de las redes de comunicaciones tradicionales debido a que surgen desde el usuario final, en contraposición al enfoque jerárquico típico de las soluciones comerciales tradicionales. Estas redes pueden ser concebidas y gestionadas por individuos, ONG locales, entidades del sector privado o entidades gubernamentales. En general, las redes comunitarias tienden a ser pequeñas y suelen atender a comunidades con menos de 3 000 habitantes. Sin embargo, algunas redes pueden servir a varias comunidades cercanas (Internet Society, 2018).

2.2.1.1 Características de las redes comunitarias

A continuación, se mencionan algunas características principales de las redes comunitarias (Redes Comunitarias en Colombia, 2022):

- Implica la participación de diferentes personas de la comunidad local.
- La comunidad es dueña de la infraestructura de la red instalada en su territorio.
- La comunidad determina la administración y sostenibilidad en el tiempo de su red local.
- La red se implementa en provecho de la comunidad y sin fines lucrativos.
- Los ingresos generados por la red comunitaria se reinvierten y se utilizan para la sostenibilidad, mejora e innovación de la red; también, para capacitar a las personas que lo gestionan.

2.2.1.2 Esquema de funcionamiento de la red comunitaria

Por otro lado, algunas redes pueden contar con ciertas características de identidad en torno a su funcionamiento (Alter Mundi, 2022):

- Libre uso: Permite el libre tránsito de diferentes tipos de servicios y contenidos, siempre y cuando no afecten la normal operación de la red.
- Neutralidad: El tráfico de datos enviado a través de la red se gestiona igualmente y no se discrimina en función de su contenido o plataforma, y mucho menos en tipo de aplicación o dispositivo utilizado para acceder a él.
- Libre interconexión: La interconexión entre redes esta asegurada y el flujo de datos es libre, neutral y sin costo en ambas direcciones.
- Libre tránsito: Facilita el tráfico de datos tanto entre distintas redes como hacia otras redes con las que mantienen acuerdos similares. Esto posibilita la transferencia de datos de una red abierta a otra, expandiendo así la cobertura de la red.

2.2.2 Estructura de red de las redes comunitarias

Las redes comunitarias estan compuestas por redes: las redes de transporte, backhaul y las redes de acceso. Cada una de estas desempeñan una función específica en la estructura de la red.

Las redes de transporte son vías de telecomunicaciones de gran capacidad de transmisión, como la fibra óptica, que interconectan puntos que se encuentran geográficamente a medianas y largas distancias, uniendo de esta manera distritos, provincias o regiones de un país que requieren servicios de telecomunicaciones, permitiendo el transporte de información de muchos usuarios de manera simultánea (More & Argandoña, 2020).

El backhaul se refiere a la conexión de la red de transporte con la red de acceso. Esta conexión suele utilizar tecnologías de alta capacidad y corto alcance, como radioenlaces, para transportar grandes cantidades de datos desde la red de transporte hacia la red de acceso. Además, esta conexión también puede ser mediante fibra óptica dependiendo de la infraestructura disponible y la demanda existente. (Metsälä & Salmelin, 2012).

La red de acceso es aquella red que permite el acceso de última milla; es decir, la red que conecta al proveedor de servicios de telecomunicaciones con el cliente final. Esta es la que genera mayores costos de instalación, ya que los proveedores necesitan llegar a los usuarios finales mediante el empleo de diferentes tecnologías. En esta etapa, los usuarios finales son quienes evaluarán y demandarán que los servicios prestados por los operadores sean eficientes y de calidad (Zubizarreta & San Ramón, 2013).

En resumen, la red de transporte es la encargada de transportar el servicio de Internet desde una zona con cobertura hasta la comunidad, mientras que el backhaul permite distribuir el servicio dentro de la comunidad, y la red de acceso permite distribuir este servicio a los usuarios finales. Por lo cual, cada una de estas redes es esencial para el funcionamiento de las redes comunitarias.

2.2.3 Tecnología de red utilizadas por las redes comunitarias

Las redes de transporte, backhaul y acceso utilizan diferentes tecnologías para transportar el servicio de Internet desde una zona con cobertura hasta la comunidad y distribuirlo a los usuarios finales. Por ejemplo, la fibra óptica es común en las redes de transporte, los enlaces microondas en el backhaul y el Wi-Fi en las redes de acceso. Sin embargo, la misma tecnología puede usarse en cualquiera de las redes mencionadas.

Es importante destacar que la elección adecuada de un tipo de tecnología de red dependerá de varios factores, como la ubicación geográfica de la comunidad, las necesidades de

conectividad de los usuarios y la infraestructura disponible en la zona. Por ejemplo, en zonas donde aún no llega la implementación de redes de transporte de fibra óptica, las redes microondas pueden ser una opción viable para la transmisión de datos.

A continuación, se describirá los tipos tecnologías de red más usadas en la implementación de las redes comunitarias.

2.2.3.1 Redes de fibra óptica

Las redes de fibra óptica se han convertido en uno de los medios de transmisión más usados en las redes de transporte debido a la gran capacidad de transmisión de información. A diferencia de otros medios de transmisión, la fibra óptica se basa en la propagación de sucesivas reflexiones de haces de luz, lo que la hace inmune a interferencias electromagnéticas y otros ruidos de telecomunicaciones. Además, la reutilización de infraestructura de redes de transmisión eléctrica podrá facilitar su despliegue en zonas rurales, donde la construcción de nuevas infraestructuras podría ser costosa y difícil (Morera, 2019; Zubizarreta & San Ramón, 2013).

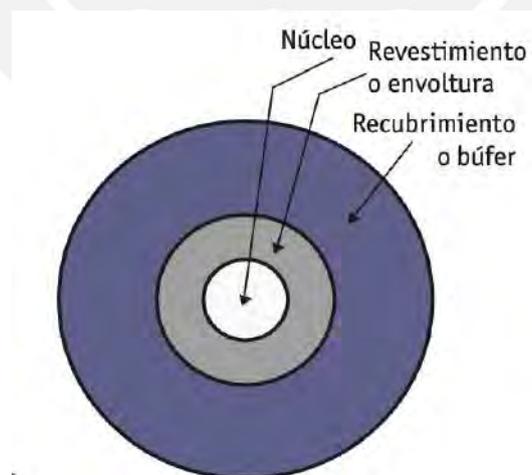


Figura 5. Sección transversal de una fibra óptica

Fuente: Fluke Networks (2022)

En la Figura 5 se muestran los elementos de una fibra de vidrio recubierta, que es el componente elemental de muchos de los diseños de cables de fibra óptica. El núcleo es el centro

de la fibra óptica y es por donde realmente las señales de luz se transmiten, mientras que el revestimiento o envoltura lo recubre para evitar que el haz de luz salga del núcleo y se pierda en el medio circundante. El recubrimiento o búfer, que es la región exterior de la fibra óptica, generalmente se compone de un material plástico que protege y mantiene la resistencia de la fibra de vidrio (Fluke Networks, 2022).

A continuación se presenta los dos tipos de fibra óptica existentes: multimodo y monomodo.

➤ **Fibra óptica multimodo**

La fibra multimodo es ampliamente utilizada en redes de corta distancia y aplicaciones de voz y datos debido a su ancho de banda y bajo costo. Su núcleo más amplio permite la transmisión simultánea de diferentes tipos de datos, pero su mayor dispersión modal limita la distancia de transmisión y la velocidad de transmisión en comparación con la fibra monomodo. La presentación de la fibra multimodo varía según el diámetro de su funda, siendo las más comunes las de 125 y 50 micras de diámetro. El estándar ISO/IEC 11801 define cinco tipos de fibra multimodo (OM1, OM2, OM3, OM4 y OM5), tal como se puede apreciar en la figura 6 (Black Box, 2022).

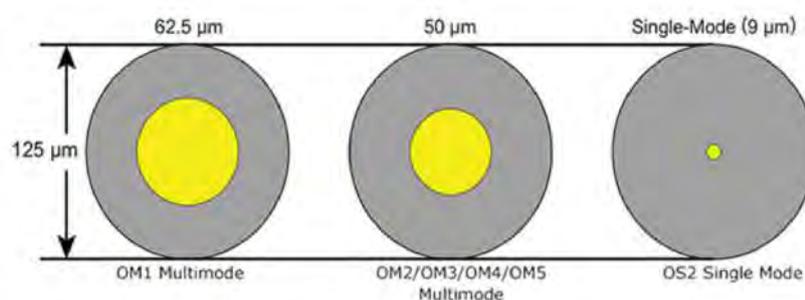


Figura 6. Tamaños de núcleo y cinco variantes de modos ópticos

Fuente: Black Box (2022)

➤ **Fibra óptica monomodo**

La fibra monomodo es una opción muy utilizada en enlaces de red de largas distancias que requieren un gran ancho de banda, como las redes de campus, aplicaciones de telecomunicaciones y grandes empresas con necesidades de cubrir enlaces de grandes distancias. Se caracteriza por su capacidad para transmitir una única longitud de onda de luz a través de su núcleo, lo que evita las superposiciones entre distintas longitudes de onda que podrían afectar la integridad de los datos en distancias largas. El cable monomodo OS2 posee un núcleo de vidrio pequeño (8-10 micras), lo que permite una mayor eficiencia en la transmisión de la señal. El estándar ISO/IEC 11801 define dos tipos de fibra monomodo (OS1 y OS2). (Black Box, 2022).

2.2.3.2 Redes de microondas

En zonas donde la implementación de redes de transporte de fibra óptica aún no llega, las redes de microondas pueden ser una opción viable para la transmisión de datos. La implementación de redes microondas en cierta medida resulta más fácil que la de una red de fibra óptica, ya que para la instalación solo implica identificar dos puntos que tengan línea de vista. Sin embargo, las velocidades de las redes de microondas suelen ser menores en comparación con las redes de fibra óptica que pueden superar los 10 Gbps (More & Argandoña, 2020).

En las redes comunitarias, es común el uso radioenlaces con distintos tipos de enlaces microondas. Entre los más usados están los enlaces punto a punto, punto a multipunto o malla. A continuación, se detalla estos tipos:

➤ **Enlace punto a punto:**

Los enlaces de punto a punto son una forma efectiva de conectar dos áreas mediante un único canal de comunicaciones. Para establecer este enlace, se requiere una antena adecuada

con una configuración, altura, orientación, ganancia y potencia de transmisión bien definidas. Existen tres tipos de enlaces punto a punto según el direccionamiento de transmisión: simplex, half-duplex y full-duplex. En el enlace simplex, la transmisión se realiza en una sola dirección, mientras que en el enlace half-duplex, la transmisión se realiza en ambas direcciones, pero de manera alternada. Finalmente, en el enlace full-duplex, la transmisión es bidireccional y simultánea (Fixcom, 2022).

➤ **Enlace punto – multipunto**

El enlace punto-multipunto es una opción útil para conectar varios nodos a la vez y reducir costos en instalaciones que requieren conexión en múltiples direcciones. Para esto, se utilizan antenas especiales multidireccionales u omnidireccionales. La capacidad de transmisión de este enlace es igual a los enlaces punto a punto, pero puede extenderse hasta conectar hasta 16 nodos diferentes (Fixcom, 2022).

➤ **Enlace tipo malla**

La configuración de malla es utilizada en redes inalámbricas privadas y combina las características de las dos configuraciones anteriores. En esta configuración, cada nodo puede propagarse a cualquier otro nodo disponible o accesible, lo que proporciona una gran flexibilidad. Además, cada nodo está conectado a todos los demás nodos para que los mensajes puedan enviarse de un nodo a otro utilizando diferentes rutas, lo que convierte esta red en una opción muy confiable con pocas interrupciones de comunicación (Liberatori, 2018).

2.2.3.3 Redes Satelitales

Las redes satelitales son una opción conveniente en zonas rurales y de difícil acceso, en lugares a los que no se puede acceder mediante redes de transporte de fibra óptica o sistemas de microondas. Si bien la red satelital puede cubrir grandes zonas, no siempre cubre todo el territorio de un país; por ejemplo, la banda Ka que tiene mayor capacidad de transmisión no

cuenta con cobertura en todo el Perú, por otro lado, estas redes presentan ciertas desventajas, por ejemplo, suelen tener mayor retardo en comparación a las redes de fibra y microondas debido a que el satélite se ubica a 36 000 km de altura (More & Argandoña, 2020).

Por otro lado, las redes VSAT (Terminal de Apertura Muy Pequeña) son una variante específica de redes satelitales que utilizan antenas de tamaño reducido llamadas terminales VSAT para establecer conexiones satelitales punto a punto o punto a multipunto. La red VSAT es una red privada de comunicaciones que se compone de estaciones terrenas de satélite pequeñas y económicas, permitiendo el intercambio de información satelital punto a punto o punto a multipunto e interactivo. El principio de funcionamiento se basa en establecer enlaces vía satélite entre una o varias estaciones remotas que cuentan con antenas pequeñas (VSAT) y una estación central, conocida como Hub (Casado & Camazón, 2020).

Estas redes se caracterizan por proporcionar suficiente ancho de banda para la transmisión de voz, datos y video mediante un enlace asimétrico, que generalmente opera en las bandas de frecuencia Ku, Ka o C, como se puede ver en la Tabla 2. Además, estas bandas tienen una buena sensibilidad en la recepción y potencia de transmisión. Mediante el uso de esta tecnología, es posible mantener enlaces de datos y voz desde cualquier parte del mundo con una arquitectura general que se muestra en la Figura 7. Usando una planificación adecuada y una estructura de red correcta, se pueden lograr instalaciones fáciles y de bajo costo utilizando principalmente antenas de diámetro pequeño (menores a 2.4 m) y bajo consumo de energía (Casado & Camazón, 2020).



Figura 7. Elementos de una red VSAT

Fuente: Casado & Camazón, 2020

Las estaciones VSAT típicamente constan de dos componentes principales: una unidad interna (IDU - Indoor Unit) y una unidad externa (ODU - Outdoor Unit). La unidad interna se encarga del procesamiento de enrutamiento IP y proporciona la conectividad al equipo terminal, a través de uno o dos puertos Ethernet. Por otro lado, la unidad externa es responsable de transmitir y recibir las señales hacia y desde el satélite (Casado & Camazón, 2020).

Tabla 2. Bandas de frecuencias para sistemas VSAT

BANDA	FRECUENCIAS	DETALLES
L	1,53 - 2,7	Menor potencia y muy bajo BW
C	3,7 - 4,2 5,925 - 6,425	Más antigua, más estable, interferencia terrestre
Ku	11,7 - 12,7 14,0 - 17,8	Muy usada, sensible a la lluvia, bajo BW
Ka	18,0 - 31,0	Mayor BW, mayor potencia, despliegues en desarrollo

Fuente: GTR-PUCP (2019)

2.2.3.4 Redes Wi-Fi

Las redes inalámbricas son sistemas que no requieren ningún medio físico para conectar diversos dispositivos y permitir el intercambio de información. Estas redes están basadas en los estándares IEEE 802.11 (Wi-Fi) y normalmente operan en frecuencias no licenciadas, pudiendo alcanzar tasas de transferencia de datos más altas que las disponibles en el pasado, teóricamente

ofreciendo velocidades de hasta 2.4 Gbps o 5 Gbps, como se detalla en la Tabla 3. Existen diferencias entre las implementaciones basadas en estándares y las implementaciones propietarias (Salazar, 2016).

La ITU es el organismo especializado de las Naciones Unidas para las Tecnologías de la Información y las Comunicaciones (TIC), el cual cuenta con el Sector de Radiocomunicaciones (ITU-R), como el responsable de definir las pautas para sistemas y servicios de telecomunicaciones mediante sus Grupos de Estudio. La recomendación ITU-R M.14505 (2014) define las especificaciones de las Redes Locales Inalámbricas (RLAN) que son incorporadas en la familia IEEE 802.11 (Salazar, 2016).

Tabla 3. Características generales de la familia IEEE 802.11

PROTOCOLO	FRECUENCIA	ANCHO DE BANDA	MIMO	VELOCIDAD DE DATOS MÁXIMA (en teoría)
802.11ax	2.4 o 5 GHz	20, 40, 80, 160 MHz	Usuario múltiple (MIMO-MU)	2.4 Gbps
802.11 ac wave 2	5 GHz	20, 40, 80, 160 MHz	Usuario múltiple (MIMO-MU)	1.73 Gbps
802.11 ac wave 1	5 GHz	20, 40, 80 MHz	Un solo usuario (SU-MIMO)	866.7 Mbps
802.11 n	2.4 o 5 GHz	20, 40 MHz	Un solo usuario (SU-MIMO)	450 Mbps
802.11 g	2.4 GHz	20 MHz	No se aplica	54 Mbps
802.11 a	5 GHz	20 MHz	No se aplica	54 Mbps
802.11 b	2.4 GHz	20 MHz	No se aplica	11 Mbps
Tradicional 802.11	2.4 GHz	20 MHz	No se aplica	2 Mbps

Fuente: Intel (2022)

Los enlaces inalámbricos permiten establecer conexiones LAN o MAN a una ubicación remota que resultaría difícil para una implementación cableada. Asimismo, permite ampliar la red, a través de puntos de acceso inalámbricos (Wi-Fi). Los enlaces inalámbricos brindan distintos servicios, entre ellos el acceso a la Internet en lugares de difícil acceso o donde los servicios de telecomunicaciones se encuentran muy limitados o no están disponibles. Mediante

el empleo de esta tecnología, se puede cubrir algunas necesidades de conectividad que permitan enlazar distintos puntos a requerimiento de los clientes o usuarios finales (Fixcom, 2022).

2.2.4 Infraestructura para redes comunitarias de telecomunicaciones

La infraestructura de telecomunicaciones es un componente esencial para implementar y operar las redes de telecomunicaciones, y es fundamental para brindar conectividad y cobertura de servicios de telecomunicaciones. Esta infraestructura se compone de dos partes: la infraestructura activa, que abarca los equipos de red alámbricos e inalámbricos como antenas, switches, routers, entre otros, y la infraestructura pasiva, que comprende las torres, postes, mástiles, ductos, cables, y otros componentes necesarios para el soporte de la infraestructura activa (Promtel, 2018).

En las redes comunitarias, es muy común el uso de infraestructura pasiva como torres, mástiles, paneles fotovoltaicos, pozos a tierra y pararrayos. Las torres y mástiles son utilizados para soportar las antenas de los enlaces microondas y pararrayos. Además, suelen utilizar sistemas solares fotovoltaicos como fuente de energía para hacer frente a la falta de suministro eléctrico o a los constantes cortes de energía. Por otro lado, debido a las condiciones climáticas de las zonas rurales, es necesario proteger los equipos electrónicos ante descargas eléctricas, por el cual es necesario el uso de sistemas de protección eléctrica, como puesta a tierra y pararrayos.

Es importante destacar que en el Perú existen normas técnicas que regulan la instalación y componentes de la infraestructura de telecomunicaciones como torres, paneles fotovoltaicos, pararrayos y puesta a tierra, en instalaciones de telecomunicaciones, incluyendo en zonas rurales. Cumplir con estas normas es esencial para asegurar el correcto funcionamiento de los dispositivos, así como para proteger a las personas y los equipos electrónicos de los riesgos asociados con las descargas eléctricas de origen atmosférico.

2.2.3.1 Torres de telecomunicaciones

Para la instalación de enlaces de microondas, se utilizan diversos tipos de estructuras, entre las más comunes están las torres monopolo, autosoportadas, arriostradas y mástiles. Sin embargo, en las redes comunitarias, generalmente se instalan mástiles y en menor medida torres arriostradas debido a su bajo costo en comparación a las diferentes torres mencionadas, aunque en algunos casos pueden utilizarse otros tipos de torres si ya existen en la zona.

➤ Torres Arriostradas

Las torres arriostradas son estructuras soportadas por tensores o arriostres, los cuales suelen estar hechos de acero. La cantidad de arriostres que se colocan en la torre está directamente relacionada con su altura y suelen estar anclados a tres o cuatro soportes ubicados generalmente en la base de la torre. Asimismo, están diseñadas para soportar todo tipo de cargas, con secciones ensambladas para proporcionar una gran resistencia. Estas torres son ampliamente utilizadas en redes de telecomunicaciones, incluyendo las redes comunitarias, especialmente para soportar antenas de enlaces microondas (Promtel, 2018).

➤ Mástiles

Los mástiles son estructuras de fácil instalación y bajo costo, por lo que son una buena opción para instalarse en sitios elevados, como azoteas. No obstante, su capacidad de carga es limitada, por lo que solo pueden soportar cargas moderadas, lo que se traduce en menor cantidad de antenas que pueden sostener. Existen tres tipos principales de mástiles: arriostrados, que están sujetos a distintas alturas del mástil mediante cables; apuntalados, cuya estabilidad depende de materiales rígidos apuntalados a diferentes alturas del mástil; y autosoportados, cuya estabilidad se basa en el contrapeso proporcionado por su propia base. (Promtel, 2018).

2.2.3.2 Energía y protección eléctrica

En zonas rurales, la energía eléctrica puede ser limitada y a menudo intermitente, lo que hace que la energía fotovoltaica sea una solución alternativa. Sin embargo, también es importante considerar la protección eléctrica en estas áreas, ya que las descargas eléctricas de origen atmosférico pueden dañar los dispositivos electrónicos y representar un peligro para las personas. La instalación adecuada de sistemas de protección eléctrica, como pozos de puesta a tierra y pararrayos, puede ayudar a minimizar estos riesgos y garantizar una energía eléctrica más segura y confiable en zonas rurales.

➤ **Energía Fotovoltaica**

La energía fotovoltaica es una fuente renovable de energía que se genera a partir de la conversión directa de la luz solar y la radiación en electricidad. Los paneles fotovoltaicos son los dispositivos encargados de llevar a cabo esta transformación, permitiendo que la radiación y la luz solar incidan en las células fotovoltaicas y generen la energía fotovoltaica, que se transforma en electricidad. Los paneles solares están compuestos por numerosas células fotovoltaicas que transforman la energía de la luz (fotones) en energía eléctrica (electrones). Si se necesita aumentar el voltaje de salida, se pueden conectar paneles solares hasta alcanzar el valor deseado (generalmente se utiliza 6V, 12V o 24V), o bien, pueden conectarse en serie para aumentar la tensión, o en paralelo para incrementar la corriente. La electricidad generada es de tipo corriente continua (CC) y puede ser almacenada en un conjunto de baterías para su posterior suministro a los dispositivos (Ingeoexpert, 2019).

Gracias a la luz solar, los sistemas fotovoltaicos se mantienen permanentemente disponibles, especialmente en zonas tropicales. Además, estos sistemas requieren poco mantenimiento, ya que no tienen partes móviles. Sin embargo, un aspecto negativo a considerar es el costo relativamente alto de todo el sistema, incluyendo la batería, el tablero de control, el

regulador, etc. Por lo tanto, es importante calcular el costo/beneficio antes de implementar el sistema (Ingeoexpert, 2019).

A continuación, se describe brevemente todos los componentes:

- Paneles solares: Están compuestos por un grupo de celdas fotovoltaicas que se conectan en serie o en paralelo para producir la tensión y corriente necesarias.
- Controladores de carga: Son aparatos electrónicos o electromecánicos que tienen la capacidad de salvaguardar automáticamente la batería de posibles sobrecargas o descargas, evitando que se excedan los límites establecidos por el fabricante, lo que a su vez prolonga la duración efectiva del sistema. Estos reguladores pueden clasificarse en dos tipos: PWM o MPPT.
- Carga: Equipo que necesita ser energizado.
- Inversor: Dispositivo electrónico que convierte la corriente continua en corriente alterna cuando es necesario, con el fin de satisfacer los requisitos de funcionamiento.
- Batería: Aparato que permite acumular la energía.

➤ **Sistemas de protección eléctrica**

En áreas rurales es común que ocurran descargas eléctricas causadas por fenómenos atmosféricos, lo que puede tener un impacto negativo tanto en la salud de los habitantes como en el adecuado desempeño de los dispositivos electrónicos. Para prevenir daños personales y materiales, es necesario instalar un sistema de protección eléctrica que cumpla los siguientes objetivos: reducir problemas de sobrecarga, garantizar la seguridad de las personas, protección de dispositivos electrónicos y asegurar la continuidad de las operaciones.

Un sistema de protección eléctrica eficiente debe ser capaz de derivar la descarga hacia la tierra de forma inmediata, donde se disipará con seguridad y evitará sobretensiones que puedan perjudicar el equipo. Entre los elementos comúnmente utilizados en un sistema de

protección eléctrica se encuentran la puesta a tierra (PAT), la barra de puesta a tierra, los protectores de sobre tensiones eléctricas (como interruptores diferenciales, térmicos o termomagnéticos), los pararrayos y los cables de cobre para interconectar los componentes. (Proinex, 2020).

➤ **Puesta a tierra**

La puesta a tierra (PAT) es considerado uno de los componentes fundamentales del sistema de protección eléctrica. Consiste en una conexión eléctrica de todos los elementos metálicos de una instalación hacia un electrodo enterrado en la tierra para disipar las diferentes corrientes eléctricas. La principal característica de un sistema PAT radica en su baja resistencia eléctrica, dado que a menor valor de resistencia, se proporciona una protección más efectiva. Los elementos típicamente usados en la implementación de un pozo a tierra son el electrodo o varilla de cobre, la caja de registro, el cable helicoidal, los conectores A/B y el cable de tierra. La implementación de los pozos puede variar y depende del tipo y las propiedades particulares del suelo (Casalima, 2021).

La instalación e implementación de un pozo a tierra puede ser de forma vertical u horizontal, esto va a depender del análisis técnico que se realice. Por otro lado, la instalación de los pozos a tierra de forma horizontal es más fácil que los pozos verticales, lo que significa también ahorro de tiempo y mano de obra, pero esto va a depender de las características del terreno. Por otro lado, se debe buscar, en todo momento, la baja resistividad para que el pozo sea más eficiente. Con respecto a los materiales usados para disminuir la resistividad del terreno, existen varias opciones, como por ejemplo el gel higroscópico, la bentonita y el cemento conductor (Casalima, 2021).

➤ **Pararrayos**

Los pararrayos son sistemas de protección eléctrica que se utilizan para atraer de forma controlada los rayos, evitando que causen daños en las personas y en las edificaciones. Un rayo es una descarga electrostática que impacta con gran potencia y con cientos de miles de voltios sobre la superficie de la tierra, esto se debe a la diferencia de carga entre la tierra y la atmósfera. Los pararrayos se componen principalmente de un mástil metálico y existen diversos tipos, como los semi-activos, activos y pasivos, así como métodos de cebado y transferencia de carga. La instalación de un terminal externo en las edificaciones permite que los pararrayos atraigan de forma controlada los rayos y protejan las instalaciones y a las personas que se encuentren en su interior (Ingesco, 2022).

2.3 Marco normativo

Al tratar el tema de redes comunitarias es imprescindible abordar las normas de telecomunicaciones del Estado peruano, que orientan las políticas públicas hacia escenarios referente a áreas rurales e interés social. En ese sentido, cabe señalar que no existe un marco normativo específico que facilite el desarrollo de las redes comunitarias en el Perú. Por ello y, como iniciativa, Ramírez & Blanco (2021) proponen que se disponga de una política pública que promueva las redes comunitarias con el fin de, entre otros, establecer una regulación diferenciada para la provisión de servicios de telecomunicaciones mediante un operador de redes comunitarias enfocado en la brecha residual. A continuación, se nombrarán las normas del Estado peruano referente a las políticas públicas de telecomunicaciones en el marco de la promoción de servicios de telecomunicaciones en áreas rurales.

En el Decreto Supremo N° 049-2003-MTC, se aprueban los “Lineamientos de Políticas para promover un mayor acceso a los Servicios de Telecomunicaciones en áreas rurales y lugares de preferente interés social”, en el que se dispone que el Ministerio de Transportes y

Comunicaciones (MTC) y el OSIPTEL adopten la normativa necesaria para adaptar la actual normativa a los principios y políticas establecidas en las directrices mencionadas (Ministerio de Justicia, 2015).

El Decreto Supremo N° 024-2008-MTC, brinda el Marco Normativo General para fomentar el crecimiento de los servicios públicos de telecomunicaciones en zonas rurales y áreas de interés social, además modifica múltiples aspectos legales. Su objetivo principal es impulsar el desarrollo de estos servicios mediante el establecimiento de nuevas disposiciones para facilitar y promover la expansión de las redes en zonas rurales y/o lugares de importancia social, además de unificar las normas en un único Marco Normativo, aplicable a los servicios mencionados en indicadas zonas (Ministerio de Justicia, 2016).

El año 2012 se promulgó la Ley N° 29904 “Ley de Promoción de la Banda Ancha y Construcción de la Red Dorsal Nacional de Fibra Óptica”, con la finalidad de promocionar el desarrollo, uso y masificación de la Banda Ancha en el país, fomentando la creación de infraestructura, prestación de servicios, creación de contenido, desarrollo de aplicaciones y habilidades digitales como vías para fomentar la integración social y el progreso económico y social. Asimismo, se reconoce como necesidad pública e interés nacional la construcción de la Red Dorsal Nacional de Fibra Óptica, la cual fue regulada en el Decreto Supremo N° 014-2013-MTC (Ministerio de Justicia, 2016).

El Decreto de Urgencia N° 014-2021 introduce medidas excepcionales y urgentes para garantizar la conectividad en las comunidades rurales y áreas de prioridad social, y su acceso a los servicios públicos de telecomunicaciones, en relación con la emergencia nacional de la COVID-19, y tiene como objetivo desarrollar medidas extraordinarias y urgentes en asuntos económicos y financieros que permitan al MTC, a través del PRONATEL, introducir procedimientos especiales que permitan establecer procedimientos especiales para contratar

servicios de conectividad en zonas rurales y lugares de interés social, en el contexto del Estado de Emergencia Nacional y el estado de Emergencia Sanitaria originado por la COVID-19, con el fin de minimizar su impacto negativo en la salud, la educación y la actividad económica (Gobierno del Perú, 2021).

2.4 Justificación e importancia de la investigación

La importancia de desarrollar este tema se sostiene en que la falta de conectividad ocasiona exclusión social y desigualdad en el acceso a la educación, salud, trabajo, entre otros; perpetuando las diferencias sociales, principalmente, en las zonas rurales y tal como pudo apreciarse, en mayor medida, debido a los efectos de la pandemia de la COVID-19.

En ese contexto, las redes comunitarias, como modelos de conectividad alternativos a los mecanismos tradicionales, vienen siendo una alternativa viable de acceso a Internet en zonas rurales en las que el alcance de las políticas por parte del Estado es insuficiente y en las que la inversión del sector privado es improbable.

En tal sentido, la exploración de nuevos modelos de redes comunitarias es un tema de interés desde el ámbito académico. Por lo cual, esta tesis propone el diseño de tres modelos técnicos de redes comunitarias de bajo costo que de acuerdo con sus características puedan ser aplicables en las zonas de brecha residual de telecomunicaciones en el Perú.

2.5 Metodología de la investigación

Para la elaboración del primer y segundo capítulo se utilizó el método explorativo – deductivo, debido a que ha sido necesario investigar diversas fuentes, incluyendo libros, documentos técnicos, revistas especializadas, entre otras. Ello permitió recopilar información sobre diversas iniciativas de redes comunitarias en América Latina y ha ayudado a conocer su forma de funcionamiento y marco regulatorio, lo cual ayuda a brindar acceso a Internet en áreas desatendidas a un costo bajo.

Por otro lado, en el tercer y cuarto capítulo se utilizarán los métodos benchmarking y descriptivo-inductivo. Se utilizará el método benchmarking para sintetizar diseños de redes comunitarias con el objetivo de mejorar y proponer nuevos modelos. Para ello, se llevará a cabo una evaluación y análisis del diseño, y funcionamiento de diez redes comunitarias, comparando su estructura técnica y operativa mediante ciertos parámetros e indicadores. Asimismo, se empleará el método descriptivo - inductivo, para describir las tecnologías de red y condiciones en la que fueron implementadas las redes comunitarias y en base a la inducción, concluir ciertos criterios que conlleven a predecir la posible aplicabilidad de los modelos propuestos. El objetivo de utilizar estas metodologías es sintetizar los diseños existentes, buscando la mejora y la aplicabilidad en zonas de brecha residual del Perú.

2.6 Estimación y análisis de localidades de la brecha residual de telecomunicaciones

La cuantificación de la brecha residual de telecomunicaciones se realizará de acuerdo con lo mencionado en el primer capítulo, el cual se mide mediante la diferencia entre la cantidad de localidades de la brecha de conectividad actual y la cantidad de localidades de la indicada brecha que podrían ser priorizados por el Estado en los próximos cinco años, mediante la promoción de la cobertura de los servicios esenciales de telecomunicaciones. Para tal fin, se recurrió de información actualizada y disponible, la cual data del 2020 y que fue obtenida de distintos organismos del Estado, siendo procesada de acuerdo con lo requerido.

Según información obtenida de fuentes del Ministerio de Transportes y Comunicaciones (2020), se estima que de un aproximado de 100 000 centros poblados (CC.PP.) que hay a nivel nacional, al 2020 existen 59 161 (59.2 %) que no cuentan con ningún servicio de telecomunicaciones, el cual representa un total de más de 3 millones de personas, dentro del cual se enmarca la brecha de conectividad actual en el Perú. Por otro lado, para estimar el total

de comunidades que podrían ser atendidas por parte del Estado en los próximos cinco años y que no cuentan con ningún servicio de telecomunicaciones, se considerará a las localidades que serán beneficiadas de los siguientes proyectos: Proyecto Regional de Banda Ancha y la Concesión de las Bandas de Frecuencia AWS-3 y 2.3 GHz, los cuales se detallan líneas debajo.

El PRONATEL tiene en proceso de ejecución los proyectos regionales de banda ancha en veintiún regiones del Perú, los cuales beneficiarán a 6 908 CC.PP. a nivel nacional (Pronatel, 2020). No obstante, debido al retraso en la ejecución de los indicados proyectos, muchos de ellos actualmente ya cuentan con servicios de telecomunicaciones. Considerando esa situación, al 2020 solo existen 1 801 CC.PP. que no cuentan ningún servicio.

Asimismo, la Agencia de Promoción de la Inversión Privada (PROINVERSIÓN) tiene previsto llevar a cabo el proceso de licitación de las bandas de frecuencias AWS-3 y 2.3 GHz, las cuales se darán en Concesión Única para la prestación de Servicios Públicos de Telecomunicaciones a cambio del cumplimiento de compromisos de inversión obligatorios, como la implementación de una Red de Acceso Móvil 4G y brindar conectividad en el Valle de los ríos Apurímac, Ene y Mantaro (VRAEM) y en la zona selva del país, los cuales beneficiarán 1 561¹ CC.PP., cabe mencionar que de los 1 561 solo 673 CC.PP. están definidos e identificados en las bases del concurso de licitación, y los 888 CC.PP. restantes serán opcionales de elegir en la adjudicación de la licitación (ProInversión, 2022).

No obstante, de los 673 CC.PP., solo se considerarán para el cálculo de la brecha residual los 442 CC.PP. que no cuentan con ningún servicio de telecomunicaciones, debido a que los restantes ya cuentan con algún servicio o han sido considerados como beneficiarios en el proyecto anteriormente mencionado. Cabe mencionar que, para la estimación de la brecha

¹ El 9 de junio de 2023, ProInversión adjudicó las bandas de frecuencias AWS-3 y 2.3 GHz a la empresa Vittel Perú S.A.C., beneficiando a 3 825 localidades rurales (Plataforma Digital Única del Estado Peruano, 2023).

residual en el presente estudio, no se tomarán en cuenta los 888 CC.PP. por no encontrarse identificados actualmente.

Por consiguiente, la suma total de la cantidad de CC.PP., que no cuentan con ningún servicio de telecomunicaciones y podrían ser atendidos en las dos intervenciones del Estado mencionadas, hacen un total de 2 243 CC.PP.

Tabla 4. Estimación de la brecha residual de telecomunicaciones

Tipo de zona	Cantidad
Localidades de brecha de cobertura actual	59 161
Localidades de la brecha actual que han sido priorizados: <ul style="list-style-type: none"> • 18 proyectos regionales (1 801) • Licitación las bandas AWS-3 y 2.3 GHz (442) 	2 243
Total	56 918

Fuente: Elaboración propia

De acuerdo a la cantidad de localidades de la brecha de cobertura actual y la cantidad de localidades de esta brecha que podrían ser priorizados, se realizó la diferencia estimando que la brecha residual de telecomunicaciones en el Perú es de 56 918 CC.PP. con una población aproximada de 2 891 897 habitantes, tal como se muestra en la Tabla 4 y se detalla las cantidades de CC.PP. por departamentos en el Anexo 1. Cabe mencionar que 53 598 CC.PP. son de menos de 200 habitantes que representan más del 60 % de la población de la brecha residual, lo que indica una baja densidad poblacional en indicadas localidades, tal como se muestra en la Tabla 5. Es importante mencionar que la brecha residual es dinámica y variará en el tiempo dependiendo de que se brinde cobertura de algún servicio de telecomunicaciones.

Tabla 5. Estimación de cantidad de habitantes promedio por centro poblado

Habitantes	Centros poblados		Población	
Menores a 1 000	56 876	99.93 %	2 829 000	97.82 %
Menores a 500	56 660	99.55 %	2 680 000	92.67 %
Menores a 300	55 499	97.60 %	2 329 944	80.57 %
Menores a 200	53 598	94.17 %	1 819 000	62.90 %
Menores a 100	47 605	83.64 %	968 000	33.47 %

Fuente: Elaboración propia basada en Ministerio de Transportes y Comunicaciones (2020)

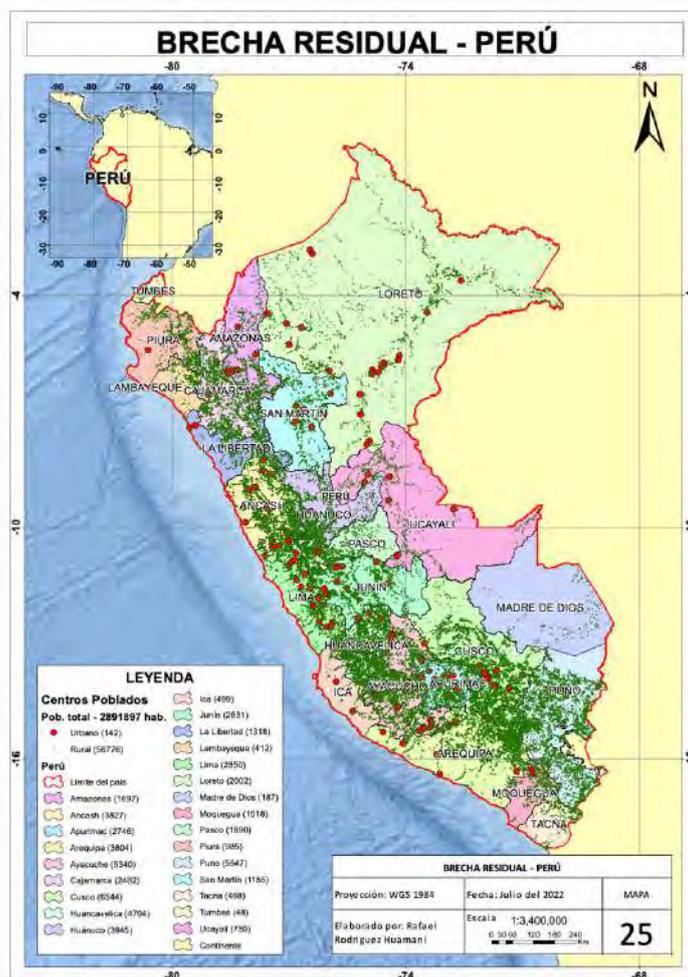


Figura 8. Perú: Brecha residual de telecomunicaciones

Fuente: Elaboración propia basada en Ministerio de Transportes y Comunicaciones (2020)

Por otro lado, se realizó el procesamiento y análisis de información de las localidades pertenecientes a la brecha residual obtenida y se observa que la mayoría de estas localidades se ubican en la región altoandina (ver Figura 8), debido a ello, los departamentos de Cusco, Puno y Ayacucho son los que cuentan con la mayor cantidad de localidades, la cual se representa en la Figura 9.



