

**TRABAJO DE GRADO**  
**Opción Investigación o Proyecto de Grado**

**Exploración de la Cobertura de los principales proveedores de las redes móviles para establecer evidentes omisiones a los derechos de inclusión digital y ambiente sano en la ciudad de Sincelejo – Sucre**

Corporación Universitaria Remington.  
Facultad De Ingenierías.  
Ingeniería De Sistemas.

Deimer Luis Marchán Medina – Daniel David Sánchez Flórez.  
Tutor: Alex David Morales Acosta.  
Co-tutor: Laura Patricia Paternina Álvarez.  
Investigación o Proyecto de grado  
Año 2024.

### **Dedicatoria**

A Dios por brindarnos sabiduría y llevarnos por el camino correcto, gracias a su infinita misericordia y todas sus bendiciones para mantenernos de pie cuando se presentaron adversidades.

A nuestros padres Yadira de Jesús Medina Montesino, Jorge Luis Marchán Soto, Miriam Marina Flórez González, Pedro Manuel Sánchez Hoyos, familiares, profesores, compañeros y amigos que directa o indirectamente ayudaron a que nuestra investigación fuera una realidad.

A Marbel Luz Turcios González y Nacira Flor Turcios González en especial, por su apoyo incondicional durante todo el proceso de los estudios profesionales.

### **Agradecimientos**

Especialmente al Ingeniero Alex David Morales Acosta, por su tutoría, dedicación y seguimiento en todo el desarrollo de nuestra investigación y proceso profesional a lo largo de nuestros estudios.

Especialmente al Ingeniero Carlos Darys Arroyo Pérez, por el apoyo y aporte de conocimientos en cuanto a interconexión de redes y telecomunicaciones móviles.

## Contenido

Resumen.....	8
Introducción .....	11
Marco de referencia .....	12
Marco teórico.....	12
Marco conceptual.....	14
<b>Redes Móviles.</b> .....	14
<b>Cobertura Radioeléctrica.</b> .....	14
<b>Radiación no ionizante.</b> .....	14
<b>Drive Test.</b> .....	15
<b>LTE (Long Term Evolution).</b> .....	15
<b>ARFCN.</b> .....	15
<b>Indicadores de calidad KPI.</b> .....	15
<b>Indicadores de calidad KPI en redes LTE.</b> .....	16
<b>RSRP (Reference Signals Received Power).</b> .....	17
<b>RSRQ (Reference Signals Received Power).</b> .....	17
<b>SINR (Signal to Interference and Noise Ratio).</b> .....	17
<b>RSSI (Signal to Interference and Noise Ratio).</b> .....	18
<b>CQI (Signal to Interference and Noise Ratio).</b> .....	18
<b>Aplicación para prueba de manejo Drive Test RF.</b> .....	19
<b>Software para pos-proceso de Drive Test RF.</b> .....	20
<b>Hardware para captar indicadores en Drive Test RF.</b> .....	20
Marco Legal.....	21
<b>Normativa Límites Campos Electromagnéticos.</b> .....	21
<b>Decreto 1370 de 2018.</b> .....	21
Planteamiento del problema.....	23
Formulación del problema .....	24
Objetivos.....	25
Objetivo General.....	25
Objetivos específicos .....	25
Metodología .....	26
Población y Muestra .....	26
<b>Variables Independientes.</b> .....	26
<b>Variables Dependientes.</b> .....	27
Procedimiento .....	27
Resultados.....	28
<b>Percepción Cobertura Operador Claro.</b> .....	34
<b>Análisis de la prueba de manejo RF (Drive Test) Claro.</b> .....	35
<b>Percepción Cobertura Operador Tigo.</b> .....	39
<b>Análisis de la prueba de manejo RF (Drive Test) Tigo.</b> .....	40
<b>Cálculo de ARFCN.</b> .....	44

Discusión.....	46
Conclusiones .....	47
Referencias.....	49
Anexos .....	51

**Lista de tablas**

Tabla 1. Identificación de variables .....	28
Tabla 2. Estaciones Operador Claro Sincelejo, Sucre .....	32
Tabla 3. Estaciones Operador Tigo Sincelejo, Sucre.....	33
Tabla 4. Zonas vulneradas .....	43

