

PROYECTO

ESTUDIO DE LA FACTIBILIDAD TÉCNICA DE LA IMPLEMENTACIÓN DE LA TECNOLOGÍA TVWS EN LAS
INSTITUCIONES EDUCATIVAS RURALES EN EL DEPARTAMENTO DE CUNDINAMARCA.

PRESENTADO POR:

INGENIERO CARLOS ANDRÉS RUIZ
INGENIERA DIANA PAOLA AREVALO LÓPEZ
INGENIERA DEISY XIOMARA RIVERA

PRESENTADO A:

INGENIERO JUAN CARLOS RAMIREZ

UNIVERSIDAD SANTO TOMAS
ESPECIALIZACIÓN EN GESTIÓN DE REDES DE DATOS
PROYECTO DIRIGIDO 2
FEBRERO DEL 2022

CONTENIDO

1.	JUSTIFICACIÓN	7
2.	PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	8
3.	GESTIÓN	9
3.1.	Objetivos	9
3.1.1.	General	9
3.1.2.	Específicos	9
4.	REQUERIMIENTOS	10
4.1.	Marco teórico	10
4.1.1.	Antecedentes	10
4.1.2.	Terminología	20
4.2.	Marco Legal	23
4.2.1.	Internacional	24
4.2.2.	Nacional	25
5.	PROPUESTA DE LA SOLUCIÓN	25
5.1.	Aspectos conceptuales	25
5.2.	Planeación Metodológica	26
5.2.1.	Fase 1: Levantamiento de información	26
5.2.2.	Fase 2: Requerimientos para viabilidad Técnica de la tecnología TVWS	26
5.2.3.	Fase 3: Muestreo	27
5.2.4.	Fase 4: Espacios en blanco en Televisión	27
5.2.5.	Fase 5: Cálculos de perfiles de viabilidad	27
5.2.6.	Fase 6: Conclusiones	27
5.3.	Desarrollo Tecnológico	27
5.3.1.	Instituciones Educativas del Departamento de Cundinamarca	28
5.3.2.	Proveedores de Conectividad a Internet	29
5.3.3.	Requerimientos para viabilidad Técnica de la tecnología TVWS	32

	3
5.3.4. Muestreo	36
5.3.5. Cálculos de perfiles de viabilidad	45
6. CONCLUSIONES	47
7. REFERENCIAS	49
8. ANEXOS	52
8.1. Densidad Poblacional	52
8.2. Estaciones Base de Cundinamarca	52
8.3. Parámetros Técnicos de las estaciones base	53
8.4. Instituciones Educativas seleccionadas	65
8.5. Perfiles de Viabilidad	65

FIGURAS

Figura 1. Estructura de la planeación metodológica del proyecto de Investigación	26
Figura 2. Densidad Poblacional en las sedes Educativas del departamento de Cundinamarca.	28
Figura 3. Servicios Públicos en las Sedes Rurales del departamento de Cundinamarca.	28
Figura 4. Cobertura 2G de Tigo	29
Figura 5. Cobertura 3G de Tigo	29
Figura 6. Cobertura 4g - Tigo	30
Figura 7. Cobertura Fibra Óptica de Tigo	30
Figura 8. Cobertura 2G – Proveedor Tigo	30
Figura 9. Cobertura 3G – Proveedor Tigo	30
Figura 10. Cobertura 4G - Proveedor Tigo	31
Figura 11. Cobertura Fibra Óptica - Proveedor Tigo	31
Figura 12. Cobertura Red de Microondas - Gobernación de Cundinamarca.	31
Figura 13. Topología de la arquitectura de la tecnología TVWS. obtenida de (Agencia Nacional del Espectro - ANE, 2022)	32
Figura 14. Cobertura de la estación base de televisión seleccionada: Manjui	40
Figura 15. Enlaces entre las Estación Base Manjui y las Instituciones Educativas del Muestreo.	40
Figura 16. Ancho de Banda de las Instituciones Educativas.	45
Figura 22. Perfil de viabilidad Escuela rural Vicenta Gonzalez	64
Figura 23. Perfil de viabilidad Escuela Rural Los Árboles	65
Figura 24. Perfil de Viabilidad escuela rural payacal	65
Figura 25. Perfil de viabilidad Rural Reinaldo Ramírez	66
Figura 26. Perfil de viabilidad Escuela Rural Balsillas	66
Figura 27. Perfil de viabilidad Escuela rural Calandaima	67
Figura 28. Perfil de Viabilidad Escuela Rural el Chuscal	67
Figura 29. Perfil de viabilidad a Escuela Rural Jhon F Kennedy	68
Figura 30. Perfil de viabilidad a Escuela Rural La Laguna	68
Figura 31. Perfil de viabilidad Escuela Rural la María	68
Figura 32. Perfil de viabilidad Escuela Rural Mesitas de Santa Inés	69
Figura 33. Perfil de viabilidad Escuela Rural Mesitas del Caballero	69
Figura 34. Perfil de Viabilidad Escuela Rural San Agustín	70
Figura 35. Perfil de viabilidad Escuela Rural Santa Ana	70
Figura 36. Perfil de viabilidad Escuela Rural Santa Bárbara	71
Figura 37. Perfil de Viabilidad Escuela Rural Santiago Trujillo Gómez	71

TABLAS

Tabla 1. Antecedentes.	20
Tabla 2. Coberturas Proveedor Claro	30
Tabla 3. Coberturas Proveedor Tigo	31
Tabla 4. Parámetros de las estaciones base de televisión que se encuentra en el departamento.	34
Tabla 5. Parámetros técnicos de proveedores de Hardware de la tecnología TVWS para estaciones Base, datos obtenidos de (RADWIN Ltd Corporate Headquarters, 2022) (Redline Communications, 2022) (Adaptrum Inc, 2022)	35
Tabla 6. Parámetros técnicos de proveedores de Hardware de la tecnología TVWS para Suscriptores- CPE.	36
Tabla 7. Cubrimiento de las estaciones base en algunos municipios del departamento de Cundinamarca (MINTIC, 2021) (MINTIC) (ANTV) (MINTIC)	39
Tabla 8. Parámetros Técnicos de la Estación base Manjui con las Instituciones Educativas.	41
Tabla 9. Parámetros Técnicos de las Instituciones Educativas.	42
Tabla 10. Espacios disponibles de las Instituciones educativas.	44
Tabla 11. Densidad población del departamento de Cundinamarca en las instituciones educativas	52
Tabla 12. Listado de estaciones base de televisión en Cundinamarca.	53
Tabla 13. Parámetros técnicos de las estaciones base de televisión CNNP.	57
Tabla 14. Parámetros técnicos de las estaciones base de televisión RTVC y TV Andina	63
Tabla 15. Listado de instituciones educativas del muestreo	64

INTRODUCCIÓN

La Gobernación de Cundinamarca, entidad gubernamental encargada de administrar recursos para el bienestar de la comunidad departamental, tiene como uno de sus objetivos principales, integrar a través de recursos digitales, procesos educativos, bancarios, administrativos, entre otros.

Un sector que se ha visto afectado por la pandemia del covid-19 es el educativo, debido a la presencialidad que este requiere, como medida de contingencia para no afectar el proceso de aprendizaje de la educación formal, se optó por el uso de internet como servicio de primera necesidad.

Dadas las condiciones que anteceden, la cobertura ofrecida por los diferentes proveedores de internet no abarca todo el territorio departamental en zonas urbanas y rurales, por lo tanto, aumenta la brecha digital en el departamento. Ante la situación planteada, es de gran importancia estudiar la viabilidad de nuevas tecnologías que abarquen zonas complejas que al momento no cuentan con este servicio vital.

1. JUSTIFICACIÓN

El espectro Radioeléctrico es un recurso natural limitado y un bien público cuyo uso puede generar ganancia económica para un país. Actualmente, surge la necesidad de estrategias para un aprovechamiento justo de este recurso, sobre todo en las zonas de menor densidad poblacional, como lo son las zonas rurales que son las más necesitadas en cuanto a conectividad se refiere.

Los espacios en blanco en televisión (TVWS, por sus siglas en inglés) según (José Ulises Avalos Gómez, 2018) son espacios de frecuencia no asignados de las bandas de televisión en el espectro radioeléctrico, que hacen parte de la televisión digital terrestre (TDT). El despliegue de la TDT cuenta con una gran cobertura en las diferentes zonas del país incluyendo la zona rural del departamento de Cundinamarca

Según la ANE (ANE, 2021) *“En el 99% de los municipios de Colombia la televisión utiliza solo 15 de los 49 canales disponibles”*, siendo esta una gran oportunidad de hacer un uso más eficiente del espectro radioeléctrico disponible y que en el transcurso de este documento se denominara como *“Espacios en blanco”*.

Desde el año 2017, la Agencia Nacional de Espectro (ANE), entidad encargada de administrar de manera eficiente el espectro radioeléctrico por medio de la planeación, atribución, vigilancia y control del mismo, planteó la regulación para uso de espacios en blanco, siendo emitida en el 2020 bajo la resolución 105 que describe los aspectos técnicos del uso de la tecnología TVWS.

Teniendo en cuenta lo anteriormente expuesto, se realizará un estudio de factibilidad de implementar tecnología TVWS en el departamento de Cundinamarca, para generar beneficios a la población estudiantil.

2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Según las últimas estadísticas del dane (DANE, 2018), en el departamento de Cundinamarca, el 42.3% de la población no sabe usar el internet, y de los pocos que lo usan, solo el 23% es para educación formal. A pesar de que ha habido iniciativas para vencer la brecha digital existente, infortunadamente esta se ha venido agudizando por causas de la pandemia del covid-19. Esto se evidencia con más fuerza en las zonas rurales que por su geografía montañosa dificulta el acceso de grandes proveedores de telecomunicaciones.

Las zonas rurales tradicionalmente se han visto afectadas por la falta de infraestructura tecnológica, problemas de orden público y ausencia de interés de los entes gubernamentales en la inversión de proyectos de Tecnologías de la información y comunicación (TIC) que beneficien a la comunidad, principalmente a las instituciones educativas que son las encargadas de la formación de los estudiantes que serán la nueva generación del país.

En concordancia, se ha intentado llevar conectividad a las zonas rurales del departamento sin cobertura, a partir del despliegue de tecnología satelital, lo cual ha venido generando sobrecostos en la implementación y operación de dicha solución tecnológica; en cuanto a la Tecnología Wmax, se gestiona con bandas licenciadas donde tiene un costo muy elevado para su uso y las no licenciadas presentando un alto nivel de Interferencia generando servicios de mala calidad.

Teniendo en cuenta las problemáticas anteriormente argumentadas, ¿Es posible utilizar la tecnología TVWS (espacios en blanco en televisión) para solucionar los problemas de conectividad en las instituciones educativas rurales del departamento de Cundinamarca?

3. GESTIÓN

3.1. Objetivos

3.1.1. General

Determinar la factibilidad técnica de implementar tecnología TVWS en las instituciones educativas rurales de departamento de Cundinamarca

3.1.2. Específicos

1. Estudiar la actualidad en términos de cobertura de telecomunicaciones que brindan conectividad en las zonas rurales del departamento de Cundinamarca.
2. Describir las bandas TVWS en la zona de estudio.
3. Caracterizar el funcionamiento de la tecnología TVWS sobre las frecuencias de televisión en la zona de estudio propuesta, teniendo en cuenta las siguientes variables como: Tasa de Transmisión, ancho de banda, cobertura, nivel de Potencia, niveles y tipos de Interferencias, disponibilidad y latencias.

4. REQUERIMIENTOS

4.1. Marco teórico

4.1.1. Antecedentes

Con el propósito de presentar la información más relevante y directamente relacionada con el actual tema de estudio se han consultado los siguientes documentos:

1	GESTIÓN DEL ESPECTRO RADIOELÉCTRICO EN COLOMBIA Autores: Ernesto Cadena Muñoz, Hermes Javier Eslava Blanco, José, Alejandro Franco Calderón. Artículo *: Tecnura ; p-ISSN: 0123-921X ;e-ISSN: 2248-7638 ;Vol. 19 No. 45 ;Julio - septiembre 2015 • pp. 159-173. Disponible: Vista de Gestión del espectro radioeléctrico en Colombia (udistrital.edu.co) <i>“Contexto Nacional”</i>
	En este artículo se definen conceptos básicos de la gestión del espectro que permiten reconocer su alcance e importancia para el sector y hacen un análisis de los diferentes modelos que se manejan para el uso del espectro, destacando las características, fortalezas y debilidades de cada uno para su aplicación. Analizan el contexto del país, en el cual se observa que el modelo de gestión tradicional utilizado no es eficiente y genera pérdidas económicas para el país en uno de los recursos más importantes en materia de Telecomunicaciones, lo que los lleva a replantear el modelo actual de gestión del espectro radioeléctrico en Colombia. Finalmente, presentan las tendencias en la gestión del espectro y resaltan la necesidad de analizar el modelo basado en el mercado de servicios de telecomunicaciones y los requerimientos para su aplicación en el país, así como las dificultades que puede encontrar (Ernesto Cadena Muñoz, 2015).
2	ESPACIOS EN BLANCO EN COLOMBIA Autores: Ing. Carolina Daza Tache Documento*: Conferencia - ANE 2018 Disponible: <u>Presentación de PowerPoint (itu.int)</u> <i>“Contexto Nacional”</i>

	La Agencia Nacional del Espectro ha realizado tres pruebas piloto a lo largo del territorio nacional, en el servicio de internet, usando los espacios blancos en televisión o TVWS, y se hicieron en zonas rurales en las cuales este servicio es inaccesible o presenta dificultades para la transmisión de datos, los municipios seleccionados fueron ("Ing. Carolina Daza Tache, ANE, 2018): - Escuela Punta de los Remedios en el municipio de Dibulla ubicado en el departamento de la Guajira - Centro Educativo sede El Páramo en el municipio de Pamplonita en el departamento de Norte de Santander - Institución Rioarriba en el municipio de Aguadas del departamento de Caldas
3	ESTUDIO DE ESPACIOS EN BLANCO DE TV EN EL CONTEXTO DE RADIO COGNITIVA PARA EL DESPLIEGUE DE WIFI EN ZONAS RURALES DEL EJÉRCITO COLOMBIANO Autores: Avendaño Eduardo, Espíndola Jorge, Montañez Oscar Artículo: Revista Espacios - 30/12/2020 Disponible: <u>Study of tv white spaces in the context of cognitive radio for the deployment of WiFi in rural zones of the colombian army (revistaespacios.com).</u> <i>"Contexto Nacional"</i>
	Artículo que presenta un estudio de los espacios en blanco en la red de TV que pueden ser utilizados para solucionar conectividad para la infraestructura del ejército Nacional de Colombia para sus bases en zonas rurales, el cual abarca desde los aspectos regulatorios e infraestructura técnica enfocado en solucionar acceso a internet con aspecto gratuito, analizando tecnología OFMD con radios USRP N210; el estudio realiza un estudio preliminar identificando los equipos precisos para un posible despliegue (Avendaño Eduardo, 2020).
4	ESTUDIO DE LA TECNOLOGÍA DE TVWS EN COLOMBIA Y COMPARACIÓN CON EL MUNDO Autores: CT. Duban Ferney Aragón Rojas, CT. Luis Eduardo Gómez García, CT. Gustavo Mauricio Rivera Ortiz, MSc. William Alexander Cuevas Carrero Artículo: Revista colombiana de tecnologías avanzadas 2019