Figura 9. Perú: Brecha residual por departamentos

Fuente: Elaboración propia basada en Ministerio de Transportes y Comunicaciones (2020)

Los CC.PP. de la brecha residual se ubican tanto en la zona urbana con 142 CC.PP., así como en la zona rural con 56 527 CC.PP., siendo este último donde se establecen la mayor cantidad de CC.PP. (ver Figura 10). Por otra parte, cabe mencionar que una característica particular de las localidades que están dentro de la brecha residual es que tienen niveles significativamente altos de pobreza y no cuentan con entidades públicas (Ramírez & Blanco, 2021).



Figura 10. Perú: Brecha residual por zonas

Fuente: Elaboración propia basada en Ministerio de Transportes y Comunicaciones (2020)

Según datos obtenidos del Ministerio de Energía y Minas (2020), solo el 30 % de las localidades de la brecha residual cuentan con energía eléctrica o energía eléctrica parcial y de un 35 % de localidades, no se tiene información; sin embargo, lo más probable es que no cuenten con este servicio, por lo que un aproximado de 70 % no contarían con energía eléctrica, tal como se aprecia en la Figura 11, lo cual dificultaría la implementación de infraestructura de telecomunicaciones a futuro.

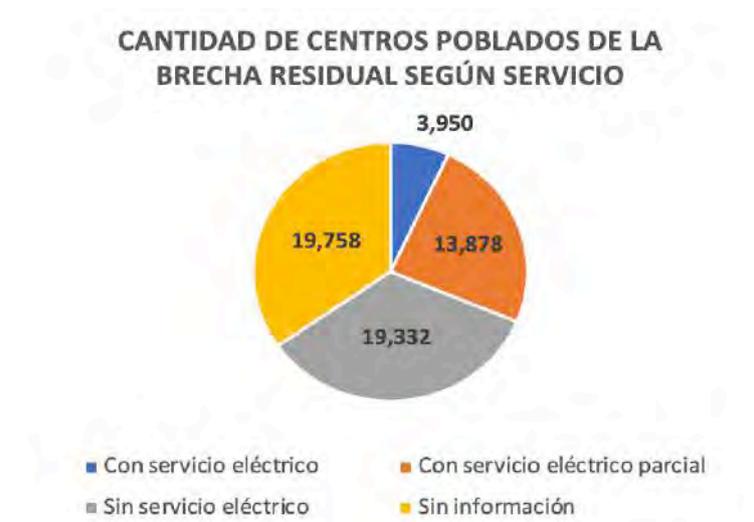


Figura 11. Condiciones de energía eléctrica en centros poblados

Fuente: Elaboración propia basada en Ministerio de Energía y Minas (2020)

Por lo anteriormente expuesto, se tienen los siguientes hallazgos:

- La mayoría de las comunidades no cuentan con servicios eléctricos, lo cual conllevará a buscar otros medios de fuentes de energía para la implementación de infraestructura de telecomunicaciones.
- El 99.3 % de centros poblados que están en la brecha residual son de zonas rurales y la mayoría de estas están localizadas específicamente de la región altoandina, por lo cual se deberán considerar las características geográficas y condiciones climáticas de dichas zonas en la implementación de infraestructura de telecomunicaciones.

- Las características de las localidades que se encuentran en la brecha residual son de baja densidad poblacional, en su mayoría (84 %) son menos de 100 habitantes y tienen niveles significativos de pobreza.
- La brecha residual de telecomunicaciones cuenta con localidades urbanas; sin embargo, estas son irrisorias y, probablemente, tengan mayor oportunidad de que se les brinde cobertura de algún servicio de telecomunicaciones en un corto plazo.



Capítulo 3. Identificación, evaluación y modelamiento de tres diseños de arquitectura de redes comunitarias

Este capítulo tiene como objetivo identificar y evaluar las condiciones operativas, y la arquitectura de red, con las que las redes comunitarias operan técnicamente, así como sintetizar modelos que puedan ser aplicables en las zonas de brecha residual de telecomunicaciones en el Perú.

3.1 Metodología benchmarking para el diseño de redes comunitarias

Para el desarrollo de los modelos técnicos de redes comunitarias se utilizará la metodología benchmarking. Esta metodología es ampliamente aplicable a cualquier proceso, enfoque, función o producto en las organizaciones, ya que se centra en las medidas de calidad, tiempo, costo, efectividad y satisfacción de los usuarios (HubSpot, 2022). El objetivo de emplear esta metodología es identificar de manera objetiva las ventajas operativas de cada red comunitaria seleccionada y, a partir de esta información, implementar mejoras en áreas específicas.

El método benchmarking consta de cuatro fases o etapas (Zairi & Al-Mashari):

- **Planificación:** En esta etapa inicial se determinan las áreas y parámetros específicos de la organización que serán analizados durante el Benchmarking. Seguidamente, se seleccionan las organizaciones o referentes con las mejores prácticas en dichas áreas y se define el método de recolección de datos a utilizar.
- **Recolección de datos:** En esta fase se realiza la recopilación de información de las organizaciones seleccionadas previamente para analizarlas definiendo criterios.
- **Análisis:** Una vez recopilado toda la información de interés se procede a analizar y evaluar la información identificando las áreas de mejora.

- Adaptación: En esta última etapa, se diseñan propuestas de mejoras y se implementa.

Seguidamente, se procederá a desarrollar el método benchmarking, el cual será empleado para analizar y evaluar la estructura técnica y operativa de las redes comunitarias, a través de la medición de parámetros e indicadores, los cuales servirán de referencia para diseñar nuevos modelos técnicos de redes comunitarias.

3.1.1 Planificación y selección de redes comunitarias

Como parte del proceso de planificación del modelo de benchmarking, se establecerá un área de estudio para identificar posibles mejoras de diseño de redes comunitarias. En este sentido, el área de estudio se centrará en su diseño de red y operación. Seguidamente, se definirá los parámetros que permitirán describir las características específicas del área de estudio y que se analizarán posteriormente. Para este fin, se considerarán como parámetros los medios de transmisión (red de transporte, backhaul y red de acceso) y servicios de red local.

En este aspecto, los medios de transmisión representan un parámetro importante para determinar el medio adecuado para la transmisión de datos. Estos permiten evaluar y comparar el desempeño de la red en términos de capacidad de ancho de banda, escalabilidad y otros factores. Por otro lado, los servicios de red local son muy importantes para medir la calidad de la experiencia del usuario porque miden el desempeño y la eficiencia de los servicios ofrecidos, como el repositorio digital, telefonía IP, entre otros.

A continuación, se seleccionarán las redes comunitarias que serán objeto de estudio. Para este propósito, se revisaron diversas redes comunitarias de diferentes países, particularmente aquellas que están en funcionamiento y han sido autosostenibles en el tiempo. De estas, se eligieron diez redes comunitarias utilizando como criterios las características y condiciones de los CC.PP. pertenecientes a la brecha residual de telecomunicaciones en el Perú. Por lo cual,

estas redes cumplen preferentemente con las siguientes características y condiciones, tal como se detalla en la Tabla 6:

- ✓ Localidades ubicadas en zonas rurales alto andinas, zonas de selva o similares.
- ✓ Localidades sin servicio eléctrico.
- ✓ Localidades sin cobertura de servicios de telecomunicaciones.
- ✓ Localidades con baja densidad poblacional.
- ✓ Población con condiciones económicas bajas.

Tabla 6. Identificación de redes comunitarias

Nº	Red Comunitaria	Zona rural	Servicio eléctrico	Servicio de telecomunicaciones	Densidad poblacional	Economía de la población
1	RedINC	Sí	Parcial	No	Baja	Baja
2	Maní - Casanare	Sí	Parcial	No	Baja	Baja
3	Quintana Libre	Sí	Sí	No	Baja	Baja
4	San Pablo Libre	Sí	Parcial	No	Baja	Baja
5	Pifeiros	Sí	Parcial	No	Baja	Baja
6	Penalva	Sí	Parcial	No	Baja	Baja
7	El cuy	Sí	Sí	No	Baja	Baja
8	Terra do Meio	Sí	No	No	Baja	Baja
9	Murambinda Works	Sí	Sí	No	Baja	Baja
10	Castilla y León	Sí	Sí	Sí	Baja	Baja

Fuente: Elaboración propia

Las diez redes comunitarias seleccionadas son RedINC, Maní - Casanare, Quintana Libre, San Pablo Libre, Pifeiros, Penalva, El Cuy, Terra do Meio, Murambinda Works y Castilla y León (ver Figura 12).

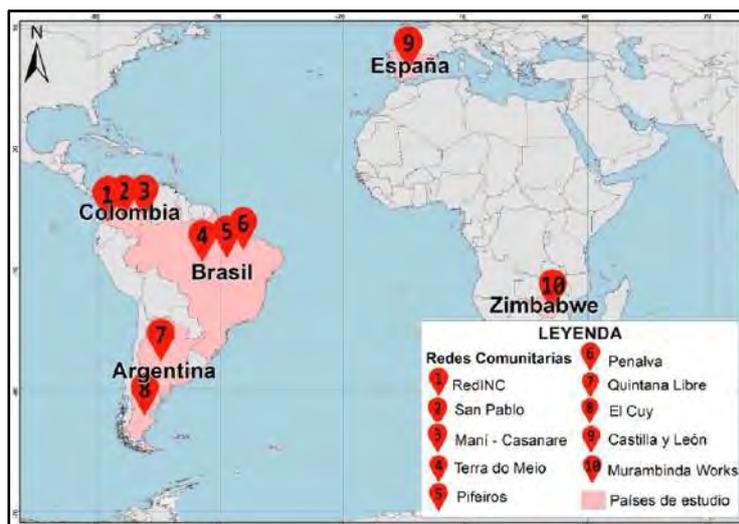


Figura 12. Ubicación geográfica de redes comunitarias identificadas

Fuente: Elaboración propia

Como parte final del proceso de planificación, se definirá los tipos de fuentes que se utilizarán para recopilar información sobre el diseño y funcionamiento de las redes comunitarias seleccionadas. En tal sentido, se utilizarán fuentes primarias, como documentos, fotografías, videos, registro de entrevistas, documentales y notas informativas producidos por las organizaciones que colaboraron en la implementación de las redes comunitarias seleccionadas. Asimismo, se utilizarán fuentes secundarias que brinden análisis o interpretación de la información mencionada, como tesis de grado, informes técnicos, notas periodísticas, etc. Es importante mencionar que, si bien en los últimos años ha habido un incremento de redes comunitarias en diversas partes del mundo, en muchos casos su implementación y operación no se encuentra debidamente documentada, por lo cual existe poca información disponible. No obstante, se ha logrado recabar la información necesaria para el presente trabajo.

3.1.2 Recolección de datos de las redes comunitarias seleccionadas

Para llevar a cabo la recolección y el análisis de la información sobre el diseño y operación de las redes comunitarias, es esencial comprender su modelo de gobernanza, ya que permitirá describir adecuadamente a las diez redes comunitarias seleccionadas. Es importante destacar que el modelo de gobernanza incluye características y condiciones de las comunidades, como

su organización, articulación social, desarrollo de capacidades, provisión de los servicios de telecomunicaciones, financiamiento y marco regulatorio específico (ver Figura 13), que habilitan espacios de desarrollo y autosostenimiento para las redes comunitarias (Ramírez & Blanco, 2021).



Figura 13. Elementos del modelo de gobernanza de las redes comunitarias

Fuente: Ramírez & Blanco (2021)

Al respecto, como parte del proceso de recopilación de información se proporciona, en el Anexo “B”, la descripción del proceso de desarrollo y operación de las diez redes comunitarias en estudio: RedINC, Maní - Casanare, Quintana Libre, San Pablo Libre, Pifeiros, Penalva, El Cuy, Terra do Meio, Muranbinda Works y Castilla y León; basada en el modelo de gobernanza, que permitirá analizar adecuadamente el desarrollo de estas redes y evaluar su sostenibilidad en el tiempo.

Por otra parte, se proporcionan las características técnicas de las diez redes comunitarias seleccionadas, como se muestra en la Tabla 7. Estas características se basan en los parámetros de red establecidos previamente y brindan información sobre ancho de banda, tipo de energía, la ubicación de servidor y otros detalles técnicos importantes para cada red comunitaria.

Tabla 7. Características técnicas de las redes comunitarias seleccionadas

Red Comunitaria	Ancho de banda	Tipo de red de transporte	Backhaul	Tipo de red de acceso	Ubicación servidores locales	Energía	Frecuencias	Software radioenlaces	Hardware radioenlaces
RedINC (Colombia)	10 Mbps	Radioenlace PtP	Radioenlace mesh	Wifi	Nodo central	Eléctrica, paneles solares	Frecuencias libres	LibreMesh	Ubiquiti
Quintana Libre (Argentina)	3 a 9 Mbps	Radioenlace PtP	Radioenlace mesh	Wifi	Universidad	Eléctrica, paneles solares	Frecuencias libres	LibreMesh	LibreRouter
El cuy (Argentina)	10 Mbps	Radioenlace PtP	Radioenlace PtP	Wifi	Sin servidor local	Eléctrica, paneles solares	Frecuencias libres	Ubiquiti	Ubiquiti
Maní - Casanare (Colombia)	Sin información	Radioenlace PtP	Radioenlace PtMP	WiFi	Nodo central	Eléctrica, paneles solares	Frecuencias libres	Ubiquiti	Ubiquiti
San Pablo Libre (Colombia)	150 Mbps compartido con la UC	Radioenlace PtP	Radioenlace PtMP	Wifi	Nodo cliente	Eléctrica, paneles solares	Frecuencias libres	Ubiquiti	Ubiquiti
Pifeiros (Brasil)	Sin información	Enlace satelital	Radioenlace PtP	Wifi	Nodo central	Eléctrica, paneles solares	Frecuencias libres	Ubiquiti	Ubiquiti
Penalva (Brasil)	25 Mbps / 80 Gb	Enlace satelital	Radioenlaces mesh	Wifi	Nodo central	Eléctrica, paneles solares	Frecuencias libres	Ubiquiti	Ubiquiti
Terra do Meio (Brasil)	3 Mbps	-	Radio HF	Wifi	Nodo central	paneles solares	Frecuencias libres	-	-
Castilla y León (España)	1Gbps	Fibra óptica por redes eléctricas	Fibra óptica, Radioenlace PtP	Wifi	Sin servidor local	Eléctrica	Frecuencias libres	Ubiquiti	Ubiquiti
Murambinda (Zimbabue)	25 Mbps	Fibra óptica de proveedor	Radioenlace PtP	Wifi	Nodo central	Eléctrica, biogás	Frecuencias libres	Ubiquiti	Ubiquiti

Fuente: Elaboración propia

A continuación, se presenta una descripción de las características técnicas de cada una de las redes comunitarias seleccionadas:

3.1.2.1 Red comunitaria INC

La red comunitaria INC está compuesta por una red de transporte que utiliza radioenlaces punto a punto (PtP) para brindar un servicio de Internet de 10 Mbps a una distancia aproximada de 13 km. Esta conexión se extiende desde la casa de Jimmy, que funciona como punto de acceso a Internet, hasta el polideportivo La Esperanza, que sirve como nodo principal de la red. Para superar la falta de línea de vista entre estos puntos, se instaló un repetidor en la montaña Filo La Ventura, lo que permitió ampliar la cobertura y garantizar la conectividad.

Por otro lado, la red cuenta con un backhaul de enlaces tipo malla que permite llevar la señal desde el nodo principal hacia los nodos secundarios. Estos nodos secundarios se conectan a dispositivos Wi-Fi para proporcionar el acceso a Internet a los usuarios finales (ver Figura 14). Además, la red dispone de un servidor de aplicaciones con software libre ubicado en el nodo principal, el cual brinda servicios locales a los usuarios de la red. Para garantizar el funcionamiento continuo de la red ante cortes de fluido eléctrico, se han instalado paneles solares y baterías que proporcionan energía y respaldo (Internet Society Colombia Chapter, 2019).

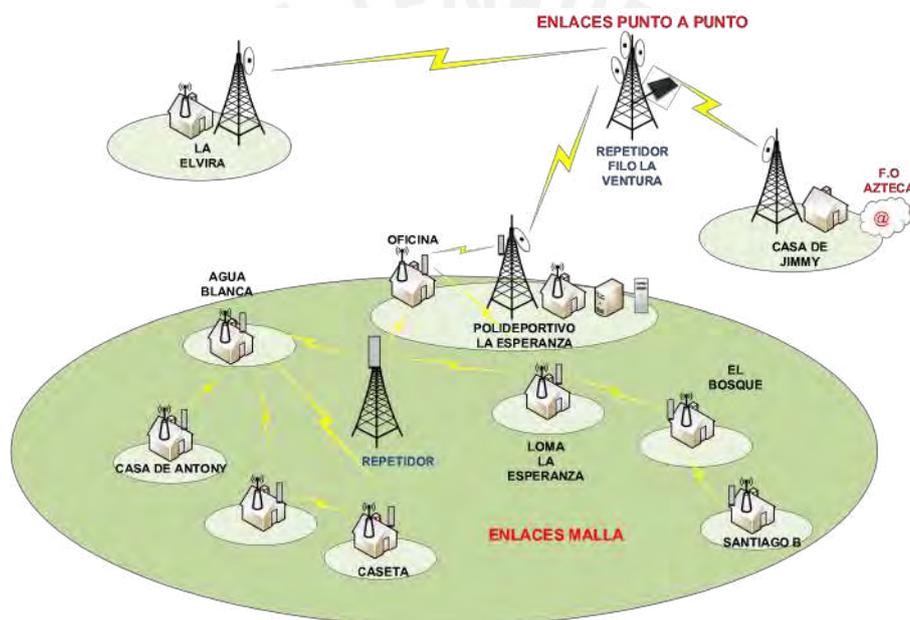


Figura 14. Topología física referencial de la red comunitaria INC

Fuente: Elaboración propia basada en Internet Society Colombia Chapter (2019)

Los equipos inalámbricos utilizados en la red comunitaria son de la marca Ubiquiti, que ha sido elegida por su buena relación calidad - precio y alto rendimiento. No obstante, se ha instalado el firmware LibreMesh en estos equipos para facilitar su configuración y liberar algunas funcionalidades adicionales del hardware. En cuanto a las frecuencias utilizadas, se ha optado por frecuencias libres, como la frecuencia 5.8 GHz para la red de transporte y backhaul, y la frecuencia de 2.4 GHz para la red de acceso (Internet Society Colombia Chapter, 2019).

Cabe mencionar que durante la implementación de la red comunitaria, se llevó a cabo una prueba piloto utilizando la tecnología TVWS (Television White Spaces) para la red de transporte. En esta prueba, se contó con el apoyo de Microsoft, que proporcionó a la asociación Colnodo tres equipos de TVWS de la marca Adaptrum. Estos equipos consistían en un dispositivo base y dos dispositivos clientes. Sin embargo, a pesar de los esfuerzos realizados no se logró establecer un enlace entre los dispositivos cliente y base. Por lo cual, se elaboró un informe detallado de las pruebas realizadas, el cual fue enviado a Microsoft y Adaptrum con la finalidad de obtener el soporte técnico del fabricante sobre el proceso de prueba (Ortiz & Suárez, 2019).

3.1.2.2 Red comunitaria Maní - Casanare

La red comunitaria Maní - Casanare ha sido implementada con una red de transporte basada en radioenlaces punto a multipunto (PtMP) para llevar el servicio de Internet desde el hotel Anamela hacia tres nodos principales: Las Mercedes, Tarabita y El Viso. Estos nodos se encuentran ubicados a distancias aproximadas de 13 km, 11 km y 17 km respectivamente. Además, se ha establecido una red de acceso que utiliza dispositivos Wi-Fi para proporcionar conectividad a los usuarios finales. Cabe destacar que en el nodo Tarabita se ha instalado una antena omnidireccional, mientras que en el nodo de El Viso se ha utilizado una antena sectorial. Esta distribución permite mejorar la cobertura y la calidad de la señal, adaptándose a las características de ubicación de las viviendas y las necesidades de los usuarios (ver Figura 15).

Asimismo, en la red de transporte se utilizaron frecuencias libres en la banda de 5.8 GHz, mientras que en la red de acceso se utilizó la banda de 2.4 GHz. En cuanto al equipamiento, se optó por utilizar equipos de microondas de la marca Ubiquiti debido a su relación calidad - precio y buenas prestaciones (Internet Society Colombia Chapter, 2019).

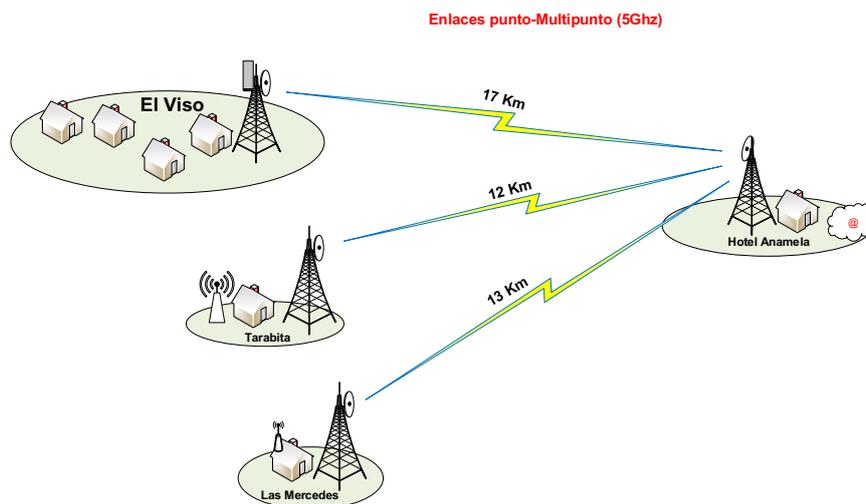


Figura 15. Topología física referencial de la red comunitaria Mani – Casanare
Fuente: Elaboración propia basada en Internet Society Colombia Chapter (2019)

3.1.2.3 Red Comunitaria Quinta Libre

En la red comunitaria Quintana Libre, se ha establecido un convenio con la Universidad Nacional de Córdoba (UNC) para recibir servicios de red locales. Gracias a esta colaboración, la red comunitaria cuenta con un portal comunitario, chats internos y acceso al material educativo proporcionado por la UNC. Además, la red brinda el acceso a Internet proporcionado por la universidad, que varía en velocidad de 3 Mbps a 20 Mbps dependiendo del horario establecido por la institución académica (La Nación, 2015).

La red comunitaria de José de la Quintana cuenta con una red de transporte que proporciona acceso a Internet compartido por la Universidad a través de enlaces microondas PtP, los cuales cubren una distancia aproximada de 50 km entre la sede universitaria y la comunidad. Sin embargo, debido a la falta de línea de vista directa, se ha instalado un repetidor con paneles solares para asegurar la conectividad, ya que la zona carece de suministro eléctrico convencional (Radar Libre, 2020).

En el pasado, la red comunitaria utilizaba un backhaul con enlaces tipo malla que se conectaban a equipos de red Wi-Fi instalados en cada hogar para brindar acceso a los usuarios,

como se muestra en la Figura 16. No obstante, actualmente ha habido cambios en la infraestructura de la red. Ahora, tanto el backhaul como la red de acceso se gestionan mediante un único dispositivo denominado LibreRouter, basado en software libre. Este equipo opera en la frecuencia de 5.8 GHz para los enlaces tipo malla y en la frecuencia de 2.4 GHz para la red Wi-Fi, brindando una solución integrada y simplificada (Prato, *et al.*, 2020).

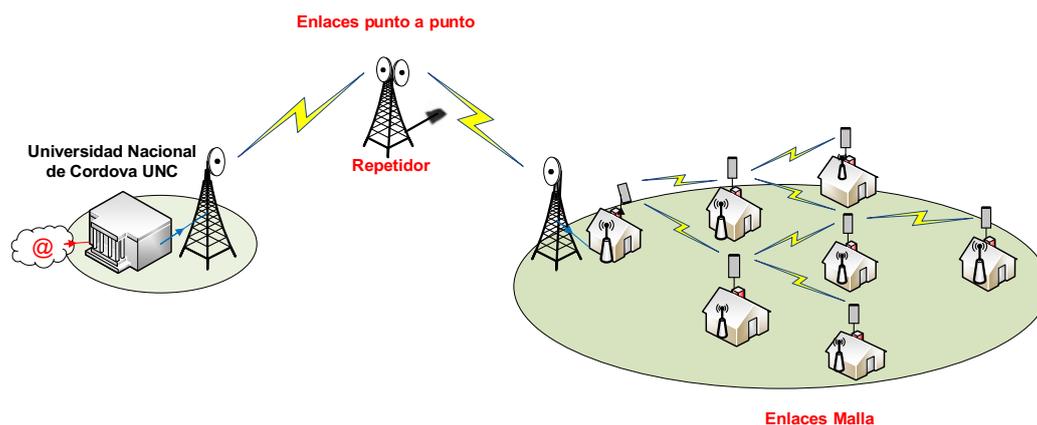


Figura 16. Topología física referencial de la red comunitaria Quintana Libre
Fuente: Elaboración propia basada en Prato, et al. (2020)

3.1.2.4 Red Comunitaria San Pablo Libre

La red comunitaria de San Pablo cuenta con un servicio de Internet de 150 Mbps que es compartido por la Universidad de Cundinamarca. Para llevar este servicio, se utilizó una red de transporte basada en radioenlaces PtP entre la Universidad y la finca de don Benito, que funciona como nodo principal. Esta finca se encuentra a una distancia aproximada de 6 km en una zona montañosa de difícil acceso, pero con una línea de vista clara hacia la Universidad y a los cinco nodos ubicados en la vereda que se pretende cubrir.

Además, la red comunitaria utiliza un backhaul mediante enlaces PtMP en una topología estrella, que se encarga de distribuir el servicio de Internet a todos los sectores de la comunidad. Para lograr ello, se instaló una antena sectorial en el nodo principal con una apertura de 120°, que permite cubrir los cinco nodos secundarios de la red comunitaria. Asimismo, la red cuenta

con una red de acceso que utiliza equipos AP para exteriores en cada uno de los nodos secundarios. Estos AP operan en la frecuencia de 2.4 GHz y brindan zonas Wi-Fi para permitir la conexión de los usuarios finales a la red comunitaria, tal como se puede ver en la Figura 17 (Rodríguez & García, 2017).

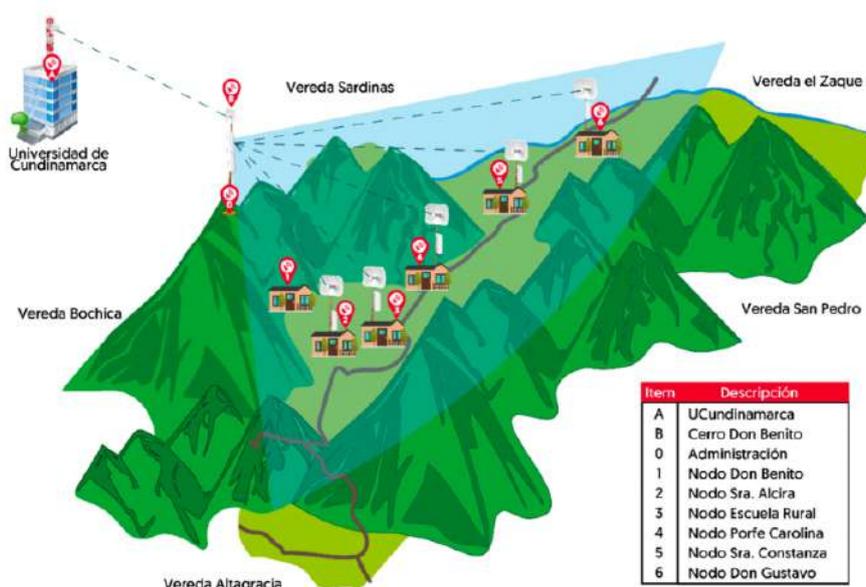


Figura 17. Topología física referencial de la red comunitaria San Pablo Libre

Fuente: Rodríguez & García (2017)

Durante el proceso de diseño de la red comunitaria, se evaluó la viabilidad de implementar de la tecnología TVWS debido a su capacidad para adaptarse a la geografía del terreno y a las ventajas que ofrece. Una de las ventajas de esta tecnología es que no requiere una línea de vista directa para establecer un enlace, lo que resulta beneficioso en áreas con obstáculos físicos o terrenos montañosos. Además, los enlaces de TVWS tienen un alcance considerable, que puede llegar hasta los 30 kilómetros, lo que la convierte en una opción muy atractiva para áreas rurales (Rodríguez & García, 2017).

Sin embargo, se encontraron inconvenientes en la adquisición de equipos TVWS debido a los altos costos y la falta de proveedores locales en Colombia. Estos factores hicieron que la implementación de la tecnología TVWS no fuera económicamente viable para la comunidad

que cuenta con recursos económicos limitados. En consecuencia, se optó por un diseño de red alternativo que se ajustara a las necesidades y posibilidades económicas de la comunidad. Aunque la tecnología TVWS ofrece beneficios potenciales, la decisión de utilizar una solución diferente fue tomada considerando los aspectos financieros y de accesibilidad. (Rodríguez & García, 2017).

3.1.2.5 Red Comunitaria Pifeiros

La red comunitaria Pifeiros se estableció inicialmente como una red local debido a la falta de cobertura de proveedores de servicios satelitales en la zona. En este contexto, se instaló un servidor que le permite brindar servicios de red local como libros digitales, Wikipedia offline y telefonía VoIP. No obstante, en la actualidad, la red cuenta con un servicio de Internet satelital. Este servicio llega al nodo central y desde allí se distribuye el servicio de Internet mediante un backhaul compuesto por radioenlaces PtP en una topología estrella hacia cuatro nodos. A su vez, estos nodos se conectan a equipos AP para brindar zonas Wi-Fi a los usuarios finales (ver la Figura 18). En términos de equipamiento, se han utilizado equipos de la marca Ubiquiti que operan en las frecuencias de 5.8 GHz y 2.4 GHz (ISOC Brasil, 2022).

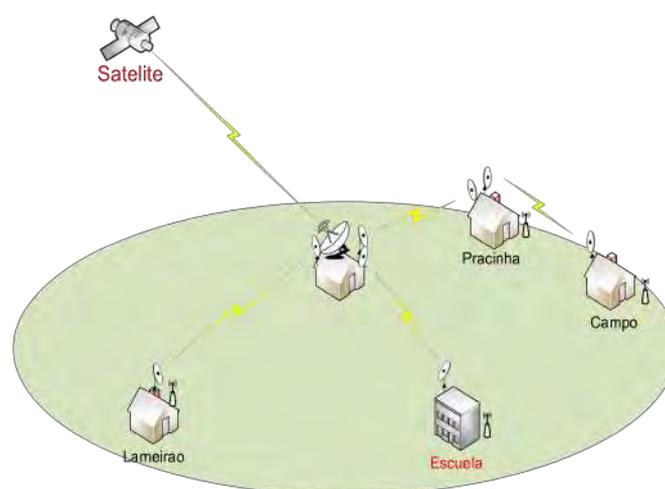


Figura 18. Topología física referencial de la red comunitaria Pifeiros

Fuente: Elaboración propia basada en ISOC Brasil (2022)

3.1.2.6 Red Comunitaria Penalva

La red comunitaria Penalva cuenta con un servicio de Internet satelital que ofrece a sus usuarios una descarga de 80 Gb a una velocidad de 25 Mbps. Para acceder a este servicio, se utiliza una antena VSAT ubicada en el nodo principal de la red comunitaria. Asimismo, el servicio de Internet se distribuye a través de un backhaul de radioenlaces en una topología tipo malla hacia diez nodos secundarios. Cada uno de estos nodos se conectan a equipos AP que brindan acceso a Internet a los usuarios finales mediante dispositivos Wi-Fi (ver Figura 19). El equipamiento utilizado es de la marca Ubiquiti y opera en las frecuencias libres de 5.8 GHz y 2.4 GHz, que son comunes en redes inalámbricas. Además del acceso a Internet, esta red comunitaria ofrece servicios locales, como un portal cautivo que permite a los usuarios acceder a contenidos específicos (ISOC Brasil, 2022).

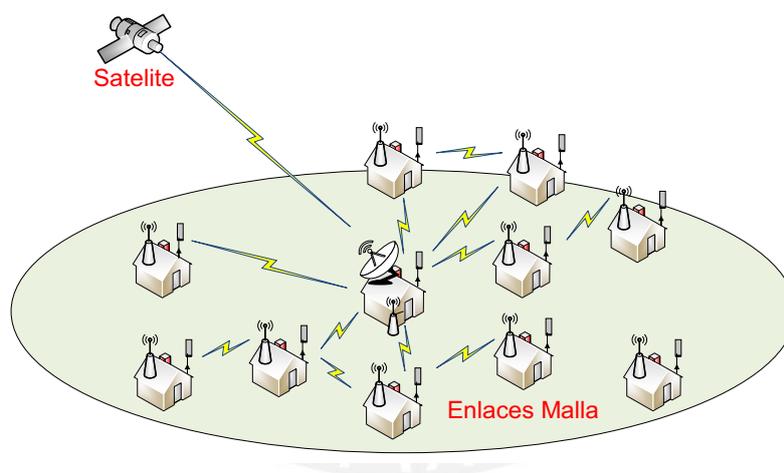


Figura 19. Topología física referencial de la red comunitaria Penalva

Fuente: Elaboración propia basada en ISOC Brasil (2022)

3.1.2.7 Red Comunitaria El Cuy

La red comunitaria El Cuy cuenta con un servicio de Internet de 10 Mbps que es proporcionado por un pueblo vecino. Este servicio es transportado mediante radioenlaces PtP a una distancia de 50 km. No obstante, para superar esta distancia, se instaló un repetidor con paneles solares en el trayecto hacia el pueblo El Cuy. Desde este punto, la señal es distribuida a diferentes nodos dentro de la localidad mediante radioenlaces PtP. Asimismo, estos nodos

están conectados a equipos AP que brindan acceso Wi-Fi en la zona para los usuarios finales (ver Figura 20). Cabe mencionar que los equipos de radioenlaces utilizados son de la marca Ubiquiti (Rodríguez, 2020).

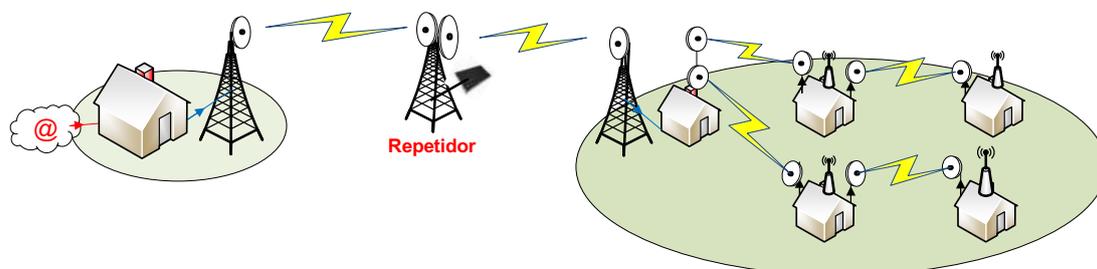


Figura 20. Topología física referencial de la red comunitaria El Cuy
Fuente: Elaboración propia basada en Rodríguez (2020)

3.1.2.8 Red Comunitaria Terra do Meio

La red comunitaria Terra do Meio cuenta con una red local que brinda servicios de mensajería, telefonía e intranet. Estos servicios se transportan mediante equipos de radio HF, los cuales funcionan como red de backhaul. Los equipos de radio HF están conectados a AP que permiten brindar estos servicios a los usuarios finales a través de conexiones Wi-Fi, tal como se muestra en la Figura 21 (Fundación de Pachamama, 2020).

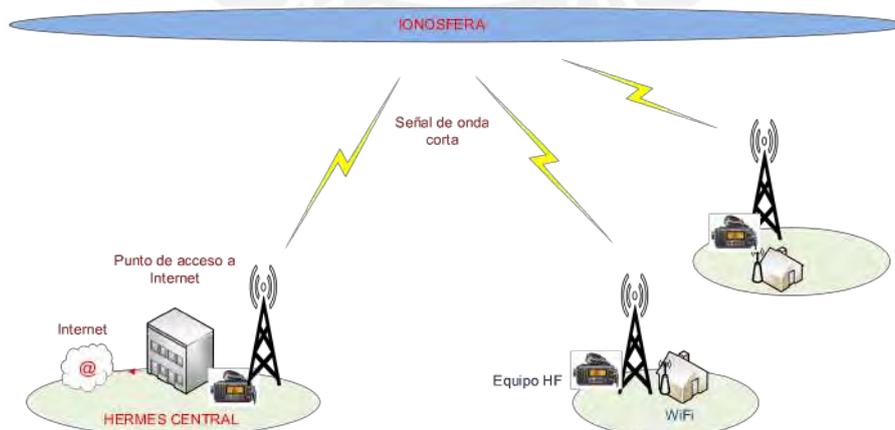


Figura 21. Topología física referencial de la red comunitaria Terra do Meio
Fuente: Elaboración propia basada en Fundación de Pachamama (2020)

3.1.2.9 Red Comunitaria Murambinda Works

La red comunitaria Murambinda Works cuenta con un servicio de Internet de 25 Mbps, que es obtenido a través de un enlace de fibra óptica por un proveedor de servicio de Internet. Este enlace llega hasta el nodo principal de la red. A partir de este nodo, el servicio se distribuye utilizando radioenlaces en una topología malla hacia ocho nodos secundarios. Estos nodos, a su vez, se conectan con equipos AP que permiten el acceso a Internet a los usuarios finales mediante conexiones Wi-Fi, tal como se aprecia en la Figura 22 (Bishi, 2022).

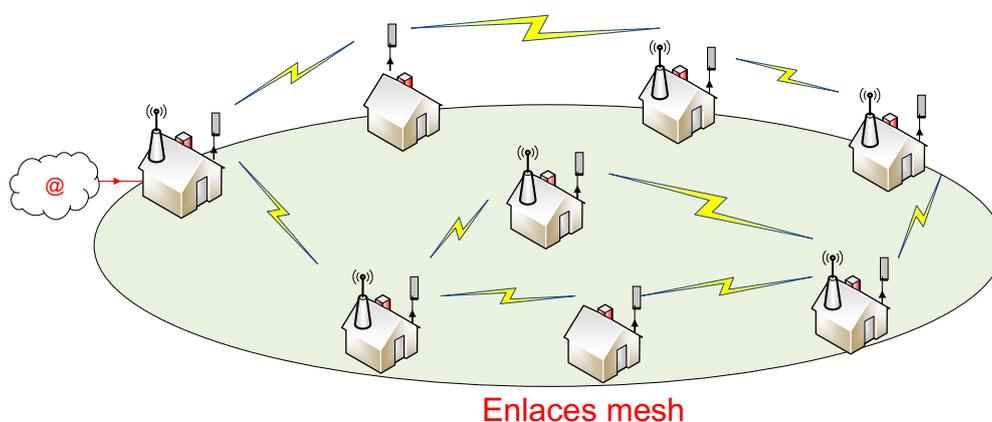


Figura 22. Topología física referencial de la red comunitaria Murambinda Works
Fuente: Elaboración propia basada en Bishi (2022)

3.1.2.10 Red Comunitaria Castilla y León

La red comunitaria de Castilla y León cuenta con servicio de Internet de 1 Gbps provisto por el proveedor Equinix a través de una red de fibra óptica. El servicio es transportado desde la ciudad de Madrid hasta la comunidad mediante la infraestructura de la red de transporte eléctrica de la empresa Grupo de Red Eléctrica. Inicialmente, el servicio de Internet se distribuye a las casas a través de radioenlaces, mientras se realiza el despliegue de la fibra óptica a través de ductería subterránea. Además, para ampliar la cobertura hacia otras comunidades vecinas, se utiliza fibra óptica instalada en postes eléctricos o por medio de ductería subterránea (ver Figura 23) (Red Eléctrica, 2022).

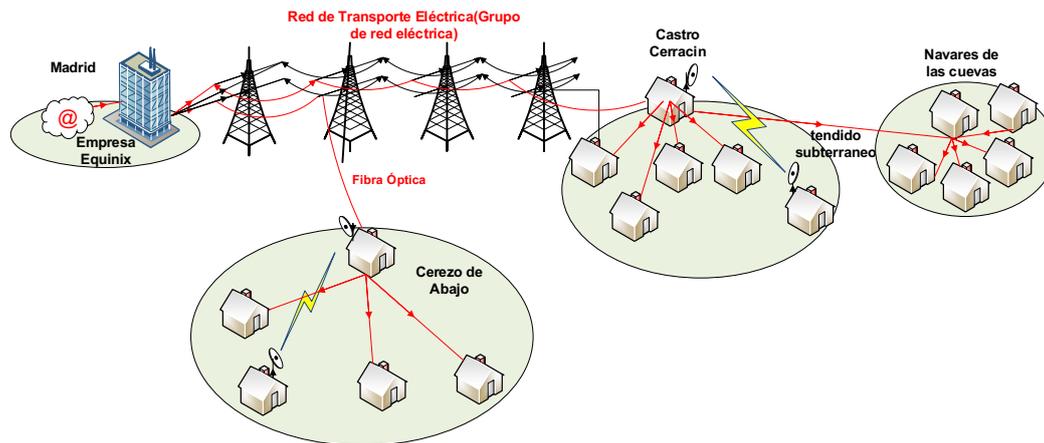


Figura 23. Topología física referencial de la red comunitaria Castilla y León

Fuente: Elaboración propia basada en Red Eléctrica (2022)

3.1.3 Análisis comparativo para el diseño de redes comunitarias

El análisis comparativo es un proceso fundamental para la elaboración de nuevos modelos técnicos, ya que permitirá evaluar la infraestructura de red de estas. Para llevar a cabo este análisis, se compararán diversos parámetros basados en indicadores, los cuales permitirán determinar los componentes más adecuados en términos de costo, eficiencia y calidad del servicio para ser utilizados en la elaboración de modelos técnicos de redes comunitarias.

3.1.3.1 Análisis de parámetros de redes comunitarias en base a indicadores

A continuación, se definirán los indicadores que permiten analizar los parámetros de las redes comunitarias establecidos previamente, específicamente los medios de transmisión y servicios de red. Estos indicadores se detallarán según su importancia.

Para el análisis de los medios de transmisión, que comprenden la red de transporte, backhaul y red de acceso, se utilizarán los siguientes indicadores:

- **Dificultad en la implementación:** Puede afectar el proceso de instalación y puesta en servicio de la red, impactando considerablemente en el tiempo y el costo del despliegue de la red.

- **Disponibilidad del enlace:** Las interrupciones del servicio de Internet afectan la satisfacción y calidad de la experiencia del usuario.
- **Capacidad de ancho de banda:** Es un factor crítico para garantizar que la red pueda satisfacer las necesidades de los usuarios y soportar la demanda futura.
- **Costos de implementación:** Determina los gastos relacionados con la construcción de la infraestructura, adquisición de equipos, servicios de instalación, licencias de software, entre otros, permitiendo evaluar la viabilidad económica de la red.
- **Costos del servicio:** Están asociados con la renta mensual del servicio de Internet, lo cual permite cuantificar los gastos que tendrán que asumir los usuarios.
- **Cobertura:** Determina el alcance geográfico de la red y su capacidad para llegar a los usuarios finales.
- **Redundancia:** Garantiza que la red pueda mantener la disponibilidad y continuar operando con interrupciones mínimas del servicio en caso de falla.
- **Escalabilidad:** Garantiza que la red pueda crecer y expandirse a medida que aumenta la demanda y las necesidades de los usuarios.

Por otro lado, los servicios de red local se medirán según su funcionamiento y operación mediante los siguientes indicadores:

- **Ubicación del servidor:** Es un factor crítico para determinar la velocidad y la calidad del servicio prestado al usuario.
- **Servicios implementados:** Se refiere a la variedad y la calidad de los servicios ofrecidos, determinando la satisfacción del usuario.

Estos indicadores fueron seleccionados, ya que abarcan una amplia gama de factores importantes que permiten evaluar los parámetros de las redes comunitarias (ver Tabla 8):

Tabla 8. Indicadores de los parámetros de las redes comunitarias

	MEDIOS DE TRANSMISIÓN			SERVICIOS DE RED LOCAL
	RED DE TRANSPORTE	BACKHAUL	RED DE ACCESO	
INDICADORES	Dificultad en la implementación	Dificultad en la implementación	Dificultad en la instalación	Ubicación de servidor
	Disponibilidad del enlace	Disponibilidad del enlace	Costos de implementación	Servicios implementados
	Capacidad BW	Capacidad BW	Cobertura	
	Costos de implementación	Costos de implementación		
	Costos del servicio	Redundancia y escalabilidad		
	Cobertura	Cobertura		

Fuente: Elaboración propia

Con base en la descripción de las características técnicas del diseño de las redes comunitarias expuesta previamente, se puede observar que estas redes utilizan diferentes medios de transmisión en la red de transporte, backhaul y red de acceso. La red de transporte utiliza tecnologías de transmisión como radioenlaces, enlaces satelitales y fibra óptica, siendo los radioenlaces PtP los más utilizados. Por otro lado, el backhaul utiliza radioenlaces, fibra óptica y radio HF, siendo los radioenlaces del tipo PtP, PtMP y mesh los más frecuentes. En cuanto a la red de acceso, se utilizan principalmente las redes Wi-Fi (ver Tabla 9).

Tabla 9. Medios de transmisión y acceso de redes comunitarias

N°	Red Comunitaria	Red de transporte	Backhaul	Red de acceso
1	RedINC	Radioenlace PtP	Radioenlace mesh	Wi-Fi
2	Quintana Libre	Radioenlace PtP	Radioenlace mesh	Wi-Fi
3	El cuy	Radioenlace PtP	Radioenlace PtP	Wi-Fi
4	Maní - Casanare	Radioenlace PtP	Radioenlace PtMP	Wi-Fi
5	San Pablo Libre	Radioenlace PtP	Radioenlace PtMP	Wi-Fi
6	Pifeiros	Enlace satelital	Radioenlace PtP	Wi-Fi
7	Penalva	Enlace satelital	Radioenlaces mesh	Wi-Fi
8	Castilla y León	Fibra óptica	Fibra óptica, Radioenlace PtP	Wi-Fi
9	Terra do Meio	ISP	HF	Wi-Fi
10	Murambinda works	ISP	Radioenlace PtP	Wi-Fi

Fuente: Elaboración propia

Es esa línea, se analizarán los medios de transmisión utilizados en las redes comunitarias basándose en los indicadores previamente establecidos. Esto permitirá realizar una evaluación precisa y objetiva de las mismas.

➤ **Red de transporte**

Si bien algunos de los medios de transmisión también son utilizados como backhaul, estas serán analizadas en su función como red de transporte. A continuación, se detalla el análisis de la red de transporte en base a los indicadores establecidos.

Dificultad en la implementación: Los radioenlaces PtP presentan un nivel medio de dificultad de implementación, ya que en áreas rurales es necesario instalar repetidores por la falta de línea de vista. Los enlaces satelitales VSAT tienen un nivel de dificultad bajo a medio, debido a que se requiere personal especializado. La fibra óptica, por su parte, tiene un nivel alto de complejidad en su instalación, ya que requiere construcción de ducterías, tendido de cables y permisos para su instalación.

Disponibilidad del enlace: Los radioenlaces PtP pueden tener una disponibilidad media a baja en zonas rurales debido a las condiciones atmosféricas adversas como fuertes lluvias o granizo, y problemas de conectividad con el repetidor. En contraste, los enlaces satelitales VSAT actuales, están diseñados para resistir en condiciones de mal tiempo. Finalmente, la fibra óptica proporciona una disponibilidad alta, siempre que se realice una instalación adecuada.

Capacidad de BW: Los radioenlaces PtP brindan una capacidad de BW de media a alta, aunque en zonas rurales esta puede verse limitada por la distancia y las condiciones atmosféricas adversas. Por otro lado, los enlaces satelitales VSAT pueden ofrecer una capacidad de BW media, aunque su desempeño puede verse afectado por las condiciones climáticas y presentan una latencia más alta comparada con otros tipos de enlaces. Finalmente, la fibra óptica ofrece una capacidad de BW alta, siendo la más robusta de las tres opciones.

Costos de implementación: La implementación de radioenlaces PtP presenta un costo de implementación medio debido a la necesidad de instalar estaciones repetidoras. En contraste, los enlaces satelitales suelen tener costos de instalación bajos, sin considerar los costos del servicio. Finalmente, la implementación de fibra óptica, especialmente en zonas rurales, requiere inversiones significativas en infraestructura y mano de obra, lo que hace que su costo sea alto.

Costos del servicio: Para el servicio de radioenlaces PtP, los costos suelen ser medios, ofreciendo un balance entre el costo y la calidad del servicio. Los enlaces satelitales, por otro lado, tienden a tener costos de servicio altos debido a las altas tarifas de suscripción mensuales. En el caso de la fibra óptica, los costos del servicio también tienden a ser medios, aunque la alta calidad del servicio puede justificar el costo.

Cobertura: En términos de cobertura, los radioenlaces PtP presentan una cobertura media a alta gracias al uso de estaciones repetidoras que extienden su alcance. Los enlaces satelitales, por su parte, ofrecen una alta cobertura, siendo capaces de llegar a áreas remotas y de difícil acceso. En contraste, la fibra óptica en zonas rurales puede ofrecer una cobertura baja debido a las limitaciones infraestructurales y a los costos asociados con su implementación.

Tabla 10. Análisis de índices de la red de transporte de las redes comunitarias

PARÁMETRO		RED DE TRANSPORTE		
		Radioenlaces PtP	Satelital	Fibra óptica
I N D I C E S	Dificultad en la implementación	Media	Baja/Media	Alta
	Disponibilidad del enlace	Baja/Media	Media/Alta	Alta
	Capacidad de BW	Media	Baja/Media	Alta
	Costos de implementación	Medio	Bajo/Medio	Alto
	Costos del servicio	Bajo/Medio	Alto	Medio/Alto
	Cobertura	Media/Alta	Alta	Baja

Fuente: Elaboración propia

En resumen, cada medio de transmisión de la red de transporte analizado tiene sus ventajas y desventajas en términos de dificultad en la implementación, disponibilidad del enlace, capacidad de ancho de banda, costos de implementación y costos de servicio, y cobertura (ver Tabla 10).

➤ **Backhaul**

A continuación, se detalla el análisis del backhaul en base a los indicadores establecidos.

Dificultad en la implementación: La implementación de radioenlaces PtP y PtMP tiene una dificultad media en zonas rurales debido a la necesidad de infraestructura y alineación de antenas. Por otro lado, los radioenlaces mesh presentan una alta dificultad debido a la necesidad de múltiples antenas y mástiles. La fibra óptica tiene una alta dificultad de instalación, requiriendo zanjas y postes para el tendido del cable. Finalmente, la instalación de un radio HF es compleja debido a los requerimientos técnicos adicionales, como la calibración de antenas y la adaptación de modems HF y configuración del software para transmitir y recibir datos.

Disponibilidad del enlace: Los radioenlaces PTP y PTMP tienen una disponibilidad media, susceptible a condiciones climáticas, distancia y obstrucciones de línea de vista. Por su parte, los radioenlaces mesh poseen una alta disponibilidad gracias a su redundancia de enrutamiento. Los enlaces de fibra óptica también ofrecen una alta disponibilidad, aunque su implementación y mantenimiento pueden ser costosos. Por último, los enlaces de radio HF suelen tener una disponibilidad baja en comparación con otros medios de transmisión.

Capacidad de ancho de banda: Los radioenlaces PtP y PtMP tienen una capacidad media de BW, limitada por distancia y condiciones atmosféricas. Los radioenlaces mesh poseen una capacidad de BW media, ya que se ven impactados por interferencia y condiciones climáticas. La fibra óptica brinda una alta capacidad de BW, ideal para redes de alta velocidad y transmisión de grandes volúmenes de datos. Por último, los radios HF tienen una capacidad

baja, a menudo insuficiente para aplicaciones de alta velocidad y grandes volúmenes de datos, y su calidad de señal puede verse afectada por interferencia y condiciones atmosféricas.

Costos de implementación: Los radioenlaces PtP presentan costos de implementación bajos para distancias cortas a medianas. Los radioenlaces PtMP generalmente tienen costos de implementación bajos, especialmente cuando se necesita conectar múltiples nodos. Los radioenlaces mesh pueden presentar costos de implementación medios inicialmente, pero a largo plazo pueden ser más económicos debido a su escalabilidad. El costo de implementación de fibra óptica es alto debido a la necesidad de infraestructura, pero puede ser más económica a largo plazo debido a su alta velocidad. En contraste, las radios HF pueden tener costos de implementación altos debido a los costos de equipos y de instalación de antenas y accesorios.

Escalabilidad: Los radioenlaces PtP, al solo poder conectar dos puntos finales, presentan una escalabilidad baja. Aunque los radioenlaces PtMP son más escalables que los PtP, todavía presentan ciertas limitaciones, brindándoles una escalabilidad media. Contrariamente, los radioenlaces mesh son altamente escalables, ya que cada nodo puede actuar como un repetidor para extender la red a nuevas ubicaciones. La fibra óptica tiene una escalabilidad media, ya que puede admitir una cantidad considerable de conexiones a través de la infraestructura de red existente. Finalmente, las radios HF, están limitadas por la cantidad de conexiones que pueden admitir, poseen una escalabilidad baja.

Redundancia: los radioenlaces PtP y PtMP presentan un nivel bajo de redundancia, ya que, a pesar de tener la capacidad de instalarse de manera redundante, generalmente no se utilizan de esa forma en las redes comunitarias debido a los costos adicionales. Por otro lado, los radioenlaces mesh poseen una alta redundancia gracias a su capacidad de utilizar múltiples rutas de enrutamiento. Tanto los enlaces de fibra óptica como los de radio HF presentan una redundancia baja, ya que no cuentan con capacidades inherentes de redundancia.

Cobertura: Los radioenlaces PtP y PtMP tienen una cobertura baja debido a la obstrucción de la línea de vista, mientras que los radioenlaces mesh tienen una cobertura media a alta debido a su capacidad para superar obstáculos mediante una topología de red en malla. En cuanto a los enlaces de fibra óptica, su cobertura puede ser media, pero está limitada por la disponibilidad de infraestructura para su instalación. Los enlaces de radio HF tienen una cobertura alta en frecuencias bajas, pero su calidad de señal está sujeta a interferencias y ruido.

Tabla 11. Análisis de índices del backhaul de las redes comunitarias

PARÁMETRO		BACKHAUL				
		Radioenlaces PtP	Radioenlace PtMP	Radioenlace mesh	Fibra óptica	Radio HF
INDICADORES	Dificultad en la implementación	Media	Media	Alta	Alta	Alta
	Disponibilidad del enlace	Media	Media	Alta	Alta	Baja
	Capacidad de BW	Media	Media	Media	Alta	Baja
	Costos de implementación	Bajo	Bajo	Medio	Alto	Alto
	Escalabilidad	Baja	Media	Alta	Media	Baja
	Redundancia	Baja	Baja	Alta	Baja	Baja
	Cobertura	Baja	Baja	Media/Alta	Media	Alta

Fuente: Elaboración propia

En conclusión, cada medio de transmisión de la red de backhaul analizado tiene ventajas y desventajas en términos de dificultad en la implementación, disponibilidad del enlace, capacidad de ancho de banda, costos de implementación, redundancia y escalabilidad, y cobertura (ver Tabla 11).

➤ Red de acceso

A continuación, se detalla el análisis de la red de acceso en base a los indicadores establecidos.

Complejidad de instalación: Los AP omnidireccionales para exteriores tienen una complejidad media en su implementación, ya que se requiere infraestructura adicional para su instalación. Los AP sectoriales para exteriores tienen una complejidad media debido a la

necesidad de instalar infraestructura adicional y orientarlos adecuadamente hacia el área que se desea cubrir. Por otro lado, los AP para interiores tienen una complejidad baja en su instalación, ya que no requieren infraestructura adicional.

Costos de implementación: Los AP omnidireccionales para exteriores y los AP sectoriales para exteriores tienen costos medios debido a la necesidad de infraestructura adicional y a la complejidad en la instalación. Los AP para interiores tienen costos bajos en comparación con los AP externos porque no requieren infraestructura adicional.

Cobertura: Los AP omnidireccionales para exteriores tienen una cobertura alta y uniforme, lo que los hace idóneos para áreas amplias con baja densidad poblacional. Los AP sectoriales para exteriores tienen una cobertura media y más concentrada, lo que los hace idóneos para zonas rurales donde las viviendas están más agrupadas. Los AP para interiores tienen una cobertura baja y se limitan a los espacios interiores de las viviendas, lo que los hace idóneos para zonas rurales donde las casas están agrupadas y la cobertura en interiores es una prioridad.

En conclusión, cada medio de transmisión de la red de acceso analizado tiene ventajas y desventajas en términos de complejidad en la instalación, costos de implementación y cobertura (ver Tabla 12).

Tabla 12. Análisis de índices de la red de acceso de las redes comunitarias

PARÁMETRO		RED DE ACCESO - WLAN		
		AP con antena omnidireccional (exteriores)	AP con antena sectorial (exteriores)	AP doméstico (interiores)
ÍNDICES	Complejidad en la instalación	Medio	Medio	Bajo
	Costos de implementación	Medio	Medio	Bajo
	Cobertura	Alto	Medio	Bajo

Fuente: Elaboración propia

➤ **Servicios de red local**

A continuación, se detalla el análisis de la red de acceso en base a los indicadores establecidos.

Servicios locales implementados: Los servicios locales son esenciales en zonas rurales, ya que a menudo la disponibilidad de acceso a Internet suele ser baja. Esto significa que los usuarios pueden depender de los servicios de red local en caso de pérdida del servicio de Internet. Es importante tener en cuenta las necesidades y prioridades de la comunidad al momento de planificar y desplegar la red. Por ejemplo, en algunas comunidades puede ser prioritario el acceso a servicios de portal comunitario, mientras que en otras puede ser más importante el acceso a servicios de telefonía IP. Por tanto, es fundamental que se implementen servicios que sean útiles y relevantes para la comunidad, y que se garantice su accesibilidad para todos los miembros de la comunidad.

Ubicación del servidor: La ubicación del servidor local es un factor clave para garantizar un rendimiento óptimo de los servicios brindados en la red. El servidor puede estar ubicado en distintos lugares de la red comunitaria, como el nodo central, el nodo secundario o en instituciones externas ubicadas fuera de la comunidad, lo cual presenta ventajas y desventajas que se detallarán a continuación:

- **Instituciones externas:** La implementación de los servicios locales en lugares externos a la comunidad, como universidades, municipios, ONG u otros, gracias a convenios de cooperación, ofrece ventajas significativas como la reducción en los costos de implementación, ya que estas instituciones generalmente permiten compartir recursos de hardware, tales como servidores, firewalls y routers. Además, pueden proporcionar contenidos propios, compartir el acceso a Internet y brindar soporte técnico. No obstante, antes de establecer la ubicación del servidor en estos lugares, se recomienda

realizar una evaluación previa de la disponibilidad de la red de transporte, ya que, en caso de perder la conectividad, toda la comunidad quedaría sin servicios locales ni acceso a Internet.

- **Nodo central o principal:** Es la ubicación más adecuada en términos de conectividad, ya que permite una conexión más directa con los usuarios ubicados en los nodos secundarios. Al tener una menor cantidad de saltos de red se genera una menor latencia, lo cual la comunicación con el servidor mejora significativamente. Esto se traduce en una mejor calidad del servicio para los usuarios finales.
- **Nodo secundario:** Esta ubicación presenta desventajas en caso se presente problemas de conectividad con el nodo central, ya que la red local podría quedar sin servicios si se pierde la conexión con los demás nodos. No obstante, en algunas situaciones esta ubicación puede ser viable si el nodo central no cuenta con las condiciones óptimas para alojar el servidor local, como una energía eléctrica estable o ubicación accesible en caso sea necesario el soporte técnico.

3.1.3.2 Evaluación para la selección de componentes de redes comunitarias

La evaluación del diseño de redes comunitarias analizadas previamente se enfocará en determinar los medios de transmisión y servicios de redes locales que mejor se han adecuado a las características geográficas y condiciones socioeconómicas de las localidades en las que se han implementado, los cuales serán utilizados para sintetizar modelos técnicos que puedan ser aplicables en las zonas de brecha residual de telecomunicaciones en el Perú. Además, se identificará posibles mejoras de las redes comunitarias evaluadas.

➤ **Evaluación de la red de transporte**

De acuerdo con el análisis realizado a las redes comunitarias, respecto a la red de transporte, se observó que el radioenlace PtP es el medio de transmisión más utilizado por su

versatilidad y relación costo - beneficio. Sin embargo, al compararlo con los distintos indicadores de las demás redes de transporte utilizadas, se puede concluir que cada medio de transmisión se adecua a distintos escenarios; por ejemplo: la implementación de radioenlaces PtP se ajusta a las regiones geográficas llanas y con el uso de repetidores podrían ser utilizadas en regiones accidentadas con zonas montañosas. Por otro lado, el enlace satelital es una mejor opción en lugares de difícil acceso donde es complicado de implementar otras tecnologías. Por último, el enlace de fibra se acomoda mejor en zonas llanas y/o con facilidades de acceso donde las altas prestaciones de BW son prioritarias, por ejemplo, los CC.PP. con alta densidad de habitantes.

Por lo expuesto, se concluye que los enlaces satelitales y de fibra óptica son opciones de redes de transporte que pueden ser instaladas en escenarios donde la implementación de radioenlaces es complicada o no es conveniente respectivamente. Por lo tanto, se emplearán los tres medios de transmisión como red de transporte en el diseño de los modelos técnicos de redes comunitarias.

➤ **Evaluación de la red Backhaul**

Según el análisis realizado sobre la comparación de los medios de transmisión utilizados en el backhaul de las redes comunitarias con los distintos indicadores, se pudo observar que el medio de transmisión más utilizado es el radioenlace en sus distintos tipos como radioenlaces PtP, PtMP y mesh. Esto se debe a su relación costo – beneficio, buenas prestaciones de BW y flexibilidad de instalación en los distintos tipos de escenarios geográficos. Los enlaces tipo malla debido a su escalabilidad y redundancia son ideales para redes con múltiples nodos o que requieren una ampliación de la red a futuro, mientras que los radioenlaces PtP y PtMP son perfectos para redes con pocos nodos y largas distancias, ya que su patrón de radiación es mejor aprovechado en el establecimiento de los enlaces. Cada tipo de radioenlace presentan ventajas

y desventajas, pero cada uno de ellos puede ser utilizado en distintos escenarios o se pueden usar juntos lo que permite contar con una flexibilidad al momento de desplegar la red.

Por otra parte, está el uso de enlaces de fibra óptica, los cuales ofrecen una gran capacidad de ancho de banda. Sin embargo, sus costos de implementación son altos debido a la dificultad en la instalación, lo que hace que no sea recomendable como red de backhaul, a menos que se cuente con una red de transporte en fibra óptica y se tengan las condiciones económicas y técnicas necesarias para su instalación. El backhaul con equipos de radio HF, si bien cumple con muchas de las condiciones ideales para ser utilizado en zonas rurales, sólo podría considerarse en el escenario donde ya existe una red de comunicaciones de radio HF establecida previamente o en caso de que resulte complejo o muy costoso implementar otra tecnología, debido a sus bajas prestaciones de velocidad de transmisión y altos costos del sistema HF.

Finalmente, se concluye que, a pesar de que los medios con equipos HF y fibra óptica son aplicables en algunos escenarios, no se emplearían como backhaul para el diseño de redes comunitarias, ya que presentan ciertas condiciones restrictivas que limitan su despliegue y que fueron descritas previamente. Por lo tanto, solo se utilizarán los tres tipos de radioenlaces para el diseño de redes comunitarias.

➤ **Evaluación de la red de acceso**

En el análisis de los medios de transmisión utilizados en la red de acceso de las redes comunitarias, se observó que las redes Wi-Fi son muy utilizadas debido a su flexibilidad de implementación y bajo costo en comparación con otras soluciones de redes cableadas. Además, estas se adecuan a diversos tipos de entornos utilizando distintos tipos de AP con distintas características, tanto para interiores como exteriores. Por ejemplo, cuando la señal Wi-Fi es muy baja dentro de las viviendas, es común la instalación de AP domésticos dentro de las casas para conseguir una mejor señal Wi-Fi. Por otro lado, cuando las viviendas están muy cercanas

se utilizan AP externos con antenas omnidireccionales o sectoriales con mayor ganancia, dependiendo del área que se quiera cubrir, consiguiendo ampliar la cobertura en esa zona con un solo equipo AP. Sin embargo, esto puede afectar el ancho de banda debido a la degradación de la señal debido a los obstáculos.

En resumen, generalmente se suele utilizar redes inalámbricas Wi-Fi para la red de acceso con sus variantes de AP interiores y AP exteriores con antenas de tipo omnidireccional o sectorial, cuyo uso es de acuerdo con el escenario de cada red comunitaria. Por ello, se concluye que es la mejor tecnología para el uso en zonas rurales. Por lo tanto, se plantea el uso de AP interiores y exteriores para el diseño de redes comunitarias.

➤ **Evaluación de los servicios de red local**

De acuerdo con el análisis previo realizado sobre los servicios de red local en las redes comunitarias, se observó que son esenciales para satisfacer las necesidades de comunicación y de compartir contenidos digitales entre los usuarios, lo cual ha resultado efectivo en redes comunitarias con limitaciones en el BW o sin acceso a Internet. Asimismo, la implementación de servicios con software libre, tales como el portal comunitario, radio streaming, biblioteca virtual, Wikipedia offline, telefonía IP y aplicativos de gestión escolar son muy comunes en estas redes. Es importante destacar que la ubicación del servidor en el nodo central de la red mejora significativamente el rendimiento en el acceso de los servicios de red local.

Por lo tanto, se considerará la inclusión de un servidor en el diseño de las redes comunitarias para brindar servicios locales, el cual estará ubicado en el nodo central, a excepción del diseño que utilice enlaces de fibra óptica como red de transporte, ya que debido a sus altas prestaciones de BW, no sería indispensable y sumaría costos adicionales en la implementación y el mantenimiento. No obstante, es importante realizar una evaluación previa de las necesidades y limitaciones de la comunidad para determinar si esta opción es viable.

➤ **Mejoras en el diseño de red comunitaria**

Aunque la implementación de los modelos técnicos propuestos no está dentro del alcance del presente estudio, es fundamental definir y observar las normas técnicas que se deben cumplir para el correcto uso e instalación de la infraestructura de red de telecomunicaciones. Esto incluye fuentes de energía alternativas, sistemas de alimentación ininterrumpida (UPS), sistemas de puesta a tierra y pararrayos. Asimismo, se deben seguir las recomendaciones de instalación proporcionadas por los fabricantes de los equipos utilizados para asegurar su óptimo funcionamiento y maximizar su rendimiento.

Por otra parte, en la mayoría las redes comunitarias de las que se ha recopilado información, no se especifican los sistemas de energía alternativa y/o sistemas de protección eléctrica que se han utilizado o si se han seguido las normas técnicas para su instalación, los cuales son esenciales en cualquier infraestructura de telecomunicaciones, especialmente en zonas rurales, donde debido a las condiciones climáticas, se vuelven aún más necesarios. Los sistemas de energía y protección eléctrica no solo permiten prolongar la vida útil de los equipos informáticos y de telecomunicaciones, sino que también aseguran su funcionamiento en casos de cortes de energía o condiciones climáticas adversas.

Por lo expuesto, los diseños propuestos para los modelos de redes comunitarias incluirán sistemas fotovoltaicos (SFV) y sistemas de alimentación ininterrumpida (UPS), debido a su eficiencia y eficacia en zonas rurales donde el suministro de energía eléctrica puede ser inestable. Asimismo, se considerará el uso de pararrayos y puesta a tierra como medidas de protección eléctrica para los equipos de telecomunicaciones e informáticos, debido a las condiciones climáticas que se presentan en las zonas rurales, que suelen ser propensas a fenómenos atmosféricos adversos.

Para la correcta implementación de los sistemas mencionados se deberá hacer uso de las normas técnicas peruanas vigentes, o en su defecto, normas internacionales, incluyendo las normas específicas relacionadas con la instalación y mantenimiento, entre otras. A continuación, se detallan las principales normas.

- a. Norma EC.040: “Redes e instalaciones de comunicaciones”.
- b. Norma DGE: 2015 “Especificación Técnica del Sistema Fotovoltaico y sus componentes para Electrificación Rural”.
- c. Código Nacional de Electricidad – Utilización: 2006.
 - Sección 060 “Puesta a tierra y enlace equipotencial”.
 - Sección 350 “Sistemas Solares Fotovoltaicos”.
 - Sección 390 “Cables de fibra óptica”.
- d. Norma Técnica Peruana NTP-IEC 60364-5-54: 2020 Instalaciones eléctricas de baja tensión. Parte 5-54: Selección e instalación de equipo eléctrico. Configuraciones de puesta a tierra y conductores de protección. 1ra Edición.
- e. Norma Técnica Peruana NTP-IEC 62305-2 2015 “Protección contra el rayo”
- f. Estándar Internacional NFPA 780: 2023 “Norma para la instalación de sistemas de protección contra rayos”.
- g. Norma Internacional IEC 61439-1 “Cuadros de distribución y maniobra de baja tensión”.

El cumplimiento de estas normativas no solo asegurarán el rendimiento y efectividad del sistema, sino que también ayudarán a proteger la vida de las personas, los bienes materiales y contribuirán a la preservación del medio ambiente. Asimismo, es fundamental subrayar la necesidad de establecer un plan de mantenimiento anual para todos los sistemas, con el objetivo de garantizar su correcto funcionamiento y prolongar su vida útil.

3.1.4 Propuesta de diseño de modelo técnico de redes comunitarias

Luego de evaluar los parámetros de las redes comunitarias, se determinó que para el diseño de modelos técnicos de redes comunitarias, se utilizará como redes de transporte los enlaces microondas punto a punto (PtP), enlace satélite y enlace de fibra óptica, debido a que presentan diferentes ventajas en distintos escenarios geográficos de las zonas rurales. En el backhaul, se emplearán los distintos tipos de radioenlaces analizados, ya que es la tecnología que se ajusta mejor a las redes comunitarias debido a sus bajos costos y alto rendimiento. En lo que respecta a la red de acceso, se optará por redes Wi-Fi, dado que los equipos inalámbricos con esta tecnología cuentan con diversos tipos de antenas que permiten brindar cobertura en diferentes entornos, además, ofrecen facilidad de implementación y capacidad para proporcionar conectividad a un gran número de usuarios simultáneamente.

Se utilizarán los medios de transmisión mencionados previamente para las propuestas de diseño, lo que permitirá la diversidad en la elaboración de diseños de redes (ver Tabla 13).

Tabla 13. Medios de transmisión de red comunitaria

RED DE TRANSPORTE	BACKHAUL	RED DE ACCESO
Radioenlace PtP	Radioenlace PtP	AP sectorial (exterior)
Enlace satelital	Radioenlace PtMP	AP omnidireccional (exterior)
Enlace de fibra óptica	Radioenlaces mesh	AP doméstico (interior)

Fuente: Elaboración propia

En ese sentido, para el diseño se seguirá el criterio de seleccionar medios de transmisión que se complementen mejor entre sí, tanto en la red de transporte como en el backhaul, para optimizar su capacidad y eficiencia en la transmisión de datos y cubrir la demanda de usuarios de manera efectiva, utilizando necesariamente los tres medios de transmisión de la red de transporte. De esta manera, se obtendrán una variedad de modelos adecuados para diferentes

escenarios geográficos y demanda de usuarios. Siguiendo este criterio, los diseños formados serían los siguientes:

El primer modelo propuesto utilizará enlaces microondas PtP tanto para la red de transporte como para el backhaul. La elección de los enlaces PtP se debe a su capacidad de BW, que es baja a moderada en comparación con otros medios de transmisión, lo que permite una mejor distribución del ancho de banda y evita posibles limitaciones en la transmisión de datos. Además, esto los hace adecuados para poblaciones con densidad usuarios baja a media, dependiendo de la cantidad de nodos implementados en el backhaul.

El segundo modelo utilizará enlace satelital como red de transporte y enlaces microondas PtMP como backhaul. La elección del enlace satelital y radioenlace PtMP se debe a que ambas tecnologías tienen una capacidad de BW moderada, lo que permite una mejor distribución del ancho de banda y evita posibles limitaciones en la transmisión de datos, lo que lo hace adecuado para poblaciones de densidad baja a media.

El tercer modelo propuesto utilizará la fibra óptica como red de transporte y radioenlaces mesh como backhaul. La elección de la fibra óptica se debe a su capacidad para transportar grandes cantidades de ancho de banda, lo que se complementa bien con la capacidad de escalabilidad de los radioenlaces mesh utilizados como backhaul, que pueden soportar una alta demanda de tráfico de datos. La combinación de estos medios de transmisión permite una conectividad de alta velocidad y confiabilidad en las zonas rurales.

Por otro lado, todos los modelos técnicos propuestos, excepto el modelo 3, contemplarán la implementación de un servidor para brindar servicios de red local a la comunidad. Esto se debe a que el modelo 3 cuenta con un BW que hace que un servidor local no sea necesario. Además, todos los modelos técnicos tendrán sistemas de energía y protección eléctrica en la infraestructura de telecomunicaciones. Con el fin de asegurar un suministro constante y

sostenible de energía, los equipos de comunicaciones se energizarán mediante sistemas solares fotovoltaicos. Para garantizar la protección ante descargas eléctricas de los equipos, se implementará sistemas de protección eléctrica, tales como UPS, pararrayos y puesta a tierra. De esta manera, se asegurará una operación estable y segura de las redes de telecomunicaciones.

A continuación, se detallan los tres modelos técnicos de redes comunitarias que podrán ser implementados en aquellos CC.PP. donde mejor se adapten a la geografía del lugar y demanda de usuarios.

3.1.4 1 Modelo técnico de red comunitaria 1

El diseño del presente modelo técnico de red comunitaria se compone de radioenlaces PtP como red de transporte y backhaul, junto con redes Wi-Fi como red de acceso. Además, se incluye un servidor en el nodo central y se dispondrá de un sistema de energía y protección eléctrica para garantizar un suministro constante y seguro de energía en la red (ver Figura 24). Este modelo técnico permitirá brindar el servicio de Internet a los CC.PP. de la brecha residual con una población de hasta 300 habitantes. Esta decisión se fundamenta en que la mayoría de estos CC.PP. cuentan con una población que no supera los 300 habitantes, lo que representa el 97.6 % (ver tabla 5) del total de CC.PP. Además, este tipo de modelo resulta económico y viable en términos de infraestructura y recursos en comparación con un modelo diseñado para atender a poblaciones más grandes.

Por lo tanto, se realizó un análisis de la demanda potencial de usuarios de la red, tomando en cuenta la encuesta realizada por Osiptel (2020), en la que se determinó que el dispositivo TIC más utilizado y de mayor crecimiento en los últimos años es el smartphone. La encuesta también indica que, en promedio, el 30.7 % de las personas en zonas rurales cuentan con un smartphone, mientras que el uso de otros dispositivos como laptops, tablets y computadoras es menor. Es importante mencionar que, según Barrantes *et al.*, (2020), la mayoría de estos CC.PP.

están compuestos por niños y adultos mayores, debido a la migración de jóvenes a las ciudades. En consecuencia, se ha establecido como público objetivo a los niños y adolescentes en edad escolar, quienes serán los principales beneficiarios de este modelo de red comunitaria.

Teniendo en cuenta esta información, la red deberá estar diseñada para satisfacer inicialmente una demanda promedio de 170 usuarios, considerando el uso smartphones y otros dispositivos. Sin embargo, para prever un posible aumento en el número de usuarios a corto plazo se consideró un aproximado del 20% adicional, por lo cual, el diseño de la red ha sido dimensionado para proporcionar acceso a Internet a un máximo de 200 usuarios. De este modo, se garantiza la cobertura de la demanda de acceso a Internet y servicios de red local, enfocándose principalmente en los niños y adolescentes en etapa escolar.