	Disponible: https://revistas.unipamplona.edu.co/ojs_viceinves/index.php/RCTA/article/view/3873 <i>“Contexto Mixto - Nacional e Internacional”</i>
	Uno de los entes que tiene presencia en todo el territorio es el ejército Nacional de Colombia, que tiene como función principal la seguridad en zonas urbanas y rurales del País. Debido a sus procesos administrativos y de operación, dicha fuerza armada tiene pelotones en zonas rurales de alta complejidad, presentándose la necesidad de comunicación con el mundo exterior, por medio de dispositivos no convencionales. En referencia lo anterior, dicha fuerza armada realizó un estudio para identificar el rango de frecuencias de espacios en blanco en diferentes países, teniendo en cuenta aspectos técnicos y Normatividad en cada país, entre ellos Colombia, donde obtienen la siguiente información: • Entidad reguladora: ANE • Frecuencias disponibles para espacios en blanco: Rango 400 MHz y 698MHz • EIRP (potencia radiada isotrópica efectiva) Máxima: 40 dBm • Restricción de la DEP (Densidad espectral de potencia): 40dBm/6MHz • Atenuaciones para emisiones fuera de banda: > 55,4 dB/6MHz
5	SISTEMA COGNITIVO DE PETICIÓN DE CANALES DISPONIBLES EN LA BANDA DE FRECUENCIA DE 470MHz A 698 MHz PARA EL DESPLIEGUE DE IOT Autores: Gina Marcela Roncancio Quintana Documento: Trabajo de grado – Maestría 2017 Disponible: https://repository.usta.edu.co/bitstream/handle/11634/14715/2018ginaroncancio.pdf?sequence=1&isAllowed=y <i>“Contexto Mixto - Nacional e Internacional”</i>
	Debido a que los últimos años la tecnología ha avanzado y el uso de espectro radioeléctrico ha crecido de forma exponencial, La UIT asignó regiones, para evitar interferencias entre los servicios y uso del espectro radioeléctrico de cada país, dado lo anterior se identificó que son 3

	regiones: Región 1(r Europa, Rusia, Japón y África), región 2 (América) y región 3 (zona del indico). Dado lo anterior cada banda se establece por categorías y para un orden de su uso, Colombia no está excepta de ello y establece una regulación para los diferentes tipos de servicio. Según la regulación colombiana se presentan 2 tipos de frecuencias, las licenciadas y no licenciadas, esto depende de la naturaleza de la banda, destinación , aplicación de uso , entre otros. Dado lo anterior, un servicio que tiene gran cobertura nacional y ya cuenta con una infraestructura es la televisión digital terrestre (TDT) que es una tecnología que digitaliza la señal analógica a digital adoptando un estándar, en el caso de Colombia es el estándar DVB-T2 este sistema transmite audio, video y otros datos por medio de Physical Layer Pipes (PLP) utilizando la modulación OFDM. Teniendo un conocimiento previo del uso del espectro y servicios como la TDT, se identifica una oportunidad para el despliegue de servicios emergentes como IoT. Dicha investigación realiza el estado regulatorio del espectro radioeléctrico en bandas de asignación dinámica de 470MHz a 698MHz, y poder utilizarlo en dispositivos IoT en una red de Huecos espectrales en Televisión.
6	USING WHITE SPACES: A SOLUTION FOR FREQUENCY SPECTRUM OVERLOADING Autores: Antonio Castro Lechtaler, Antonio Fotl, Alejandro Arroyo Arzubi, Jorge García Guibout, Fernanda Carmona, Rubén Fusario, Alejandro Oliveros. Documento: Documento Conferencia - XXII ARGENTINE CONGRESS OF COMPUTER SCIENCE SELECTED PAPERS - paginas 236-245. Disponible:https://scholar.google.co.in/scholar?hl=es&as_sdt=0%2C5&q=Using+White+Spaces%3A+A+solution+for+frequency+spectrum+overloading.+XI+Workshop+of+Architecture%2C+Networks+and+Operating+Systems+%28WARSO%29.&btnG=Contexto Internacional
	Varios entes gubernamentales y grupos de investigación han acogido una problemática que cada vez es más evidente que es la falta de conectividad en zonas rurales, es por ello que se han usado alternativas que se puedan implementar y que tengan un costo razonable. La TVWS es una de las tecnologías que la mayoría de los países están aplicando como solución de

	conectividad en zonas de difícil acceso, además de que se puede implementar con costos razonables a comparación de la fibra óptica o satelital. Dicha tecnología, utiliza un recurso escaso como lo es el espectro radioeléctrico es por ello que los espacios en blanco que no han sido asignados o que por la televisión analógica dejaron de funcionar, brindar la oportunidad de reutilizar dichos canales y darle un buen provecho. Uno de los estándares que se debe tener como base es el IEEE802.22: WRAN que es una recomendación del uso de radio cognitiva por medio de MAC y capa física, el objetivo de este estándar es establecer los criterios para implementar múltiples productos, brindando ancho de banda a varias zonas geográficas , además brinda dos soluciones como el uso de espacios en blanco e interferencia entre canales adyacentes .
7	CONECTIVIDAD A INTERNET EN ZONAS RURALES MEDIANTE TECNOLOGÍAS DE TDT (DVB-RCT2), O TELEFONÍA MÓVIL (4G-LTE) Autores: Ciro Diego Radicelli-García, Margarita Pomboza-Floril& Lexinton Cepeda-Astudillo Artículo: Revista - Universidad Nacional 2018 Disponible: https://revistas.unal.edu.co/index.php/dyna/article/view/62690/65309 <i>“Contexto Internacional”</i>
	Según diferentes investigaciones, el uso de la cantidad de personas que utilizan internet ha crecido exponencialmente desde el 2000; convirtiéndose en un servicio público de primera necesidad. Dado lo anterior, se busca que el 100% de la población tenga acceso a este servicio, pero se ha detectado que las zonas rurales son de alta complejidad, por ello se busca alternativas de conectividad diferentes a las convencionales debido a su topografía y también por su costo de implementación, una de ellas es el uso de Espacios en blanco de la TV que brindaría mejor propagación además, de bajo costo dado que se reutilizaría una infraestructura actual, dado que la televisión tiene mayor cobertura. La tecnología DVB-RCT2 es usada en la mayoría de países latinoamericanos a excepción de Colombia y Panamá para la transmisión de televisión digital, Dicho estándar fue establecido en México, para la transmisión de señales digitales en difusión. Este estándar utilizaba técnicas de multiplexación en tiempo y frecuencia proponiendo un canal de retorno inalámbrico para la

	transmisión desde la torre central hasta el equipo receptor del usuario , dicha tecnica no fue aplicada comercialmente por problemas con los operadores de telefonía móvil. La Tecnología 4G LTE , es una tecnología de cuarta generación desarrollada para brindar una mejor experiencia para el usuario, dicha tecnología está basada en el protocolo ip , mejorando algunas aspecto de la tecnología 3G; como el uso de OFDM , uso de la tecnica Mimo, alta eficiencia espectral, entre otras. Se realiza un comparativo a nivel técnico de las dos tecnologías antes nombradas en cuestión de mejorar la experiencia del usuario en zonas apartadas de difícil acceso, además de estas dependen del apagón analógico que se deberá establecer en la mayoría de países latinoamericanos.
8	OPPORTUNISTIC SPECTRUM SHARING AND WHITE SPACE ACCESS: THE PRACTICAL REALITY Autores: Dr. Oliver Holland, Prof. Hanna Bogucka , Dr. Arturas Medeisis Libro: Opportunistic Spectrum Sharing and White Space Access: The Practical Reality ; Editorial WILEY – 2015 Disponible: https://books.google.com.co/books?hl=es&lr=&id=OgicCAAQBAJ&oi=fnd&pg=PP1&dq=Opportunistic+Spectrum+Sharing+and+White+Space+Access:+The+Practical+Reality&ots=zLC46EOxJs&sig=egLx5KFJFw2T2B98ilGIzPIGga8&redir_esc=y#v=onepage&q=Opportunistic%20Spectrum%20Sharing%20and%20White%20Space%20Access%3A%20The%20Practical%20Reality&f=false <i>“Contexto Internacional”</i>
	Este libro aborda el uso compartido del espectro oportunista y el acceso a espacios en blanco, prestando especial atención a las consideraciones y soluciones prácticas. Analiza aspectos de estándares pioneros como el estándar IEEE 802.22 "Wi-Far", el estándar IEEE 802.11af "White-Fi", los estándares del Comité de Estándares de Redes de Acceso al Espectro Dinámico IEEE y los estándares de Sistemas de Radio de Reconfiguración ETSI. Investiga soluciones regulatorias y vinculadas a las normativas que ayudan a compartir el espectro de manera oportunista y al acceso a espacios en blanco, incluidos enfoques de bases de datos de ubicación geográfica y mejoras en la concesión de licencias.

9	IEEE 802.22, SUPER WI-FI. Autores: José Antonio Castro del Portillo, Loraine Perdomo Gutiérrez, Ismary Lavandera Hernández, Juan Justo Morales Artículo: Revista Telemática. Vol. 16. No. 1 / enero - abril 2017 Disponible: https://revistatelematica.cujae.edu.cu/index.php/tele/article/view/248/231 <i>"Contexto Internacional"</i>
	Este artículo presenta una visión general del estándar IEEE 802.22 WRAN o comúnmente llamado Súper Wi-Fi o White-Fi, el cual es un estándar basado en la tecnología de Radio Cognitivo y tiene como finalidad brindar servicios de banda ancha en zonas donde la densidad de población es relativamente baja, de manera económica y alcanzando grandes distancias. El IEEE 802.22 usa para sus transmisiones los canales disponibles de la televisión o espacios en blancos (White Space) en el rango de operación de 54 – 862 MHz correspondientes a las bandas UHF/VHF, bajo la premisa de no causar interferencia a otros servicios autorizados, lo que trae consigo un mejor uso del espectro radioeléctrico. Para su correcta operación se apoya de las técnicas de Radio Cognitivo, que se ocupa de escanear y detectar en todo momento los canales disponibles del espectro en el intervalo de operación del estándar.
10	Database-Assisted Television White Space Technology: Challenges, Trends and Future Research Directions. Autores: KELECHI HILARY ANABI, ROSDIADEE NORDIN, AND NOR FADZILAH ABDULLAH Artículo : <i>IEEE Access</i>, vol. 4, pp. 8162-8183, 2016, doi: 10.1109/ACCESS.2016.2621178. Disponible: https://doi.org/10.1109/ACCESS.2016.2621178 <i>"Contexto Internacional"</i>
	Este artículo trata sobre los desafíos en las redes TVWS asistidas por bases de datos utilizando el marco de análisis SLEPT (social, legal, económico, político y tecnológico) y su acercamiento a un potencial despliegue comercial. Teniendo en cuenta que SLEPT es un modelo de gestión que utiliza el análisis cuantitativo, esto es apoyado en los múltiples proyectos pilotos que se encuentran en marcha a nivel mundial. Nos muestra como esta tecnología ha sido aceptada por la sociedad, la importancia de involucrar y lograr la voluntad política los temas legales importantes a revisar, sin dejar a un lado de realizar un análisis completo de las tendencias,

	desafíos y las respectivas investigaciones que abarcan la tecnología TVWS, coexistencia con tecnologías actuales y por último muestra una encuesta que refleja las tendencias actuales (2016) sobre TVWS.
11	A SPECTRUM SENSING TECHNIQUE BASED ON AUTOCORRELATION AND EUCLIDEAN DISTANCE AND ITS COMPARISON WITH ENERGY DETECTION FOR COGNITIVE RADIO NETWORKS Autor: Héctor Reyes, Sriram Subramaniama ,Naima Kaabouchawen, Chenhub Artículo: Revista computer & electric engineering amy 2016 Disponible: naima_kaabouch_euclidean_distance_2016.pdf (sciencedirectassets.com) <i>"contexto internacional"</i> Este artículo describe un método para la detección de espectro basado en la autocorrelación de las muestras recibidas. El método que se propone en dicho estudio propuesto se evaluó a través de experimentos y se observaron las probabilidades de detección y falsa alarma a diferentes relaciones señal-ruido (SNR). Para esto fue utilizada para los experimentos una plataforma de un conjunto de dispositivos Universal Software Radio Peripheral™ (USRP™) haciendo las veces de terminales de radiofrecuencia integrados estos equipos al software GNU Radio. Con esta combinación se pudo establecer el procesamiento de la señal que era manejada con el software GNU Radio, para así poder emular el ruido gaussiano de diferentes niveles para poder realizar cambios de desviación estándar de un generador de números aleatorios con la ayuda de Python. Entre otras métricas medidas, se varió la potencia de salida de un generador de señales para obtener diferentes niveles de SNR. Se realizó la derivada de una métrica denominada distancia euclidiana para analizar la autocorrelación de las muestras recibidas por el dispositivo USRP™ y así poder escoger entre dos situaciones planteadas: solo ruido presente o señal más ruido presente. El método propuesto se comparó con dos métodos: el primero basado en el valor de la autocorrelación del primer desfase y el otro basado a nivel de la potencia obtenida, conocido como técnica de detección de espectro de detección de energía.
12	ESPACIOS BLANCOS DE LA TV PARA ZONAS RURALES. Autores: Cuevas-Ruíz J.L. Artículo : Conferencia CPRLATAM Conference, Cartagena, Colombia, June 22-23rd, 2017 in coordination with CLT2017, June 22-23rd, 2017.

	Disponible: https://www.researchgate.net/publication/318279621 <u>Espacios blancos de la TV para zonas rurales</u> <i>“Contexto Internacional”</i>
	La tecnología TVWS, es una alternativa que está siendo evaluada en diferentes partes del mundo como solución de conectividad en zonas de alta complejidad de acceso como lo son las zonas rurales. Debido a sus beneficios en cuanto a condiciones de propagación, presenta mejores ambientes de operación que las brindadas por Wifi, 3G Y 4G. Los TVWS se pueden gestionar de dos formas haciendo uso de técnicas de radio cognitiva: uno para detectar los espacios en blanco en tiempo real (sensado de espectro) y la segunda haciendo uso, de una base de datos geo-localizadas donde ya se encuentran especificados los huecos espectrales en las zonas de estudio, dicha información es calculada por un método que tiene en cuenta factores de entorno como orografía del terreno entre otros, dicho método es conocido como “Longley-Rice”. En México, se realizó un estudio de la cobertura de las estaciones trasmisoras en los estados del país utilizando el método “Longley-Rice” como solución tecnológica para la conectividad en zonas rurales y también para identificar los grandes beneficios que tiene los TVWS para disminuir la brecha digital en zonas de alta complejidad de acceso
13	EL PROBLEMA DE LAS COMUNICACIONES RURALES: ESTUDIO Y SELECCIÓN DE LAS MEJORES SOLUCIONES Autores: Antonio Castro Lechtaler ,Alejandro Arroyo Arzubi, Fernanda Carmona, Antonio Foti, Rubén Fusario, Aníbal Intini, Alejandro Oliveros, Alejandro Echazú, Germán Kurt Grin. Artículo *: <i>XX Workshop de Investigadores en Ciencias de la Computación - RedUNCI - UNNE - ISBN 978-987-3619-27-4 ; 26 y 27 abril del 2018.</i> Disponible: http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/67174 <i>“Contexto Internacional”</i>
	Una de las problemáticas más prominentes en las zonas rurales del mundo es la llegada de servicios de conectividad, es decir acceso a internet, varios grupos de investigación a través de

	patrocinadores públicos y privados han evaluado diferentes soluciones tecnológicas que abarque dicho problema. En Argentina, se ha formado un grupo de investigación conocido como “<i>Grupo de Investigación organizado en Red de Universidades Nacionales</i>” que tiene como función principal encontrar una solución tecnología para suplir la necesidad de acceso a internet en zonas de alta complejidad como lo son las rurales de su país. El estudio que realizo “<i>Grupo de Investigación organizado en Red de Universidades Nacionales</i>” contempló el estándar IEEE 802.xx que recomienda especificaciones técnicas de las Comunicaciones inalámbricas; en una primera estancia evaluó soluciones tecnológicas del estándar IEEE 802.11 donde obtuvieron resultados poco satisfactorios en la zona de estudio, pero en el 2011, se dio la aprobación del estándar “IEEE 802.22: Cognitive Wireless Regional Area Network - Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY)” que permite establecer enlaces de 30 a 70km entre estaciones base, utilizando frecuencias no restringidas por entes gubernamentales. En efecto, dichas investigaciones expusieron que la tecnología del estándar IEEE 802.22 puede ser una alternativa como solución tecnológica de conectividad en zonas rurales, de hecho, pueden contribuir al aprovechamiento correcto del espectro radioeléctrico de nuevas tecnologías que se le puedan dar aplicación.
14	CONSIDERACIONES PARA EL DESPLIEGUE DE REDES BASADAS EN RADIO COGNITIVA: OCUPACIÓN Y REGULACIÓN DEL ESPECTRO Autores: Carro, Gonzalo, Hernández, Patricia, Beltramelli, Federico, Simon, María, Capdehourat, Germán, Rodríguez, Benigno Artículo: Revista Politécnica - octubre 2019, Vol. 44, No. 1 Disponible: http://scielo.senescyt.gob.ec/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1390-01292019000400021 “Contexto Internacional”
	Un concepto que ha llamado la atención de la comunidad científica es el CR (Cognitive radio, por sus siglas en inglés) sistema que utiliza su entorno para obtener información y adaptarla a un objetivo definido, abriendo una puerta al desarrollo y aprovechamiento del espectro radioeléctrico como pieza clave de la quinta generación (5G) en cuestión de sistemas celulares.

El uso de sistemas basados en CR brinda posibilidades de aplicación en cuestión de aumentar cobertura de tecnologías que ofrecen anchos de banda con niveles de propagación óptimos a nivel de telecomunicaciones, redes de área corporal a nivel medico WBAN (Wireless Body Área Network), seguridad pública y auge de nuevas tecnologías. La implementación de dicho sistema, trae consigo algunos desafíos como: colisión de acceso al medio, acceso y descripción de bases de datos que deben estar formuladas de acuerdo a la regulación del país, coexistencia de estaciones transmisoras y confiabilidad en el método de sensado de espectro que utiliza la orografía de un territorio para cálculo de huecos espectrales. En el mundo se han realizado investigaciones y prototipos de la CR en aplicación de dicho campo, por ejemplo, en Japón el National Institute of Information and Communications Technology (NICT) desarrollo un prototipo que efectúa los detalles de PHY y MAC del estándar 802.11af descritos en el año 2012, dicho prototipo conto con una interfaz inalámbrica y la otro en multibanda soportando interfaces USB, LTE y WiMAX. También se han destacado proyectos como streaming de video en vivo por medio de la TVWS, sensores inalámbricos que ofrecen alertas como prevención de inundaciones por medio de TVWS, entre otros

Tabla 1. Antecedentes.

4.1.2. Terminología

Para entender el ámbito en el que se fundamenta la factibilidad técnica de implementar tecnología TVWS se describen los siguientes términos, que se mencionaran en el desarrollo de este documento:

- 4.1.2.1. **3G.** Tecnología móvil de tercera generación la cual permite enviar y recibir datos de una manera eficiente, con manejo de ancho de banda mayor entre 1 Mbps y 4 Mbps.
- 4.1.2.2. **4G.** Tecnología móvil de cuarta generación la cual permite enviar y recibir datos de una manera eficiente, con manejo de ancho de banda mayor alcanzando 300 Mbps siendo más; veloz considerada tecnología Lte avanzada.
- 4.1.2.3. **5G.** Tecnología móvil de quinta generación la cual permite enviar y recibir datos de una manera eficiente y veloz, con manejo de ancho de banda mayor a las anteriores tecnologías, promete ser de 10 a 20 veces más veloz que 4g que pretende descongestionar las actuales tecnologías inalámbricas; considerada una evolución de la tecnología Lte.