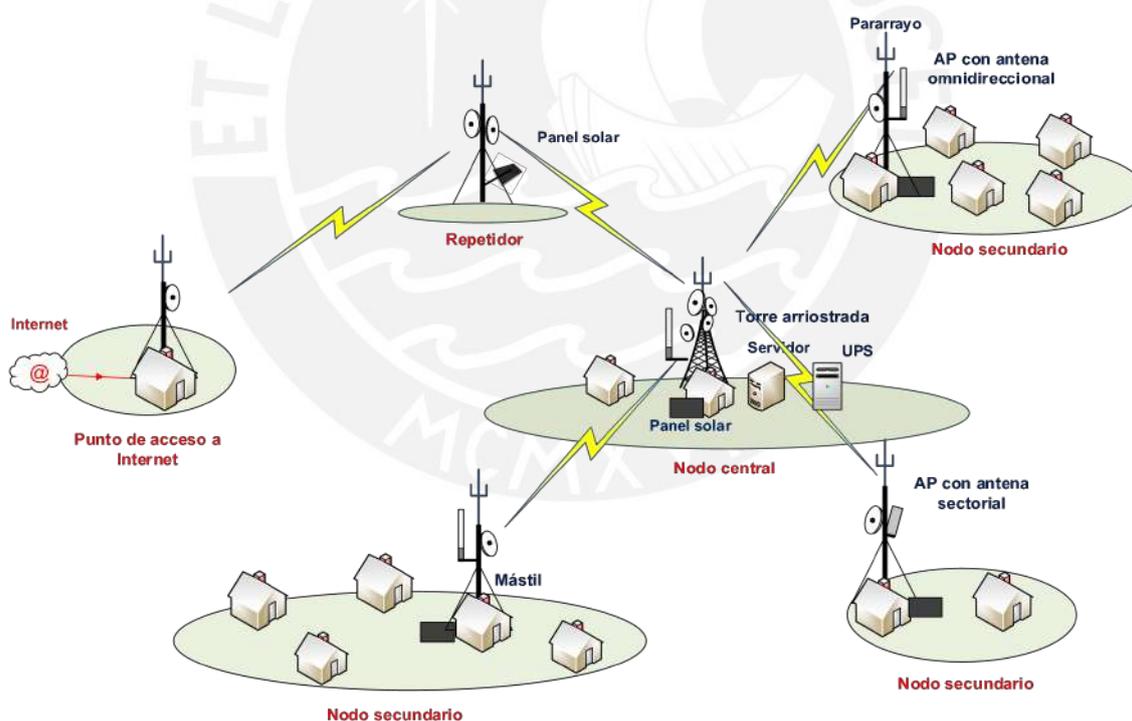


Figura 24. Topología del modelo técnico de la red comunitaria 1

Fuente: Elaboración propia

A continuación, se detallan los componentes del modelo técnico de red comunitaria 1:

➤ **Diseño de la red de transporte**

Para el diseño de la red de transporte mediante radioenlaces PtP, se ha considerado el escenario en el que no existe línea de vista directa entre el punto de acceso de Internet y el nodo central de la red comunitaria. Por lo cual, en el diseño se ha incluido una estación repetidora que permitirá mejorar la calidad de la señal y la cobertura de la red. En este sentido, la red de transporte estará compuesta por dos enlaces microondas PtP en frecuencias libres de 5 GHz, que permitirán la transmisión de los datos entre el punto de acceso de Internet, la estación repetidora y el nodo central de la red comunitaria. Esto asegurará una conexión estable y confiable, permitiendo cubrir la demanda de acceso a Internet de manera efectiva.

La decisión de utilizar una sola estación repetidora en el diseño de la red de transporte se basa en la optimización de costos, simplificación del mantenimiento y facilidad para el soporte técnico. La implementación de múltiples estaciones repetidoras aumenta los costos de instalación y equipamiento, además de la necesidad de contar con personal especializado necesario para el mantenimiento en caso de presentarse una avería, especialmente en zonas de difícil acceso, lo que afectaría la disponibilidad de la red y haría que el soporte técnico se vuelva complejo. Por lo cual, en caso de ser necesario la implementación de más estaciones repetidoras, se requerirá evaluar otros modelos de redes comunitarias que se ajusten mejor a las necesidades y recursos disponibles. En cualquier caso, es importante considerar cuidadosamente los costos y beneficios de cualquier modelo de red comunitaria para asegurar que se brinde un servicio confiable.

Por otro lado, es importante mencionar que para la instalación de los enlaces microondas PtP, se aprovecharán las estructuras elevadas existentes y/o se instalarán mástiles y torres arriostrados. En cuanto al sistema de energía, se recurrirá a paneles solares en la estación repetidora y nodo central, considerando que en el punto de acceso a Internet se ubica en un

lugar donde se dispone de energía comercial estable. En relación con el sistema de protección eléctrica, se instalarán pararrayos junto a los radioenlaces y se conectarán pozos a tierra independientes.

La elección de emplear estructuras elevadas existentes de la zona y/o mástiles de madera para la instalación de los radioenlaces permitirá reducir los costos de instalación y minimizar el impacto ambiental, al minimizar la necesidad de construir torres o estructuras elevadas. Asimismo, la utilización de paneles solares para el energizado de los radioenlaces es una solución práctica y sostenible, especialmente en zonas rurales donde la energía eléctrica no está disponible. En cuanto a la protección contra descargas eléctricas atmosféricas, el uso de pararrayos y conexión a un pozo a tierra son medidas de seguridad necesarias para prevenir daños en los equipos y garantizar la continuidad del servicio de Internet.

➤ **Diseño de la red Backhaul**

En el diseño del backhaul mediante radioenlaces PtP, se ha considerado un escenario donde las viviendas se encuentran dispersas en varias áreas. Por lo tanto, se ha planteado el uso de tres enlaces de microondas PtP utilizando frecuencias libres de 5 GHz para cubrir indicadas áreas. Se colocarán nodos secundarios en diferentes direcciones alrededor del nodo central, formando una topología de red en estrella. Para mejorar la línea de vista y la estabilidad de los enlaces microondas, los radioenlaces del nodo central se instalarán sobre una torre ventada que permita la instalación y alineamiento de todos los radioenlaces hacia los nodos secundarios, asegurando así su correcto funcionamiento. En cuanto a los radioenlaces de los nodos secundarios se deberán instalar sobre estructuras elevadas existentes, en caso de no contar con estas estructuras, se podrán utilizar mástiles para elevar los equipos y garantizar una mejor línea de vista.

Dado que en las zonas rurales es común la falta de energía eléctrica comercial o cortes en el suministro, se ha optado por la utilización de sistemas solares fotovoltaicos para energizar los radioenlaces. Además, se ha contemplado como medida de protección contra descargas eléctricas atmosféricas pararrayos y pozos a tierra, Es importante señalar que, al igual que en la red de transporte, los radioenlaces y los pararrayos están conectados a pozos a tierra independientes, para garantizar una protección adecuada contra descargas eléctricas y prevenir daños en los equipos.

➤ **Diseño de la red de acceso**

En el diseño de la red de acceso mediante una red Wi-Fi, se consideró la utilización de frecuencias libres de 2.4 GHz, debido a su mayor área de cobertura y mejor capacidad de traspasar objetos en comparación con las frecuencias de 5 GHz. Para optimizar el patrón de radiación de los equipos, se han considerado distintos tipos de antenas. En particular, se utilizará tres AP para exteriores con antenas omnidireccionales y un AP para exteriores con una antena sectorial. Estos AP se instalarán sobre estructuras elevadas existentes o compartiendo infraestructura de los radioenlaces. Asimismo, se han considerado cuatro AP adicionales para su uso en el interior de las viviendas en caso de que haya una falta de cobertura de la señal de los AP externos. Con esta distribución de las antenas, se busca lograr una cobertura óptima y una distribución eficiente de la señal Wi-Fi en toda la zona. Cabe mencionar que los AP para exteriores compartirán los sistemas de energizado y protección eléctrica dispuestos para los radioenlaces.

➤ **Servicios de red local**

El diseño del presente modelo técnico contempla la instalación de un servidor con el objetivo de brindar servicios de red local, tales como telefonía IP, chats, biblioteca virtual offline, entre otros, los cuales serán definidos de acuerdo a las necesidades y preferencias de la

comunidad. Estos servicios se implementarán con software libre y se instalará en el nodo central, lugar estratégico que ofrece ventajas en términos de conectividad.

Para garantizar el funcionamiento estable y un suministro de energía constante y seguro para el servidor, se ha considerado la instalación un UPS. Este servidor, al igual que los radioenlaces ubicados en el nodo central, hará uso del sistema de energía basado en paneles solares, así como del sistema de puesta a tierra. Es importante resaltar que la vivienda donde se alojará el servidor deberá reservar un espacio aproximado de 3 m², el cual debe cumplir con las condiciones técnicas y de seguridad apropiadas, Es decir, deberá ser un lugar seco, sin problemas de filtración de agua, con buena ventilación, y de preferencia alejado de fuentes de calor. Con estas medidas, se busca asegurar la operatividad del servidor y la integridad de los equipos.

Asimismo, en los CC.PP. donde exista energía comercial la transición entre la energía proveniente del panel solar y la red eléctrica se gestionará mediante un inversor/cargador solar automático. Este dispositivo convertirá la energía de corriente continua del panel solar en corriente alterna para uso de los equipos de telecomunicaciones e informáticos, y cuando la energía solar es insuficiente, cambiará automáticamente para extraer energía eléctrica comercial. Este proceso de conmutación es transparente y garantizará un suministro continuo de energía para los equipos.

3.1.4.2 Modelo técnico de red comunitaria 2

El presente modelo técnico de red comunitaria se compone de un enlace satelital como medio de transporte y radioenlaces PtMP como backhaul. La red de acceso es a través de redes Wi-Fi, y además incluye un servidor en el nodo central para brindar servicios de red local, tal como se muestra en la Figura 25, y se dispondrá de un sistema de energía y protección eléctrica para garantizar un suministro de energía constante y seguro en la red. Este modelo técnico, al

igual al modelo técnico 1, permitirá brindar el servicio de Internet a los CC.PP. de la brecha residual con una población de hasta 300 habitantes. Por lo tanto, el diseño de la red se dimensionará para brindar acceso a Internet a un máximo de 200 usuarios, cubriendo la demanda de acceso a Internet y servicios de red local, principalmente para niños y adolescentes en etapa escolar.

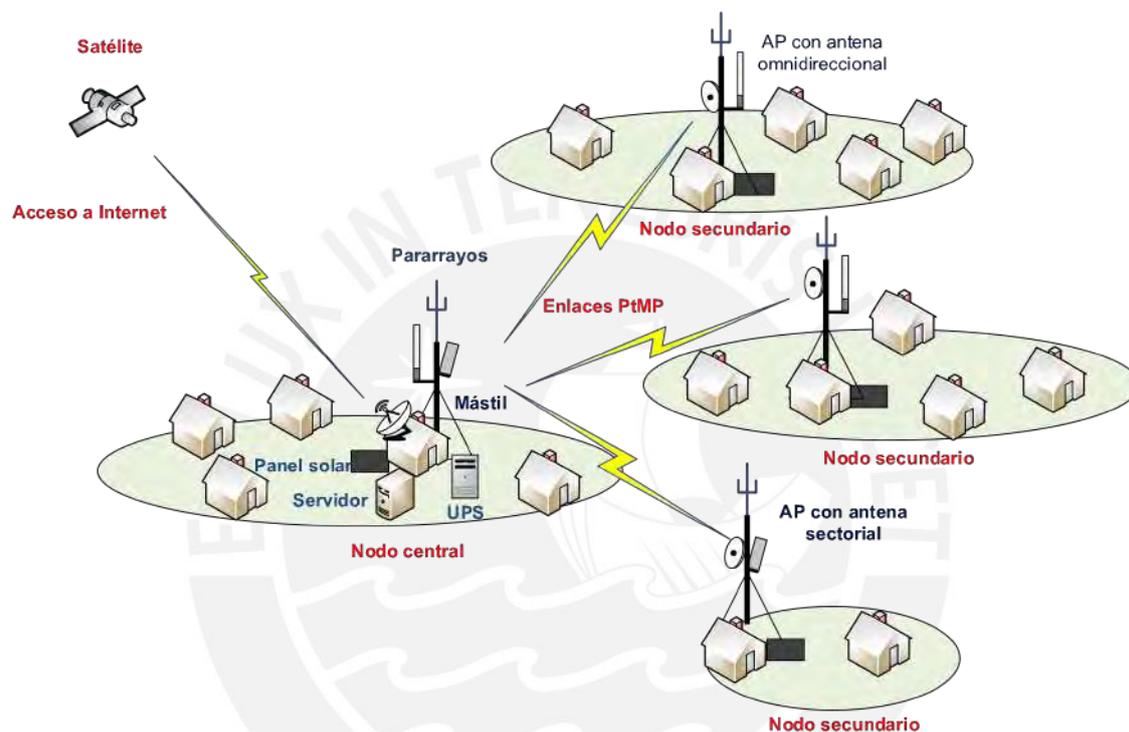


Figura 25. Topología del modelo técnico de la red comunitaria 2

Fuente: Elaboración propia

A continuación, se detallan los componentes del modelo de red comunitaria 2.

➤ Diseño de la red de transporte

Para el diseño de la red de transporte se ha considerado el escenario donde la zona es de difícil acceso y es complicado implementar enlaces microondas o fibra óptica. Por lo cual, la red de transporte está constituido por un enlace satelital, brindado por proveedor de servicio de Internet mediante una antena VSAT que estará instalado en el nodo central. Para su alimentación eléctrica se utilizará un sistema solar fotovoltaico y se instalarán pararrayos y

sistemas de puesta a tierra como protección eléctrica ante descargas eléctricas. Es importante señalar que los equipos del sistema satelital y los pararrayos se conectarán a sistemas de puesta a tierra distintos para garantizar su correcto funcionamiento y evitar daños por descargas eléctricas.

➤ **Diseño de la red backhaul**

Para el diseño de la red backhaul se ha considerado un radioenlace PtMP y tres radioenlaces PtP que utilizan frecuencias libres de 5 GHz, instaladas formando una topología en estrella. Para lo cual, es fundamental ubicar los nodos en sectores que tengan cobertura del radioenlace PtMP, con el fin de aprovechar de manera eficiente la cobertura de los equipos. Para lograr un mejor rendimiento, los radioenlaces deberán instalarse sobre estructuras elevadas existentes o en mástiles arriostradas de madera o acero galvanizado.

Dado que en las zonas rurales es común la falta de energía eléctrica comercial o cortes en el suministro, se ha optado por la utilización de sistemas solares fotovoltaicos para energizar los radioenlaces. Además, se ha contemplado como medida de protección contra descargas eléctricas atmosféricas pararrayos y pozos a tierra, Es importante señalar que, al igual que en la red de transporte, los radioenlaces como los pararrayos están conectados a pozos a tierra independientes, para garantizar una protección adecuada contra descargas eléctricas y prevenir daños en los equipos.

➤ **Diseño de la red de acceso**

En el diseño de la red de acceso mediante una red Wi-Fi, se consideró la utilización de frecuencias libres de 2.4 GHz, debido a su mayor área de cobertura y mejor capacidad de traspasar objetos en comparación con las frecuencias de 5 GHz. Para optimizar el patrón de radiación de los equipos, se han considerado distintos tipos de antenas. En particular, se utilizará tres AP para exteriores con antenas omnidireccionales y un AP para exteriores con una antena

sectorial. Estos AP se instalarán sobre estructuras elevadas existentes o compartiendo infraestructura de los radioenlaces. Asimismo, se han considerado cuatro AP adicionales para su uso en el interior de las viviendas en caso de que haya una falta de cobertura de la señal de los AP externos. Con esta distribución de las antenas, se busca lograr una cobertura óptima y una distribución eficiente de la señal Wi-Fi en toda la zona. Cabe mencionar que los AP para exteriores compartirán los sistemas de energizado y protección eléctrica dispuestos para los radioenlaces.

➤ **Servicios de red local**

El diseño del presente modelo técnico contempla la instalación de un servidor con el objetivo de brindar servicios de red local, tales como telefonía IP, chats, biblioteca virtual offline, entre otros, los cuales serán definidos de acuerdo a las necesidades y preferencias de la comunidad. Estos servicios se implementarán con software libre y se instalará en el nodo central, lugar estratégico que ofrece ventajas en términos de conectividad.

Para garantizar el funcionamiento estable y un suministro de energía constante y seguro para el servidor, se ha considerado la instalación un UPS. Este servidor, al igual que los radioenlaces ubicados en el nodo central, hará uso del sistema de energía basado en paneles solares, así como del sistema de puesta a tierra. Es importante resaltar que la vivienda donde se alojará el servidor deberá reservar un espacio aproximado de 3 m², el cual debe cumplir con las condiciones técnica y de seguridad apropiadas, Es decir, deberá ser un lugar seco, sin problemas de filtración de agua, con buena ventilación, y de preferencia alejado de fuentes de calor. Con estas medidas, se busca asegurar la operatividad del servidor y la integridad de los equipos.

Asimismo, en los CC.PP. donde exista energía comercial la transición entre la energía proveniente del panel solar y la red eléctrica se gestionará mediante un inversor/cargador solar automático. Este dispositivo convertirá la energía de corriente continua del panel solar en

corriente alterna para uso de los equipos de telecomunicaciones e informáticos, y cuando la energía solar es insuficiente, cambiará automáticamente para extraer energía eléctrica comercial. Este proceso de conmutación es transparente y garantizará un suministro continuo de energía para los equipos.

3.1.4.3 Modelo técnico de red comunitaria 3

El diseño del presente modelo técnico de red comunitaria se compone de un enlace de fibra óptica como medio de transporte y radioenlaces mesh como backhaul, Dado que la implementación de una red de fibra óptica puede ser más costosa en comparación con otros tipos de redes, es necesario que la demanda de usuarios de la red sea mayor para justificar el costo de inversión en infraestructura y hacer que sea rentable a largo plazo. En ese sentido, este modelo técnico podría brindar el servicio de Internet a los CC.PP. que pertenecen a la brecha residual y cuenten con una población de 500 a 1 000 habitantes, los cuales representan el 0.4 % del total de CC.PP. (ver tabla 5). Por otro lado, se espera una mayor demanda de servicios de Internet y un incremento en el tráfico de datos. Por lo tanto, la fibra óptica se considera la mejor opción para satisfacer la creciente demanda de servicios de Internet y aumento del tráfico de datos en CC.PP. más grandes.

Considerando que en promedio el 30.7% de la población en zonas rurales cuenta con un smartphone y hace uso de otros dispositivos en menor medida, y que cada vez más personas utilizan dispositivos móviles, la red debe satisfacer la demanda inicial de aproximadamente 600 usuarios. Sin embargo, para prever un posible aumento de usuarios en un corto plazo, se ha considerado un incremento del 20%, por lo que el diseño de la red ha sido dimensionado para brindar acceso a Internet a un máximo de 720 usuarios. Esto permitirá cubrir la demanda de acceso a Internet especialmente para niños y adolescentes en edad escolar.

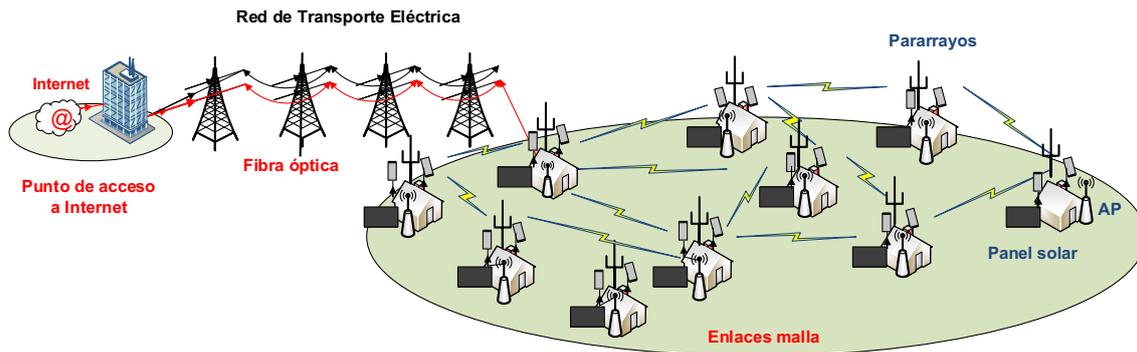


Figura 26. Topología del modelo técnico de la red comunitaria 3

Fuente: Elaboración propia

A continuación, se detallan los componentes del modelo de red comunitaria 3.

➤ Diseño de la red de transporte

La red de transporte está diseñada con un enlace de fibra óptica monomodo ADSS, debido a su capacidad para cubrir largas distancias e ideal para ser instalada en postes de la red eléctrica. Este enlace de fibra se utilizará para conectar el nodo central de la red comunitaria con el punto de acceso a Internet, aprovechando los postes de la red eléctrica existente, considerando una distancia promedio de 10 km. El acceso a Internet puede ser proporcionado por diferentes entidades, como proveedores de servicios de Internet, ONGs, Instituciones Públicas, entre otros. La elección del punto de acceso dependerá de factores como la ubicación geográfica y la disponibilidad de recursos.

Adicionalmente, se utilizarán equipos conversores de medios (media converter) en ambos extremos del enlace de fibra óptica para la conexión con los switches, debido a que los switches con puertos de fibra suelen ser más costosos que los que tienen solo puertos de cobre. La utilización de conversores de medios proporciona un ahorro significativo, ya que permite emplear switches con puertos de cobre y convertir únicamente las conexiones de fibra necesarias, optimizando la infraestructura de red y reduciendo costos sin comprometer la calidad y el rendimiento.

➤ **Diseño de la red backhaul**

La red de backhaul esta diseñada por 10 radioenlaces mesh que operan en las bandas de frecuencia libre de 5 GHz. Estos radioenlaces utilizan antenas externas sectoriales para establecer conexiones entre sí, creando una topología de malla que permite una comunicación eficiente y de alta capacidad en toda la red. Para lograr un mejor rendimiento, los radioenlaces deberán instalarse sobre estructuras elevadas existentes o en mástiles arriostradas.

Adicionalmente, dado que en zonas rurales es común la falta de energía eléctrica comercial o cortes en el suministro, se consideró el uso de paneles solares para energizar los radioenlaces. Además, se tomó en cuenta la protección contra descargas eléctricas atmosféricas mediante pararrayos y pozos a tierra, Es importante destacar que los radioenlaces y pararrayos deberán estar conectados a sistemas de puesta a tierra independientes, lo cual garantiza una protección adecuada contra descargas eléctricas y prevenir daños en los equipos de telecomunicaciones.

➤ **Diseño de la red de acceso**

Para el diseño de la red de acceso mediante una red Wi-Fi, se consideró equipos con frecuencias de 2.4 GHz, debido a su mayor área de cobertura y mejor capacidad de traspasar objetos en comparación con las frecuencias de 5 GHz. Para optimizar el patrón de radiación de los equipos, se utilizará antenas omnidireccionales. En particular, se utilizará AP para exteriores con antenas omnidireccionales y se instalarán sobre estructuras elevadas existentes o compartiendo infraestructura de los radioenlaces mesh. Además, se consideró diez AP de uso doméstico para su uso en el interior de las viviendas donde no haya cobertura de la señal de los AP externos. Con esta distribución de los AP, se busca lograr una cobertura óptima de la señal Wi-Fi en toda la zona. Cabe mencionar que los AP para exteriores compartirán los sistemas de energizado y protección eléctrica dispuestos para los radioenlaces mesh.

Capítulo 4. Análisis y valoración de la aplicación de los modelos sintetizados en zonas de brecha residual en el Perú

El presente capítulo tiene como objetivo realizar el análisis y la valoración de los modelos técnicos de redes comunitarias propuestos respecto a su aplicabilidad en zonas de brecha residual de telecomunicaciones en el Perú acorde a su caracterización, así como también establecer las condiciones para su sostenibilidad en el tiempo.

4.1 Análisis de la aplicabilidad de los modelos propuestos

Con base en el análisis previo realizado sobre las tecnologías de red y las condiciones en las que se implementaron las redes comunitarias analizadas, se establecerán criterios que permitan determinar la aplicabilidad de los modelos técnicos propuestos en el Perú. Por consiguiente, estos criterios se basarán en las características de los CC.PP. de la brecha residual de telecomunicaciones en el Perú, los cuales se detallan a continuación.

- ✓ CC.PP. sin cobertura de servicios de telecomunicaciones.
- ✓ CC.PP. ubicados geográficamente en zonas rurales de la Amazonía y altoandinas predominando esta última (ver Figura 9).
- ✓ El 30 % de CC.PP. tienen servicio eléctrico o servicio eléctrico parcial (ver Figura 12).
- ✓ CC.PP. con baja densidad poblacional (ver Tabla 5).
- ✓ Habitantes de los CC.PP. con bajas condiciones económicas.

Por otro lado, es importante mencionar que, en el estudio de aplicabilidad de los modelos propuestos, solo se considerará el análisis de la red de transporte y backhaul, debido a que están directamente relacionados con la geografía del terreno y el área de cobertura respectivamente.

Además, los tres modelos identificados utilizan redes inalámbricas Wi-Fi como red de acceso, por lo cual este aspecto no afectará directamente el análisis en curso.

4.1.1 Análisis y evaluación del modelo técnico de red comunitaria 1

El presente modelo técnico cuenta con una red de transporte y backhaul basada en radioenlaces PtP. Aunque esta tecnología presenta algunas desventajas, como la degradación de la calidad del enlace debido a obstáculos, distancia y fenómenos atmosféricos, su relación costo-beneficio resulta atractiva para las redes comunitarias. Tal como se pudo apreciar en las redes comunitarias estudiadas, donde utilizan radioenlaces PtP como red de transporte. Por lo general, estas redes suelen contar con un solo repetidor (ver Tabla 9) debido a la falta de línea de vista causada por la geografía del terreno. A pesar de esto, las redes comunitarias han logrado brindar conectividad de manera efectiva a sus localidades, lo que resalta las ventajas de este medio de transmisión en este tipo de escenarios.

En el estudio, se observó que los radioenlaces PtP se adecuaron a diversos escenarios, especialmente a lugares con geografías montañosas y accidentadas, ya que superaron las irregularidades del terreno con el uso de repetidores y permitieron extender su cobertura. Por ejemplo, las redes comunitarias INC y Maní-Casanare han logrado enlaces de hasta 17 km en condiciones climáticas desfavorables, obteniendo buenos resultados. En geografías menos agrestes, como es el caso de las redes comunitarias El Cuy y Quintana Libre, se han cubierto distancias de hasta 50 km. Con base en estos resultados, se puede concluir que los radioenlaces PtP son una opción viable para diversas zonas geográficas del Perú, especialmente en las zonas altoandinas. En estas zonas, donde costos son un factor prioritario, el tendido de fibra óptica o la contratación de un servicio de Internet satelital pueden resultarse considerablemente más costosos.

Por otro lado, es común encontrar el uso de enlaces inalámbricos como backhaul en las redes comunitarias analizadas, destacando especialmente los enlaces PtP, PtMP y malla (ver Tabla 9). La elección de estos distintos tipos de enlaces se basa en las condiciones y características del terreno donde serán instalados. En particular, los enlaces PtP son especialmente adecuados para zonas con geografías accidentadas en comparación con los otros tipos de enlaces. Esto se debe a que los enlaces PtP permiten extender la red hacia otros sectores de la comunidad a través de conexiones directas, como se evidencia en el caso de la red comunitaria Pifeiros.

Los radioenlaces PtP utilizados como backhaul suelen tener menores prestaciones en comparación con los utilizados en la red de transporte, debido a que deben cubrir distancias más cortas. Sin embargo, su uso es apropiado en todo tipo de terreno, al igual que en las redes de transporte. Además, al tratarse de enlaces PtP, la ganancia de la antena es mayor, lo que se traduce en mejores prestaciones de ancho de banda. Es importante tener en cuenta que el uso de radioenlaces PtP como backhaul es recomendable para una cantidad limitada de nodos. En caso de contar con más nodos, se recomienda optar por redes tipo malla, las cuales ofrecen ventajas adicionales como redundancia, escalabilidad y administración centralizada de la red. Teniendo en consideración estos aspectos, el uso de enlaces PtP resulta recomendable en CC.PP. ubicados en zonas altoandinas con baja densidad de habitantes y poblaciones dispersas.

Finalmente, según el análisis realizado a la red de transporte y backhaul, se concluye que el presente modelo puede ser aplicable a los CC.PP. de la brecha residual en el Perú, específicamente las zonas altoandinas con una baja densidad de población de hasta 300 personas. Estas zonas comprenden 20 departamentos del Perú, como Amazonas, Áncash, Apurímac, Arequipa, Ayacucho, Cajamarca, Cusco, Huancavelica, Huánuco, Ica, Junín, La Libertad, Lambayeque, Lima, Moquegua, Pasco, Piura, Puno, Tacna y Tumbes.

Además, luego de realizar un análisis utilizando la base de datos del Ministerio de Transportes y Comunicaciones (2020), se estimó que existen alrededor de 51 771 CC.PP. de la brecha residual ubicados en estas zonas. En base a esta información, se puede concluir que el presente modelo técnico de red comunitaria tiene el potencial de ser implementado en aproximadamente el 91 % de estos CC.PP., lo que a su vez beneficiaría a un total de 1 959 975 habitantes.

4.1.2 Análisis y evaluación del modelo técnico de red comunitaria 2

El presente modelo técnico está compuesto por un enlace satelital como red de transporte y enlaces PtMP como backhaul. Aunque el enlace satelital presenta desventajas en términos de BW limitado y los altos costos mensuales, su capacidad para brindar cobertura en diversos terrenos lo convierte indispensable en ciertas redes comunitarias, especialmente en áreas donde la geografía del terreno dificulta la implementación de tecnologías como radioenlaces o fibra óptica.

En particular, la red comunitaria Penalva, ubicada en la selva amazónica de Brasil, utiliza un enlace satelital como red de transporte debido a la complejidad de implementar otros medios de transmisión en esa zona. Sin embargo, resultó fundamental que esta red comunitaria contara con servicios locales adicionales, como biblioteca virtual, telefonía IP y chats, lo cual permitió reducir el consumo de Internet y optimizar los recursos disponibles. Gracias a esto, la red comunitaria Penalva logró obtener resultados satisfactorios al utilizar un servicio de Internet satelital con una velocidad de descarga de 25 Mbps y una capacidad de 80 GB para atender una demanda de 300 usuarios aproximadamente.

Por otro lado, los enlaces PtMP se implementan como backhaul teniendo en cuenta las características del terreno y ubicación de las zonas pobladas, con el objetivo de optimizar su uso. Un ejemplo de esto es la red comunitaria San Pablo, que utilizó un enlace PtMP con una

antena sectorial de 120° para conectar tres nodos ubicados en el área de cobertura de la antena sectorial. Este tipo de enlaces resultan ideales para zonas rurales, ya que permiten una cobertura más flexible y eficiente, al brindar conectividad a múltiples puntos desde una sola estación base, facilitando la expansión de la red de manera efectiva.

Teniendo en cuenta estos aspectos, los enlaces PtMP pueden ser una solución eficaz para mejorar la conectividad en los CC.PP. en zonas rurales. Es importante destacar que, aunque los enlaces PtMP pueden ser una buena opción en zonas con características específicas (como es el caso de la red comunitaria San Pablo), cada caso es único y requerirá un estudio de factibilidad para determinar la mejor solución para la comunidad en cuestión.

En conclusión, debido a su red de transporte este modelo puede ser aplicable a diversas zonas de los CC.PP. de la brecha residual en el Perú. Sin embargo, se acomoda mejor a las poblaciones que habitan en las zonas amazónicas y cuentan con una baja densidad de población de hasta 300 habitantes, ya que en estas zonas, en general, es complejo y costoso implementar otro medio de transporte que no sea el enlace satelital. Estas zonas comprenden 4 departamentos del Perú: Loreto, Ucayali, Madre de Dios y San Martín.

En ese sentido, se realizó una estimación de los CC.PP. de la brecha residual ubicados en estas zonas mediante la base de datos Ministerio de Transportes y Comunicaciones (2020), y se obtuvo un aproximado de 3 728 CC.PP. que se encuentran en dicha zona. Por lo tanto, este modelo podría ser potencialmente aplicado en aproximadamente el 6.6 % de las localidades de la brecha residual, lo que beneficiaría a un total de 369 969 habitantes.

4.1.3 Análisis y evaluación del modelo técnico de red comunitaria 3

El presente modelo técnico está compuesto por un enlace de fibra óptica como red de transporte y redes inalámbricas tipo malla como backhaul. El enlace de fibra óptica ofrece ciertas ventajas en comparación con otras tecnologías. Por un lado, cuenta con altas

prestaciones de BW, lo que permite una transmisión rápida y eficiente de datos. Además, al ser un medio guiado, es prácticamente inmune a las condiciones atmosféricas, lo que garantiza una mayor estabilidad en la conexión. Por último, la fibra óptica proporciona una mayor capacidad de BW, lo que la hace adecuada para brindar servicios de banda ancha en áreas con una alta densidad de población.

En ese sentido, sería apropiado considerar la implementación de este medio de transmisión en CC.PP. con mayor densidad poblacional, siempre y cuando se cumplan las condiciones necesarias, como la disponibilidad técnica para la instalación y la proximidad a nodos de acceso mediante fibra óptica. Un ejemplo exitoso de este enfoque se encuentra en el despliegue de fibra óptica a través de las redes de transporte eléctrico para la red comunitaria de Castilla y León en España, el cual ha mostrado resultados positivos. Además, este sistema podría expandirse a centros poblados cercanos, funcionando como puntos de acceso para otras redes comunitarias.

En resumen, este medio de transmisión podría aplicarse en los CC.PP. de la brecha residual con mayor densidad poblacional, siempre que se encuentren cerca de los nodos de telecomunicaciones de los 18 proyectos regionales y de la Red Dorsal Nacional de Fibra Óptica (RDNFO). Esto permitiría a las entidades públicas tener acceso gratuito al transporte de datos, conforme a la normativa vigente. Además, esta situación también podría beneficiar a los operadores comunitarios en zonas de brecha residual.

Las redes tipo malla, utilizadas como backhaul, suelen implementarse en redes comunitarias con alta densidad poblacional debido a las numerosas ventajas que ofrecen en comparación con otros sistemas de comunicación. Entre estas ventajas se encuentran la redundancia de enlaces, que garantiza la continuidad del servicio incluso si uno de los nodos falla; la escalabilidad, que permite agregar fácilmente nuevos nodos y expandir la red a medida

que crece la demanda; y la administración centralizada de la red, que facilita el monitoreo y mantenimiento de la infraestructura.

Un ejemplo exitoso de implementación de redes tipo malla como backhaul es la red comunitaria Quinta Libre en Argentina. Esta red ha logrado proporcionar un acceso a Internet de calidad a sus usuarios y, debido a su diseño escalable, actualmente tiene una red en expansión hacia localidades vecinas. Este caso demuestra cómo las redes tipo malla pueden ser una solución eficiente y efectiva para mejorar la conectividad en áreas con alta densidad poblacional, ofreciendo una opción viable y sostenible para abordar la brecha residual en estas comunidades.

En base al análisis realizado sobre la red de transporte y backhaul, se concluye que el presente modelo puede ser aplicable a los CC.PP. de la brecha residual en Perú con una mayor densidad de habitantes. Para ello, es preferible que estos CC.PP. cuenten con facilidades técnicas para utilizar los postes de la red eléctrica y, de ser posible, se encuentren ubicados cerca de los nodos de telecomunicaciones para el acceso a Internet.

En tal sentido, se realizó una estimación utilizando la base de datos Ministerio de Transportes y Comunicaciones (2020) para identificar los CC.PP. de la brecha residual del Perú que tienen servicio eléctrico o servicio eléctrico parcial y, una población de más de 500 habitantes. Como resultado, se estima que hay alrededor de 114 CC.PP. que cumplen con estos criterios. Esto indica que el presente modelo podría ser potencialmente aplicado en aproximadamente el 0.2 % de las localidades de la brecha residual actual, lo que beneficiaría a un total de 82 184 habitantes.

4.2 Valoración de los modelos propuestos

Con base en las características técnicas de los modelos técnicos propuestos, se procederá a realizar un cálculo de los costos de implementación de cada modelo técnico. Es importante mencionar que los costos de implementación de los modelos técnicos de redes comunitarias presentados fueron cotizados por una empresa del rubro de telecomunicaciones, considerando las condiciones geográficas de ubicación de los CC.PP. y un escenario general representativo acorde a los modelos técnicos propuestos. Sin embargo, es necesario destacar que los costos de implementación pueden variar según diversos factores, como el acceso a financiamiento, los proveedores de equipos y servicios, y las particularidades de cada comunidad.

Por otro lado, es fundamental tener en cuenta que el enfoque de las redes comunitarias se basa en la participación y apoyo de la comunidad en la implementación y mantenimiento de la red. Además, muchas veces se cuenta con la colaboración de organizaciones externas que donan equipos o brindan servicios para apoyar la implementación de la red y el acceso a Internet. En este sentido, los costos referenciales proporcionados deben considerarse como una guía general y no representan un cálculo exacto para cada situación particular. Los costos reales pueden variar según diversos factores, como la ubicación geográfica, el tamaño de la comunidad, los precios de los equipos y servicios, entre otros. Asimismo, es importante tener en cuenta que los costos no necesariamente serán asumidos por la comunidad de forma inmediata y completa, sino que por lo general se busca mecanismos de financiamiento y colaboración para llevar a cabo la implementación de manera gradual y sostenible.

Es importante considerar la sostenibilidad económica de los modelos propuestos, especialmente en comunidades rurales donde los recursos son limitados. Se requiere buscar soluciones que permitan ofrecer servicios de calidad a precios asequibles para los pobladores, garantizando así la viabilidad a largo plazo de las redes comunitarias en estas áreas.

4.2.1 Costos del modelo técnico de red comunitaria 1

Para la implementación del presente modelo, diseñado mediante una red de transporte y backhaul con radioenlaces punto a punto (PtP) y dimensionado para centros poblados con hasta 300 habitantes, se requiere un capital aproximado de 99 810 soles. Esta cifra incluye el equipamiento, materiales misceláneos y servicios de instalación (ver Tablas 14 y 15). Esta información es esencial para evaluar la viabilidad económica de este modelo y planificar adecuadamente los recursos necesarios para su implementación en las comunidades objetivo.