- 4.1.2.4. **ANE (Agencia Nacional del Espectro).** Entidad encargada de administrar de manera eficiente el espectro radioeléctrico por medio de la planeación, atribución, vigilancia y control del mismo, tomado de (EL PRESIDENTE DE LA REPÚBLICA DE COLOMBIA, 2011)
- 4.1.2.5. **Banda UHF.** Son bandas de frecuencia entre 300 y 3000 MHz, que por su longitud de onda permiten el uso de dispositivos móviles, , “una banda muy empleada en servicios radioeléctricos de voces bidireccionales, denominados two way radios (Huidobro y Ordoñez, 2013, p.206).
- 4.1.2.6. **Base de datos de espacios en blanco (BDEB):** La definición de BDEB en Colombia, según la resolución No. 461 de 2017 liderada por la ANE, es: Herramienta software administrada por la ANE que contiene la lista de canales disponibles y responde a una petición realizada por un dispositivo de espacios en blanco. Esta BDEB entrega como respuesta una lista de canales disponibles que el dispositivo puede usar. Para obtener la lista de canales disponibles la BDEB tiene en cuenta la ubicación geográfica del dispositivo, las asignaciones existentes en la banda 470 MHz a 698 MHz y las condiciones de coexistencia, para garantizar la protección del servicio de radiodifusión de televisión contra interferencias. Las BDEB, permiten, entre otras cosas, controlar el acceso a los TVWS.
- 4.1.2.7. **Canales de frecuencia.** Tomando un ejemplo son como lo carriles de una autopista por donde transitan nuestros datos, estas hacen parte de un espectro; estas frecuencias varían en cada uno de los países ya que están sujetas a las regulaciones locales.
- 4.1.2.8. **DVB-T2.** Es la evolución de DVB-T la traducción de sus siglas es Difusión de video Digital y se asocia al consorcio que crea los estándares la T indica que es terrestre y el 2 indica que es la segunda generación y esta generación trae mejoras como la retransmisión de Tv que lo hace de mejor calidad.
- 4.1.2.9. **Dispositivo Maestro:** En el marco de la normativa expedida por la ANE, el dispositivo maestro es aquel que realiza una petición de canales disponibles directamente a la base de datos de espacios en blanco para hacer uso del espectro y que tiene la capacidad de realizar peticiones de canales disponibles para los dispositivos esclavos a él asociados. (ANE, Resolución No. 461 del 1 de agosto de 2017, p. 5).
- 4.1.2.10. **Dispositivo Esclavo:** Dispositivo de espacios en blanco asociado a un dispositivo maestro. El dispositivo esclavo realiza una petición de canales disponibles a la base de

datos de espacios en blanco a través de su dispositivo maestro asociado (ANE, Resolución No. 461 del 1 de agosto de 2017, p. 5).

- 4.1.2.11. **E.I.R.P. (*Effective Isotropic Radiated Power*)**. Potencia isotrópica radiada equivalente, significa, por definición, la “potencia que debe ser radiada por una antena isotrópica hipotética para lograr el mismo nivel de señal en la dirección de máxima radiación de una antena”, tomado de (Delta, 2021)
- 4.1.2.12. **Enlaces de Microondas**. Enlace en telecomunicaciones que depende de tres componentes un transmisor, aire y un receptor, complementándose con torres, con limitantes de distancia y disminuyendo al máximo los obstáculos como arbustos, viviendas para no afectar la transmisión.
- 4.1.2.13. **Estaciones transmisoras**. son instalaciones fijas o moderada de radio donde se encuentran 1 o varios transmisores o receptores que se intercomunican entre varias estaciones al igual prestan servicios de radios móviles, celular o internet.
- 4.1.2.14. **Espacios en blanco de Televisión (TVWS)**. Es una tecnología que utiliza las frecuencias de radiodifusión de televisión (ANE, 2020) para brindar conectividad utilizando enfoques de radio cognitivo.
- 4.1.2.15. **Espectro** Es un recurso natural finito que a su vez sirve como medio para propagar ondas electromagnéticas como características como la que no es cableado por lo tanto sirve a nivel inalámbrico siendo el implementado para radiodifusión sonora.
- 4.1.2.16. **Espectro Radioeléctrico (ERE)**. Es una porción del campo electromagnético, que se usa para brindar servicios de telecomunicaciones como: radio, televisión, telefonía móvil, satélites, entre otros, según (Unión International de las Telecomunicaciones (UIT), 2016).
- 4.1.2.17. **Frecuencias Licenciadas**. Son las usadas por lo general en transmisiones punto a punto y cuentan con una gran capacidad de transmisión de datos siendo reguladas por las agencias reguladoras de espectro.
- 4.1.2.18. **Frecuencias No Licenciadas**. En estas Frecuencias cualquier persona puede transmitir y son libres de licencia; las más comunes son las 2.4 GHz y 5 GHz utilizadas a nivel empresarial o doméstico; son utilizadas por aplicaciones como Wi-fi.
- 4.1.2.19. **Gnu Radio** Herramienta de software libre y código abierto que proporciona la capacidad de procesar señales para implementar y emular radios a nivel de software.

- 4.1.2.20. **Longley-Rice.** Es una técnica que se utiliza para el cálculo de atenuación de señales de radio con parámetros específicos como distancia y rangos de frecuencia.
- 4.1.2.21. **National Institute of Information and Communications Technology (NICT)** . Agencia encargada de promover a nivel de las TIC a nivel de investigación y desarrollo para brindar prosperidad, crecimiento económico en Japón.
- 4.1.2.22. **Radio Cognitiva (CR).** Es Una tecnología que permite que el transmisor de un radio pueda adaptarse a su entorno, es decir, que emplean espectro esparcido por salto de frecuencia, para determinar la mejor frecuencia teniendo en cuenta variables de interferencias, según (García, 2019).
- 4.1.2.23. **Televisión Digital Terrestre (TDT).** Estándar adaptado por Colombia, conocido como DVB-T2 (Digital Video Broadcasting-Terrestrial) para realizar la transmisión de televisión digital, tomado de (RTVC, sistema de medios publicos, 2019)
- 4.1.2.24. **Unión internacional de telecomunicaciones (UIT).** Entidad encargada de las tecnologías de la información y la comunicación – TIC, de las Naciones Unidas, tomado de (UIT, 2021).
- 4.1.2.25. **WiMAX (Worldwide Interoperability for Microwave Access).** Estándar de comunicación, suscitado por el IEEE diseñado para proveer accesos vía radio de alta capacidad a distancias inferiores a 50 kilómetros y con tasas de transmisión de hasta 70 Mbps, tomado de (R&M International Consulting Group Ltd. Engineering, 2004).
- 4.1.2.26. **SLEPT (social, legal, económico, político y tecnológico).** es un modelo de gestión que utiliza el análisis cuantitativo a nivel social, legal, económico, político y tecnológico.
- 4.1.2.27. **Snr (Signal to Noise Ratio).** Es una proporción que existe entre la potencia que se encuentra en una señal a nivel de salida transmitida vs la potencia de ruido que interfiere dicha señal.
- 4.1.2.28. **WRAN.** (Wireless Regional Area Network) es una norma que apunta a conectar a pequeños sectores caracterizado por ser áreas aisladas, teniendo en cuenta que tiene más capacidad del alcance que WiMAX pero esto no lo hace más veloz que la misma.

4.2. Marco Legal

La tecnología TVWS está regulada por estándares y resoluciones que definen especificaciones técnicas y de uso, a continuación, se referenciará cada una de ellas:

4.2.1. Internacional

4.2.1.1. **IEEE 802.22.** Estándar para las WRAN (redes inalámbricas de área regional), con el uso de técnicas de radio cognitiva, titulado como “Standard for Information Technology - Local and Metropolitan Area Networks - Specific Requirements - Part 22: Cognitive Radio Wireless Regional Area Networks (WRAN) Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications: Policies and Procedures for Operation in the Bands that Allow Spectrum Sharing where the Communications Devices may Opportunistically Operate in the Spectrum of the Primary Service” según (IEEE, 2014).

4.2.1.1.1. IEEE 802.22.1. Estándar que describe las buenas prácticas para mejorar la protección de interferencias en el uso de frecuencias de televisión, titulado como “Standard for Information Technology-- Telecommunications and information exchange between systems-- Local and metropolitan area networks--Specific requirements Part 22.1: Standard to Enable Spectrum Sharing using Advanced Beaconing” según (IEEE, 2012).

4.2.1.1.2. **IEEE 802.22.2.** Estándar que describe técnicamente las buenas prácticas en la implementación de las WRAN con el estándar IEEE 802.22, titulado “*Information Technology - Telecommunications and information exchange between systems – Wireless Regional Area Networks (WRAN) - Specific requirements - Part 22.2: Recommended Practice for the Installation and Deployment of IEEE 802.22 Systems*” según (IEEE, 2006).

4.2.1.2. **IEEE 802.11af.** Estándar para las redes informáticas de las descritas en el IEEE 802.11, en este documento se describen las técnicas para operar en espacios en blanco de Televisión en bandas de VHF y UHF, como se especifica en (A. B. Flores, 2013)

4.2.2. Nacional

En Colombia, se está empezando a regular la tecnología TVWS por medio de resoluciones especificadas por la ANE.

4.2.2.1. **Resolución 461 del 01 de agosto del 2017.** “Por la cual se modifica la resolución 711 de 2016 para establecer las condiciones de uso de los dispositivos de los espacios en blanco” (ANE, Resolución 461 del 01 de agosto del 2017., 2017).

4.2.2.2. **Resolución 105 del 27 de marzo del 2020.** “Por medio de la cual se planea y atribuye el espectro radioeléctrico en Colombia” (ANE, Resolución 105 del 27 de marzo del 2020, 2020)

5. PROPUESTA DE LA SOLUCIÓN

5.1. Aspectos conceptuales

Este proyecto de investigación pretende determinar la factibilidad técnica de implementar la tecnología TVWS (Espacios en blanco de televisión) en las instituciones educativas rurales del departamento de Cundinamarca y por ende proveer servicios de conectividad a internet.

Para el desarrollo del proyecto de investigación, se empieza con un análisis de mercado de los operadores que ofrecen servicios de conectividad a internet en el departamento de Cundinamarca, luego de dicho análisis, se indaga en bases de datos de entidades gubernamentales como la Gobernación de Cundinamarca, el Mintic, DANE y ANE por la densidad poblacional, cantidad de instituciones educativas, estaciones base de Televisión, coberturas y parámetros técnicos de las mismas en el departamento. Una vez examinada dicha información, se extraen los datos relevantes. Se realizará un muestreo por medio del software Link Planner, para hallar línea de vista, cobertura nivel de Potencia, niveles y tipos de Interferencias, disponibilidad y latencias en 16 instituciones educativas cubiertas por estación base de Manjui.

5.2. Planeación Metodológica

La planeación metodológica se detallará en las siguientes Fases:

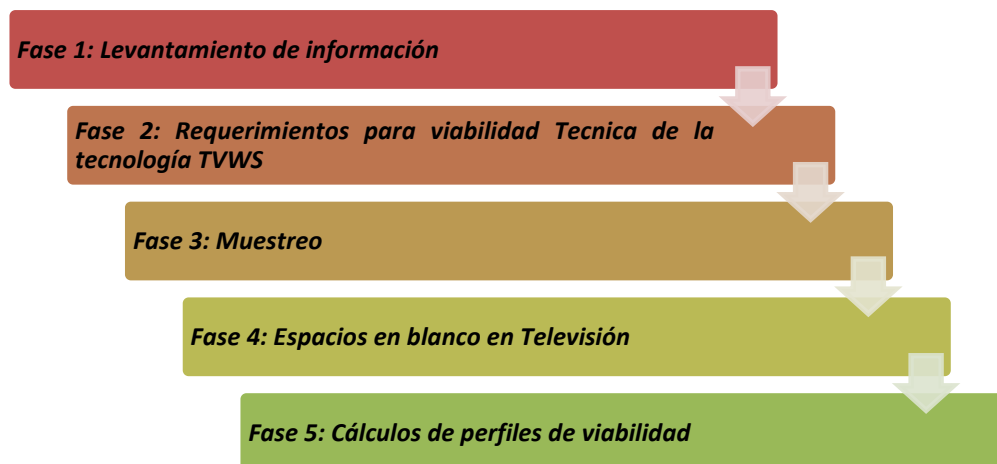


Figura 1. Estructura de la planeación metodológica del proyecto de Investigación

5.2.1. Fase 1: Levantamiento de información

- Identificación instituciones educativas del departamento en las zonas rurales
 - a. Provincias y Municipios
 - b. estadísticas de densidad poblacional
 - c. Estadísticas de uso de elementos Tic
- Estudio de Mercado de operadores de servicios de conectividad a Internet
 - a. Coberturas por proveedores
 - b. Tipos de tecnologías
- Información de los Nodos (estaciones base) de televisión
 - a. Listado de estaciones ubicadas en los municipios de Cundinamarca
 - b. Listado de nodos con canales y parámetros técnicos como : potencia y canales

5.2.2. Fase 2: Requerimientos para viabilidad Técnica de la tecnología TVWS

- Estación Base de televisión
 - Buscar por coordenadas geográficas y por municipio.
 - Identificar parámetros técnicos de las estaciones base como :potencia de Transmisión, azimut de las antenas, Ganancia (dBd), altura del centro de radiación (msnt), Pérdidas estimadas del sistema de Radiación (dB).
- Parámetros Técnicos de la Tecnología TVWS requeridos.

- Identificar manufactureras o gamas de la tecnología TVWS.
- Identificar la potencia de transmisión de los radios en la estación Base
- Determinar el tipo de banda y que se acople a la regulación colombiana.
- Determinar el ancho de banda (separación de banda - KHz)
- Tipos de Modulación que trabajan los equipos.

5.2.3. Fase 3: Muestreo

- Seleccionar una Estación Base
 - Obtener la huella de calor, que especifique la cobertura de la estación base.
- Realizar un muestreo de 16 instituciones Educativas rurales del Departamento que estén cubiertas por la huella de calor de la estación base seleccionada.

5.2.4. Fase 4: Espacios en blanco en Televisión

- Identificar los canales disponibles en cada una de las Instituciones Educativas
- Identificar las frecuencias en las que trabajan los canales de Televisión.

5.2.5. Fase 5: Cálculos de perfiles de viabilidad

- Determinar en los perfiles la Distancia
- Determinar línea de Vista
- Determinar Capacidad del enlace.

5.2.6. Fase 6: Conclusiones

- Se analizan los resultados en base a los cálculos e información recolectada en el muestreo.

5.3. Desarrollo Tecnológico

El desarrollo tecnológico del proyecto de investigación está contemplado en el análisis de la información recopilada como instituciones educativas, estaciones Base de Televisión , bandas de frecuencia dado que la normatividad colombiana establece la banda UHF 470-698 MHz; luego de obtener la información, se determina la estación Base y se toma un muestreo de determinadas instituciones educativas en zonas rurales , calculando datos como línea de vista, cobertura, tasa de transmisión entre otros; para ello se utilizara un software de viabilidad tecnica como link Planner y coberturas con Google Earth para ubicaciones geográficas y huellas de calor.

5.3.1. Instituciones Educativas del Departamento de Cundinamarca

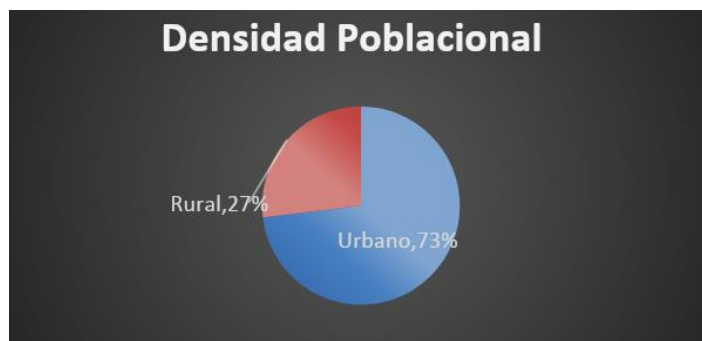


Figura 2. Densidad Poblacional en las sedes Educativas del departamento de Cundinamarca.

Según el DANE en el 2020, se registró 3926 instituciones educativas, de las cuales contiene una densidad poblacional de 616.386 Estudiantes en las 15 provincias y los 116 municipios que conforman el departamento. Todo ello, demostrando que el 65% de las sedes educativas se encuentran en zonas rurales, lo que conlleva una limitación en el acceso a servicios básicos como electricidad, televisión, radio, internet y Bienes Tic.

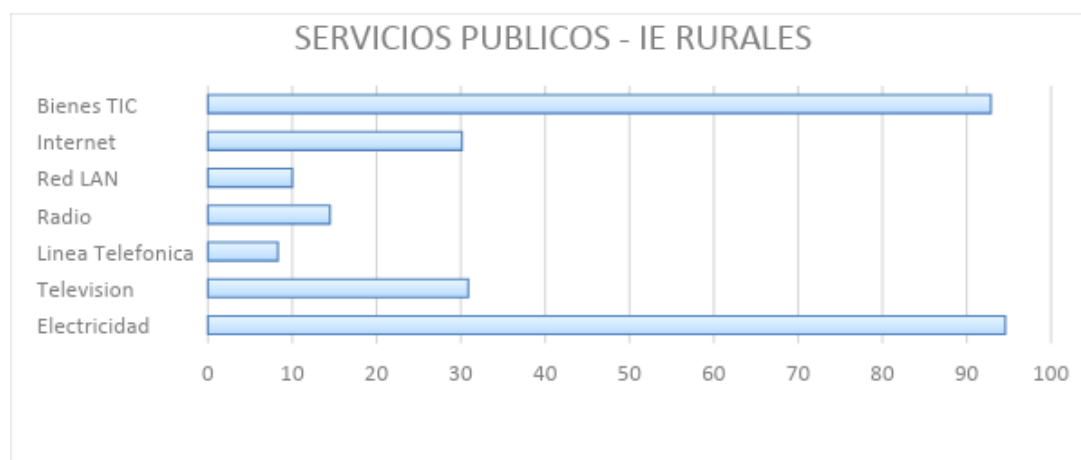


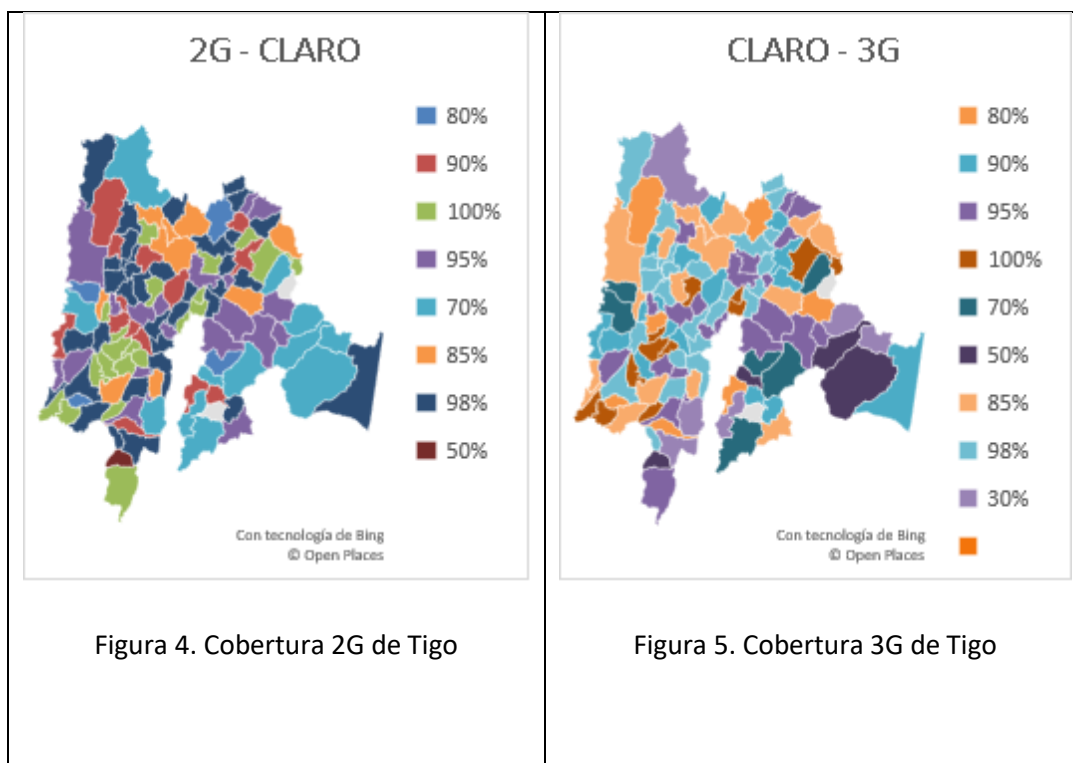
Figura 3. Servicios Públicos en las Sedes Rurales del departamento de Cundinamarca.

5.3.2. Proveedores de Conectividad a Internet

El 50 % de las sedes educativas son rurales y que solo el 11% tiene acceso a Internet, se realiza un analisis de las diferentes tecnologías que brinden este servicio, teniendo en cuenta las coberturas de los proveedores en el departamento de cundinamarca.

Se identifica Proveedores que informan cobertura en el departamento , con limitacion en el area rural y gran presencia en cabeceras municipales, entre los proveedores se describen entidades privadas como Tigo, Claro, Movistar , Azteca y entidades gubernamentales como el Mintic y La Gobernacion de Cundinamarca.

- **Proveedor Claro:** De acuerdo a los Mapas de cobertura que brindan el proveedor claro en (*Claro Fibra Optica, 2022*) y (*Claro Cobertura Movil, 2022*) para cobertura de fibra óptica y cobertura móvil en el departamento de Cundinamarca, se realiza unas estadísticas por municipio como se muestra en la siguiente Tabla 2.



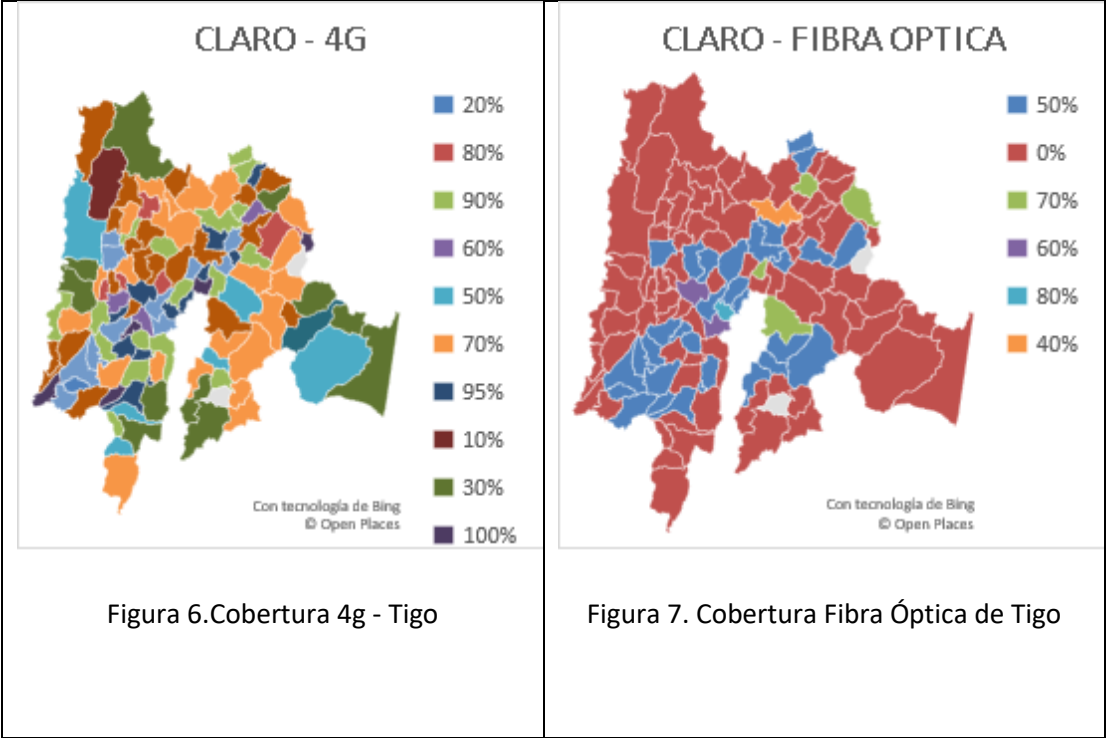
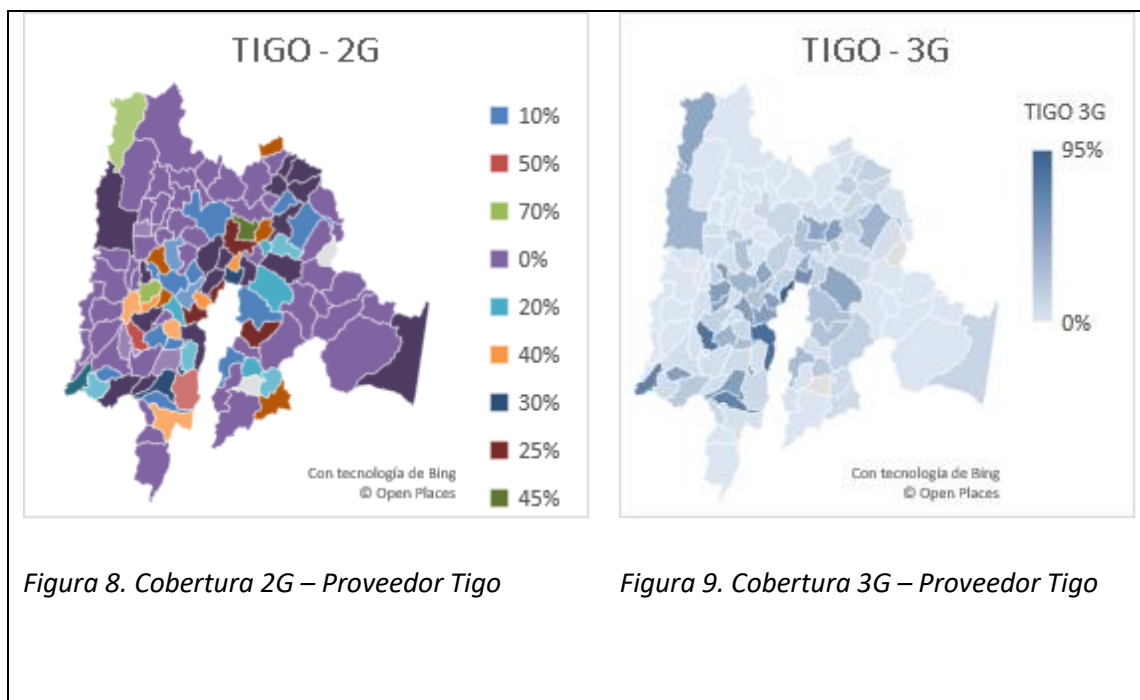


Tabla 2. Coberturas Proveedor Claro

- **Proveedor Tigo:** De acuerdo a los Mapas de cobertura que brinda el proveedor TIGO en (*Tigo Cobertura Fibra, 2022*) y (*Tigo Cobertura Movil, 2022*) para examinar la cobertura de fibra óptica móvil en el departamento de Cundinamarca, se realiza unas estadísticas por municipio como se muestra en la Tabla 3.



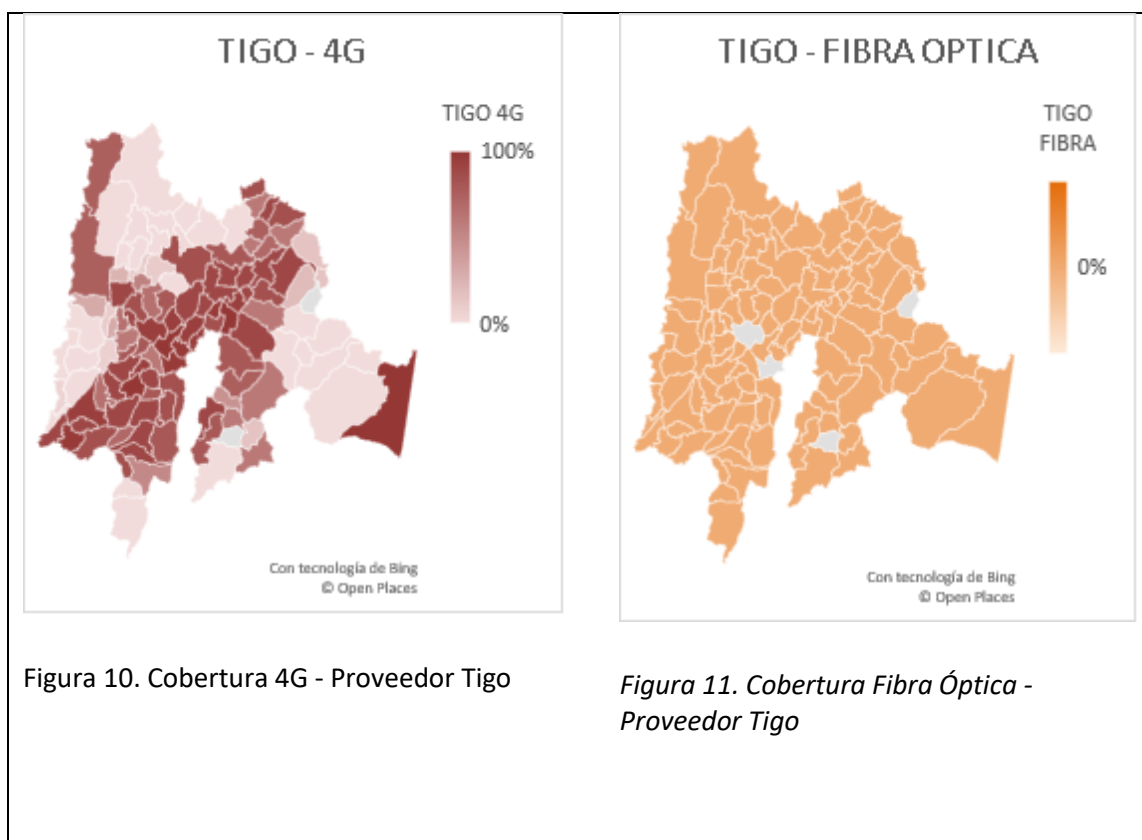


Tabla 3. Coberturas Proveedor Tigo

- Proyecto Gobernación de Cundinamarca.** La gobernación de Cundinamarca ha desarrollado el proyecto Autopista digital de Cundinamarca (ADC) que es una red de microondas con infraestructura del departamento y convenios con Policía, Ejército, Aeronáutica y municipios para brindar conectividad a instituciones oficiales del departamento, según datos de la gobernación, la cobertura del municipio se presenta a continuación:



Figura 12. Cobertura Red de Microondas - Gobernación de Cundinamarca.

5.3.3. Requerimientos para viabilidad Técnica de la tecnología TVWS

Para el desarrollo del proyecto de investigación se contempla la arquitectura establecida por la Agencia Nacional de Espectro (ANE) donde especifica los tipos de elementos que requiere el despliegue de la tecnología TVWS según la normatividad colombiana.

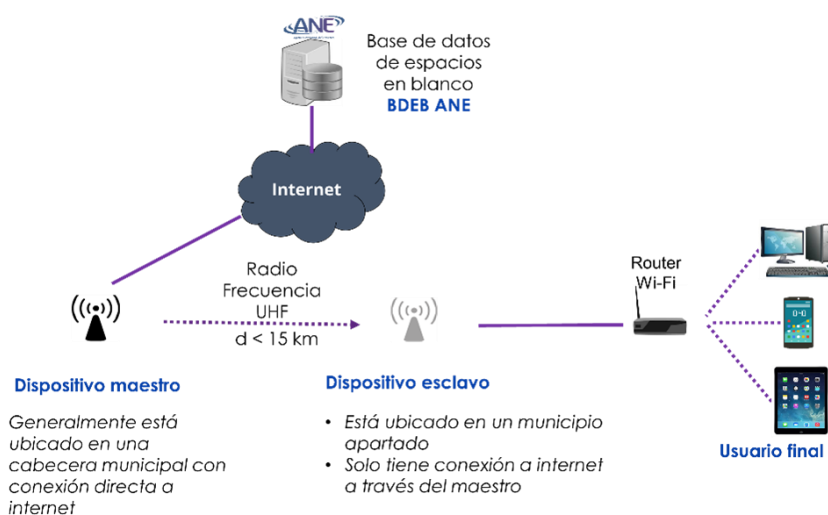


Figura 13. Topología de la arquitectura de la tecnología TVWS. obtenida de (Agencia Nacional del Espectro - ANE, 2022)

- **Estaciones base de televisión.** La ANE establece que en el departamento de Cundinamarca se encuentran 16 estaciones base de televisión, de entidades como RTVC y CCNP, dichas estaciones tienen parámetros como potencia de transmisión, azimut ($^{\circ}$) de las antenas,

Ganancia, pérdidas estimadas del sistema de transmisión obtenidas de (ANTV) (MINTIC) (MINTIC) (MINTIC, 2021).

Nombre	ESTACION	Potencia de transmisión (W RMS)	Sistema Radiante			
			Polaridad	Azimuth (°)	Ganancia (dBd)	Altura del centro de radiación (msnt)
Manjui	CCNP	10000	H	(8 : 8 : 8 : 8) (78 : 168 : 258 : 348)	14,01	121
Santa Librada	CCNP	6200	H	(4 : 4) (210 : 330)	14,6	38
Suba	CCNP	6200	H	(4 : 4 : 4 : 4) (0 : 90 : 180 : 270)	10,49	118
Berlín	CCNP	1300	H	(4)(0)	14,23	38
Guaduas	CCNP	50	H	(1) (237)	8,63	19
La Calera	CCNP	50	H	(1 : 1) (225 : 315)	7,91	24,5
Zipaquirá	CCNP	150	H	(1 : 1) (50 : 170)	7,9	29,5
Uvate	CCNP	100	H	(1) (0)	5	31

Pacho	CCNP	50	H	(1 : 1) (170 : 260)	7,79	39,5
Manjui	RTVC	5980	H	(8 : 8 : 8 : 8) (0 : 90 : 180 : 270)	13,2	146
Calatrava	RTVC	2390	H	(4 : 4 : 4 : 4) (0 : 90 : 180 : 270)	10,3	58
Cruz Verde	RTVC	2390	H	(4 : 4) (210 : 300)	12,6	38
Boquerón	RTVC	1500	H	(2 : 2) (90 : 180)	10,9	33
El Cable	RTVC	2390	H	(4 : 4) (330 : 240)	13,3	20
Cucunuba	RTVC	500	H	(2 : 2) (45 : 315)	10,9	29
Guaduas	RTVC	500	H	(2 : 2) (220 : 310)	10,9	39
Alto del Tigre	RTVC	2390	H	(4 : 8) (60 : 150)	16,8	102

Tabla 4. Parámetros de las estaciones base de televisión que se encuentra en el departamento.

- **Equipos TVWS.** Se realiza investigación de hardware que sean aplicables para la tecnología de espacios en blanco de televisión, se encuentran proveedores como redline, Ubiquiti y Adaptrum.