Tabla 14. Presupuesto de equipos y materiales del modelo 1

Equipamiento y materiales de instalación	Cant.	Precio unit. (S/)	Precio total (S/)
Radioenlace Ubiquiti Power Beam PBE-5AC-400-ISO	04	790.00	3,160.00
Radioenlace Ubiquiti Lite Beam LBE-M5-23	06	320.00	1,920.00
Access Point Ubiquiti - Rocket M2 con antena AMO-2G13	03	1,360.00	4,080.00
Access Point Nanostation loco M2 - Airmax CPE sectorial	01	320.00	320.00
Access Point TP-LINK modelo TL-WA901N	04	210.00	840.00
Ubiquiti – ETH-SP-G2, protector PoE contra descargas eléctricas	28	80.00	2,240.00
RouterBoard Mikrotik RB2011UiAS-RM	01	780.00	780.00
Switch TP-LINK 8 puertos gigabit TL-SG108	03	210.00	630.00
Caja de cable STP categoría 6 para exteriores x 305 m	01	820.00	820.00
Conectores RJ45 metálicos categoría 6 x caja de 100 unidades	01	165.00	165.00
Patch cord UTP cat. 6 x 2m certificado	19	20.00	380.00
Computadora (CPU, monitor 22", teclado y mouse) Core i5, memoria RAM 16GB, Disco sólido 1TB y fuente 500W	01	4,150.00	4,150.00
UPS Forza 1000VA 500W NT-1012U	01	400.00	400.00
Torre ventada de tres cuerpos, incluye accesorios de anclaje y barra a tierra.	01	1,925.00	1,925.00
Mástiles de acero galvanizado arriostrado de 6 metros, incluye kit de instalación, con barra a tierra.	05	880.00	4,400.00
Sistema fotovoltaico de 150W, incluye panel solar, controlador de carga, batería soporte, caja hermética y kit de cables	04	1,520.00	6,080.00
Sistema fotovoltaico de 600W, incluye panel solar, controlador de carga, batería, soporte, caja hermética y kit de cables.	01	3,820.00	3,820.00
Pararrayo tetrapuntal tipo Franklin, incluye kit de instalación (aisladores y cable de aterramiento)	06	1,050.00	6,300.00
Materiales para sistema de puesta a tierra, incluye pozo a tierra, cable para conexión a tierra, barra a tierra	12	950.00	11,400.00
Materiales miscelaneos de para instalación de equipamiento	01	2,000.00	2,000.00
Total CAPEX (incluye I.G.V.)			S/ 55,810.00

Fuente: Elaboración propia – Precios referenciales

Tabla 15. Presupuesto de servicios de instalación del modelo 1

Servicios de Instalación	Precio total (S/)
<p>Servicio de implementación de la red comunitaria modelo 1 para una zona rural del departamento de Puno, el cual incluye:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Instalación y configuración de 05 enlaces punto a punto - Instalación y configuración de 03 access point exteriores - Instalación y configuración de 01 router (NAT, DHCP, Vlans, funciones básicas de firewall) - Configuración de 04 access point domésticos - Instalación de 05 sistemas solares fotovoltaico - Instalación de 06 pararrayos - Instalación de 12 pozos a tierra - Instalación de 05 mástiles arriostrada de 6 metros - Instalación de 01 torre arriostrada de 9 m - Instalación y configuración de 02 servidores virtuales con software libre (Wmware ESXi, servidor de gestión educativa Chamilo, servidor de telefonía IP Issabel) <p>Nota:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Incluye gastos de traslado de equipamiento y materiales - Incluye capacitación en la administración de la red (04 horas) - Incluye pasajes y viáticos de personal técnico (06 personas x 14 días) 	44,000.00
Total OPEX (incluye I.G.V.)	S/ 44,000.00

Fuente: Elaboración propia – Precios referenciales

Por otro lado, según lo analizado previamente este modelo sería aplicable a 51 771 CC.PP. lo cual significa que se requiere un valor total aproximado de 5 167 millones de soles para implementar este modelo de red comunitaria en todos los CC.PP. identificados y estimados.

4.2.2 Costos del modelo técnico de red comunitaria 2

Para la implementación del presente modelo el cual está diseñado mediante una red de transporte con enlace satelital y un backhaul con radioenlaces PtMP, y esta dimensionado para CC.PP. con hasta 300 habitantes, se requiere un capital aproximado de 77 860 soles, el cual incluye el equipamiento, materiales miscelaneos y servicio de instalación (ver Tabla 16 y 17). Asimismo, es importante considerar que al presupuesto estimado se debe agregar el costo mensual del servicio de Internet satelital. Por ejemplo, el operador HughesNet ofrece este

servicio por un costo de 259 soles al mes, lo que incluye una descarga de 50 GB. Además, se requiere un pago único de 400 soles por activación del servicio. No obstante, este servicio tiene una limitación en cuanto a la cobertura en la banda Ka, la cual debe revisarse a detalle para cada CC.PP.

Tabla 16. Presupuesto de equipos y materiales del modelo 2

Equipamiento y materiales de instalación	Cantidad	Precio unit. (S/)	Precio total (S/)
Access Point Ubiquiti Litebeam LAP-120	01	625.00	625.00
Access Point Ubiquiti Litebeam LBE-M5-23	03	320.00	960.00
Access Point Nanostation loco M2 - Airmax CPE	01	320.00	320.00
Access Point Ubiquiti - Rocket M2 con antena omnidireccional AMO-2G13	03	1,360.00	4,080.00
Access Point TP_LINK TL-WA901N	04	210.00	840.00
Ubiquiti – ETH-SP-G2, protector PoE contra descargas eléctricas	16	80.00	1,280.00
RouterBoard Mikrotik M-RB750GR3	01	420.00	420.00
Switch TP-LINK 8 puertos 10/100/1000	04	210.00	840.00
Caja de cable UTP cat 6 STP para exteriores x 305m	01	820.00	820.00
Conectores RJ45 metálicos, caja x 100 und.	01	165.00	165.00
Patch cord UTP cat 6 x 2m certificado	13	20.00	260.00
Computadora (CPU, monitor 22”, teclado y mouse) Core i5, memoria RAM 16GB, disco sólido 1TB y fuente de 500W	01	4,150.00	4,150.00
UPS Forza 1000VA 500W NT-1012U	01	400.00	400.00
Mástiles de acero galvanizado arriostrado de 6 metros, incluye kit de instalación, con barra a tierra.	04	880.00	3,520.00
Sistema fotovoltaico de 150W, incluye panel solar, controlador de carga, batería, soporte, caja hermética y kit de cables	03	1,520.00	4,560.00
Sistema fotovoltaico de 600W, incluye panel solar, controlador de carga, batería, soporte, caja hermética y kit de cables.	01	3,820.00	3,820.00
Pararrayo tetrapuntal tipo Franklin, incluye kit de instalación (aisladores y cable de aterramiento)	04	1,050.00	4,200.00
Materiales para sistema de puesta a tierra, incluye materiales para pozo a tierra, cable para conexión a tierra, barra a tierra	08	950.00	7,600.00
Materiales miscelaneos para instalación de equipamiento y otros gastos	01	2,000.00	2,000.00
Total CAPEX (incluye I.G.V.)			S/ 40,860.00

Fuente: Elaboración propia– Precios referenciales

Tabla 17. Presupuesto de servicios de instalación del modelo 2

Servicios de Instalación	Precio total (S/)
<p>Servicio de implementación de la red comunitaria modelo 2 para una zona rural del departamento de Loreto, el cual incluye:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Instalación y configuración de 03 enlaces punto a multipunto - Instalación y configuración de 03 access point para exteriores - Instalación y configuración de 01 router (NAT, DHCP, vlans, funciones básicas de firewall) - Configuración de 03 access point domésticos - Instalación de 04 sistemas solares fotovoltaicos - Instalación de 04 pararrayos - Instalación de 08 pozos a tierra - Instalación de 04 mástiles arriostrada de 6 metros - Instalación y configuración de 02 servidores virtuales con software libre (Wmware ESXi, servidor de gestión educativa Chamilo, servidor de telefonía IP Issabel) <p>Nota:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Incluye gastos de traslado de equipamiento y materiales - Incluye capacitación en la administración de la red (04 horas) - Incluye pasajes y viáticos de personal técnico (06 personas x 8 días) 	37,000.00
Total OPEX (incluye I.G.V.)	S/ 37,000.00

Fuente: Elaboración propia – Precios referenciales

Según lo analizado previamente este modelo sería aplicable a 3 728 CC.PP. lo cual implica que se requiere un valor total aproximado de 290 millones de soles para poder implementar esta solución en todos los CC.PP. proyectados.

4.2.3 Costos del modelo técnico de red comunitaria 3

Para la implementación del presente modelo que está diseñado mediante una red de transporte con enlace de fibra óptica y un backhaul con redes tipo malla, el cual esta dimensionado para CC.PP. con más de 500 habitantes, se requiere un capital aproximado de 168 085 soles, el cual incluye el equipamiento, materiales misceláneos y servicio de instalación (ver Tabla 18 y 19).

Tabla 18. Presupuesto de equipos y materiales del modelo 3

Equipamiento y materiales de instalación	Cant.	Precio unit. (S/)	Precio total (S/)
Cable fibra óptica monomodo 12 hilos ADDS SPAN 100 (5 km), incluye accesorios de instalación en postes eléctricos.	02	12,000.00	24,000.00
Media converter base 1000 monomodo	02	600.00	1,200.00
Caja de cable UTP cat 6 STP para exteriores x 305 m	02	820.00	1,640.00
Conectores RJ45 metálicos cat. 6 x caja de 100 unidades	01	165.00	165.00
Patch cord Rj45 cat 6 x 2m certificado	20	20.00	400.00
LibreRouter mesh	10	1,200.00	12,000.00
Access Point Ubiquiti - Rocket M2 con antena omnidireccional AMO-2G13	10	1,360.00	13,600.00
Ubiquiti – ETH-SP-G2, protector contra descargas eléctricas	10	80.00	800.00
RouterBoard Mikrotik RB2011UiAS-RM	01	780.00	780.00
Mástiles de acero galvanizado arriostrado de 6 metros, incluye kit de instalación, con barra a tierra.	10	880.00	8,800.00
Sistema fotovoltaico de 150W, incluye panel solar, controlador de carga, batería, soporte, caja hermética y kit de cables	10	1,520.00	15,200.00
Pararrayo tetrapuntal tipo Franklin, incluye kit de instalación (aisladores y cable de aterramiento)	10	1,050.00	10,500.00
Materiales para sistema de puesta a tierra, incluye pozo a tierra, cable para conexión a tierra, barra a tierra	20	950.00	19,000.00
Materiales miscelaneos de para instalación de equipamiento y otros gastos	01	5,000.00	5,000.00
Total CAPEX (incluye I.G.V.)			S/ 113,085.00

Fuente: Elaboración propia– Precios referenciales

Tabla 19. Presupuesto de servicios de instalación del modelo 3

Servicios de Instalación	Precio total (S/)
<p>Servicio de implementación de la red comunitaria modelo 3 para una zona rural del departamento de Lima, el cual incluye:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Instalación de 10 km de fibra óptica en postes, incluye empalme por fusión - Instalación y configuración de 10 access point mesh - Instalación y configuración de 10 access point exteriores - Instalación y configuración de 01 router - Instalación de 10 sistemas solares fotovoltaicos - Instalación de 10 pararrayos y 10 pozos a tierra <p>Nota:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Incluye gastos de traslado de equipamiento y materiales - Incluye capacitación en la administración de la red (04 horas) - Incluye pasajes y viáticos de personal técnico (06 personas x 30 días) - No incluye la instalación de postes. 	55,000.00
Total OPEX (incluye I.G.V.)	S/ 55,000.00

Fuente: Elaboración propia – Precios referenciales

Según lo analizado previamente este modelo sería aplicable a 114 CC.PP. lo cual implica que se requiere un valor total aproximado de 19 millones de soles para poder implementar esta solución en todos los CC.PP. proyectados.

4.2.3 Estimación de costos de infraestructura de la brecha residual

Con base en los costos determinados para cada modelo técnico y la cantidad de CC.PP. de la brecha residual en los que se pueden aplicar, se procederá a realizar una estimación de los costos de infraestructura de telecomunicaciones de la brecha residual mediante la implementación de redes comunitarias. Es importante tener en cuenta que esta estimación es referencial, ya que no todos los centros poblados de la brecha residual podrán adecuarse a los modelos indicados debido a diversas limitaciones y consideraciones.

El propósito de esta estimación es comparar estos costos con los costos estimados por el Estado peruano adoptando el modelo tradicional para la implementación de infraestructura de telecomunicaciones. Esto nos permitirá evaluar la viabilidad económica de las redes comunitarias en dicho contexto. Es fundamental tener en cuenta que los costos referenciales proporcionados deben considerarse como una guía general para evaluar la viabilidad económica y facilitar la toma de decisiones para abordar la brecha digital en el país.

Según datos del Ministerio de Economía y Finanzas (2019) en el Plan Nacional de Infraestructura para la competitividad 2019, se determinó que, para alcanzar los niveles de acceso básico de infraestructura para el corto plazo, existe una brecha de infraestructura de 12 151 millones de soles para el sector telecomunicaciones.

Por otro lado, de acuerdo con los cálculos estimados en esta investigación, para implementar infraestructura de telecomunicaciones mediante redes comunitarias en 55 613 CC.PP., que representan el 97.7 % de CC.PP. de la brecha residual, se requiere una inversión aproximada de 5 476 millones de soles. Esta cifra, en términos relativos, es significativamente

menor que la estimación proyectada por el MEF en 2019, ya que representa el 45 % de dicha estimación.

Cabe mencionar que, si bien los modelos técnicos de redes comunitarias propuestos son recomendables en ciertas zonas del Perú, estos no se limitan exclusivamente a ubicaciones específicas y pueden adaptarse a diferentes áreas. En particular, el modelo técnico 2 puede ser una alternativa viable al modelo 1 en aquellas zonas donde la geografía del terreno no se ajuste al diseño propuesto, ya que ambos modelos tienen un dimensionamiento similar de usuarios.

4.3 Sostenibilidad de las redes comunitarias

Según el análisis realizado en diez redes comunitarias que fueron objeto de estudio en este trabajo, se observó que existen características y condiciones que coinciden con el modelo de gobernanza propuesto por Ramírez & Blanco (2021) en las comunidades donde se implementaron. Este modelo sugiere que las redes comunitarias pueden actuar como catalizadores del desarrollo, y menciona aspectos clave para su éxito, tales como la organización comunitaria, la colaboración entre múltiples actores, el desarrollo de capacidades, la provisión de servicios de telecomunicaciones, el financiamiento y un marco regulatorio específico. Estos elementos han sido fundamentales para el crecimiento y autosostenimiento de las redes comunitarias estudiadas.

Por lo tanto, para lograr la sostenibilidad de las redes comunitarias, es necesario desarrollar estas características y condiciones, desde la organización de la propia comunidad hasta la creación de un marco regulatorio específico por parte del Estado peruano. Al trabajar en estos aspectos, se facilitará el establecimiento y mantenimiento exitoso de redes comunitarias en el país, contribuyendo a cerrar la brecha digital y mejorar la calidad de vida de sus habitantes.

CONCLUSIONES

1. Tres modelos técnicos de redes comunitarias basados en la experiencia internacional comparada (de diez redes comunitarias a nivel regional) fueron identificados.
2. En los modelos identificados, las principales diferencias radican en la red de transporte y backhaul de distinto medio (radioenlaces, enlace satelital, fibra óptica). Por otra parte, la principal coincidencia de los modelos es que, en todos los casos, la red de acceso aplica y usa, por lo menos en parte, las redes Wi-Fi y las bandas no licenciadas, respectivamente.
3. Con base en las estimaciones de la brecha residual de los centros poblados no priorizados ni priorizables en el corto plazo, se ha estimado la siguiente distribución identificada como la más viable:
 - a. El modelo 1 sería aplicable a 51 771 CC.PP. lo cual significa que se requeriría una inversión aproximada de 5 167 263 510 soles para implementar este modelo de red comunitaria en este conjunto de CC.PP.
 - b. El modelo 2 sería aplicable a 3 728 CC.PP. lo cual implica que se requeriría una inversión aproximada de 290 262 080 soles para implementar esta solución en este conjunto de CC.PP.
 - c. El modelo 3 sería aplicable a 114 CC.PP. lo cual implica que se requiere un total aproximado de 19 161 690 soles para poder implementar esta solución en este conjunto de CC.PP.
4. De acuerdo con los cálculos estimados en esta investigación, para implementar infraestructura de telecomunicaciones mediante redes comunitarias al 97.7 % de los CC.PP. de la brecha residual se requiere una inversión aproximada de 5 476 millones de soles. Este monto - comparado a las cifras del MEF - es, en términos relativos, significativamente menor, ya que representa aproximadamente el 45 % de la estimación proyectada por el MEF.

RECOMENDACIONES Y OBSERVACIONES

1. Promover a las redes comunitarias como alternativa para el cierre de brecha residual de telecomunicaciones en el Perú.
2. Realizar pruebas técnicas con equipos TVWS, así como otras tecnologías emergentes, y el estudio de viabilidad para ser usado como alternativa tecnológica en el diseño de nuevos modelos técnicos de redes comunitarias.
3. Documentar y sistematizar la información técnica y lecciones aprendidas de los proyectos de redes comunitarias con la finalidad de ser de guía para futuras implementaciones.
4. Fomentar la creación de fondos públicos y el acceso a Internet por medio de los proyectos regionales de banda ancha para la implementación de redes comunitarias en el Perú.
5. Realizar el estudio de impacto ambiental en lugares donde se instalará infraestructura de telecomunicaciones de redes comunitarias, principalmente en zonas naturales protegidas.
6. Si bien el alcance de este estudio se limita al ámbito técnico, es imprescindible que la promoción e implementación de las redes comunitarias se dé con enfoque de desarrollo e interculturalidad, ética y responsabilidad social por parte de los múltiples actores involucrados.

BIBLIOGRAFÍA

- Alter Mundi. (2022). *Redes Libres Comunitarias y Descentralizadas*. Recuperado de Alter Mundi: <https://altermundi.net/documentacion/redes-libres-comunitarias-y-descentralizadas/>
- Arias, J., Ziegler, S., Bosio, M., & Camacho, K. (2020). *Conectividad Rural en América y el Caribe*. Recuperado de <https://repositorio.iica.int/bitstream/handle/11324/12896/BVE20108887e.pdf>
- Asociación para el Progreso de las Comunicaciones. (2022). *Sembrando cambios: Nupef trabaja con las redes comunitarias para apoyar el derecho a la comunicación de las comunidades tradicionales de Brasil*. Recuperado de: <https://www.apc.org/es/blog/sebrando-cambios-nupef-trabaja-con-las-redes-comunitarias-para-apoyar-el-derecho-la>
- Association for Progressive Communications. (2021). *Seeding change: Murambinda Works on building community networks and ICT solutions that respond to people's needs*. Recuperado de: <https://www.apc.org/en/blog/seeding-change-murambinda-works-building-community-networks-and-ict-solutions-respond-peoples>
- Baca , C., Belli , L., Huerta, E., & Velasco, C. (2018). *Redes Comunitarias en América Latina: Desafíos, Regulaciones y Soluciones*. Recuperado de: <https://www.internetsociety.org/wp-content/uploads/2018/11/2018-Redes-Comunitarias-ES.pdf>
- Barrantes , R., Agüero, A., & Aguilar , D. (2020). *Digitalización y Desarrollo Rural ¿Hasta que Punto van de la Mano?* Recuperado de Instituto de Estudios Peruano: https://repositorio.iep.org.pe/bitstream/handle/IEP/1182/Barrantes_Agüero_Aguilar_Digitalizacion-desarrollo-rural.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Bishi, J. (2022). *Community Networks, Zimbabwe*. Recuperado de: <https://www.youtube.com/watch?v=rr-1PQK75yI>
- Black Box (2022). *Cable de fibra óptica multimodo vs. Monomodo*. Recuperado de: <https://www.blackbox.com.mx/mx-mx/page/28535/Recursos/Technical/black-box-explica/Fibre-Optic-Cable/Cable-de-fibra-optica-multimodo-vs-monomodo>
- Cámara Argentina de Internet. (2019). *Mira cómo se conectan a Internet los habitantes de El Cuy, Río Negro*. Recuperado de: <https://www.cabase.org.ar/nueva-red-comunitaria-permite-conectar-el-cuy/>
- Casalima. (2021). *Pozo Tierra: ¿Qué es y para qué sirve?, Instalación grupo casa lima*. Recuperado de: <https://grupocasalima.com/blog/pozo-a-tierra-que-es-para-que-sirve/>
- CEPAL - UNESCO. (2020). *La Educación en Tiempos de la Pandemia de COVID-19*. Recuperado de Cepal: https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/45904/1/S2000510_es.pdf

- Colnodo. (2019). *RedINC, la Red Comunitaria inalámbrica de Indígenas, Negros y Campesinos, un proyecto liderado por Colnodo*. Recuperado de: <https://www.colnodo.apc.org/es/novedades/red-comunitaria-redinc-una-red-de-telefonía-rural-comunitaria-liderada-por-colnodo>
- Comisión Europea. (2019). *Foco de Atención en la Política Regional y Urbana Europea*. Recuperado de: https://ec.europa.eu/regional_policy/sources/docgener/panorama/pdf/mag69/mag69_es.pdf
- Cumbre Latinoamericana de Redes Comunitarias. (2018). *Cumbre Latinoamericana de Redes Comunitarias Argentina 2018*. Recuperado de: http://dercom.sociales.uba.ar/wp-content/uploads/sites/73/2019/06/Declaraci%C3%B3n_CLRC-2018_1.pdf
- El Espectador. (2021). *San Pablo, la vereda que conecta a internet sin ayuda de operadores*. Recuperado de: <https://www.elespectador.com/economia/san-pablo-la-vereda-que-se-conecta-a-internet-sin-ayuda-de-operadores/>
- El Periodo de la Energía. (2021). *Red Eléctrica participa en un proyecto pionero para llevar internet a la España despoblada*. Recuperado de: <https://elperiodicodelaenergia.com/red-electrica-participa-en-un-proyecto-pionero-para-llevar-internet-a-la-espana-despoblada/>
- Espectro Brasil. (2018). *Redes Comunitária na cidade de Penalva (MA) conecta quilombolas*. Recuperado de: <https://espectro.org.br/pt-br/content/rede-comunitária-na-cidade-de-penalva-ma-conecta-quilombolas>
- FIET Communications Review Article. (2018). *TV white space and its applications in future wireless networks and communications*. Recuperado de: <https://ietresearch.onlinelibrary.wiley.com/doi/pdf/10.1049/iet-com.2018.5009>
- Fixcom. (2022). *Enlaces inalámbricos*. Recuperado de: <https://www.fixcom.mx/es/redes/enlaces-inalambricos/>
- Fluke Networks (2022). *Guía de referencia del cableado de fibra óptica*. Recuperado de: <https://es.flukenetworks.com/findit/7004040>
- Fomón, J. (2021). *Las Velocidades de Internet de Perú alcanzan a las principales economías de América Latina*. Recuperado de OOKLA: <https://www.ookla.com/articles/peru-internet-speeds-q3-2021>
- Fundación de Pachamama. (2020). *Tecnología y cosmovivencia: la necesidad de una aproximación decolonial*. Recuperado de: https://www.pachamama.org.ec/wp-content/uploads/2021/01/PP9_Dic2020_Tecnologia_Crespo_ESP.pdf
- García, A., Huici, H., Puig, P., & Iglesias, E. (2021). *Cerrando la Brecha de Conectividad Digital*. Recuperado de Banco Interamericano de Desarrollo: <https://publications.iadb.org/publications/spanish/document/Cerrando-la-brecha-de>

[conectividad-digital-Políticas-publicas-para-el-servicio-universal-en-América-Latina-y-el-Caribe.pdf](#)

García, A., Iglesias, E., & Puig, P. (2021). *Informe Anual del Índice de Desarrollo de la Banda Ancha*. Recuperado de Banco Interamericano de Desarrollo: <https://publications.iadb.org/publications/spanish/document/Informe-anual-del-Indice-de-Desarrollo-de-la-Banda-Ancha-IDBA-2020-Brecha-digital-en-América-Latina-y-el-Caribe.pdf>

García, M. & Camazón, F. (2020) *Redes VSAT (Terminal de Apertura Muy Pequeña)*. Recuperado de: <https://silo.tips/download/redes-vsate-terminal-de-apertura-muy-pequea>

Gobierno del Perú. (2021). *Decreto de Urgencia N°14 -2021*. Recuperado de: <https://www.gob.pe/institucion/pcm/normas-legales/1949750-014-2021>

GTR-PUCP. (2019). *Diseño de una Solución de Conectividad para la Cuenca del río Santiago*. Recuperado de: <https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/2224831/Diseño%20de%20una%20solución%20de%20conectividad%20para%20la%20cuenca%20del%20r%C3%ADo%20Santiago.pdf>

HubSpot. (2022). *¿Qué es el benchmarking y qué tipos existen?* Recuperado de: <https://blog.hubspot.es/marketing/benchmarking>

Ingeoexpert. (2019). *¿Qué es la energía solar fotovoltaica y cómo se genera?* Recuperado de: <https://ingeoexpert.com/2019/03/29/que-es-la-energia-solar-fotovoltaica-y-como-se-genera/>

Ingesco. (2022). *como funciona un pararrayos*. Recuperado de: <https://www.ingesco.com/es/noticias/como-funciona-un-pararrayos>

Instituto Nacional de Estadística e Informática. (2020). *Producto Bruto Interno Trimestral*. Recuperado de INEI: https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/boletines/boletin_pbi_trimestral_iit_2020.pdf

Instituto Nacional de Estadística e Informática. (2021). *Estadísticas de las Tecnologías de Información y Comunicación en los Hogares*. Recuperado de INEI: <https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/boletines/02-informe-tecnico-tic-i-trimestre-2021.pdf>

Intel. (2022). *Diferentes protocolos de Wi-Fi y velocidades de datos*. Recuperado de: <https://www.intel.la/content/www/xl/es/support/articles/000005725/wireless/legacy-intel-wireless-products.html>

Internet Society - Capítulo Brasil. (2021). *Tres novas redes comunitárias estão ajudando a proteger comunidades rurais no Brasil*. Recuperado de: <https://isoc.org.br/noticia/tres-novas-redes-comunitarias-estao-ajudando-a-protger-as-comunidades-rurais-do-brasil>

- Internet Society Colombia Chapter (2019) *Experiencias de redes comunitarias en Colombia*. Recuperado de: <https://www.youtube.com/watch?v=mR-zl-mSi0E>
- Internet Society. (2018). *Liberación de las redes comunitarias: enfoques de licencias innovadoras*. Recuperado de Internet Society: <https://www.internetsociety.org/es/resources/2018/unleashing-community-networks-innovative-licensing-approaches/>
- Internet Society. (2019). *Red Comunitaria San Pablo – ¡Porque mi vereda también puede ser conectada!* Recuperado de: https://isoc.co/apc-aa-files/39386872726872383938397239383872/COChapterthon2019_FinalReport%281%29.pdf
- Internet Society. (2019). *Red Comunitaria San Pablo*. Recuperado de: <https://isoc.co/es/proyectos/proyectos-2019>
- Internet Society. (2021). *Anhelando la reconexión con RedINC*. Recuperado de: <https://www.internetsociety.org/wp-content/uploads/2021/10/2021-Colonodo-Case-Study-ES.pdf>
- Internet Society. (2022). *Scaling Opportunity with Murambinda Works*. Recuperado de: <https://www.internetsociety.org/issues/community-networks/success-stories/murambinda/>
- ISOC Brasil. (2022). *Projeto de redes comunitárias no Maranhao*. Recuperado de: https://www.youtube.com/watch?v=BNxX_M3ZS4o&t=288s
- La Contraloría General de la República. (2019). *Reporte de Obras Paralizadas 2019*. Recuperado de: https://doc.contraloria.gob.pe/estudios-especiales/documento_trabajo/2019/Reporte_Obras_Paralizadas.pdf
- La Nación. (2015). *Quintana Libre: así es el proyecto que lleva Internet a zonas del país sin conexión*. Recuperado de: <https://www.lanacion.com.ar/tecnologia/quintanalibre-asi-es-el-proyecto-que-lleva-internet-a-zonas-del-pais-sin-conexion-nid1836747/>
- La Nación. (2020). *Cuando una conexión a Internet es el único lazo al mundo en cuarentena: el caso de El Cuy, en Río Negro*. Recuperado de: <https://www.lanacion.com.ar/tecnologia/cuando-conexion-internet-es-unico-lazo-al-nid2363234/>
- Lacnic. (2019). *Fondos de FRIDA impulsan las redes comunitarias en Colombia*. Recuperado de: <https://prensa.lacnic.net/news/cooperacion/fondos-de-frida-impulsan-las-redes->
- Liberatori, M. (2018). *Redes de datos y sus protocolos*. Recuperado de: <http://www2.mdp.edu.ar/images/eudem/pdf/redes%20de%20datos.pdf>
- Martins & Romero Group. (2020). *¿Cómo ayuda la telemedicina en las zonas rurales del Perú?* Recuperado de: <https://www.myrgroup.pe/blog/como-ayuda-la-telemedicina-en-las-zonas-rurales-del-peru-48>

- Melgarejo, J. (2022). *Brecha digital en el Perú: ¿Cómo vamos y qué nos falta para acortarla?* Recuperado de El Comercio: <https://elcomercio.pe/tecnologia/tecnologia/brecha-digital-en-el-peru-como-vamos-y-que-nos-falta-para-acortarla-educacion-alfabetizacion-digital-pandemia-que-hacer-futuro-noticia/?ref=ecr>
- Metsälä, E., & Salmelin, J. (2012). “*Mobile backhaul*”. John Wiley & Sons. Recuperado de: https://search.library.uq.edu.au/primo-explore/fulldisplay?vid=61UQ&search_scope=61UQ_All&tab=61uq_all&docid=61UQ_ALMA51160347410003131&lang=en_US&context=L
- Meza, G. (2021). *La Brecha Digital del Perú: Remedios que no la Cierran*. Recuperado de Universidad Católica San Pablo: <https://ucsp.edu.pe/brecha-digital-peru-remedios-que-no-la-cierran/>
- Ministerio de Economía y Finanzas. (2019). *Plan Nacional de Infraestructura para la Competitividad*. Recuperado de: https://www.mef.gob.pe/contenidos/inv_privada/planes/PNIC_2019.pdf
- Ministerio de Energía y Minas. (2020). *Servicio eléctrico de Centros Poblados 2020*. Lima - Perú: MINEM (Base de datos – Información pública, disponible a solicitud).
- Ministerio de Justicia. (2015). Decreto Supremo N° 049- 2003- MTC. Recuperado de: <https://www.osiptel.gob.pe/media/rmvdoa00/ds049-2003-mtc.pdf>
- Ministerio de Justicia. (2016). Decreto Supremo N° 024- 2008- MTC. Recuperado de: <https://www.osiptel.gob.pe/media/ww0k2wvf/ds024-2008-mtc.pdf>
- Ministerio de Transporte y Comunicaciones. (2020). *Cobertura de centros poblados de servicios móviles y de Internet fijo*. Lima - Perú: MTC (Base de datos – Información pública, disponible a solicitud).
- More, J. & Argandoña, D. (2020), *Las redes de transporte de fibra óptica, microondas y satelital y su rol para promover la expansión de la cobertura de los servicios públicos de telecomunicaciones: reporte y mapas de cobertura*. Recuperado de: <https://repositorio.osiptel.gob.pe/handle/20.500.12630/745>
- Morera, D. (2019). *Fundamentos de Redes en Fibra Óptica*. Ciudad del Saber: Certitel. Recuperado de: <https://certitelsa.com/course/fundamentos-de-redes-en-fibra-optica-volumen-i-11-2019/>
- Nordesnet Telecom. (s.f.). *Inauguración Red Internte rural libre, abierta y neutral de GB al Nordeste de Segovia*. Recuperado de <https://nordesnet.com>
- Organismo Supervisor de Inversión Privada en Telecomunicaciones. (2020). *Los servicios de telecomunicaciones en los hogares peruanos. Encuesta Residencial de Servicios de Telecomunicaciones (ERESTEL) 2019*. Recuperado de Osiptel: <https://repositorio.osiptel.gob.pe/handle/20.500.12630/736>
- Organismo Supervisor de la Inversión Privada en Telecomunicaciones. (2022). *OSIPTEL proyecta que ingresos del sector telecomunicaciones en Perú superen los S/ 20 000*

- millones este año. Recuperado de: <https://www.osiptel.gob.pe/portal-del-usuario/noticias/osiptel-proyecta-que-ingresos-del-sector-telecomunicaciones-en-peru-superen-los-s-20-000-millones-este-ano/>
- Ortiz, A., & Suárez, W. (2019). *Desarrollo de una Red Comunitaria en el Municipio de Buenos Aires*. Recuperado de: <https://repository.udistrital.edu.co/bitstream/handle/11349/27952/OrtizGiraldoAngieDायana-SuarezGuerreroWilliamFreddy-2020.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Plataforma Digital Única del Estado Peruano. (2023). *PROINVERSIÓN: Más de 3,800 localidades rurales tendrán servicios móviles 4G*. Recuperado de: <https://www.gob.pe/institucion/proinversion/noticias/775902-proinversion-mas-de-3-800-localidades-rurales-tendran-servicios-moviles-4g>
- Prato, A., Weckesser, C. & Segura, M. (2020). *AlterMundi y la primera red comunitaria de Internet cien por ciento LibreRouter y extendida durante la pandemia de COVID-19*. Recuperado de: <http://democratizarcomunicacion.fcc.unc.edu.ar/wp-content/blogs.dir/27/files/sites/27/AlterMundi-y-la-primera-red-comunitaria-de-Internet-cien-por-ciento-LibreRouter-y-extendida-durante-la-pandemia-de-COVID-19.pdf>
- Proinex. (2020). *Sistemas de protección eléctrica*. Recuperado de: <https://proinex.net/sistemas-de-proteccion-electrica/#>
- ProInversión. (2022). *Concesión única para la prestación de servicios públicos de telecomunicaciones y para asignar a nivel nacional los rangos de frecuencias 1750-1780 MHz y 2150-2180 MHz, y 2300-2330 MHz*. Recuperado de: <https://www.investinperu.pe/es/app/DatosProyecto?idAPPProyecto=608>
- Promtel. (2018). “*Guía de Infraestructura de Telecomunicaciones*”. Recuperado de: https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/483497/Gu_a_Infraestructura_Telecomunicaciones.pdf
- Pronatel. (2020). *Proyectos regionales - localidades pronatel. Lima - Perú: MTC (Base de datos – Información pública, disponible a solicitud)*.
- Pronatel. (2022). *Programa Nacional de Telecomunicaciones*. Recuperado de Tablero de control “Proyectos regionales”: <https://vpspronatel.com>
- Quiso Córdova, L. (2020). *Retos para Cerrar la Brecha Digital en el Perú*. Recuperado de OSIPTEL: <https://repositorio.osiptel.gob.pe/bitstream/handle/20.500.12630/740/ppt-retos-cerrar-brechadigital.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Radar Libre. (2020). *AlterMundi es una asociación civil que nace ante la ausencia de un derecho: la conectividad. José de la Quintana y la red Quintana Libre son una especie de laboratorio a cielo abierto, donde se conjugan procesos técnicos y sociales*. Recuperado de: <http://radarlibre.com.ar/experiencias/altermundi/>

- Ramírez, Alan. & Blanco, Gislayne. (2021). *Rediseño Institucional para el Cierre de Brecha Residual de Telecomunicaciones en Perú: Una tercera vía de intervención para la emergencia de redes comunitarias sostenibles*. Revista Latinoamericana de Economía y Sociedad Digital Issue 2, agosto 2021. Recuperado de: <https://revistalatam.digital/article/210226/?pdf=2703>
- Ramírez, D. & Méndez, I. (2019). “*Redes inalámbricas comunitarias, casos de éxito, regulación y contribuciones para Citel (Comisión Interamericana de Telecomunicaciones) - OEA*”. Recuperado de: <https://repository.udistrital.edu.co/bitstream/handle/11349/22371/Ram%C3%ADrezTrujilloDaniela2019.pdf?sequence=8&isAllowed=y>
- Red Eléctrica. (2021). *Red Eléctrica lleva internet a la España despoblada facilitando el acceso a la fibra óptica de la red de transporte*. Recuperado de: <https://www.ree.es/es/sala-de-prensa/actualidad/nota-de-prensa/2021/05/red-electrica-lleva-internet-la-espana-despoblada>
- Red Eléctrica. (2022). *Nordesnet. Internet rural*. Recuperado de: <https://www.youtube.com/watch?v=GyM30ug4U24&t=8s>
- Redes Comunitarias en Colombia. (2022). *¿Qué son las redes comunitarias?* Recuperado de Redes Comunitarias en Colombia: <https://redescomunitarias.co/es/que-son-las-redes-comunitarias>
- Redes comunitarias en Colombia. (2022). *Red Comunitaria Maní Casanare*. Recuperado de: <https://redescomunitarias.co/es/redcomani>
- Rhizomatica. (2020). *High- frequency Emergency and rural multimedia exchange system*. Recuperado de: <https://www.rhizomatica.org/hermes/>
- Rodríguez, M. & García, J. (2017). *Espacios Blancos De Televisión -Tv White Spaces- En La Construcción De La Red Digital Comunitaria, Vereda San Pablo (Pasca Cundinamarca)*. Recuperado de: <https://repositorio.ucundinamarca.edu.co/bitstream/handle/20.500.12558/3497/JENNI FER%20PILAR%20GARCÍA%20SUSA.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Rodríguez, N. (2020). *Del aislamiento a la preparación y el empoderamiento en la Argentina rural*. Recuperado de: <https://www.internetsociety.org/es/blog/2020/04/del-aislamiento-a-la-preparacion-y-el-empoderamiento-en-la-argentina-rural/>
- Salazar, J. (2016). *Redes inalámbricas – upcommons*. Recuperado de: https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/100918/LM01_R_ES.pdf
- Sanabria, J. (2017). *Evaluación de los Impactos Ambientales Generados por la Antenas de Telecomunicaciones*. Recuperado de: <http://repositorio.ufpso.edu.co/bitstream/123456789/1663/1/30044.pdf>

Zairi, M., & Al-Mashari, M. (s.f) *Knowledge and Best Practice Management through Benchmarking: A Global Survey*. Recuperado de: <https://repo.uum.edu.my/id/eprint/13830/1/KM87.pdf>

Zubizarreta, E. y San Ramón, C. (2013). “*Redes de acceso y transmisión de Fibra Óptica : alternativas de políticas y regulaciones*”. Recuperado de: <https://revistas.pucp.edu.pe/index.php/derechoadministrativo/article/download/13517/14143/+&cd=1&hl=es&ct=clnk&gl=pe>