Parámetros	ESTACION BASE		
	RADWIN	ADAPTRUM	REDLINE
Rango de Frecuencia	470 MHz a 698MHz	: 400MHz - 1GHz (restricted by country)	470-614 MHz , 470-698MHz sin contar 602-620 MHz
Portadora	Doble (Compatible con 2 portadoras simultáneamente)	-	-
Capacidad	300	26.7Mbps/6MHz; 37.3Mbps/8MHz; 46.7Mbps/10MHz	160 Mbps

No de suscriptores	64	-	-
Potencia Máxima de Transmisión	25dBm	28dBm	18 dBm
Antena	Antena Externa de 12dBi de 90°	Antena Externa de 11dBi de 65° Antena Externa de 11dBi de 90°	Antena Externa
Regulación soportada	FCC,ETSI	FCC,ETSI	FCC
FCC	Hasta 4 Canales TVWS de 6 MHz consecutivos por portadora	6/7/8MHz Canales, soporta canales de expansión de 10MHz para 6MHz por canal	-
ETSI	Hasta 3 Canales TVWS de 8 MHz consecutivos por portadora		-
GPS	incorporado	incorporado	incorporado
Modulación	MIMO-OFDM, BPSK-QAM256	QPSK, 16QAM, 64QAM, 256QAM	BPSK to 256 QAM 7/8
Latencia (ms)	15		10

Tabla 5. Parámetros técnicos de proveedores de Hardware de la tecnología TVWS para estaciones Base, datos obtenidos de (RADWIN Ltd Corporate Headquarters, 2022) (Redline Communications, 2022) (Adaptrum Inc, 2022)

Cada proveedor tiene parámetros específicos y brinda soluciones de hardware de acuerdo a la necesidad, teniendo en cuenta la regulación que deben ser aplicados en sus equipos como potencia de transmisión y banda de frecuencia como los detalla (Redline Communications, 2022), (RADWIN Ltd Corporate Headquarters, 2022), (Adaptrum Inc, 2022).

Parámetros	SUSCRIPTOR /CPE		
	RADWIN	ADAPTRUM	REDLINE
Rango de Frecuencia	470 MHz a 698MHz	: 400MHz - 1GHz (restricted by country)	470-614 MHz , 470-698MHz sin contar 602-620 MHz
Portadora	Una sola Portadora	-	-

Capacidad	150	3Mbps/6MHz; 20Mbps/8MHz; 24Mbps/10MHz	160 Mbps
No de suscriptores	N/A	-	-
Potencia Máxima de Transmisión	23dBm	20dBm	26 dBm
Antena	Integrada	Antena Externa de 11dBi de 65° Antena Externa de 11dBi de 90°	Integrada
Regulación soportada	FCC,ETSI	FCC,ETSI	FCC
FCC	Hasta 4 Canales TVWS de 6 MHz consecutivos por portadora	6/7/8MHz Canales, soporta canales de expansión de 10MHz para 6MHz por canal	-
ETSI	Hasta 3 Canales TVWS de 8 MHz consecutivos por portadora		-
GPS	incorporado	-	
Modulación		QPSK, 16QAM, 64QAM, 256QAM	BPSK to 256 QAM 7/8
Latencia (ms)		15	10

Tabla 6. Parámetros técnicos de proveedores de Hardware de la tecnología TVWS para Suscriptores- CPE.

5.3.4. Muestreo

Recopilada la información sobre la tecnología TVWS e identificación de parámetros técnicos como proveedores de hardware, umbrales, normatividad colombiana e instituciones educativas, seleccionamos primero la estación Base que mayor cubrimiento tenga en el territorio departamental, para tal fin, nos basamos en los datos obtenidos en la tabla 7, donde identificamos que la estación base Manjui es la de mayor presencia.

Municipio	Tecnología	Canal	Frecuencia (MHz)	Operador	Potencia (dBμV/m)	Estación
Choachí	TDT	14	473	CARACOL TV S.A.	46,81	Suba

	TDT	15	479	RCN TV S.A.	46,49	Suba
	TDT	16	485	RTVC	47,76	Alto el Tigre
	TDT	17	491	TEVEANDINA	47,06	Alto el Tigre
Gachalá	TDT	14	473	CARACOL TV S.A.	44,95	Manjui
	TDT	15	479	RCN TV S.A.	44,57	Manjui
	TDT	16	485	RTVC	42,76	Manjui
	TDT	17	491	TEVEANDINA	45,46	Manjui
	Analógica	47	671	Señal Colombia	73,1	Chocontá
	Analógica	49	683	Canal Uno	72,59	Chocontá
	Analógica	51	695	Canal Institucional	74,66	Chocontá
Gachalá	TDT	14	473	CARACOL TV S.A.	34,13	Manjui
	TDT	15	479	RCN TV S.A.	34,52	Manjui
	TDT	16	485	RTVC	34,73	Manjui
	TDT	17	491	TEVEANDINA	35,31	Manjui
Guachetá	TDT	16	485	RTVC	41,99	Cucunuba
	TDT	17	491	TEVEANDINA	41,92	Cucunuba
	TDT	21	515	CARACOL TV S.A.	67,41	Saboya
	TDT	35	599	RTVC	54,02	Saboya
	TDT	39	623	TEVEANDINA	49,91	Saboya
	TDT	42	641	CARACOL TV S.A.	52,6	Saboya
	TDT	43	647	CARACOL TV S.A.	46,78	Villa de Leyva
	TDT	44	653	CANAL TRO	42,7	Saboya
	TDT	46	665	RCN TV S.A.	44,57	Villa de Leyva
	Analógica	23	527	Señal Colombia	32,02	Saboyá
	Analógica	26	545	Señal Colombia	33,08	Guachetá
Gama	TDT	14	473	CARACOL TV S.A.	39,08	Suba
	TDT	15	479	RCN TV S.A.	39,51	Suba
	TDT	16	485	RTVC	39,73	Alto el Tigre
	TDT	17	491	TEVEANDINA	39,82	Alto El Tigre
Gacheta	TDT	14	473	CARACOL TV S.A.	34,33	Manjui
	TDT	15	479	RCN TV S.A.	34,6	Manjui

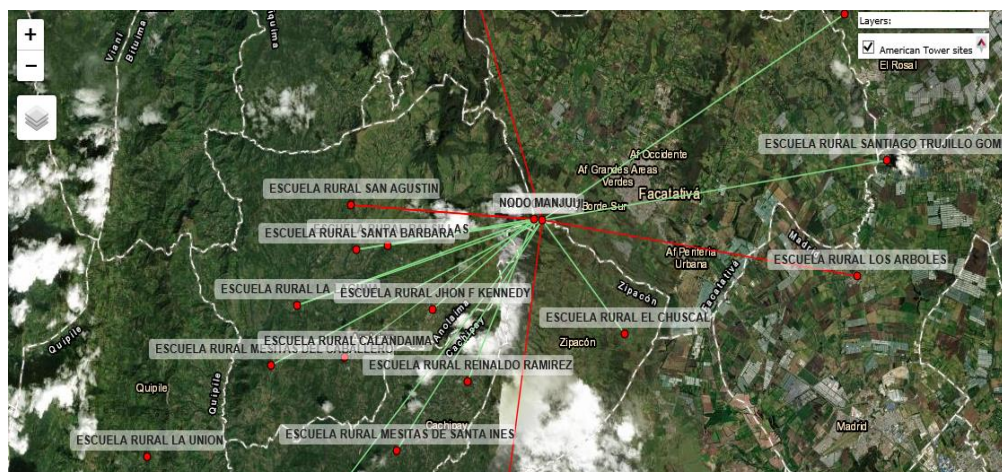
	TDT	16	485	RTVC	34,44	Manjui
	TDT	17	491	TEVEANDINA	34,65	Manjui
Guayabetal	TDT	14	473	CARACOL TV S.A.	39,18	Manjui
	TDT	15	479	RCN TV S.A.	39,57	Manjui
	TDT	16	485	RTVC	39,63	Manjui
	TDT	17	491	TEVEANDINA	40,34	Manjui
	Analógica	39	623	Canal Uno	64,32	Guayabetal
	Analógica	41	635	Canal Institucional	33,66	Guayabetal
	Analógica	43	647	Señal Colombia	65,28	Guayabetal
Junín	TDT	14	473	CARACOL TV S.A.	39,24	Manjui
	TDT	15	479	RCN TV S.A.	39,63	Manjui
	TDT	16	485	RTVC	39,52	Manjui
	TDT	17	491	TEVEANDINA	39,7	Manjui
La Mesa	TDT	14	473	CARACOL TV S.A.	73,98	Manjui
	TDT	15	479	RCN TV S.A.	75,34	Manjui
	TDT	16	485	RTVC	75,08	Manjui
	TDT	17	491	TEVEANDINA	74,74	Manjui
La Vega	TDT	14	473	CARACOL TV S.A.	51,37	Manjui
	TDT	15	479	RCN TV S.A.	46,38	Manjui
	TDT	16	485	RTVC	43,35	Manjui
	TDT	17	491	TEVEANDINA	42,28	Manjui
Nemocón	TDT	14	473	CARACOL TV S.A.	49,1	Zipaquirá
	TDT	15	479	RCN TV S.A.	49,66	Zipaquirá
	TDT	16	485	RTVC	46	Manjui
	TDT	17	491	TEVEANDINA	45,67	Manjui
Pandi	TDT	16	485	RTVC	39,93	Manjui
	TDT	17	491	TEVEANDINA	39,99	Manjui
	TDT	46	665	CARACOL TV S.A.	59,74	Berlín
	TDT	49	683	RCN TV S.A.	62,58	Berlín
	Analógica	31	575	CARACOL	45,75	Berlín
	Analógica	35	599	RCN	45,14	Berlín
Quetame	TDT	14	473	CARACOL TV S.A.	38,98	Buenavista
	TDT	15	479	RCN TV S.A.	39,38	Buenavista
	TDT	16	485	RTVC	43,18	Alto el Tigre
	TDT	17	491	TEVEANDINA	43,24	Alto el Tigre

San Francisco	TDT	14	473	CARACOL TV S.A.	55,29	Manjui
	TDT	15	479	RCN TV S.A.	55,48	Manjui
	TDT	16	485	RTVC	49,12	Manjui
	TDT	17	491	TEVEANDINA	48,41	Manjui
	Analógica	29	563	Canal Uno	32,34	San Francisco
	Analógica	33	587	Canal Institucional	32,4	San Francisco
	Analógica	36	605	Señal Colombia	37,2	San Francisco
San Juan Rioseco	TDT	14	473	CARACOL TV S.A.	56,38	Manjui
	TDT	15	479	RCN TV S.A.	58,11	Manjui
	TDT	16	485	RTVC	50,3	Manjui
	TDT	17	491	TEVEANDINA	48,46	Manjui
	Analógica	21	515	Señal Colombia	33,13	El Ruiz
	Analógica	30	569	RCN	32,19	El Recreo
	Analógica	36	605	CARACOL	27,41	El Recreo
Sasaima	TDT	14	473	CARACOL TV S.A.	63,36	Manjui
	TDT	15	479	RCN TV S.A.	62,52	Manjui
	TDT	16	485	RTVC	63,93	Manjui
	TDT	17	491	TEVEANDINA	60,5	Manjui
Suesca	TDT	14	473	CARACOL TV S.A.	45,36	Manjui
	TDT	15	479	RCN TV S.A.	45,19	Manjui
	TDT	16	485	RTVC	49,61	Manjui
	TDT	17	491	TEVEANDINA	47,69	Manjui
	TDT	27	551	CITY TV	50,98	Calatrava
	TDT	28	557	CANAL CAPITAL	42,34	Calatrava

Tabla 7. Cubrimiento de las estaciones base en algunos municipios del departamento de Cundinamarca (MINTIC, 2021) (MINTIC) (ANTV) (MINTIC)

Tomando los parámetros recopilados, se obtiene una huella de cobertura aproximada de la estación base seleccionada para el muestreo, detallando los niveles de potencia alcances y umbrales de los mismo.

Definida la estación base, tomamos un muestreo de 16 instituciones educativas que se encuentren en la huella de cobertura y que cumplan una distancia menor de 15km como lo establece la Ane.



Ya definida la estación base y las instituciones educativas, procedemos a realizar los perfiles de viabilidad, para obtener parámetros como distancia, tilt y azimuth desde la estación base como se especifica en la tabla 8.

No	NOMBRE DE LA INSTITUCION	Distancia (km)	Banda	Altura nivel del mar (meters AMSL)	Tilt (°)	Azimuth (°)
1	ESCUELA RURAL VICENTA GONZALEZ	14.961	UHF470 - 698 MHz	3273	-1.8°	59.11°
2	ESCUELA RURAL LOS ARBOLES	13.526	UHF470 - 698 MHz	3253	-2.9°	98.87°
3	ESCUELA RURAL PAYACAL	14.351	UHF470 - 698 MHz	3273	-6.2°	188.26°
4	ESCUELA RURAL REINALDO RAMIREZ	6.699	UHF470 - 698 MHz	3265	-10.6°	204.83°
5	ESCUELA RURAL BALSILLAS	6.302	UHF470 - 698 MHz	3275	-14.1°	260.89°
6	ESCUELA RURAL CALANDAIMA	9.559	UHF470 - 698 MHz	3265	-9.4°	237.31°
7	ESCUELA RURAL EL CHUSCAL	5.498	UHF470 - 698 MHz	3335	-6.3°	138.33°
8	ESCUELA RURAL JHON F KENNEDY	5.499	UHF470 - 698 MHz	3265	-13.6°	231.89°
9	ESCUELA RURAL LA LAGUNA	10.584	UHF470 - 698 MHz	3265	-10.7°	252.32°
10	ESCUELA RURAL LA MARIA	14.772	UHF470 - 698 MHz	3253	-6.1°	220.74°
11	ESCUELA RURAL MESITAS DE SANTA INES	10.603	UHF470 - 698 MHz	3253	-7.8°	215.73°
12	ESCUELA RURAL MESITAS DEL CABALLERO	12.704	UHF470 - 698 MHz	3253	-5.3°	244.83°
13	ESCUELA RURAL SAN AGUSTIN	7.784	UHF470 - 698 MHz	3275	-10.7°	273.72°
14	ESCUELA RURAL SANTA ANA	14.709	UHF470 - 698 MHz	3323	-2.3°	341.60°
15	ESCUELA RURAL SANTA BARBARA	7.651	UHF470 - 698 MHz	3265	-12.5°	261.47°
16	ESCUELA RURAL SANTIAGO TRUJILLO GOMEZ	14.804	UHF470 - 698 MHz	3323	-2.9°	81.27°

Tabla 8. Parámetros Técnicos de la Estación base Manjui con las Instituciones Educativas.

Con los perfiles de viabilidad se obtienen los datos para la instalación de antena y configuración en la interfaz del hardware que los sitios requieren.

No	NOMBRE DE LA INSTITUCION	Distancia (km)	Altura nivel del mar (meters AMSL)	Tilt (°)	Azimut (°)	Regulación
1	ESCUELA RURAL VICENTA GONZALEZ	14.961	2822	1.7	239.12°	ETSI
2	ESCUELA RURAL LOS ARBOLES	13.526	2572	2.8°	278.88°	ETSI
3	ESCUELA RURAL PAYACAL	14.351	1611	6.8°	8.26°	ETSI
4	ESCUELA RURAL REINALDO RAMIREZ	6.699	2016	10.5°	24.83°	ETSI
5	ESCUELA RURAL BALSILLAS	6.302	1690	14.1°	80.88°	ETSI
6	ESCUELA RURAL CALANDAIMA	9.559	1685	9.4°	57.31°	ETSI
7	ESCUELA RURAL EL CHUSCAL	5.498	2702	6.3°	138.33°	ETSI
8	ESCUELA RURAL JHON F KENNEDY	5.499	1937	13.6°	51.89°	ETSI
9	ESCUELA RURAL LA LAGUNA	10.584	1280	10.6°	72.31°	ETSI
10	ESCUELA RURAL LA MARIA	14.772	1041	8.5°	40.73°	ETSI
11	ESCUELA RURAL MESITAS DE SANTA INES	10.603	1444	11.0°	35.72°	ETSI
12	ESCUELA RURAL MESITAS DEL CABALLERO	12.704	1498	7.9°	64.82°	ETSI
13	ESCUELA RURAL SAN AGUSTIN	7.784	1780	23.1°	93.71°	ETSI
14	ESCUELA RURAL SANTA ANA	14.709	1498	7.9°	64.82°	ETSI
15	ESCUELA RURAL SANTA BARBARA	7.651	1567	12.5°	81.46°	ETSI
16	ESCUELA RURAL SANTIAGO TRUJILLO GOMEZ	14.804	2577	2.8°	261.28°	ETSI

Tabla 9. Parámetros Técnicos de las Instituciones Educativas.