Anexo A: Mapas de Brecha Residual de Telecomunicaciones

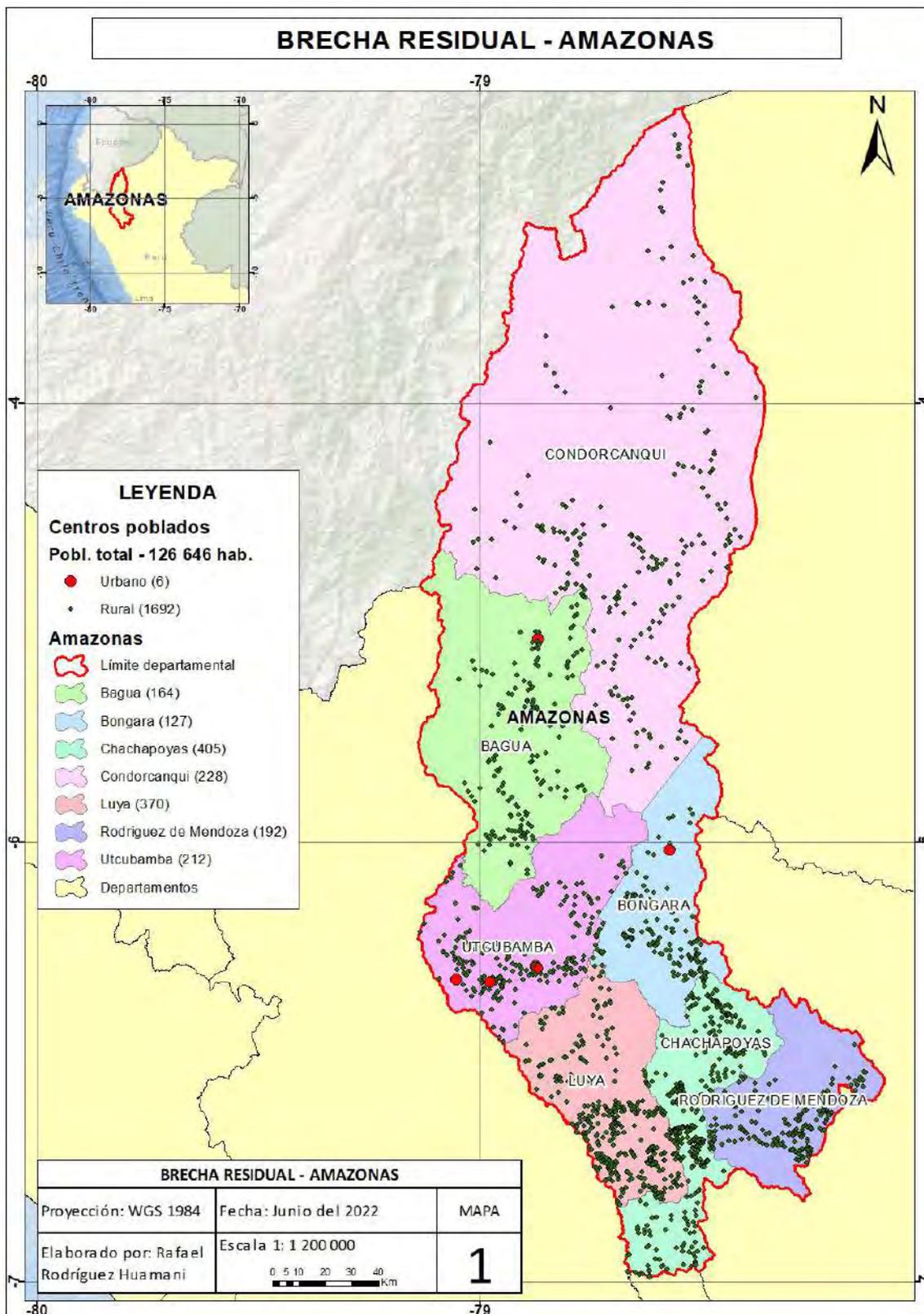


Figura A1. Brecha residual de telecomunicaciones del departamento de Amazonas

Fuente: Elaboración propia basada en Ministerio de Transportes y Comunicaciones (2020)

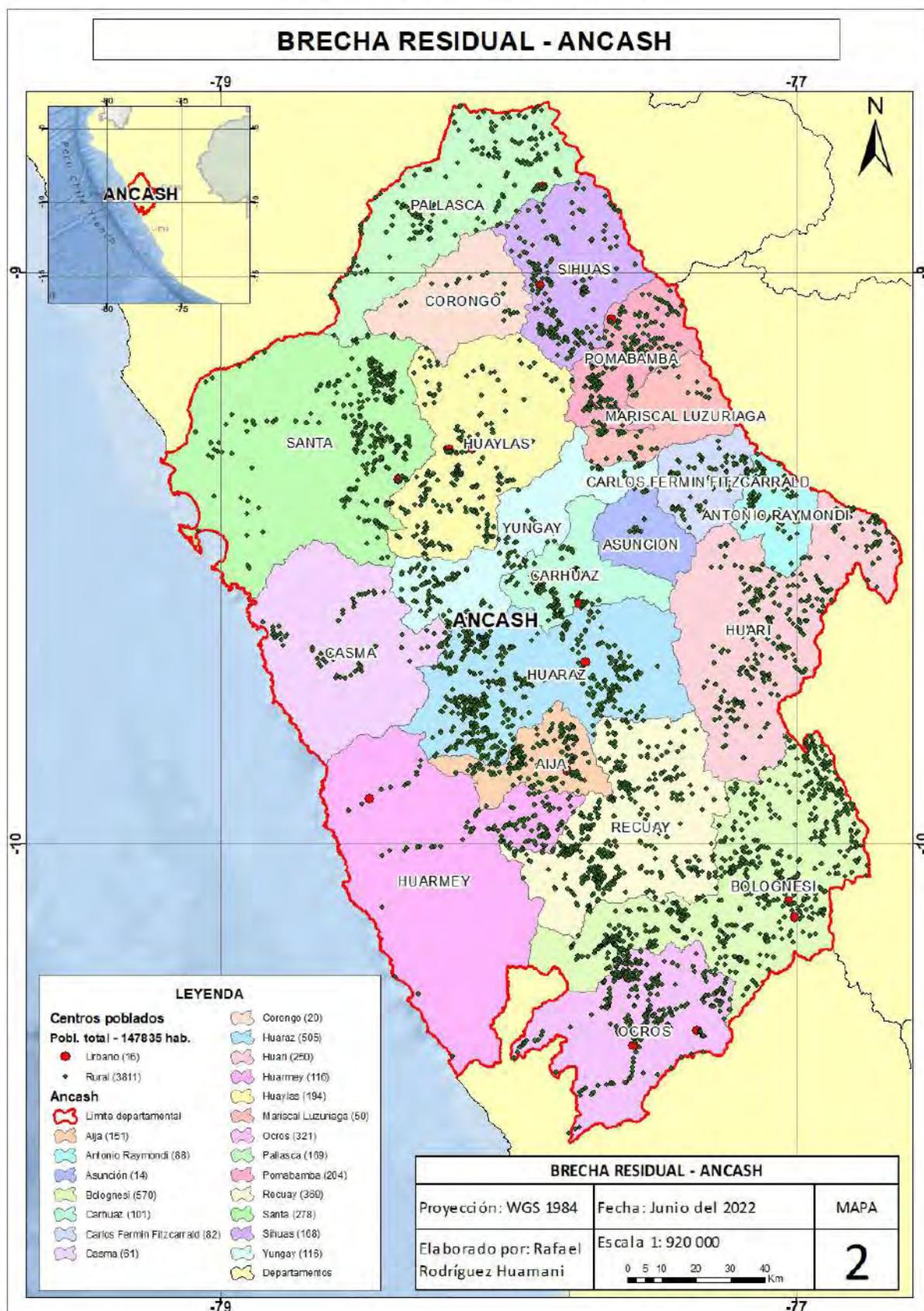


Figura A2. Brecha residual de telecomunicaciones del departamento de Ancash
 Fuente: Elaboración propia basada en Ministerio de Transportes y Comunicaciones (2020)

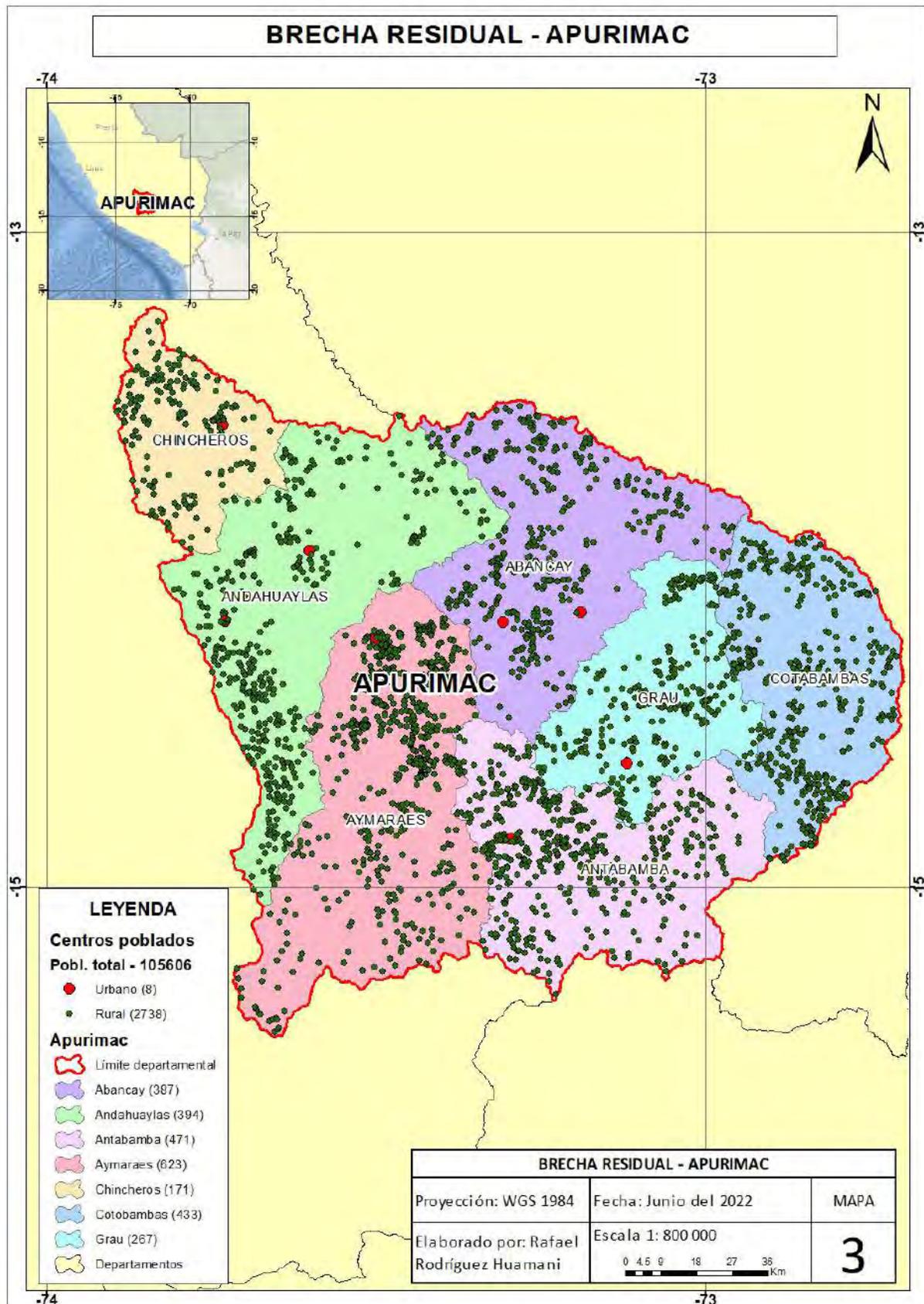


Figura A3. Brecha residual de telecomunicaciones del departamento de Apurímac
Fuente: Elaboración propia basada en Ministerio de Transportes y Comunicaciones (2020)

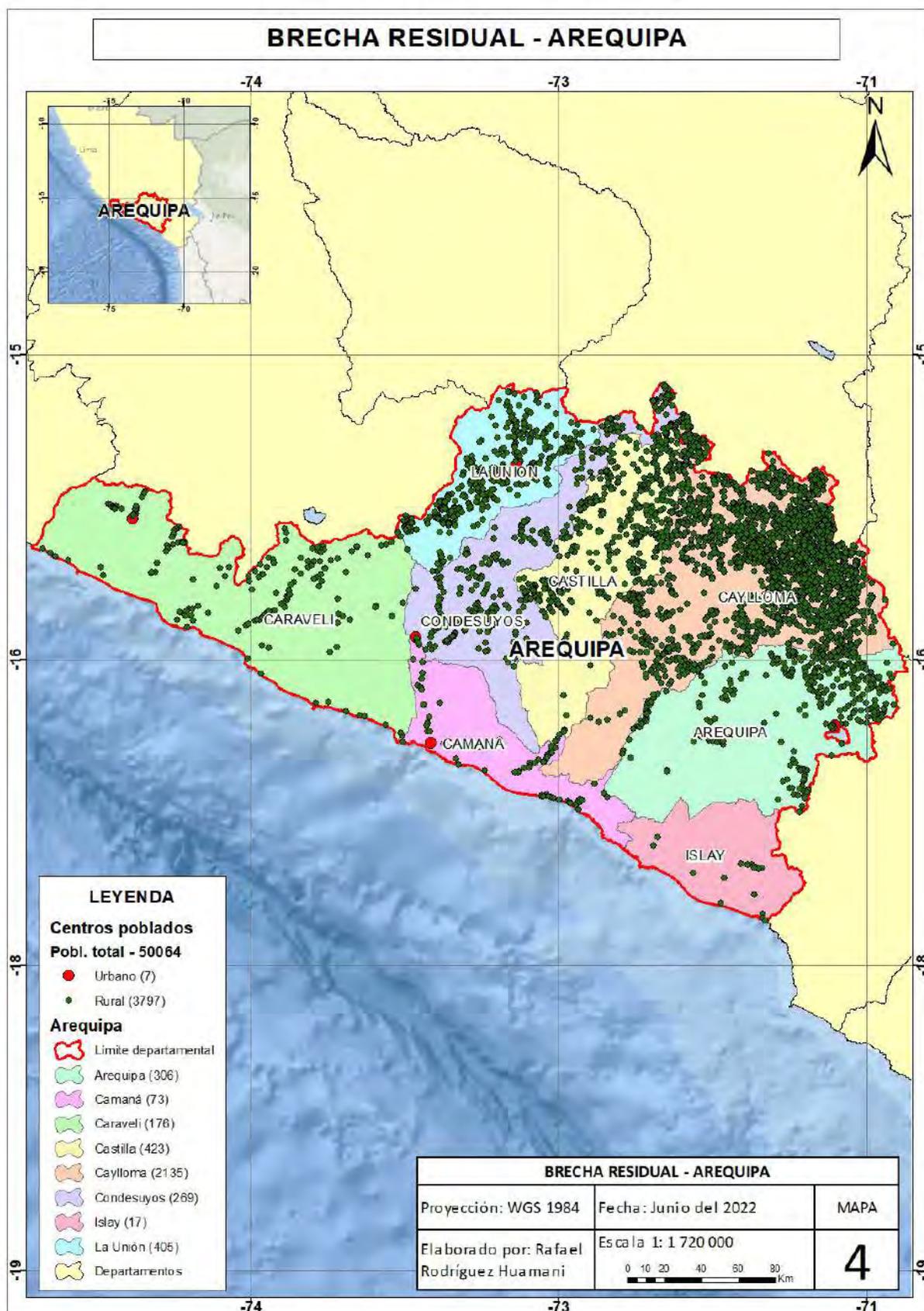


Figura A4. Brecha residual de telecomunicaciones del departamento de Arequipa
 Fuente: Elaboración propia basada en Ministerio de Transportes y Comunicaciones (2020)

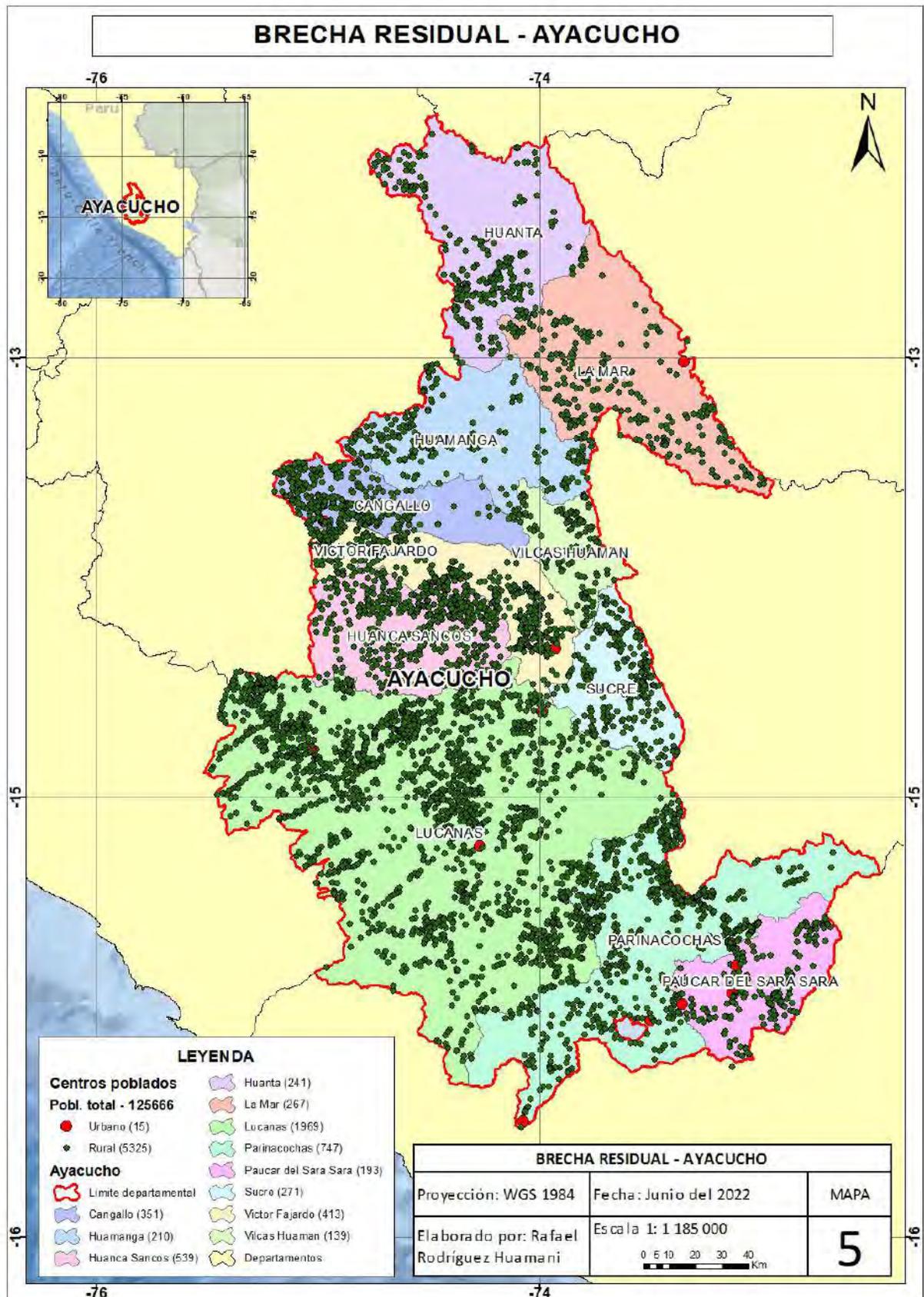


Figura A5. Brecha residual de telecomunicaciones del departamento de Ayacucho
 Fuente: Elaboración propia basada en Ministerio de Transportes y Comunicaciones (2020)

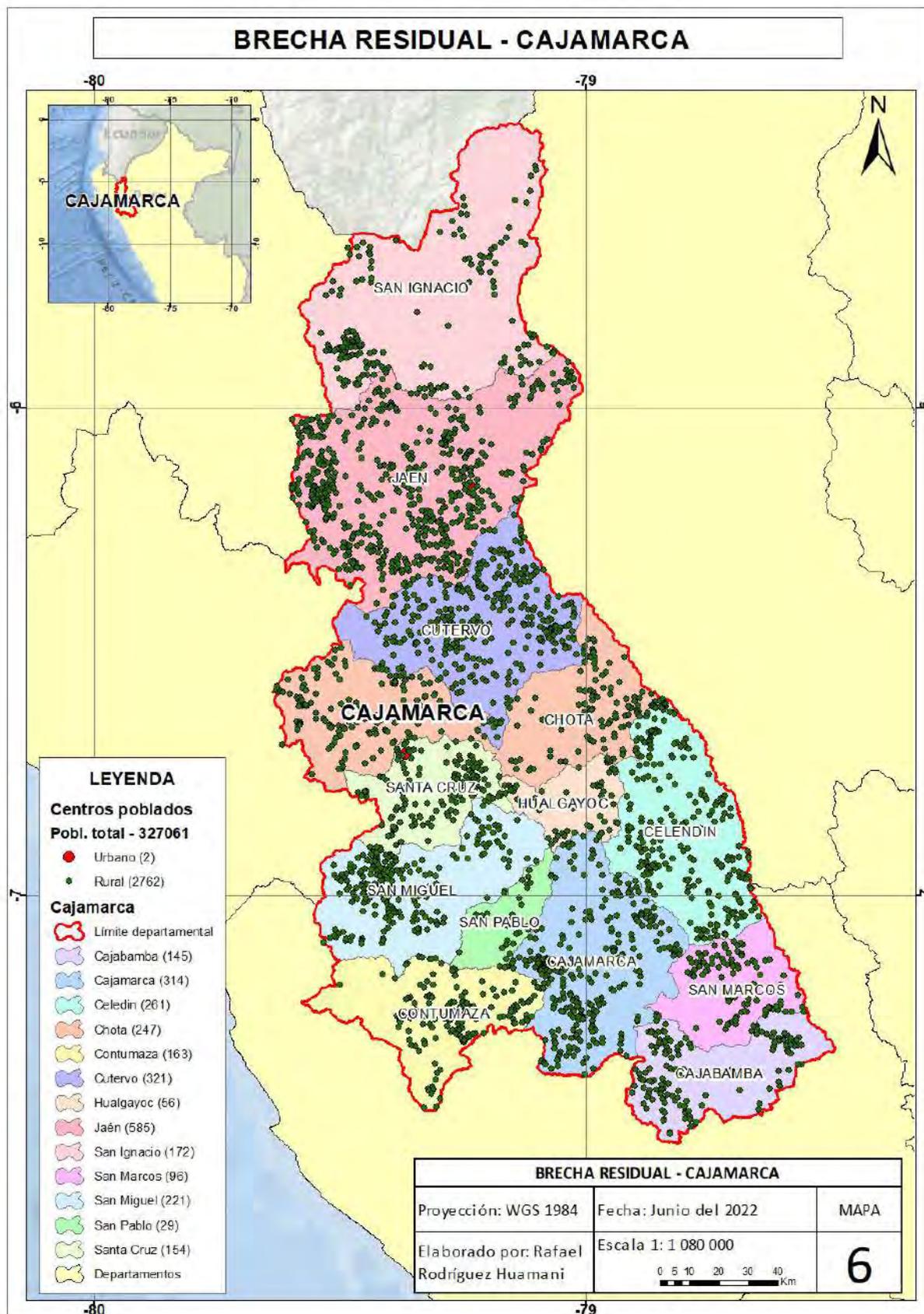


Figura A6. Brecha residual de telecomunicaciones del departamento de Cajamarca
 Fuente: Elaboración propia basada en Ministerio de Transportes y Comunicaciones (2020)

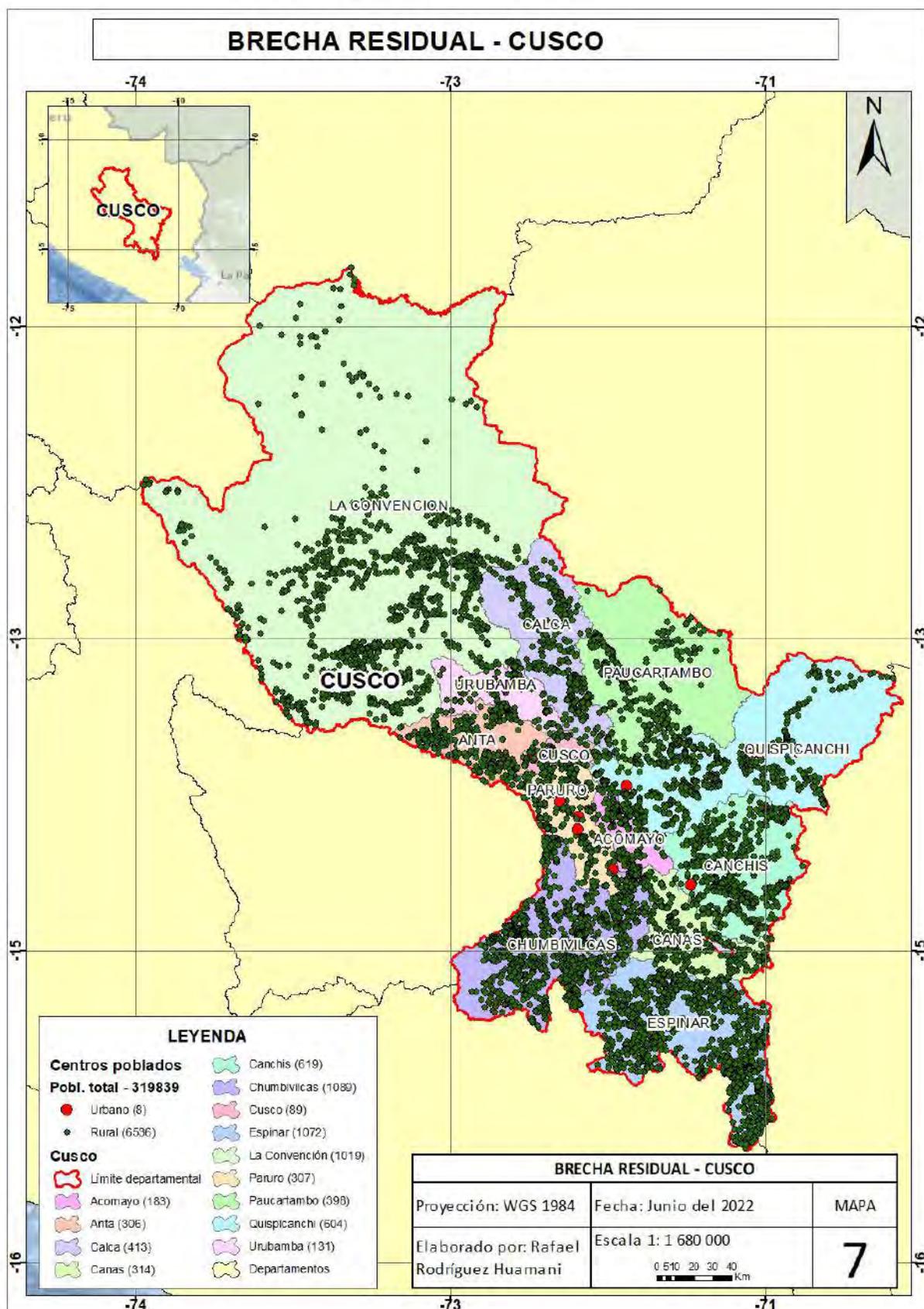


Figura A7. Brecha residual de telecomunicaciones del departamento de Cusco
 Fuente: Elaboración propia basada en Ministerio de Transportes y Comunicaciones (2020)

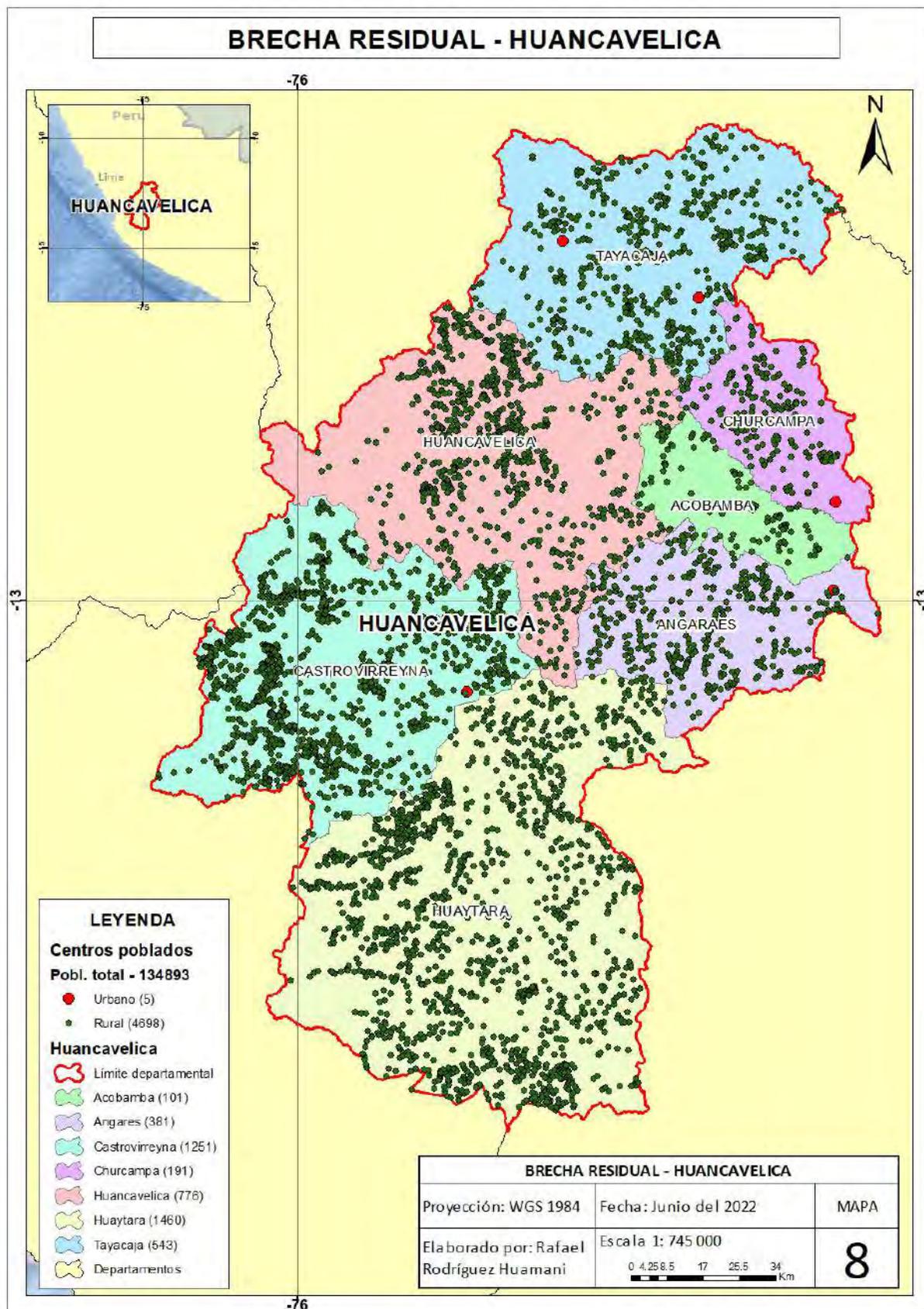


Figura A8. Brecha residual de telecomunicaciones del departamento de Huancavelica
Fuente: Elaboración propia basada en Ministerio de Transportes y Comunicaciones (2020)

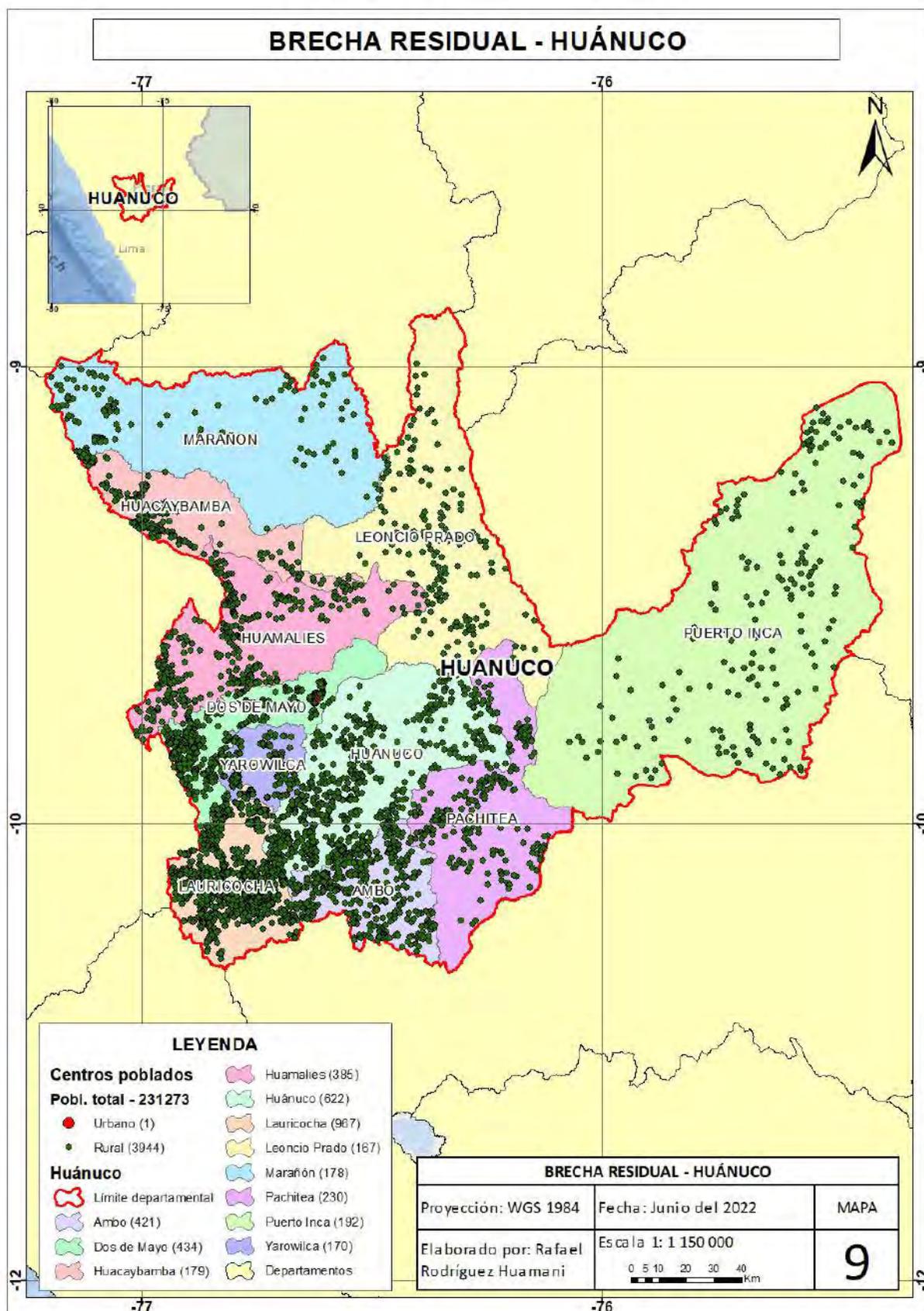


Figura A9. Brecha residual de telecomunicaciones del departamento de Huánuco
 Fuente: Elaboración propia basada en Ministerio de Transportes y Comunicaciones (2020)

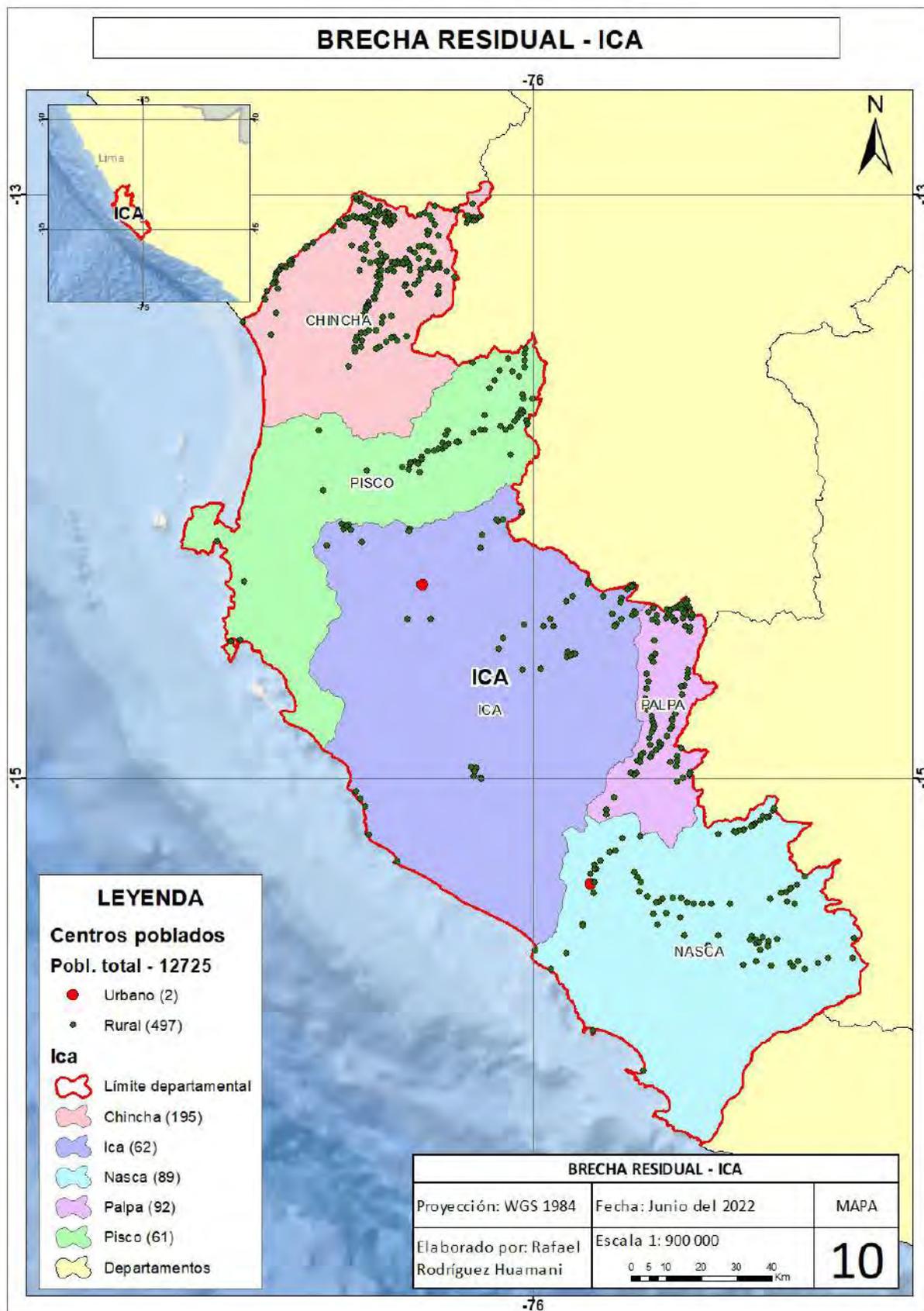


Figura A10. Brecha residual de telecomunicaciones del departamento de Ica
 Fuente: Elaboración propia basada en Ministerio de Transportes y Comunicaciones (2020)

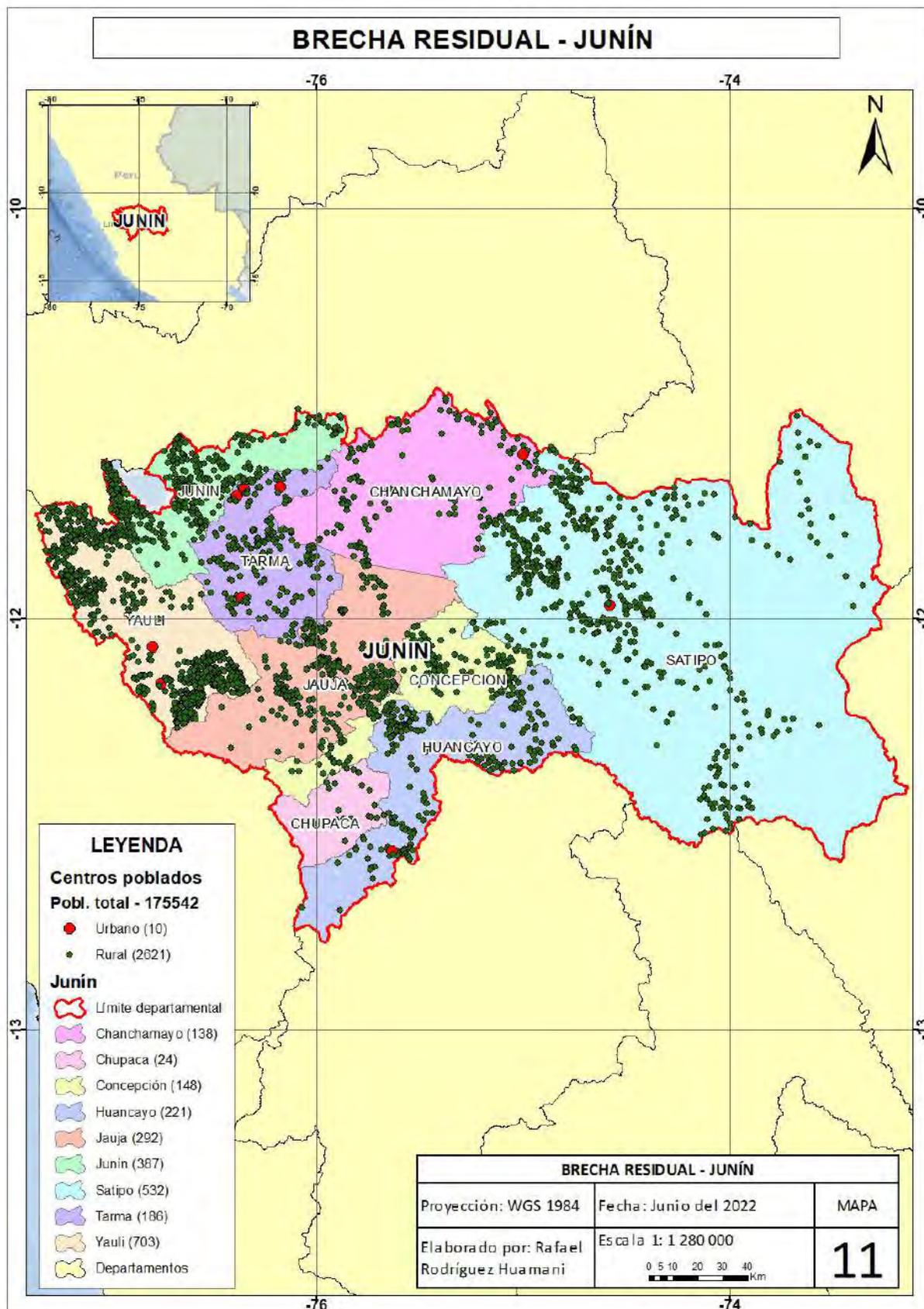


Figura A11. Brecha residual de telecomunicaciones del departamento de Junín
 Fuente: Elaboración propia basada en Ministerio de Transportes y Comunicaciones (2020)

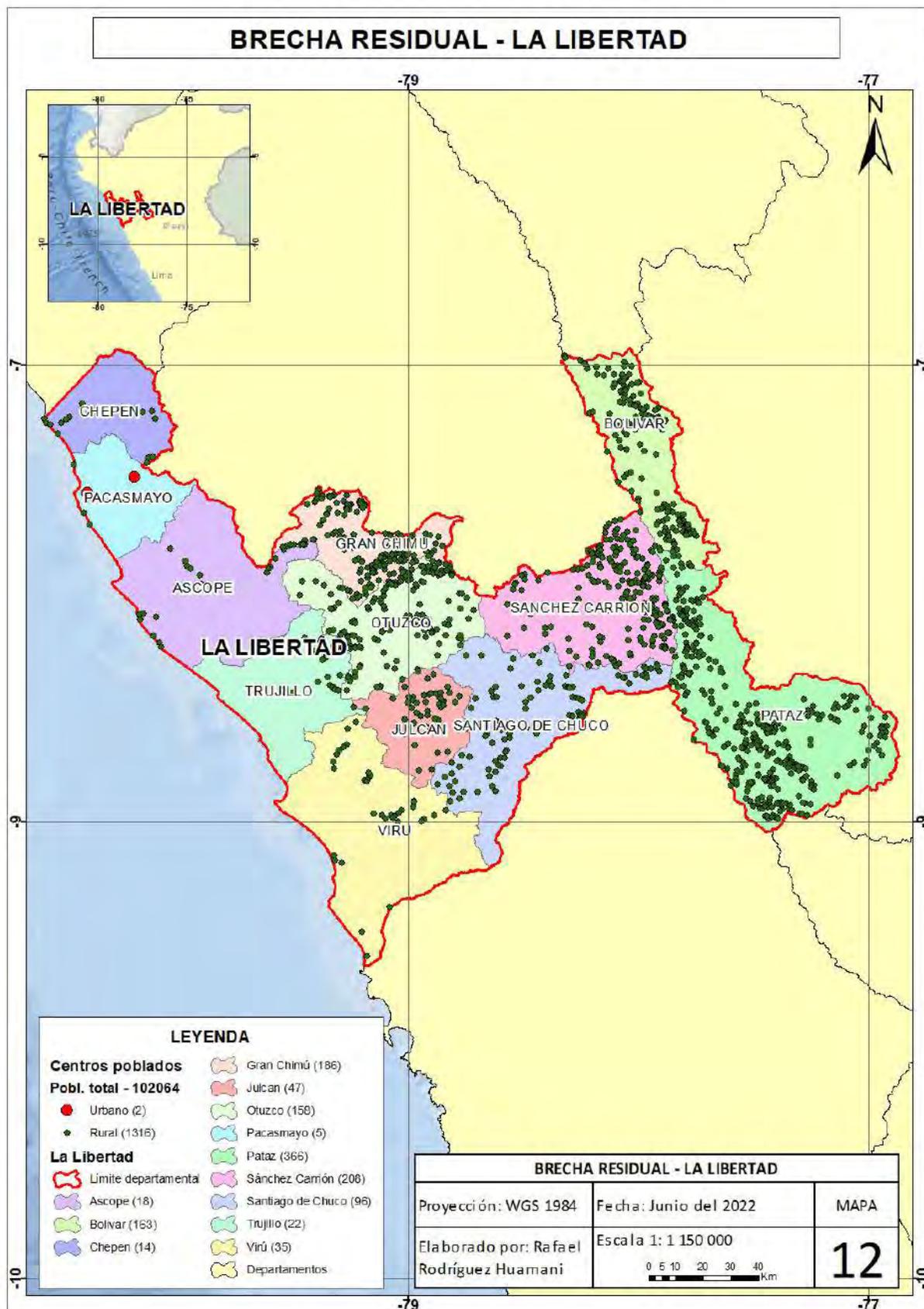


Figura A12. Brecha residual de telecomunicaciones del departamento de La Libertad
 Fuente: Elaboración propia basada en Ministerio de Transportes y Comunicaciones (2020)

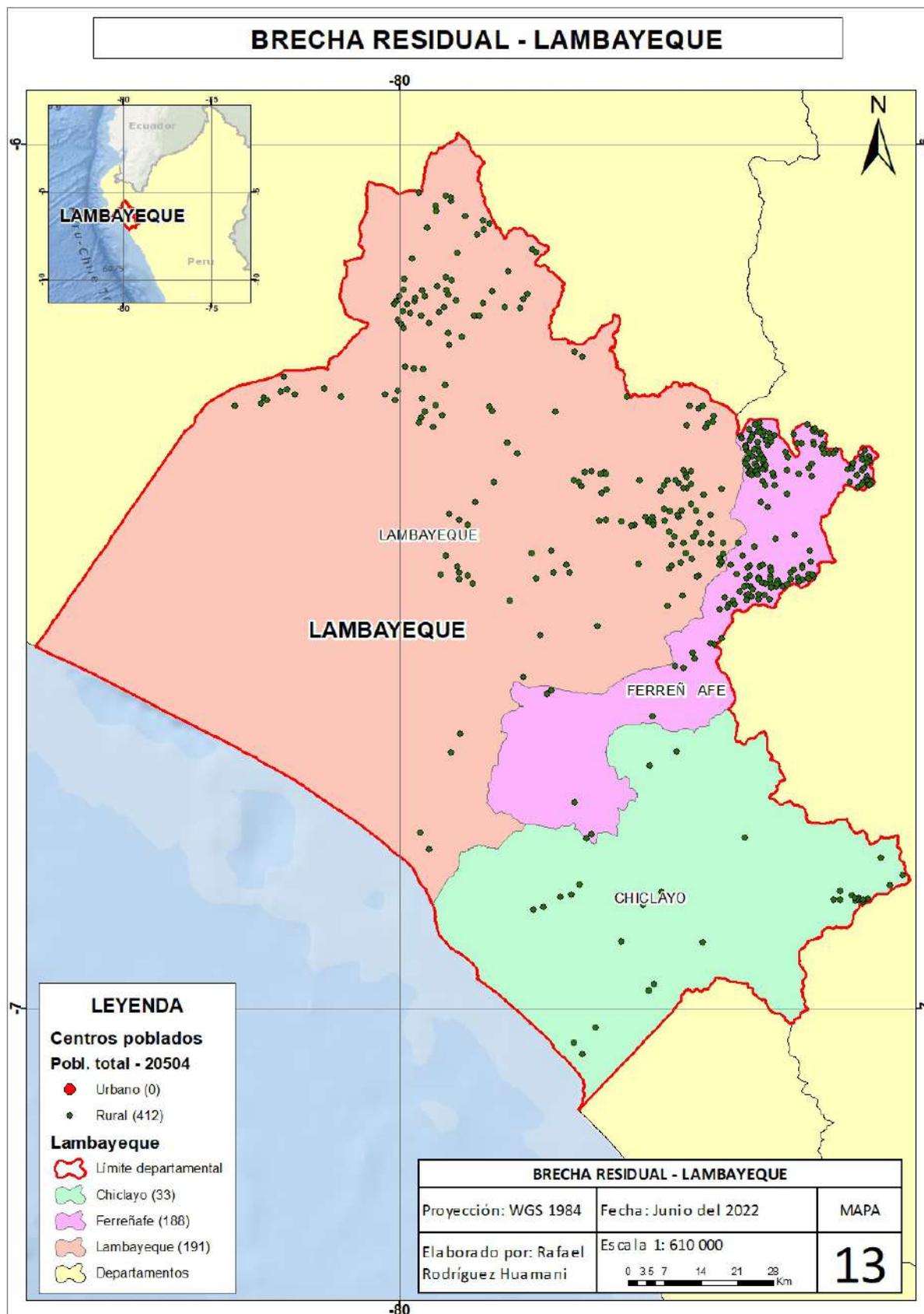


Figura A13. Brecha residual de telecomunicaciones del departamento de Lambayeque
Fuente: Elaboración propia basada en Ministerio de Transportes y Comunicaciones (2020)

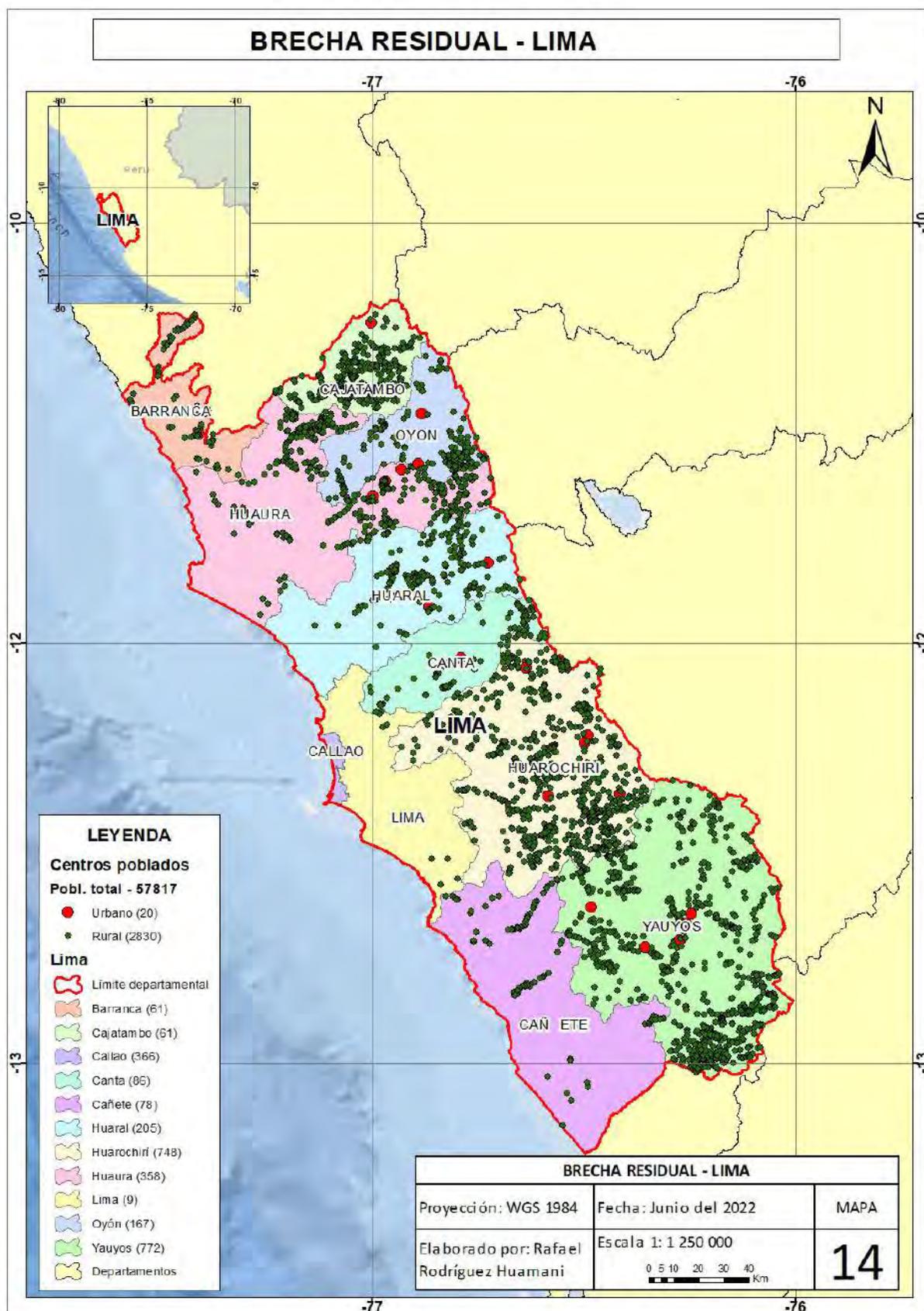


Figura A14. Brecha residual de telecomunicaciones del departamento de Lima
 Fuente: Elaboración propia basada en Ministerio de Transportes y Comunicaciones (2020)

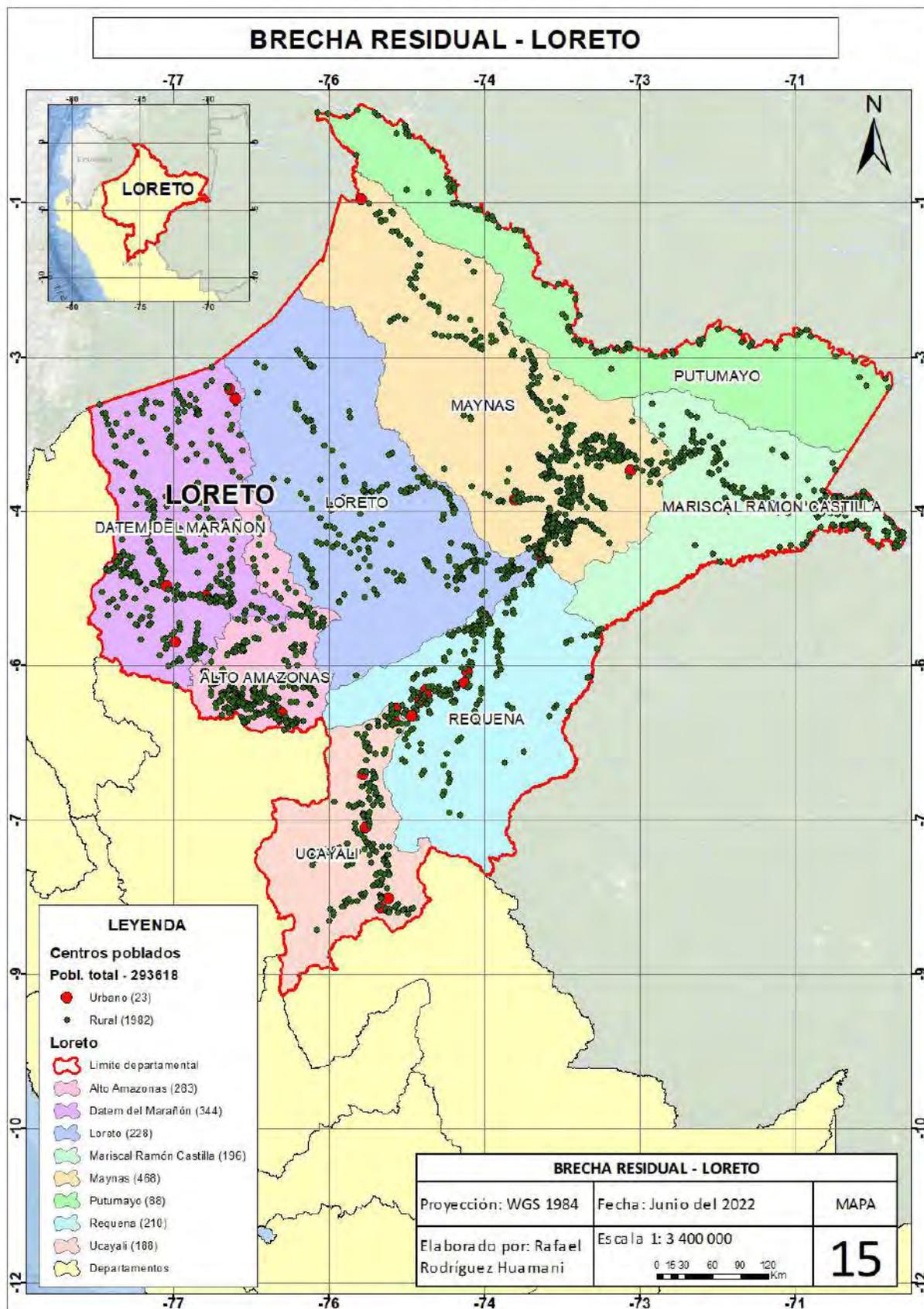


Figura A15. Brecha residual de telecomunicaciones del departamento de Loreto
 Fuente: Elaboración propia basada en Ministerio de Transportes y Comunicaciones (2020)

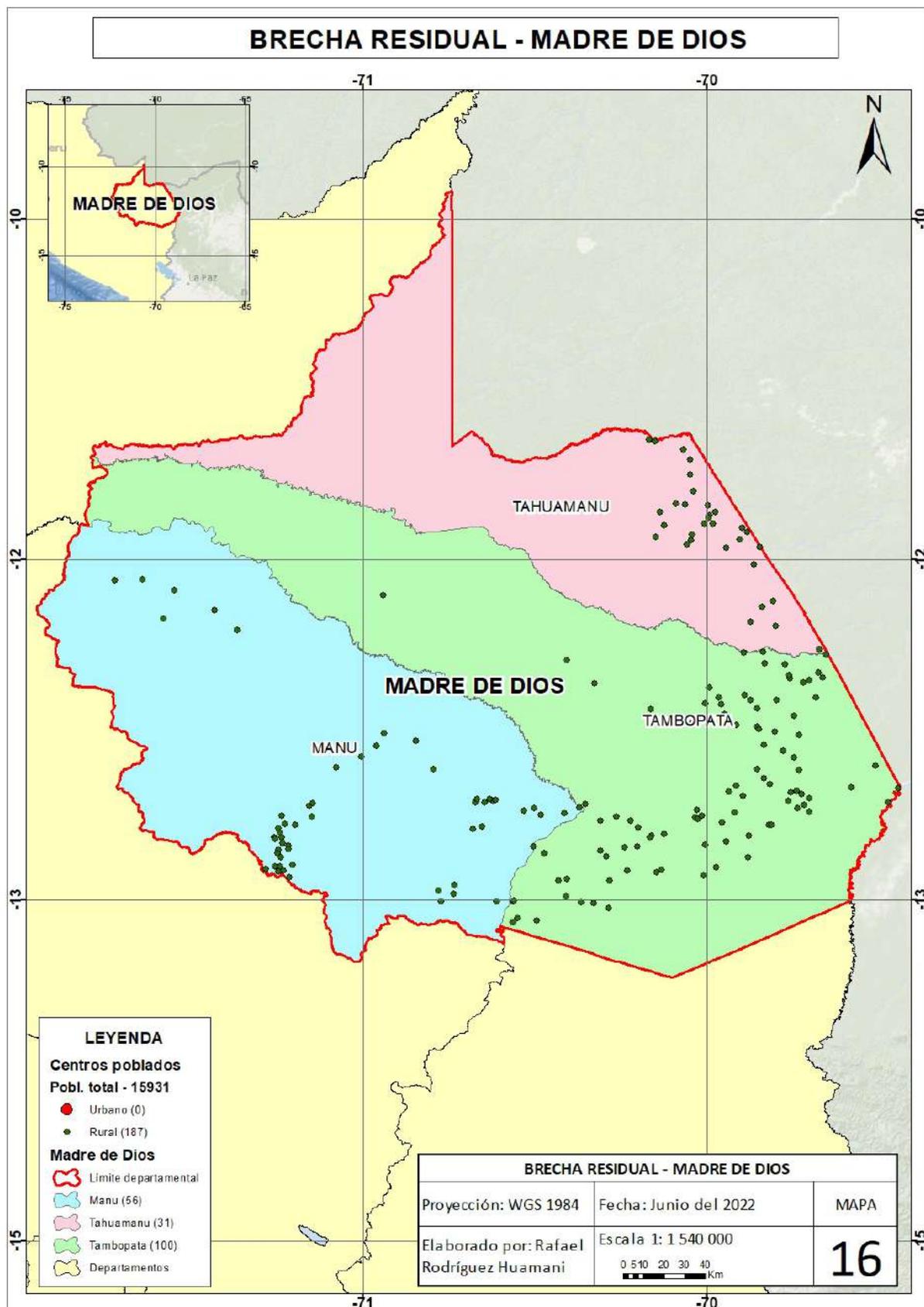


Figura A16. Brecha residual de telecomunicaciones del departamento de Madre de Dios
 Fuente: Elaboración propia basada en Ministerio de Transportes y Comunicaciones (2020)

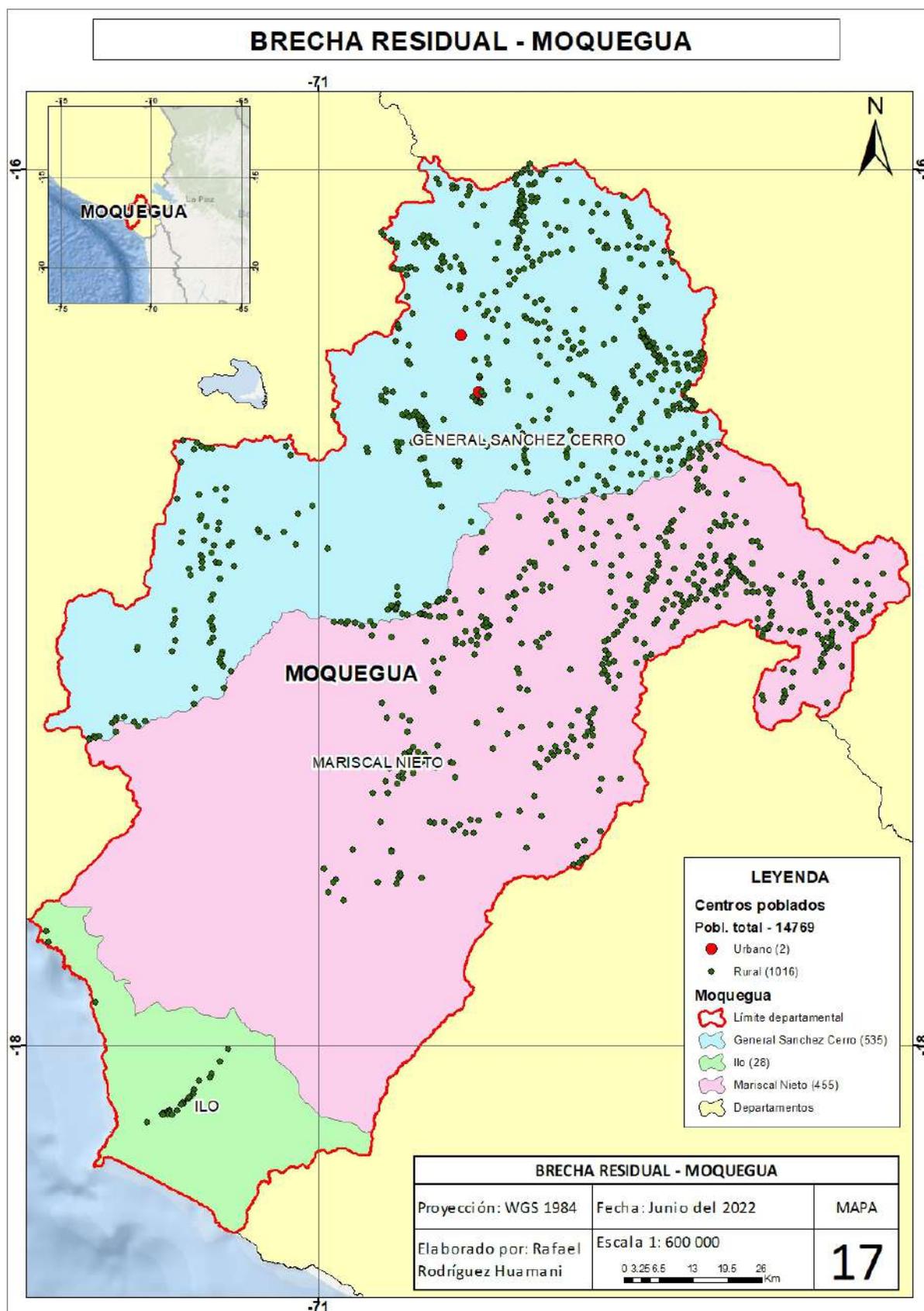


Figura A17. Brecha residual de telecomunicaciones del departamento de Moquegua
Fuente: Elaboración propia basada en Ministerio de Transportes y Comunicaciones (2020)

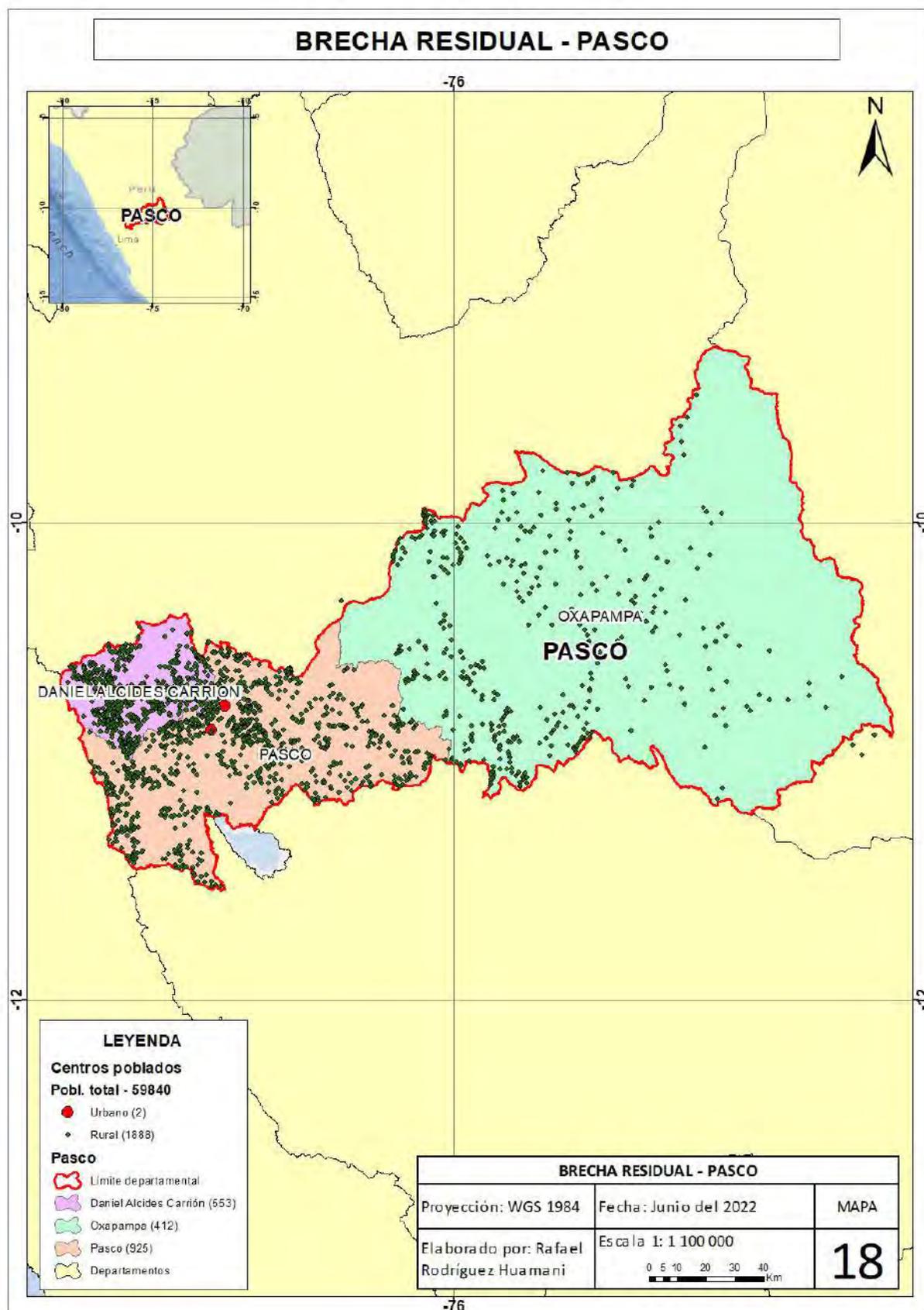


Figura A18. Brecha residual de telecomunicaciones del departamento de Pasco
Fuente: Elaboración propia basada en Ministerio de Transportes y Comunicaciones (2020)

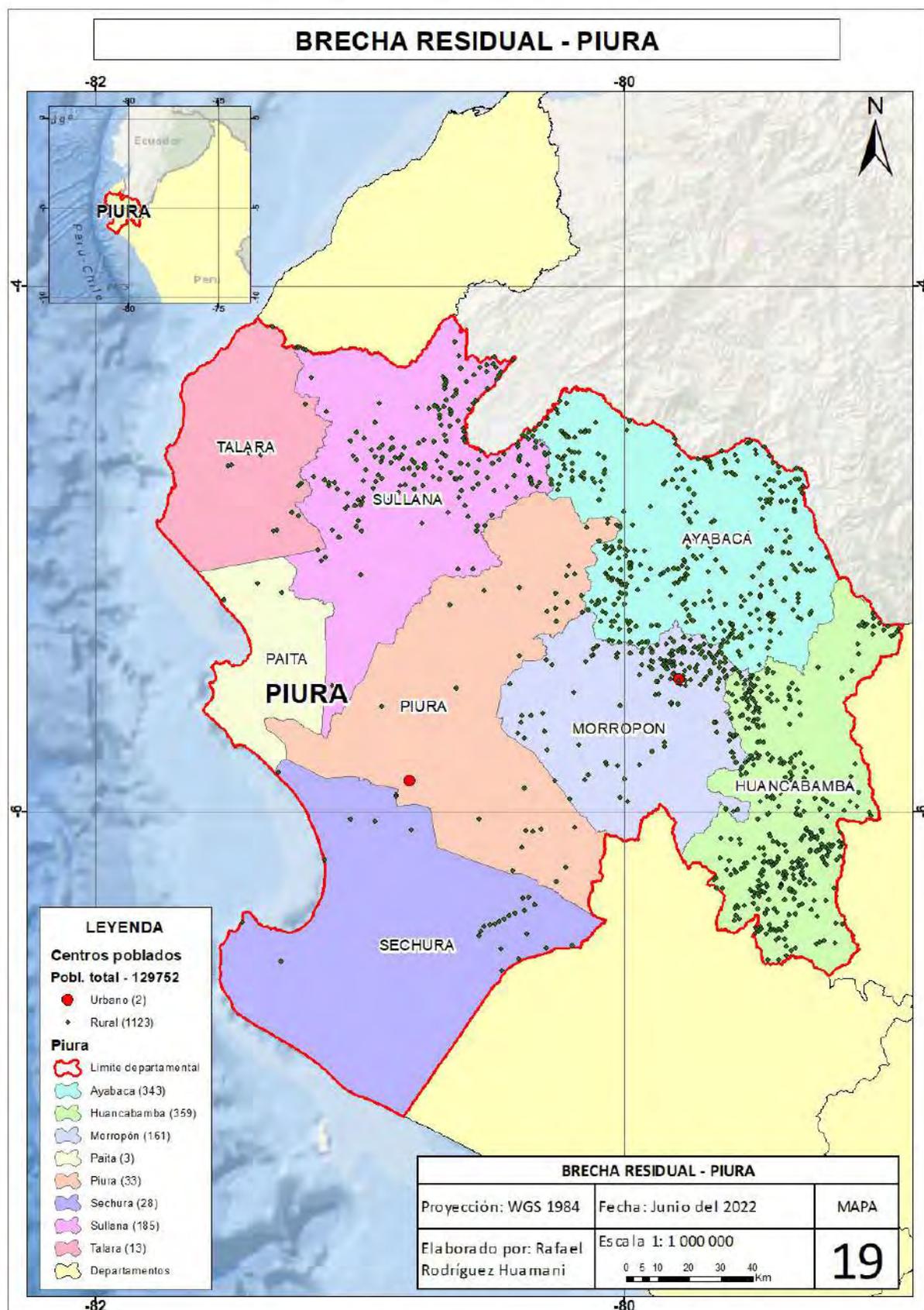


Figura A19. Brecha residual de telecomunicaciones del departamento de Piura
Fuente: Elaboración propia basada en Ministerio de Transportes y Comunicaciones (2020)

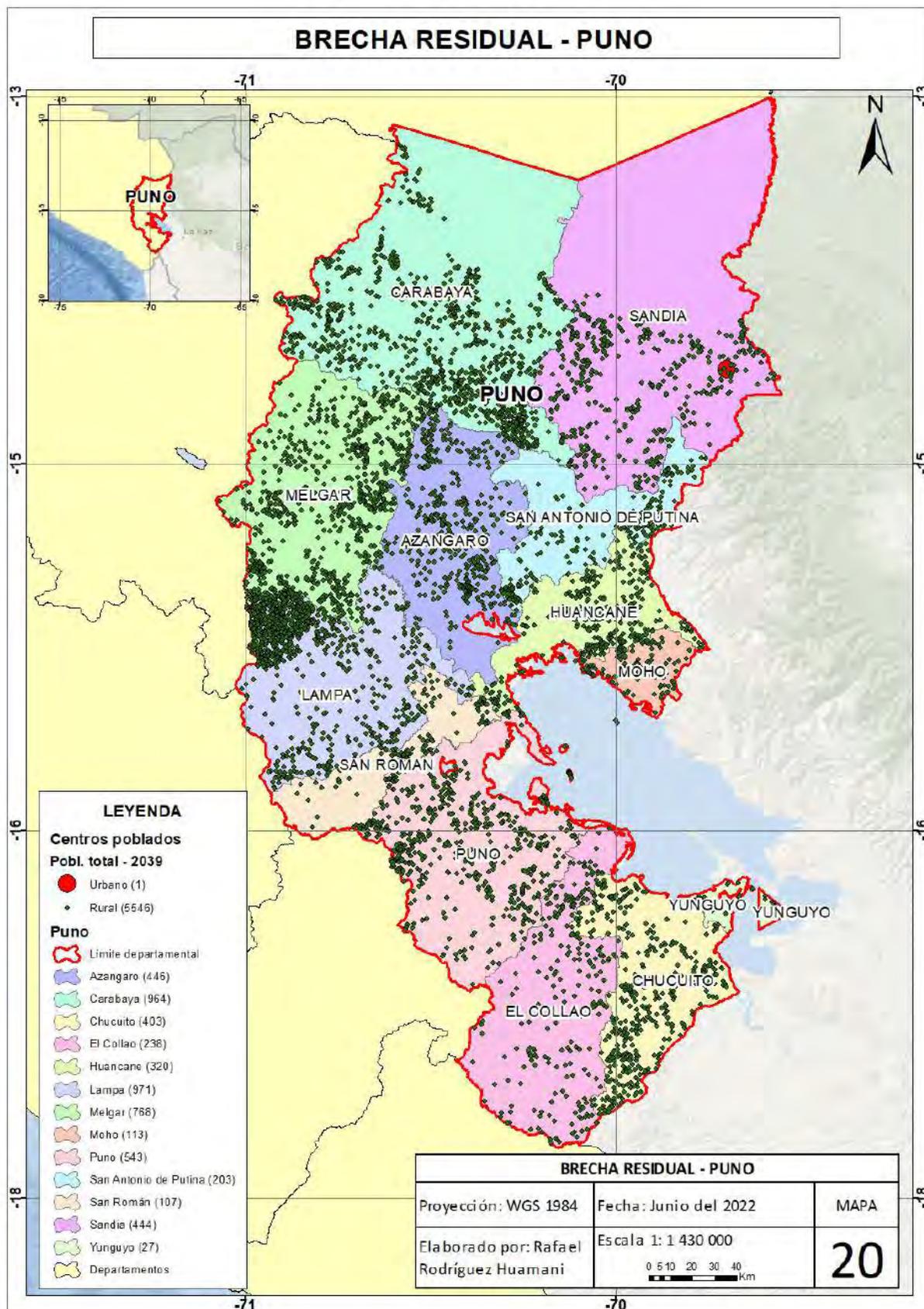


Figura A20. Brecha residual de telecomunicaciones del departamento de Puno
 Fuente: Elaboración propia basada en Ministerio de Transportes y Comunicaciones (2020)