La identificación de canales disponibles de cada institución educativa, , se realiza por medio de la base de datos de espacios en blanco proporcionados por la ANE , referenciada en (ANE, TVWS, 2022) por medio de coordenadas cartesianas

INSTITUCIONES EDUCATIVAS RURALES DEL DEPARTAMENTO																	
Canal	Frecuencia (MHz)	IE 1	IE 2	IE 3	IE 4	IE 5	IE 6	IE 7	IE 8	IE 9	IE 10	IE 11	IE 12	IE 13	IE 14	IE 15	IE 16
14	473	No	No	No	No	No	No	No	No	No	No	No	No	No	No	No	No
15	479	No	No	No	No	No	No	No	No	No	No	No	No	No	No	No	No
16	485	No	No	No	No	No	No	No	No	No	No	No	No	No	No	No	No
17	491	No	No	No	No	No	No	No	No	No	No	No	No	No	No	No	No
18	497	No	No	No	No	No	No	No	No	No	No	No	No	No	No	No	No
19	503	No	No	No	No	No	No	No	No	No	No	No	No	No	No	No	No
20	509	No	No	No	No	No	No	No	No	No	No	No	No	No	No	No	No
21	515	No	Si	No	No	Si	Si	No	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si
22	521	Si	Si	No	Si	Si	Si	Si	Si	Si	No	No	Si	Si	Si	Si	Si
23	527	No	Si	No	No	Si	Si	No	No	Si	No	No	Si	Si	No	Si	Si
24	533	No	No	No	No	Si	No	Si	Si	Si	No	No	Si	Si	No	Si	Si
25	539	No	Si	No	No	Si	Si	No	Si	Si	Si	Si	Si	Si	No	Si	Si
26	545	Si	No	No	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	No	Si	Si
27	551	No	No	No	No	No	No	No	Si	No	No	No	No	No	No	No	Si
28	557	No	No	No	No	No	No	No	No	No	No	No	No	No	No	Si	No
29	563	No	No	No	No	No	No	No	Si	No	No	No	No	No	No	No	Si
30	569	No	Si	No	No	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	No	Si	Si
31	575	No	No	No	No	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	No	Si	Si
32	581	No	Si	No	No	Si	Si	No	Si	Si	Si	Si	Si	Si	No	Si	Si
33	587	No	No	Si	No	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si
34	593	Si	Si	No	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si
35	599	No	Si	No	No	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si
36	605	No	No	No	No	Si	Si	No	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si
37	611	No	No	No	No	No	No	No	Si	No	No	No	No	No	No	No	No

38	617	No	Si	No	No	Si	Si	No	Si	Si	Si	Si	Si	No	No	Si	Si
39	623	Si	Si	No	Si	No	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	No	No	No	Si
40	629	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si
41	635	No	Si	No	No	Si	Si	No	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si
42	641	No	Si	Si	No	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si
43	647	Si	Si	Si	Si	No	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	No	No	No	Si
44	653	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	No	No	Si	Si
45	659	No	Si	No	No	No	Si	No	Si	Si	Si	Si	Si	No	No	No	Si
46	665	Si	Si	No	Si	Si	Si	No	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si
47	671	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si
48	677	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si
49	683	No	Si	No	No	Si	Si	No	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si
50	689	Si	Si	No	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si
51	695	No	No	No	No	No	No	No	No	No	No	No	No	No	No	No	No
No de Canales Disponibles		11	21	7	11	23	25	16	28	26	23	23	26	21	14	24	28
Ancho de Banda (MHz)		66	126	42	66	138	150	96	168	156	138	138	156	126	84	144	168

Tabla 10. Espacios disponibles de las Instituciones educativas.

5.3.5. Cálculos de perfiles de viabilidad

Para calcular el ancho de banda de una institución educativa se utiliza la suma de los canales totales disponibles para la institución (CT) Y lo multiplicamos por el ancho de banda de un canal de TV por lo tanto sería:

$$\text{Ancho de Banda (MHz)} = \left(\sum_{ct} \text{ct} \right) * 6\text{MHz}$$

Ecuación 1.

Una vez obtenido este dato podemos hallar la capacidad, utilizando el teorema de Shannon que dice (J.L., 2017):

$$C \text{ (Mbps)} = BW * \log_2(1 + SNR)$$

Ecuación 2.

Donde:

- BW= es el ancho de banda en (Hz)
- SNR= es la relación señal a ruido

Aplicando las fórmulas obtenemos el ancho de banda de las instituciones educativas, teniendo en cuenta los huecos espectrales que tiene cada sitio, dado que son diferentes por su coordenada geográfica.

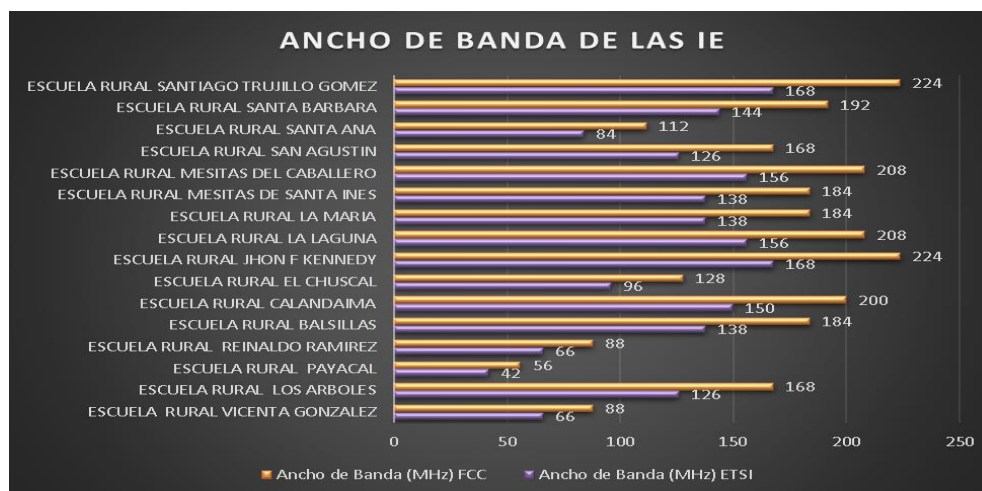


Figura 16. Ancho de Banda de las Instituciones Educativas.

No	NOMBRE DE LA INSTITUCION	Ancho de Banda (MHz)	Separación del Canal (KHz)	Interferencia (dBm)	Potencia (dBm)	S/N (dB)	Capacidad (Mbps)
1	ESCUELA RURAL VICENTA GONZALEZ	66	25	-130	14	20	290
2	ESCUELA RURAL LOS ARBOLES	126	25	-130	14	20	553
3	ESCUELA RURAL PAYACAL	42	25	-130	14	20	184
4	ESCUELA RURAL REINALDO RAMIREZ	66	25	-130	14	20	290
5	ESCUELA RURAL BALSILLAS	138	25	-130	14	20	606
6	ESCUELA RURAL CALANDAIMA	150	25	-130	14	20	659
7	ESCUELA RURAL EL CHUSCAL	96	25	-130	14	20	422
8	ESCUELA RURAL JHON F KENNEDY	168	25	-130	14	20	738
9	ESCUELA RURAL LA LAGUNA	156	25	-130	14	20	685
10	ESCUELA RURAL LA MARIA	138	25	-130	14	20	606
11	ESCUELA RURAL MESITAS DE SANTA INES	138	25	-130	14	20	606
12	ESCUELA RURAL MESITAS DEL CABALLERO	156	25	-130	14	20	685
13	ESCUELA RURAL SAN AGUSTIN	126	25	-130	14	20	553
14	ESCUELA RURAL SANTA ANA	84	25	-130	14	20	369
15	ESCUELA RURAL SANTA BARBARA	144	25	-130	14	20	632
16	ESCUELA RURAL SANTIAGO TRUJILLO GOMEZ	168	25	-130	14	20	738

6. CONCLUSIONES

- En la recopilación de información, se evidencio la limitación que presenta la conectividad a internet en las zonas rurales del departamento, sobre todo en las instituciones educativas, debido a que la cobertura tanto de proveedores privados como públicos se enfoca en zonas urbanas.
- De acuerdo al muestreo , se determina los espacios en blanco de televisión en cada una de las instituciones educativas, demostrando ocupación de frecuencias entre los canales del 14 al 20 correspondientes a las frecuencias 470MHz a 512MHz;por lo tanto, solo se dispone de las frecuencias 512 MHz a 692MHz asignadas a los canales del 21 al 50.
- Se establece que los canales 34 y 40 que corresponden a las frecuencias 593 MHz y 629 MHz, son la mejor opción para realizar la implementación de la tecnología TVWS para las Instituciones Educativas del muestreo, de acuerdo a su disponibilidad.
- Se detecta que la infraestructura de televisión en la zona de estudio tiene una cobertura del 92%, lo que brinda un aprovechamiento de dicha infraestructura para la implementación de la tecnología TVWS , proporcionando un bajo costo de despliegue.
- La factibilidad tecnica de implementar tecnología TVWS en las escuelas rurales del departamento es viable en cuanto a costo /beneficio.
- La tecnología TVWS cuenta con una gran variedad de fabricantes de equipos , debido a que dicha tecnología no está nueva , si no ha tomado fuerza por su aplicabilidad y ventajas dado que proporciona conectividad en situaciones geográficas poco favorables, ya sea por terrenos accidentados y/o obstáculos de tipo vegetal.
- La tecnología TVWS es una alternativa que varios países están aplicando para brindar conectividad en zonas rurales, debido a sus beneficios como cobertura y despliegue en conjunto con la televisión, su enfoque con radio cognitiva, es el futuro de las telecomunicaciones en cuestión de radios inteligentes, ya que el dispositivo toma variables de su entorno para aplicar o buscar frecuencia de operación sin interferencia, es decir con un piso de ruido bajo.
- Las diferentes estrategias que utiliza la radio cognitiva requieren de una herramienta fundamental, como lo es, la base de datos de espacios en blanco, en Colombia dicha base de datos está siendo realizada por la ANE con dispositivos de última tecnología en cuestión de identificación de espectro y estaciones base de trasmisión como cobertura de la misma.

- La implementación de la Tecnología TVWS requiere del interés de los entes gubernamentales y la comunidad, para que dicho proyecto prospere y sea exitoso.

Recomendaciones:

- Para cálculos de espacios en blanco , se debe tener en cuenta los umbrales de la regulación del país donde se ejecuta, donde que los fabricantes tienen umbrales por la regulación ETSI Y FCC.
- Los proveedores de la tecnología TVWS brindan soluciones enfocadas en topologías punto a punto, se encontró que Radwin brindan punto a multipunto.
- Para el cálculo de potencias, de la relación señal a ruido, se tomaron referencias, dado que no se tenían parámetros en campo.
- Para recopilación de Información , la ANE brinda varias pruebas piloto donde son guía para la implementación.

7. REFERENCIAS

- A. B. Flores, R. E. (octubre de 2013). IEEE 802.11af: a standard for TV White space spectrum sharing. *IEEE Communications Magazine*, págs. vol. 51, no. 10, pp. 92-100.
- Adaptrum Inc. (2022). *Adaptrum-ACRS2-B2000-Datasheet-0518*.
- Agencia Nacional del Espectro - ANE. (19 de 02 de 2022). *Radiodifusion sonora*. Obtenido de <https://www.ane.gov.co/SitePages/Gesti%C3%B3n%20t%C3%A9cnica/index.aspx?p=22>
- ANE. (19 de 02 de 2022). *ANE*. Obtenido de ANE: <https://www.ane.gov.co/SitePages/inicio.aspx>
- ANE, TVWS. (18 de 02 de 2022). *Consulta de canales disponibles*. Obtenido de Consulta de canales disponibles: <https://tvwhitespaces.ane.gov.co/app/>
- ANTV. (s.f.). *Resolución 1984 del 2018*.
- ANE. (2017). Resolución 461 del 01 de agosto del 2017. *Por la cual se modifica la Resolución 711 de 2016 para establecer las condiciones de uso de los dispositivos de espacios en blanco*. Bogotá: Resolución.
- ANE. (17 de 11 de 2020). *Agencia Nacional de espectro- Noticias*. Obtenido de Importante proyecto de conectividad para la Costa Caribe con TVWS fue anunciado hoy por el Director de la ANE: <https://www.ane.gov.co/SitePages/det-noticias.aspx?p=215>
- ANE. (2020). Resolución 105 del 27 de marzo del 2020. *Por medio de la cual se planea y atribuye el espectro radioeléctrico en Colombia*. Bogotá: Resolución.
- ANE. (05 de 03 de 2021). *Agencia Nacional del espectro - Noticias*. Obtenido de Agencia Nacional del espectro - Noticias: <https://www.ane.gov.co/SitePages/det-noticias.aspx?p=261>
- Claro Cobertura Movil. (15 de 02 de 2022). *Cobertura Movil*. Obtenido de Cobertura Movil: <https://www.claro.com.co/personas/soporte/mapas-de-cobertura/>
- Claro Fibra Optica. (15 de 02 de 2022). *Cobertura de Fibra Optica*. Obtenido de Cobertura de Fibra Optica: <https://pqroficinavirtualf.claro.com.co/crc/VisorCobertura>
- DANE. (2018). *Indicadores básicos de tenencia y uso de Tecnologías de la Información y . Cundinamarca: Boletín Técnico*.
- Delta. (13 de 09 de 2021). *E.I.R.P. (Effective Isotropic Radiated Power) - potencia isotrópica radiada equivalente*. Obtenido de E.I.R.P. (Effective Isotropic Radiated Power) - potencia isotrópica radiada equivalente: https://shopdelta.eu/e-i-r-p-effective-isotropic-radiated-power-potencia-isotropica-radiada-equivalente_l6_aid837.html

EL PRESIDENTE DE LA REPÚBLICA DE COLOMBIA. (03 de 11 de 2011). *DECRETO 4169 DE 2011*. Obtenido de DECRETO 4169 DE 2011:

<https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=44676>

García, J. Y. (2019). DETERMINACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS INSTANTÁNEAS DE SEÑALES PARA APLICACIONES DE TIEMPO REAL EN RADIO COGNITIVO. *Revista Telemática*, 78–95.

J.L., C.-R. (22 de 06 de 2017). *Espacios blancos de la TV para zonas rurales*. Obtenido de Espacios blancos de la TV para zonas rurales.:

https://www.researchgate.net/publication/318279621_Espacios_blancos_de_la_TV_para_zonas_rurales

IEEE. (15 de 09 de 2006). Information Technology - Telecommunications and information exchange between systems – Wireless Regional Area Networks (WRAN) - Specific requirements - Part 22.2: Recommended Practice for the Installation and Deployment of IEEE 802.22 Systems. *Information Technology - Telecommunications and information exchange between systems – Wireless Regional Area Networks (WRAN) - Specific requirements - Part 22.2: Recommended Practice for the Installation and Deployment of IEEE 802.22 Systems*.

IEEE. (05 de 12 de 2012). Standard for Information Technology--Telecommunications and information exchange between systems--Local and metropolitan area networks--Specific requirements Part 22.1: Standard to Enable Spectrum Sharing using Advanced Beaconing. *Standard for Information Technology--Telecommunications and information exchange between systems--Local and metropolitan area networks--Specific requirements Part 22.1: Standard to Enable Spectrum Sharing using Advanced Beaconing*.

IEEE. (27 de 03 de 2014). 802.22. *Standard for Information Technology--Telecommunications and information exchange between systems--Local and metropolitan area networks--Specific requirements Part 22.1: Standard to Enable Spectrum Sharing using Advanced Beaconing*.

José Ulises Avalos Gómez, U. P. (2018). *MITIGACIÓN DE TORMENTA DE BROADCAST EN LA TRANSMISIÓN DE MENSAJES DE EMERGENCIA USANDO PARTICIÓN DE ESPECTRO EN VANETS DE RADIO COGNOSCITIVO*. Mexico: Tecnológico Nacional de México en Celaya.

lacnic. (19 de 08 de 2020). *Agotamiento de IPv4: LACNIC asignó el último bloque*. Obtenido de Agotamiento de IPv4: LACNIC asignó el último bloque:

<https://www.lacnic.net/4847/1/lacnic/agotamiento-de-ipv4:-lacnic-asigno-el-ultimo-bloque>

MINTIC. (2021). *Resolución 1649 DE 2021*.

MINTIC. (s.f.). *Resolución 1709 DEL 2021*.

MINTIC. (s.f.). *Resolución 213 del 2019*.

RADWIN Ltd Corporate Headquarters. (2022). *RADWIN Outland*.

Redline Communications. (2022). *Redline-DS-RDL-3000-XP-Enterprise-TVWS-USA*.

R&M International Consulting Group Ltd. Engineering, R. &. (2004). *Estudio de Nuevas Tecnologías (WIMAX, FSO, HAPS y UWB)*. R&M International Consulting Group Ltd.

RTVC, sistema de medios publicos. (7 de 12 de 2019). *Television digital terrestre*. Obtenido de Televisión digital terrestre: <https://www.rtv.gov.co/proyectos/television-digital-terrestre>

UIT. (01 de 01 de 2021). *Sobre la Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT)*. Obtenido de Sobre la Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT): <https://www.itu.int/es/about/Pages/default.aspx>

Unión International de las Telecomunicaciones (UIT). (2016). *Directrices de política y aspectos ECONÓMICOS DE ASIGNACIÓN Y USO DEL ESPECTRO RADIOELÉCTRICO*. Suiza, Ginebra.

Tigo Cobertura Fibra. (15 de 02 de 2022). *Cobertura Fibra*. Obtenido de Cobertura Fibra: <https://www.tigo.com.co/mapas-de-cobertura>

Tigo Cobertura Movil. (15 de 02 de 2022). *Cobertura Movil*. Obtenido de Cobertura Movil: <https://www.tigo.com.co/mapas-de-cobertura#cobertura-movil>

8. ANEXOS

8.1. Densidad Poblacional

Información obtenida de la Ane (ANE, 2022)

Departamento	Sexo	Total		
		Total	Urbano	Rural
Cundinamarca	Total	616.386	450.641	165.745
Cundinamarca	Hombres	313.044	226.252	86.792
Cundinamarca	Mujeres	303.342	224.389	78.953

Tabla 11. Densidad población del departamento de Cundinamarca en las instituciones educativas

8.2. Estaciones Base de Cundinamarca

No	Name	DESCRIPCION	Latitude	Longitude	Maximum Height (m)
1	ALTO EL TIGRE	RTVC	04.30231N	073.74183W	10
2	BERLIN	CCNP	04.19917N	074.40800W	10
3	Boquerón	RTVC	04.47714N	074.07522W	10
4	CALATRAVA	RTVC	04.72706N	074.08061W	10
5	CRUZ VERDE	RTVC	04.52111N	074.07422W	10
6	Cucunuba	RTVC	05.21342N	073.77542W	10
7	EL CABLE	RTVC	04.63142N	074.05114W	10
8	Guaduas	CCNP	05.07626N	074.59372W	10
9	Guaduas	CCNP	05.07675N	074.59286W	10
10	La Calera	CCNP	04.71559N	073.96298W	10
11	MANJUÍ	RTVC	04.80264N	074.39044W	10
12	Pacho - San Miguel	CCNP	05.17852N	074.12710W	10
13	SANTA LIBRADA	CCNP	04.52025N	074.10281W	10

14	SUBA	CCNP	04.74354N	074.07477W	10
15	Ubaté	RTVC	05.21419N	073.77497W	10
16	Zipaquirá	CCNP	05.03354N	074.00713W	10

Tabla 12. Listado de estaciones base de televisión en Cundinamarca.

8.3. Parámetros Técnicos de las estaciones base

ESTACIONES CCNP (CARACOL Y RCN)										
Estación	Coordenadas		Canal Radio eléctrico	Potencia de transmisión (W RMS)	Sistema Radiante				Pérdidas estimadas del sistema de transmisión (dB)	Municipios dentro del área de servicio(Código DANE)
	Latitud	Longitud			Pol	Configuración de antenas Acimut de radiación (°)	Ganancia (dBd)	Altura del centro de radiación (msnt)		
Manjui	4°48'9.50"N	74°23'25.60" W	14, 15	10000	H	(8 : 8 : 8 : 8) (78 : 168 : 258 : 348)	14,01	121	1.574	[Municipios sujetos a verificación mediante medición]. Cocorná [05197], Samaná [17662], Girardot [25307], La Mesa [25386], Coyaima [73217], Espinal [73268], Falan [73270], Flandes

										[73275], Fresno [73283], Guamo [73319], Lérida [73408], Líbano [73411], Mariquita [73443], Melgar [73449], Ortega [73504], Purificación [73585]
Santa Librada	4°31'12.90" N	74° 6'10.10"W	14, 15	6200	H	(4 : 4) (210 : 330)	14,6	38	1.230	[Municipios sujetos a verificación mediante medición]. Bogotá D.C. [11001], Madrid [25430], Funza [25286], Mosquera [25473]
Suba	4°44'36.74" N	74° 4'29.17"W	14, 15	6200	H	(4 : 4 : 4 : 4) (0 : 90 : 180 : 270)	10,49	118	2.090	[Municipios sujetos a verificación mediante medición]. Soacha [25754], Facatativá [25269], Chía [25175], Cajicá [25126]

Berlín	4°11'57.00" N	74°24'28.80" W	46, 49	1300	H	(4)(0)	14,23	38	2.280	[Municipios sujetos a verificación mediante medición]. Arbeláez [25053], Fusagasugá [25290], Girardot [25307], Granada [25312], Nilo [25488], Pandi [25524], Pasca [25535], Pulí [25580], Ricaurte [25612], San Bernardo [25649], Silvania [25743], Tibacuy [25805], Ibagué [73001], Alvarado [73026], Anzoátegui [73043], Casabianca [73152], Chaparral [73168], Coello
--------	------------------	-------------------	--------	------	---	--------	-------	----	-------	---

										[73200], Coyaima [73217], Espinal [73268], Flandes [73275], Guamo [73319], Icononzo [73352], Murillo [73461], Ortega [73504], Palocabildo [73520], Roncesvalles [73622], Saldaña [73671], San Luis [73678], Santa Isabel [73686], Venadillo [73861], Villahermosa [73870]
Guaduas	5° 4'34.55"N	74°35'37.40" W	14, 15	50	H	(1)(237)	8,63	19	1.180	[Municipios sujetos a verificación mediante medición]. Guaduas [25320]

La Calera	4°42'56.12" N	73°57'46.72" W	14, 15	50	H	(1 : 1)(225 : 315)	7,91	24,5	1.835	[Municipios sujetos a verificación mediante medición]. La Calera [25377]
Zipaquirá	5° 2'0.75"N	74° 0'25.67"W	14, 15	150	H	(1 : 1)(50 : 170)	7,9	29,5	1.780	[Municipios sujetos a verificación mediante medición]. Cogua [25200], Zipaquirá [25899]
Ubaté	5°12'51.10" N	73°46'29.90" W	41, 44	100	H	(1)(0)	5	31	1.850	[Municipios sujetos a verificación mediante medición]. Cucunubá [25224], Villa de San Diego de Ubate [25843]
Pacho	5°10'42.68" N	74° 7'37.57"W	14, 15	50	H	(1 : 1)(170 : 260)	7,79	39,5	2.720	[Municipios sujetos a verificación mediante medición]. Pacho [25513]

Tabla 13. Parámetros técnicos de las estaciones base de televisión CNNP.

ESTACIONES RTVC Y TV ANDINA										
Estación	Coordenadas		Canal Radio eléctrico	Potencia de transmisión (W RMS)	Sistema Radiante				Pérdidas estimadas del sistema de transmisión (dB)	Municipios dentro del área de servicio(Código DANE)
	Latitud	Longitud			Pol	Configuración de antenas Acimut de radiación (°)	Ganancia (dBd)	Altura del centro de radiación (msnt)		
Manjui	4°48'11.10" N	74°23'36.50" W	16, 17	5980	H	(8 : 8 : 8 : 8) (0 : 90 : 180 : 270)	13,2	146	3,094	[Municipios sujetos a verificación mediante medición].], Agua de Dios [25001], Anapoima [25035], Anolaima [25040], Cachipay [25123], El Colegio [25245], El Peñón [25258], El Rosal [25260], Facatativá [25269], Fusagasugá

									[25290], Gachancipá [25295], Girardot [25307], Granada [25312], Guataquí [25324], Jerusalén [25368], La Mesa [25386], La Palma [25394], Madrid [25430], Mosquera [25473], Nariño [25483], Venecia [25506], Apulo [25599], Ricaurte [25612], Sibaté [25740], Sopó [25758], Subachoque [25769], Tenjo [25799], Tocaima [25815], Tocancipá [25817],
--	--	--	--	--	--	--	--	--	---

										Topaipí [25823], Villagómez [25871], Viotá [25878],
Calatrava	4°43'37.40" N	74° 4'50.20"W	16, 17	2390	H	(4 : 4 : 4 : 4) (0 : 90 : 180 : 270)	10,3	58	2,42	[Municipios sujetos a verificación mediante medición]. Bojacá [25099], Cajicá [25126], Chía [25175], Cogua [25200], Cota [25214], Funza [25286], Soacha [25754], Tabio [25785]
Cruz Verde	4°31'16.00" N	74° 4'27.20"W	16, 17	2390	H	(4 : 4) (210 : 300)	12,6	38	1,929	[Municipios sujetos a verificación mediante medición]. Bogotá D.C. [11001]

Boquerón	4°28'37.70" N	74° 4'30.80"W	16, 17	1500	H	(2 : 2) (90 : 180)	10,9	33	2,8	[Municipios sujetos a verificación mediante medición]. Cáqueza [25151], Chipaque [25178], Fomeque [25279], Ubaque [25841], Une [25845]
El Cable	4°37'53.10" N	74° 3'4.10"W	16, 17	2390	H	(4 : 4) (330 : 240)	13,3	20	1,639	[Municipios sujetos a verificación mediante medición]. Bogotá D.C. [11001]
Cucunubá	5°12'48.30" N	73°46'31.50" W	16, 17	500	H	(2 : 2) (45 : 315)	10,9	29	2,8	[Municipios sujetos a verificación mediante medición]. Saboya [15632], San Miguel de Sema [15676], Carmen de Carupa [25154], Cucunubá

										[25224], Fúquene [25288], Lenguazaque [25407], Sutatausa [25781], Villa de San Diego de Ubaté [25843]
Guaduas	5° 4'36.30"N	74°35'34.30" W	16, 17	500	H	(2 : 2) (220 : 310)	10,9	39	2,8	[Municipios sujetos a verificación mediante medición]. Guaduas [25320]
Alto del Tigre	4°18'8.30"N	73°44'30.60" W	16, 17	2390	H	(4 : 8) (60 : 150)	16,8	102	3,101	[Municipios sujetos a verificación mediante medición]. Paratebueno [25530], Villavicencio [50001], Acacías [50006], Barranca de Upía [50110], Cabuyaro [50124], Castilla La Nueva [50150],

									Cumara [50226], El Dorado [50270], Fuente de Oro [50287], Granada [50313], Puerto López [50573], Puerto Lleras [50577], Restrepo [50606], San Carlos de Guaroa [50680], San Juanito [50686], San Martín [50689], Maní [85139], Monterrey [85162], Villanueva [85440]
--	--	--	--	--	--	--	--	--	---

Tabla 14. Parámetros técnicos de las estaciones base de televisión RTVC y TV Andina

8.4. Instituciones Educativas seleccionadas

No	MUNICIPIO	ESCUELA	Coordenadas
1	EL ROSAL	ESCUELA RURAL VICENTA GONZALEZ	4.872090, -74.274690
2	Madrid	ESCUELA RURAL LOS ARBOLES	4.783770, -74.269970
3	La mesa	ESCUELA RURAL PAYACA	4.674210, -74.409030
4	Cachipay	ESCUELA RURAL REINALDO RAMIREZ	4.748100, -74.418830
5	Anolaima	ESCUELA RURAL BALSILLAS	4.794050, -74.449560
6	Anolaima	ESCUELA RURAL CALANDAIMA	4.756390, -74.465990
7	Zipacón	ESCUELA RURAL EL CHUSCAL	4.764220, -74.358990
8	Anolaima	ESCUELA RURAL JHON F KENNEDY	4.772390, -74.432470
9	La mesa	ESCUELA RURAL LA LAGUNA	4.774010, -74.484370
10	Cachipay	ESCUELA RURAL LA MARIA	4.701420, -74.477330
11	Cachipay	ESCUELA RURAL MESITAS DE SANTA INES	4.724800, -74.446250
12	Anolaima	ESCUELA RURAL MESITAS DEL CABALLERO	4.753770, -74.494080
13	Anolaima	ESCUELA RURAL SAN AGUSTIN	4.807640, -74.463490
14	Sasaima	ESCUELA RURAL SANTA ANA	4.928850, -74.432300
15	Anolaima	ESCUELA RURAL SANTA BARBARA	4.792810, -74.461680
16	Madrid	ESCUELA RURAL SANTIAGO TRUJILLO GOMEZ	4.822950, -74.258530