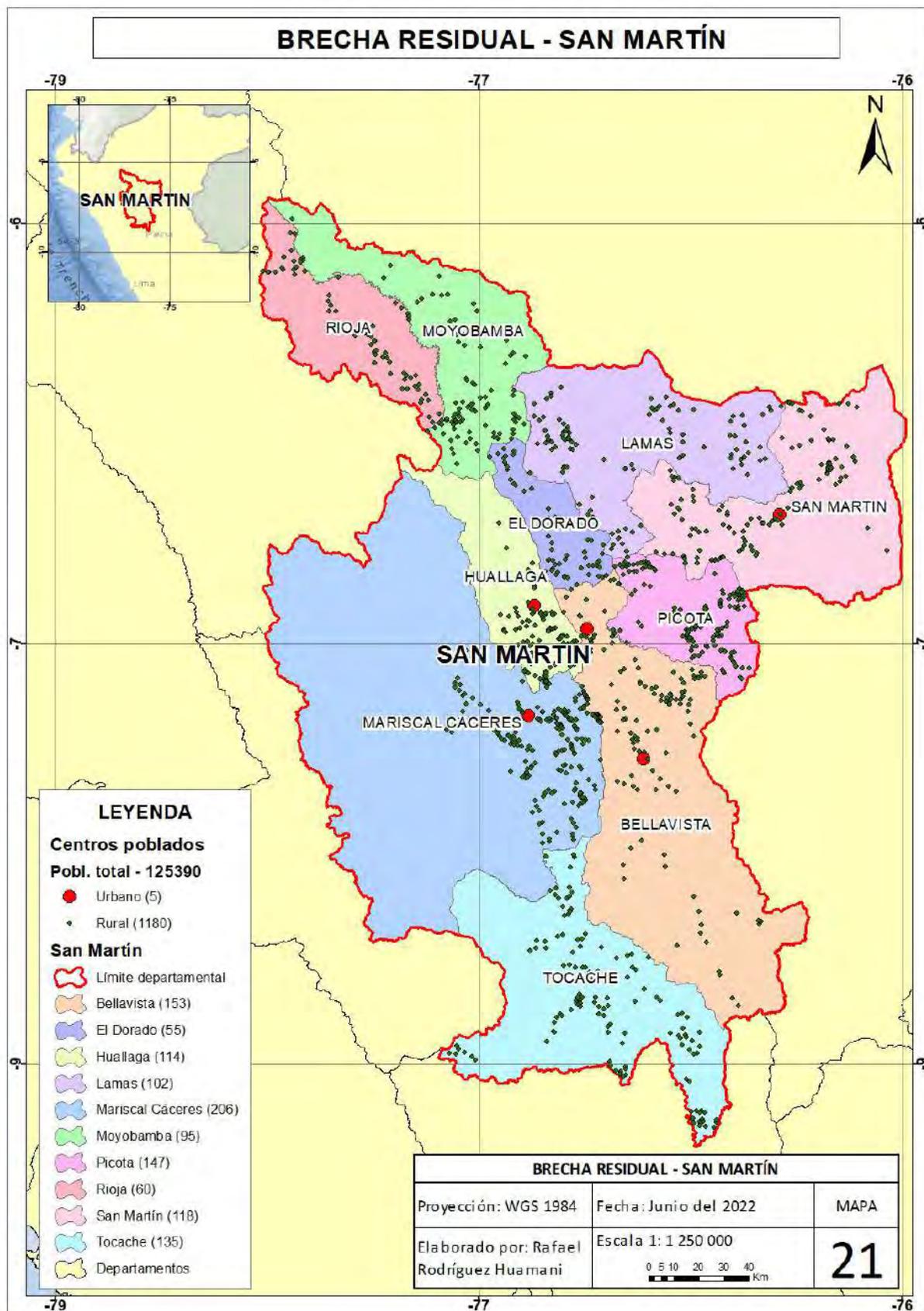


Figura A21. Brecha residual de telecomunicaciones del departamento de San Martín
 Fuente: Elaboración propia basada en Ministerio de Transportes y Comunicaciones (2020)

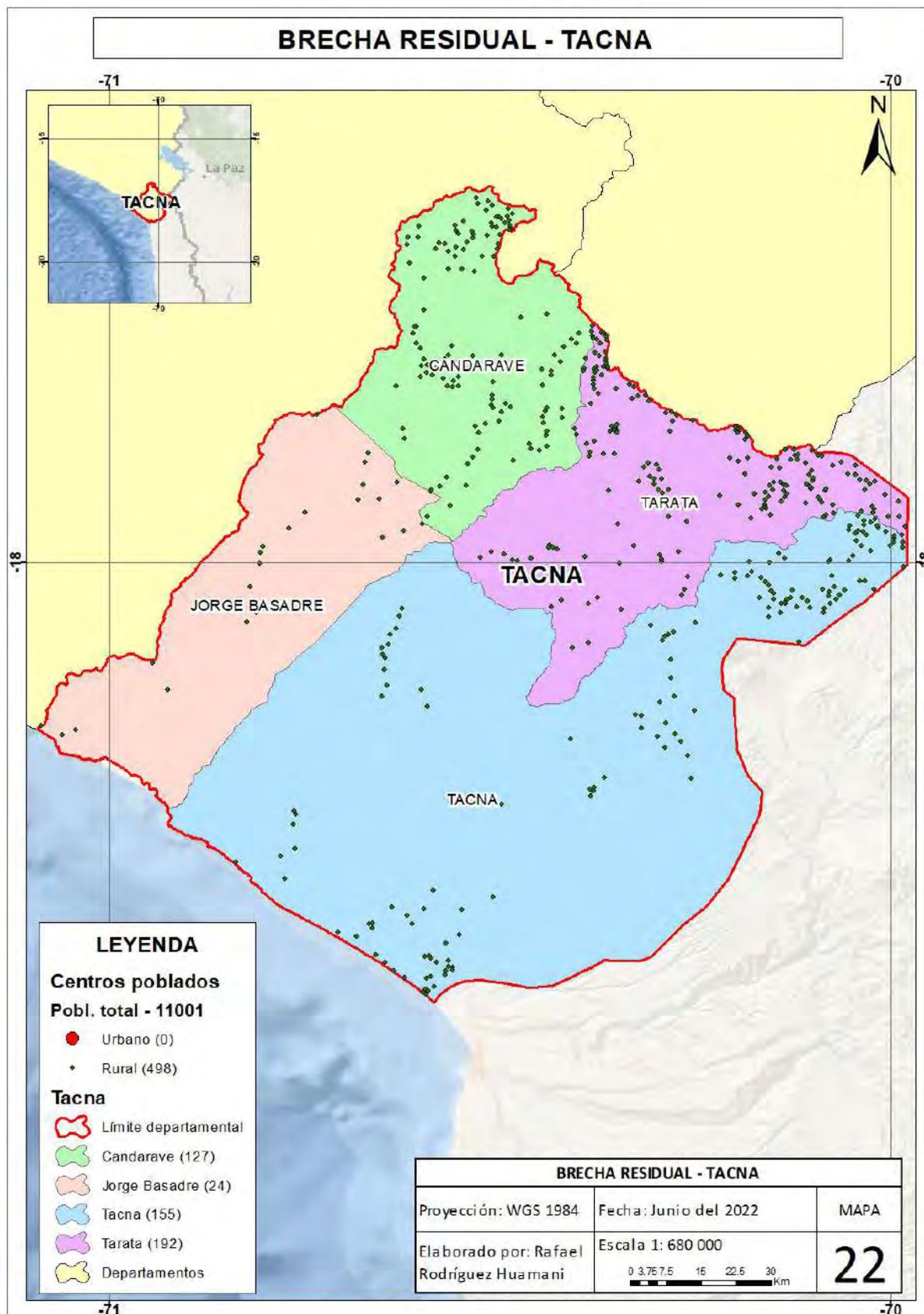


Figura A22. Brecha residual de telecomunicaciones del departamento de Tacna
 Fuente: Elaboración propia basada en Ministerio de Transportes y Comunicaciones (2020)

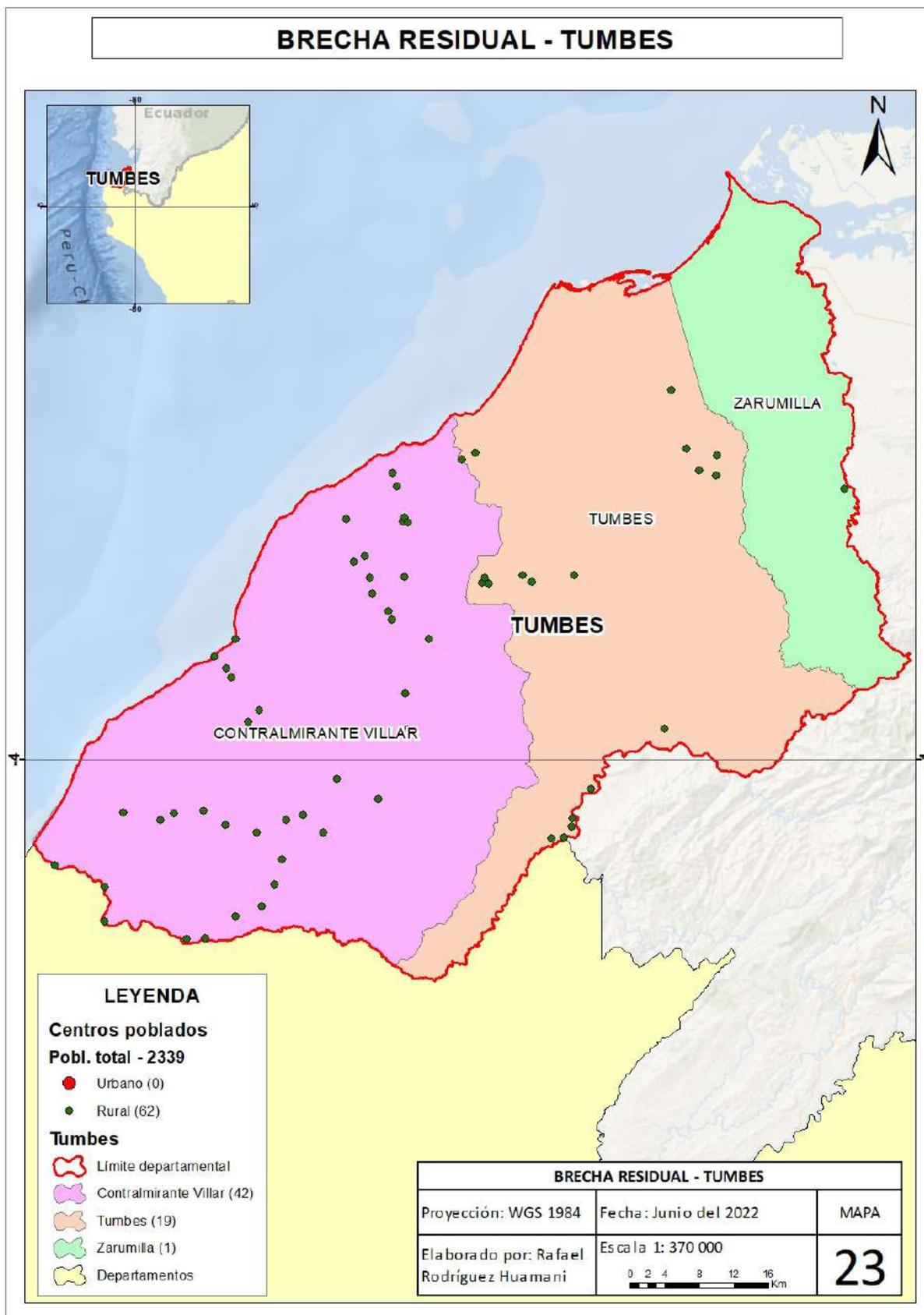


Figura A23. Brecha residual de telecomunicaciones del departamento de Tumbes
 Fuente: Elaboración propia basada en Ministerio de Transportes y Comunicaciones (2020)

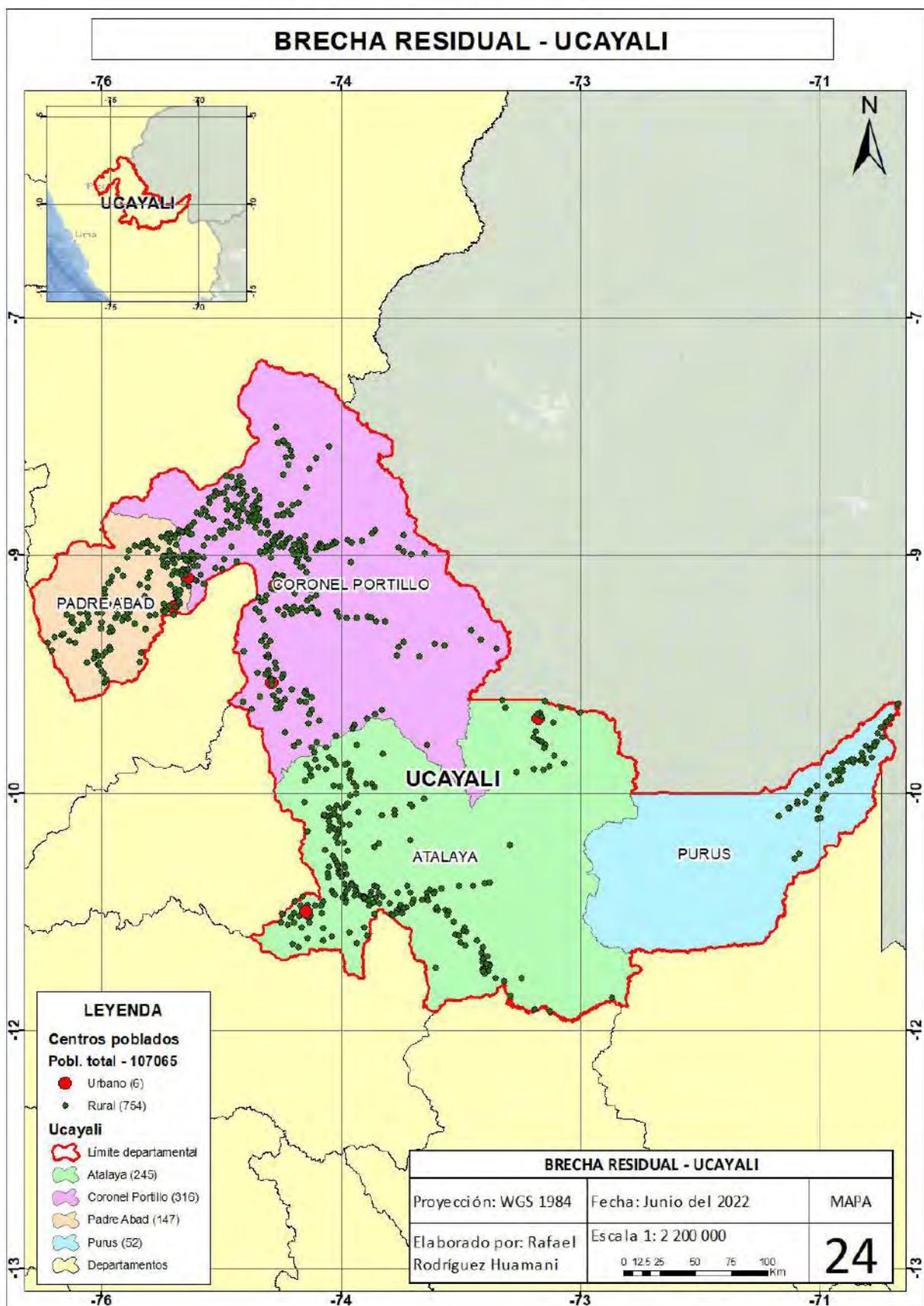


Figura A24. Brecha residual de telecomunicaciones del departamento de Ucayali
Fuente: Elaboración propia basada en Ministerio de Transportes y Comunicaciones (2020)

Anexo B : Descripción de Redes Comunitarias Seleccionadas

A continuación, se describirá el proceso de desarrollo y operación de las diez redes comunitarias en estudio: RedINC, Maní - Casanare, Quintana Libre, San Pablo Libre, Pifeiros, Penalva, El Cuy, Terra do Meio, Muranbinda Works y Castilla y León; basada en el modelo de gobernanza, que nos permitirá analizar adecuadamente el desarrollo de estas redes y evaluar su sostenibilidad en el tiempo.

✓ Red comunitaria RedINC

La red comunitaria RedINC (indígenas, negros y campesinos) está ubicada en la zona rural de Buenos Aires, Cauca en Colombia (ver Figura B1), esta red se gestó en septiembre de 2017 gracias a la iniciativa de la asociación civil Colnodo y varias comunidades de Buenos Aires – Cauca (El silencio, La Esperanza, La Paila, El Ceral y Agua Blanca), quienes identificaron las necesidades de conectividad de su territorio, como la falta de telefonía celular, Internet y el desconocimiento de las tecnologías (ver Figura B2).



Figura B1. Ubicación red comunitaria RedINC

Fuente: Elaboración propia basada en Internet Society (2021)

En diciembre de 2017, iniciaron la implementación de su propia red de telefonía celular y, en el 2018, la red de Internet con el apoyo y acompañamiento de la Asociación Colnodo y diferentes aliados locales e internacionales como Internet Society, Association for Progressive

Communications (APC), Rhizomática, Redes AC, Universidad del Cauca, y otros, que se han ido sumando y han aportado con sus experiencias, recursos y conocimientos en diversos aspectos; asimismo, junto con la participación activa de la comunidad contribuyeron en las distintas fases de la implementación, cambiando de manera positiva la comunicación de la población, mejorando la calidad de vida de todas las personas en el territorio a través de la conectividad (Internet Society, 2021).



Figura B2. Zona rural de intervención Cauca – Colombia

Fuente: Colnodo (2019)

Además, se implementó un modelo de apropiación de la red con una perspectiva de género con la finalidad de ampliar las oportunidades educativas, laborales y sociales de las mujeres. La capacitación constó de 27 talleres presenciales en competencias básicas como las Tecnologías de la Información y las Comunicaciones (TIC), seguridad digital, gestión de riesgo y otros, capacitando a un total de 256 personas de las cuales el 63 % fueron mujeres (Colnodo, 2019).

Por otra parte, cabe mencionar que debido a que en Colombia no cuenta con una normativa específica para regular las redes comunitarias, en abril de 2019 recién se firmó un acuerdo entre Colnodo y el Ministerio de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones (MinTIC), el cual permitió a la comunidad acceder al uso del espectro electromagnético para

una red móvil GSM, para poder realizar llamadas y enviar mensajes de texto localmente dentro del territorio de cobertura. Sin embargo, a julio de 2022 esta red no se encuentra en operación debido a que el acuerdo del MinTIC expiró en octubre de 2020 durante la pandemia de la COVID-19, por lo que hasta la fecha de agosto de 2021 se encuentra desactivado y se continúan revisando con entidades del gobierno alternativas para el uso del espectro requerido (Internet Society, 2021).

✓ **Red comunitaria Maní - Casanare**

La red comunitaria Maní - Casanare está ubicada en el municipio de Maní, Casanare, en Colombia, específicamente, en la zona rural de la vereda El Viso (ver Figura B3). Esta red se gestó a finales de 2018 impulsada por los habitantes de la vereda y con el apoyo de Colnodo, y otras instituciones como Internet Society y NuestraRed, quienes iniciaron la implementación de la red comunitaria para el acceso a Internet y un servidor de contenido local a 11 fincas y la escuela local que carecen de acceso a telefonía móvil y no disponen de servicio de Internet (ver Figura B4). Asimismo, se ha planteado continuar expandiendo la red hacia otras fincas y veredas que están interesadas en ser parte de ella (Redes comunitarias en Colombia, 2022).



Figura B3. Ubicación red comunitaria Maní - Casanare

Fuente: Elaboración propia basada en Redes comunitarias en Colombia (2022)

Por otro lado, la población de la red comunitaria recibió capacitaciones de apropiación de las TIC, donde se trataron temas relacionados a Internet, comunicaciones y producción de contenidos, recursos educativos entre otros. Asimismo, se realizaron capacitaciones técnicas para las personas de la comunidad que se encargarían del mantenimiento, la ampliación de la red y el soporte de primer nivel, apoyados de la Mesa de Ayuda a Redes Comunitarias de Colnodo (Redes comunitarias en Colombia, 2022).



Figura B4. Comunidad de Mani

Fuente: Redes comunitarias en Colombia (2022)

Para la sostenibilidad del proyecto, desde el principio se realizaron reuniones para discutir sobre las necesidades de la comunidad, los beneficios encontrados en la red, el modelo propuesto a nivel técnico, organizacional y financiero. En dicha línea, la población ha participado activamente en la definición de los puntos de conexión, y la revisión de modelos de uso y mantenimiento; además, se han comprometido a continuar con la implementación y sostenibilidad de la red (Lacnic, 2019).

Por otra parte, en agosto de 2019 se trabajó en un modelo de sostenibilidad financiera (Internet Society Colombia Chapter, 2019). En este aspecto hay un grupo de personas que hacen un aporte mensual para cubrir los costos de la conexión a Internet, mientras otras realizan pagos por horas o días de uso. Asimismo, cuentan con personas con diferentes perfiles que pueden

contribuir en los diferentes aspectos de la red, como en la administración, el financiamiento y el soporte técnico para el despliegue y mantenimiento (Lacnic, 2019).

✓ Red comunitaria Quintana Libre

La red comunitaria Quintana Libre está ubicada en el pueblo José de la Quintana, en Córdoba, en Argentina (ver Figura B5). Esta red se concibió como un proyecto comunitario en el 2012 e implementado por la ONG AlterMundi con la colaboración de la comunidad, para poder llevar Internet a zonas sin cobertura de este servicio y para ser replicado a los pueblos vecinos (La Nación, 2015). Inicialmente, se instalaron dos o tres casas con acceso a Internet mediante enlaces inalámbricos desde un pueblo cercano con cobertura y, posteriormente, se fueron sumando más nodos en los pueblos como San Isidro, La Bolsa, La Serranita y Anisacate, llegando a tener más de 82 nodos conectados al 2020 (ver Figura B6).



Figura B5. Ubicación red comunitaria Quintana Libre

Fuente: Elaboración propia basada en Radar Libre (2020)

Asimismo, la obtención del premio FRIDA 2015, el cual organiza el Registro Regional de Direcciones de Internet para América Latina y el Caribe (LACNIC), permitió la adquisición de equipamiento para la escalabilidad del proyecto (La Nación, 2015) y gracias al convenio con la Universidad Nacional de Córdoba, la comunidad dispone el Internet de la universidad en horarios en el que no se utiliza (Radar Libre, 2020).



Figura B6. Antena comunitaria Quintana Libre

Fuente: La Nación (2015)

Por otro lado, cabe mencionar que la red fue implementada con software de código abierto y hardware de bajo costo, creando una red descentralizada, compuesta de routers Wi-Fi estándar con firmware “LibreMesh” que permitía modificar su funcionamiento (La Nación, 2015). No obstante, a finales de 2015, la Comisión Federal de Comunicaciones de Estados Unidos emitió una norma que disponía que los routers tenían que estar bloqueados desde fábrica, con el propósito de prevenir la modificación del software, lo cual se convirtió en un estándar en todos los países, generando que los routers con LibreMesh de AlterMundi dejaron de instalarse; por ende, las redes dejaron de crecer (Radar Libre, 2020).

En respuesta a este impedimento técnico se impulsó el desarrollo de un hardware propio que trabaje con código abierto y hardware libre, por parte de instituciones relacionadas con las redes comunitarias. Por tal razón, se desarrolló LibreRouter el cual cuenta con el firmware LibreMesh y fue desarrollado en forma colaborativa por entidades como AlterMundi (Argentina), Village Telco (Sudáfrica), Guifi.net (España), Ninux.org (Italia), FunkFeuer.at (Austria) y FreiFunk.net (Alemania) con el financiamiento de FRIDA y fabricado por Dragino en Hong Kong (Prato, Weckesser & Segura, 2020).

Asimismo, para lograr la autogestión de la red, AlterMundi proporcionó capacitaciones en forma de talleres a las personas de la comunidad que se encargarán del soporte y ampliación de la red. Asimismo, se tiene una cuota mensual que sirve como fondo de ayuda para el mantenimiento de la red y gastos que se generan de ella. La comunidad se encuentra a cargo del mantenimiento de la red (Radar Libre, 2020).

✓ Red comunitaria San Pablo Libre

La red comunitaria está localizada en la vereda San Pablo en el municipio de Pasca, en Cundinamarca - Colombia (ver Figura B7). Esta red se desplegó en el 2019 dentro del contexto de la competencia mundial de Capítulos Chapterthon 2019 de Internet Society. La indicada red fue implementada por la comunidad de San Pablo con apoyo de Internet Society y personal del Semillero de Investigación Red Fusa Libre de la Universidad de Cundinamarca. El despliegue de la red contó el apoyo financiero obtenido a través del Programa Chapterthon 2019 y se benefició con el servicio de Internet proporcionado por la Universidad de Cundinamarca por medio de un radioenlace (Internet Society, 2019).



Figura B7. Ubicación red comunitaria San Pablo Libre

Fuente: Elaboración propia basada en Internet Society (2019)

La vereda de San Pablo tiene una población de 300 habitantes aproximadamente y su principal fuente de ingresos proviene principalmente de la agricultura y la ganadería. Asimismo,

su geografía es de zonas montañosas y de difícil acceso, lo que dificultó la implementación de la red; principalmente, la instalación del radioenlace principal que se encuentra ubicado en la parte superior de una montaña, debido a la necesidad de contar con una mejor línea de vista hacia los demás nodos (ver Figura B8). Por otro lado, la vereda San Pablo tiene un clima frío con lloviznas variables durante horas (Internet Society, 2019).



Figura B8. Instalación radioenlace – San Pablo

Fuente: El Espectador (2021)

La implementación de la red comunitaria permitió brindar a la comunidad acceso a Internet, telefonía IP, servicio de mensajería, bibliotecas digitales y repositorio de contenidos digitales. Por lo cual, se desarrolló diferentes talleres como alfabetización digital, manejo de contenidos digitales, configuración y manejo de la telefonía IP, beneficios y peligros del Internet, y uso de redes sociales, con el fin de que las personas de la comunidad se apropien del acceso y uso de la tecnología (Internet Society, 2019).

Por otro lado, cabe mencionar que la red comunitaria fue de mucha ayuda en tiempos de cuarentena, ya que la utilización de aplicativos como WhatsApp permitieron a la comunidad comercializar sus productos; además, algunos estudiantes universitarios que viven en San Pablo pudieron realizar sus clases virtuales. Por ello, la comunidad espera implementar más nodos y fortalecer el contenido propio relacionado con la agroecología en su red (El Espectador, 2021).

✓ Red comunitaria Pifeiros

La red comunitaria está localizada en Amarante do Maranhão en Brasil donde la población mayormente se dedica a la ganadería y a la agricultura (ver Figura B9). Esta red se concibió en el 2017 gracias a la iniciativa del Movimento Interestatal de Quebradoras de Cocos Babasú (MIQCB), quien organizó numerosas reuniones con la población para determinar sus necesidades y el interés para ejecutar este proyecto; además, tuvo el apoyo del Instituto Nupef. En el 2019, la comunidad, con la ayuda de Nupef, implementaron una red comunitaria fuera de línea debido a que no contaban con servicio de Internet en la zona, ya que ningún proveedor de Internet satelital tenía cobertura (Asociación para el Progreso de las Comunicaciones, 2022).



Figura B9. Ubicación red comunitaria Pifeiros

Fuente: Elaboración propia basada en Asociación para el Progreso de las Comunicaciones (2022)

A pesar de la falta de acceso a Internet, la red local posibilitó que los residentes se comunicaran entre sí y utilizaran varios servicios locales, como el intercambio de archivos, el envío de mensajes de texto y llamadas locales, además de proporcionar acceso a la plataforma de Wikipedia sin conexión y libros digitales de libre acceso. La red local cubrió aproximadamente al 90 % de la población, y participaron alrededor de 40 personas en la instalación y operación de la red (ver Figura B10), lo cual fue un proceso muy participativo,

además, de asistir en talleres de producción de contenidos (Asociación para el Progreso de las Comunicaciones, 2022).



Figura B10. Instalación antena – Pifeiros

Fuente: Asociación para el Progreso de las Comunicaciones (2022)

La implementación de una red local generó cierta frustración al inicio debido a que la población esperaba utilizar plataformas digitales como WhatsApp, Facebook, Instagram, etc. Sin embargo, durante la implementación, se pudieron dar cuenta de los beneficios que pueden tener al contar con una red local en una comunidad que vivió sin acceso a Internet durante décadas y entender cómo funciona internamente. No obstante, entre 2019 y 2020, Nupef identificó un posible proveedor, pero la pandemia de la COVID-19 que comenzó en ese año representó un nuevo desafío. Sin embargo, en noviembre de 2020, la situación sanitaria en Brasil mejoró, lo que permitió a Nupef solicitar la conexión y realizar mejoras en la red comunitaria (Asociación para el Progreso de las Comunicaciones, 2022).

✓ **Red comunitaria Penalva**

La red comunitaria está ubicada en el quilombo de Barrio Novo, en la ciudad de Penalva, estado de Maranhão en Brasil (ver Figura B11), donde las comunidades quilombolas son descendientes de esclavos que fueron traídos en a la fuerza por colonizadores portugueses. Esta

comunidad se caracteriza por ser una región muy pobre con conflictos y violencia de los terratenientes contra miembros de la comunidad. La red se puso en marcha en febrero de 2017 por iniciativa del instituto Nupef y de la comunidad local (ver Figura B12), el proyecto consistía en crear redes autónomas en áreas de exclusión social, para que estas comunidades puedan acceder a Internet con una velocidad aceptable y un costo accesible. La red implementada les permite brindar servicios locales con un servidor de contenido, inclusive una red de telefonía IP con software libre, generando llamadas sin costo entre sus usuarios (Espectro Brasil, 2018).

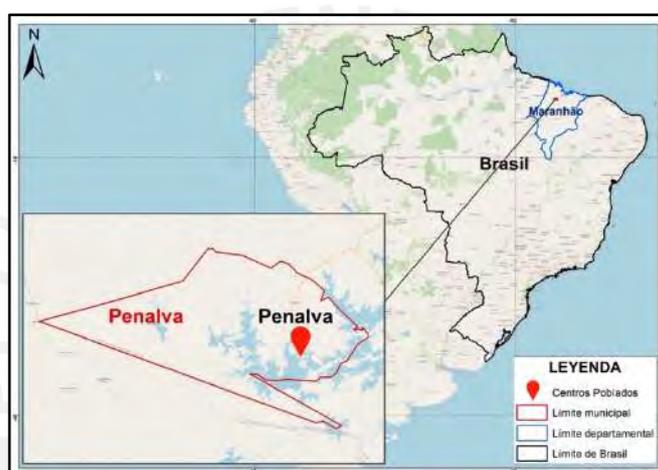


Figura B11. Ubicación red comunitaria Penalva

Fuente: Elaboración propia basada en Espectro Brasil (2018)

La red fue financiada por Nupef desplegando la infraestructura física de la red con el apoyo de la comunidad y promoviendo la capacitación a las personas de la comunidad mediante talleres de aspectos técnicos para la apropiación de la tecnología, lo cual fue replicado por los mismos habitantes a sus compañeros (Espectro Brasil, 2018). En el 2019, por recomendación de Nupef y APC se realizaron mejoras en la red para incrementar su resiliencia, implementando nodos nuevos, aumentando el ancho de banda y actualizando el software de los equipos para mejorar la gestión local y remota. Con la expansión de la cobertura, la cantidad de las personas que aportan para cubrir los costos de la red se duplicó a 60 y la red beneficia directamente a 300 personas, sumado otros cientos de usuarios ocasionales (Asociación para el Progreso de las Comunicaciones, 2022).



Figura B12. Instalación antena – Penalva

Fuente: Espectro Brasil (2018)

Según informes sobre los beneficios de las redes comunitarias han ahorrado tiempo y dinero a los pobladores, consiguiendo declarar impuestos, solicitar subsidios agrícolas o comerciales y tramitar documentos en línea. Anteriormente, pasaban todo un día trasladándose de una ciudad a otra en moto, barco o caballo, y pagaban entre 34 y 57 dólares estadounidenses por documento. Actualmente, las personas de pequeñas comunidades vecinas van a Penalva para tramitar sus documentos de forma gratuita. Asimismo, el acceso a Internet ayudó a la preservación cultural de la comunidad mediante un concurso de video para que los jóvenes mostraran su idioma, cultura y creatividad (Internet Society- Capítulo Brasil, 2021).

✓ **Red comunitaria de El Cuy**

Esta red comunitaria esta ubicada en la provincia de Rio Negro al norte de la Patagonia en Argentina (ver Figura B13), esta zona se caracteriza por tener grandes extensiones de territorio inhabilitado y la actividad económica principal es la ganadería (ver Figura B14). En febrero del 2019, se puso en marcha la red comunitaria en el poblado El Cuy brindando acceso a Internet a 400 de sus 540 habitantes y otros 100 de un pueblo cercano Cerro Policía (Cámara Argentina de Internet, 2019).



Figura B13. Ubicación red comunitaria El Cuy

Fuente: Elaboración propia basada en Cámara Argentina de Internet (2019)

La red comunitaria fue implementada por la comunidad con el apoyo de la organización Internet Society, quien se encargó del financiamiento del material y de la asesoría técnica; además, contribuyeron otras organizaciones como la Cámara Argentina de Internet (CABASE) y el Ente Nacional de Comunicaciones (ENACOM); asimismo, la subvención de los costos de mantenimiento de la red los cubre la comunidad mediante actividades colectivas como rifas y venta de repostería. Por otro lado, debido a la ubicación geográfica de la comunidad, han tenido que superar diversas dificultades a la hora de la implementación de la red (Rodríguez, 2020).



Figura B14. Instalación radioenlace en el pueblo El Cuy

Fuente: La Nación (2020)

Contar con acceso a Internet ha evitado la migración de los jóvenes; además, ha permitido un gran impulso para la economía de la comunidad; por ejemplo, las personas pueden buscar trabajo en Internet, pueden seguir cursos virtuales sobre ganadería, informarse de los precios del mercado de la carne o lana, subvenciones estatales y obtener información meteorológica (Rodríguez, 2020). Asimismo, durante la pandemia, ha permitido realizar las clases virtuales, y poder solicitar y recibir el apoyo económico del gobierno para las personas que perdieron sus empleos durante el periodo de cuarentena (La Nación, 2020).

✓ Red comunitaria Murambinda - Zimbabwe

La red comunitaria Murambinda está ubicada en el distrito de Buhera, provincia de Manicaland en Zimbabwe con una población de 4 000 habitantes y su economía esta basada tradicionalmente en la agricultura y el comercio (ver Figura B15 y B16). La red comunitaria se creó debido a la iniciativa de la organización sin ánimo de lucro Murambinda Works y la comunidad de Murambinda con el apoyo de diversas organizaciones e instituciones privadas y estatales como Internet Society, APC, Rizhomatica, instituto Tunapanda, empresa TelOne, y la Autoridad Reguladora de Correos y Telecomunicaciones de Zimbabwe (POTRAZ) (Internet Society, 2022).



Figura B15. Ubicación red comunitaria Murambinda - Zimbabwe

Fuente: Elaboración propia basada en Internet Society (2022)

En el 2018, la Internet Society (ISOC) apoyó en la construcción de una red inalámbrica de 40 kilómetros, llegando hasta Nerutanga a lo largo de Chivu Road, que conecta algunas de las escuelas como la escuela de formación de enfermeras, las granjas de las aldeas, las oficinas gubernamentales y la comunidad en general (Internet Society, 2022). Por otro lado, en el 2019, Murambinda Works se asoció con el Instituto Tunapanda de Kenia para crear una plataforma de gestión del conocimiento, que comprende una plataforma de aprendizaje y una plataforma de gestión escolar, para proporcionar a la comunidad local con habilidades y conocimientos como creadores de contenido local. Este proyecto fue seleccionado por APC para recibir una subvención catalítica destinada a apoyar tecnologías innovadoras, y sensibles al género para fortalecer un movimiento de redes comunitarias diversas y sostenibles como parte del proyecto de APC y Rhizomática (Association for Progressive Communications, 2021).



Figura B16. Localidad de Murambinda

Fuente: Association for Progressive Communications (2021)

En el 2020, Murambinda Works se asoció con el operador de telecomunicaciones TelOne para conseguir acceso a su red de fibra óptica, asegurando el ancho de banda de Internet para la red (25 Mbps). A inicios del 2021, también se desarrollaron aplicaciones para dar valor agregado a la red. Una aplicación que se desarrolló fue un sistema de gestión escolar que vinculaba las escuelas con las oficinas de educación del distrito. Esto fue beneficioso para los

inspectores educativos, ya que tenían acceso a información valiosa sin tener que salir de viaje (Internet Society, 2022).

La red comunitaria de Murambinda al 2021 conecta a las oficinas centrales del distrito y cubre a una población de 108 000 habitantes, proporcionando Internet accesible a las comunidades desatendidas en Buhera Norte y Oeste (Association for Progressive Communications, 2021).

✓ Red comunitaria Terra do Meio

La red comunitaria está ubicada en Terra do Meio, en el estado de Pará, en la región Amazónica de Brasil (ver Figura B17), es una área de difícil acceso y no cuenta con conectividad digital de ningún tipo o son muy costosa como el Internet (ver Figura B18). Desde el 2016 al 2018, se ha estado implementado el sistema High-frequency Emergency and Rural Multimedia Exchange System (HERMES), que ha permitido establecer una red de intranet mediante radios HF. Cabe mencionar, que los radios HF pertenecen a un sistema HF que había sido implementado anteriormente por el estado brasileño de Acre como un proyecto previo con distinto objetivo. Con los sistemas de VoIP, GSM y HF se ha construido una infraestructura, a través del cual se pueden enviar mensajes de texto o de voz desde un teléfono a cualquier lugar, sin necesidad de contar con un enlace satelital (Fundación de Pachamama, 2020).



Figura B17. Ubicación red comunitaria Terra do Meio

Fuente: Elaboración propia basada en Fundación de Pachamama (2020)



Figura B18. Reserva ecológica Terra do Meio

Fuente: Rhizomatica (2020)

✓ Red comunitaria de Castilla y León

La red comunitaria está ubicada al Nordeste de Segovia, Castilla en España, específicamente en los municipios rurales de Castroserracín, Navares de las Cuevas y Cerezo de Abajo, cuya población no supera los 180 habitantes (ver Figura B19 y B20). Esta red comunitaria se origina como una iniciativa impulsada y gestionada por sus habitantes, de modo que la población y empresas inviertan y colaboren en la implementación de la red de su localidad, lo que les permite contar con una infraestructura propia que les brinda una conexión de 1Gbps a sus hogares y negocios, la cual ha sido promovida e impulsada por la asociación sin ánimo de lucro Nordesnet que se ha establecido como un operador de telecomunicaciones y cuyo objetivo es ampliar la cobertura a más de 50 municipios de la zona (Red Eléctrica, 2021).



Figura B19. Ubicación red comunitaria de Castilla y León

Fuente: Elaboración propia basada en Red Eléctrica (2021)

El Grupo de Red Eléctrica de España, colabora instalando fibra óptica en la red de transporte eléctrico para ponerla a disposición del proyecto comunitario que brinda acceso a Internet de alta velocidad a municipios con poblaciones pequeñas. Asimismo, la fundación Guifi.net, es la encargada de brindar acceso a Internet (Red Eléctrica, 2021).



Figura B20. Comunidad Navares de la Cuevas

Fuente: Nordesnet Telecom (s.f.)