Tabla 15. Listado de instituciones educativas del muestreo

8.5. Perfiles de Viabilidad

1. Nodo Manjui a Escuela rural Vicenta Gonzalez Línea de vista

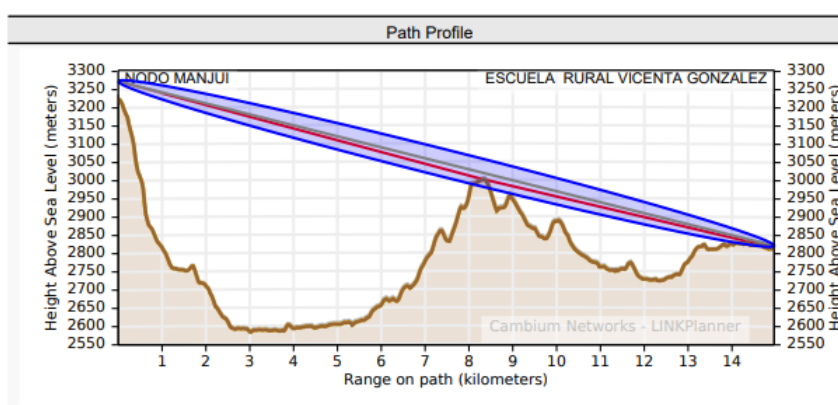


Figura 22. Perfil de viabilidad Escuela rural Vicenta Gonzalez

2. Nodo Manjui a Escuela Rural Los Árboles Línea de vista

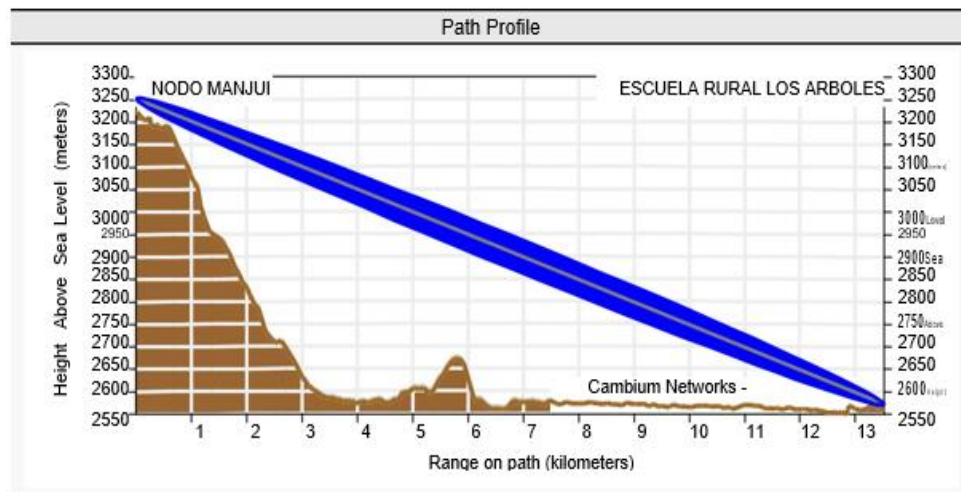


Figura 23. Perfil de viabilidad Escuela Rural Los Árboles

3. Nodo Manjui a escuela rural payacal Línea de vista

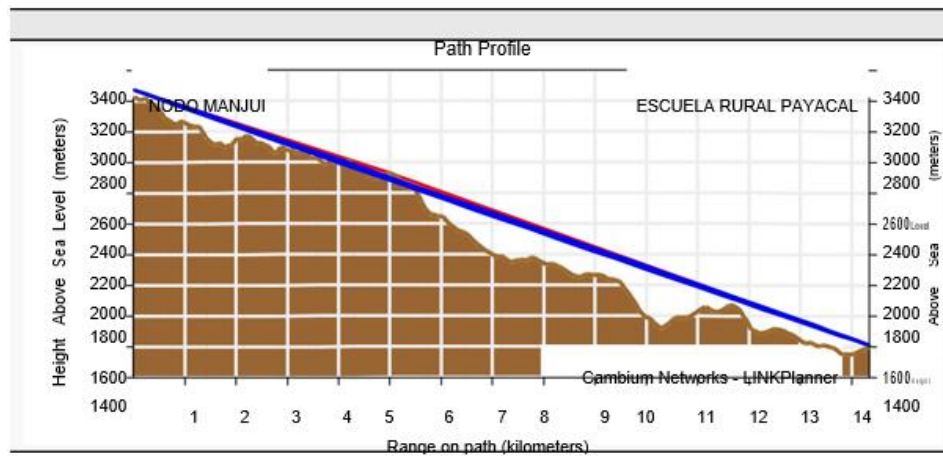


Figura 24. Perfil de Viabilidad escuela rural payacal

4. Nodo Manjui a Escuela Rural Reinaldo Ramírez línea de vista.

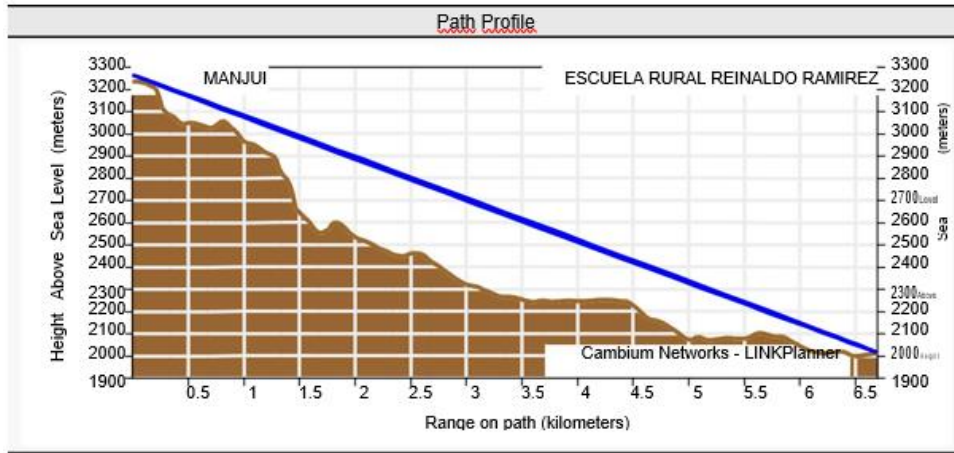


Figura 25. Perfil de viabilidad Rural Reinaldo Ramirez

5. Nodo Manjui a Escuela Rural Balsillas línea de vista

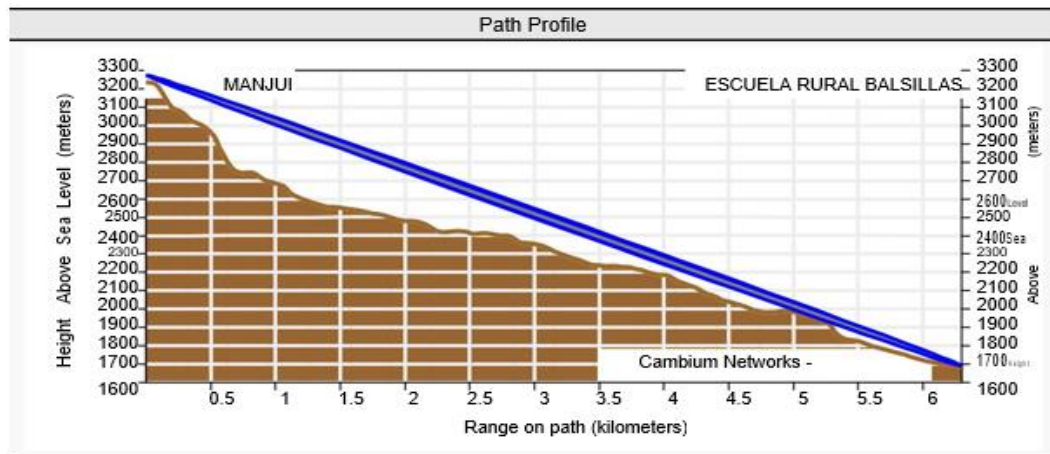


Figura 26. Perfil de viabilidad Escuela Rural Balsillas

6. Nodo Manjui a Escuela rural Calandaima Línea de Vista

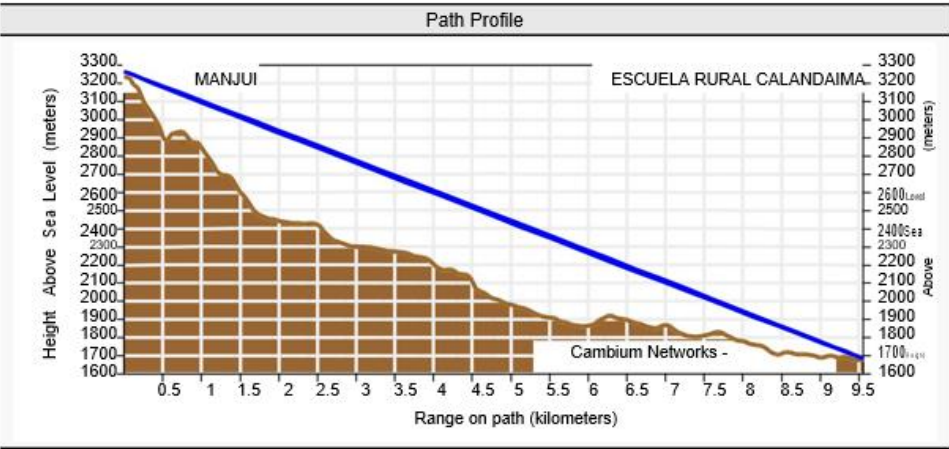


Figura 27. Perfil de viabilidad Escuela rural Calandaima

7. Nodo Manjui to Escuela Rural el Chuscal Línea de Vista

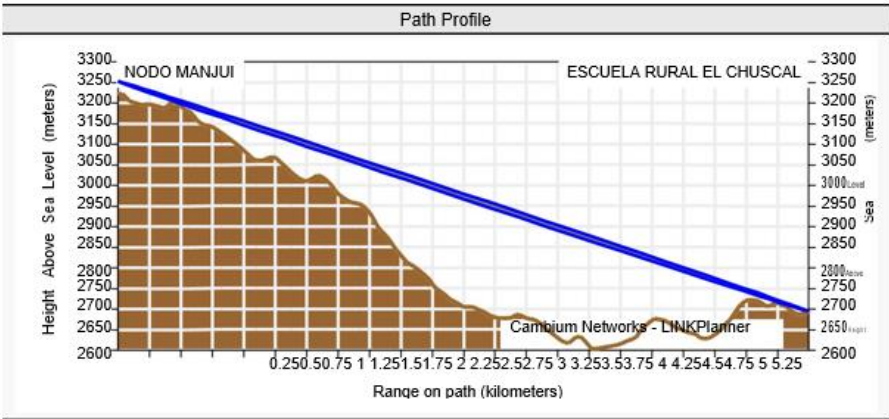


Figura 28. Perfil de Viabilidad Escuela Rural el Chuscal

8. Nodo Manjui a Escuela Rural Jhon F Kennedy línea de vista

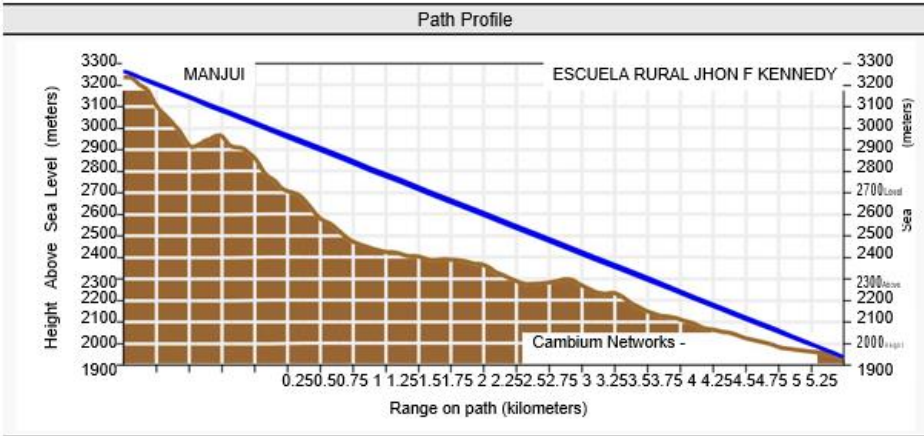


Figura 29. Perfil de viabilidad a Escuela Rural Jhon F Kennedy

9. Nodo Manjui a Escuela Rural La Laguna Línea de Vista

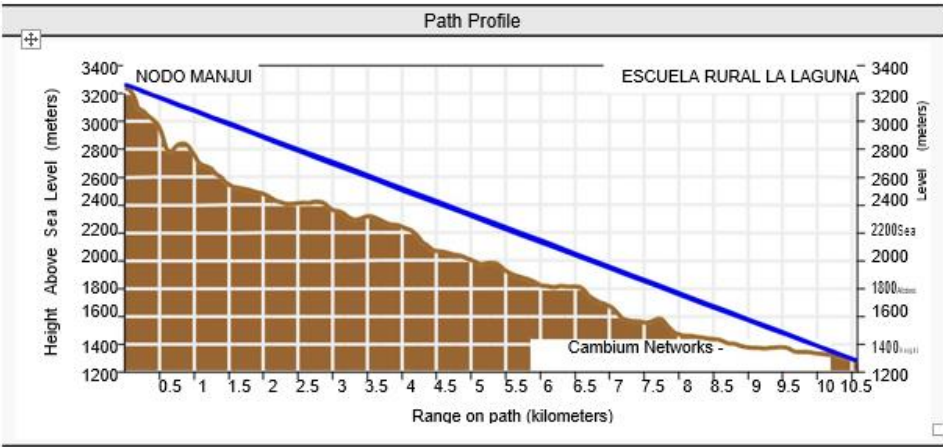


Figura 30. Perfil de viabilidad a Escuela Rural La Laguna

10. Nodo Manjui a Escuela Rural la María Línea de Vista

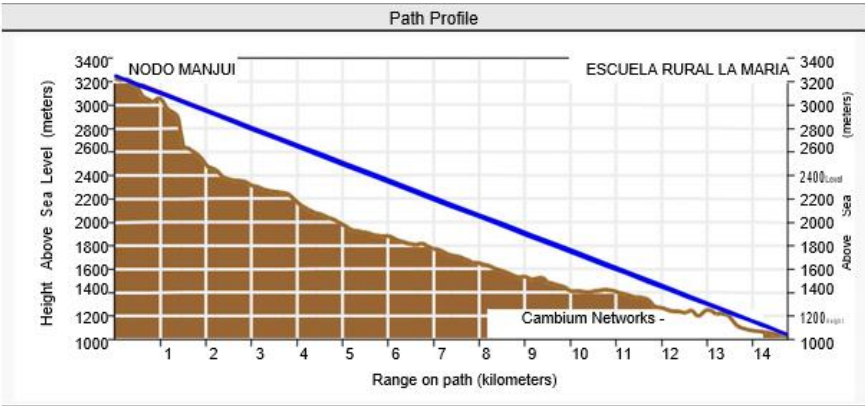


Figura 31. Perfil de viabilidad Escuela Rural la María

11. Nodo Manjui a Escuela Rural Mesitas de Santa Inés Línea de Vista

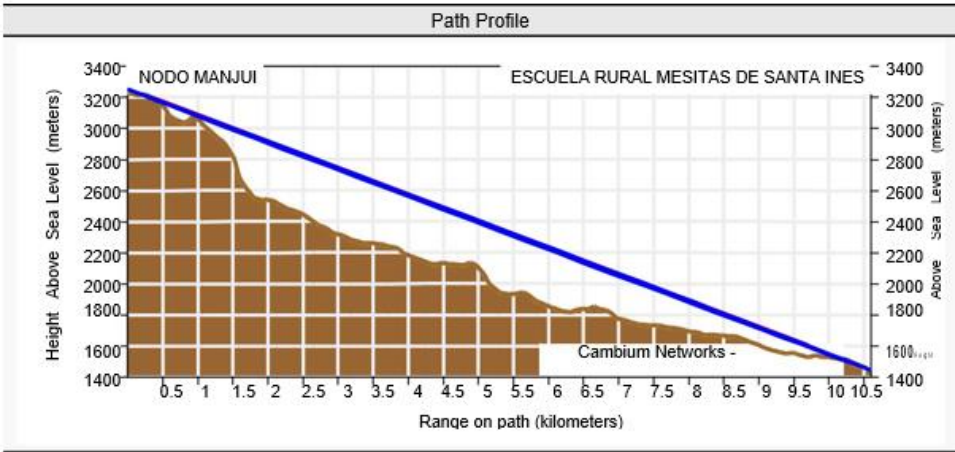


Figura 32. Perfil de viabilidad Escuela Rural Mesitas de Santa Inés

12. Nodo Manjui a Escuela Rural Mesitas del Caballero Línea de Vista

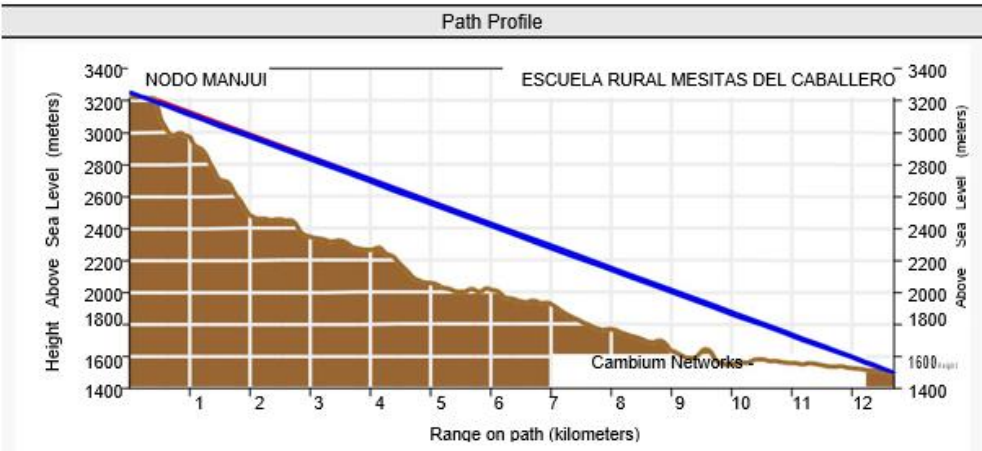


Figura 33. Perfil de viabilidad Escuela Rural Mesitas del Caballero

13. Nodo Manjui a Escuela Rural San Agustín Línea de Vista

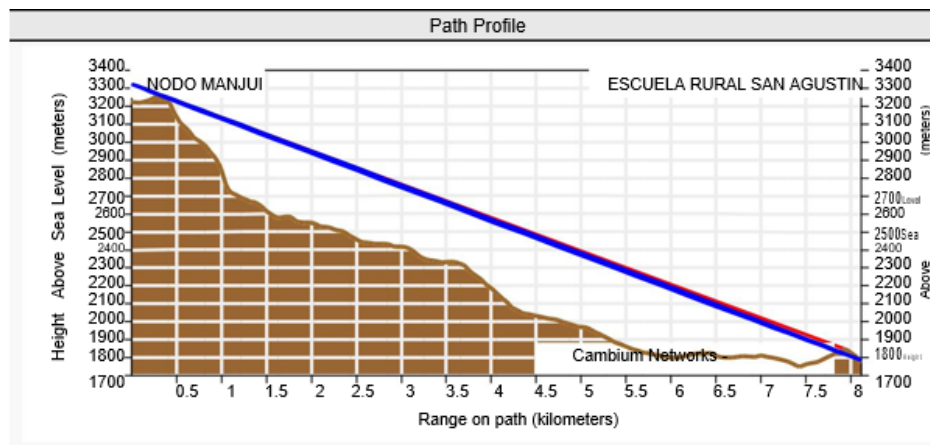


Figura 34. Perfil de Viabilidad Escuela Rural San Agustín

14. Nodo Manjui a Escuela Rural Santa Ana No tiene línea de vista directa, pero los proveedores de tecnología TVWS exponen enlaces que su enlace no es directa sino por algún tipo de parabólica en enlaces menores a 15km, lo que conlleva una posibilidad de viabilidad técnica.

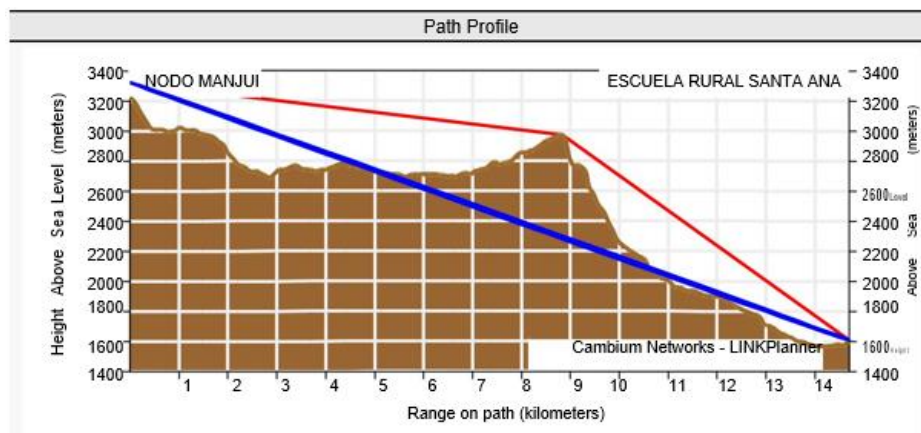


Figura 35. Perfil de viabilidad Escuela Rural Santa Ana

15. Nodo Manjui a Escuela Rural Santa Bárbara Línea de Vista

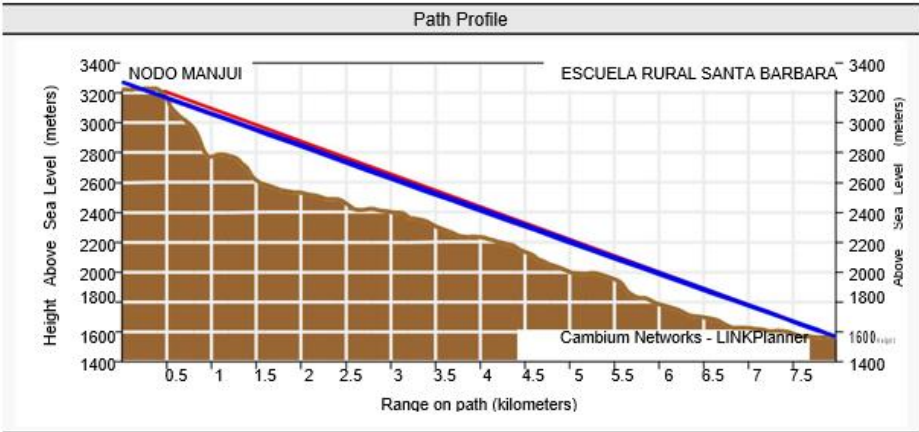


Figura 36. Perfil de viabilidad Escuela Rural Santa Bárbara

16. Nodo Manjui a Escuela Rural Santiago Trujillo Gómez Línea de Vista

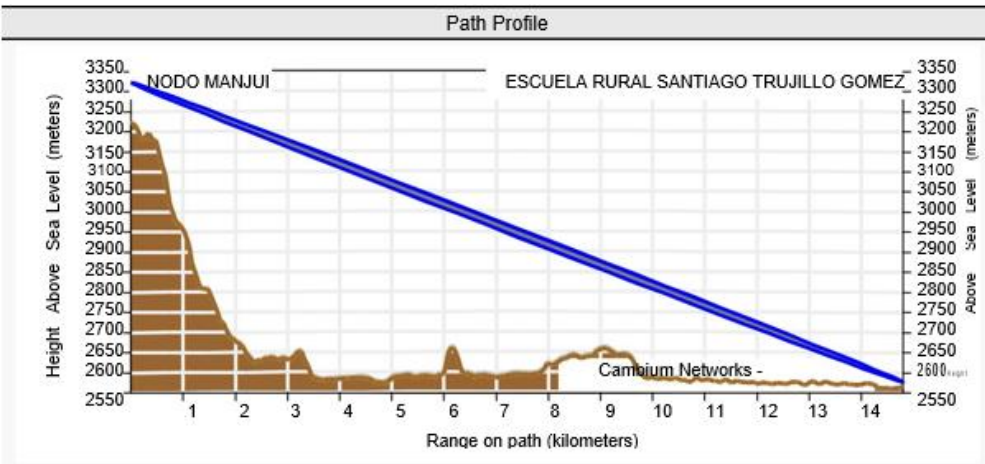


Figura 37. Perfil de Viabilidad Escuela Rural Santiago Trujillo Gómez