### Lista de figuras

Figura 1. App G-Net Track Pro. ....	19
Figura 2. Software Planet 7.5.....	20
Figura 3. Plan de ordenamiento territorial Sincelejo 2015. ....	29
Figura 4. Recorrido Comuna 1 Tigo.....	30
Figura 5. Recorrido Comuna 1 Claro.....	30
Figura 6. Rf Conditions.....	31
Figura 7. Datos captados en un Drive Test.....	31
Figura 8. Gráfico comparativo de muestras - Claro.....	34
Figura 9. Áreas y medidas cobertura Claro.....	34
Figura 10. Áreas donde el servicio de Claro no tiene la mejor calidad.....	34
Figura 11. Zonas Evaluadas Drive Test - Claro.....	35
Figura 12. Área 1 Evaluada - Drive Test Claro.....	36
Figura 13. Área 2 Evaluada - Drive Test Claro.....	37
Figura 14. Área 3 Evaluada - Drive Test Claro.....	38
Figura 15. Gráfico comparativo de muestras - Tigo.....	39
Figura 16. Áreas y medidas cobertura Tigo.....	39
Figura 17. Áreas donde el servicio de Tigo no tiene la mejor calidad.....	39
Figura 18. Zonas Evaluadas Drive Test - Tigo.....	40
Figura 19. Área 1 Evaluada - Drive Test Tigo.....	41
Figura 20. Área 2 Evaluada - Drive Test Tigo.....	41
Figura 21. Área 3 Evaluada - Drive Test Tigo.....	42
Figura 22. Calculo ARFCN Claro. ....	44
Figura 23. ARFCN Claro.....	44
Figura 24. Calculo ARFCN Tigo.....	45
Figura 25. ARFCN Tigo. ....	45

## Resumen

El objetivo de la investigación es explorar la cobertura de las redes móviles para identificar cómo la falta de acceso a internet afecta el desarrollo social, económico y cultural de la región, en el entorno físico de la ciudad de Sincelejo Sucre, debido a que se viene presentando una discrepancia en la calidad y el alcance de la cobertura ofrecida por los principales operadores de servicios de redes móviles. Se busca explorar el impactado de posibles omisiones en los derechos fundamentales de los ciudadanos, en lo que concierne al acceso equitativo a la información, oportunidades educativas, laborales, desarrollo económico, social y cultural, aplicando una metodología cuantitativa y descriptiva, basada en la recolección de datos sobre variables independientes como la intensidad de la señal y la distancia física entre puntos geográficos y antenas. Por otro lado, se miden variables dependientes como el alcance de la señal y la presencia de interferencia. Empleando un muestreo de conveniencia que seleccionó a los operadores Claro y Tigo por ser los de mayor usabilidad.

Se realizó un estudio documental inicial seguido de trabajo de campo utilizando la aplicación G-Net Track Pro para medir la señal en diferentes puntos de Sincelejo. Se implementó un mapeo de la infraestructura de redes móviles con GPS y brújula, y los datos recopilados fueron organizados y tabulados para luego utilizar el software Planet 7.5 donde se realizó una simulación de cobertura. Luego, se llevaron a cabo pruebas de manejo (Drive Test) para evaluar la cobertura en las áreas seleccionadas.

Los resultados indican que, aunque Claro y Tigo en ambos casos cubren el 100% del centro poblado de Sincelejo, existen seis áreas, tres en Claro y tres en Tigo en diferentes

zonas donde la calidad de la señal no es suficiente para proporcionar un servicio adecuado. En conclusión, se identificaron deficiencias en la potencia y calidad de la señal en barrios específicos, lo que limita el acceso a la red LTE y afecta los derechos de inclusión digital. Además, se destacó la falta de inversión en infraestructura de telecomunicaciones, especialmente en áreas rurales, como un factor clave que contribuye a la problemática.

### **Abstract**

The objective of the research is to explore the coverage of mobile networks to identify how the lack of Internet access affects the social, economic and cultural development of the region, in the physical environment of the city of Sincelejo Sucre, because it is coming presenting a discrepancy in the quality and scope of coverage offered by the main mobile network service operators. It seeks to explore the impact of possible omissions on the fundamental rights of citizens, regarding equitable access to information, educational and labor opportunities, economic, social and cultural development, applying a quantitative and descriptive methodology, based on the collection of data on independent variables such as signal strength and physical distance between geographical points and antennas. On the other hand, dependent variables such as the range of the signal and the presence of interference are measured. Using a convenience sampling that selected the operators Claro and Tigo for being the ones with the greatest usability.

An initial documentary study was carried out followed by field work using the G-Net Track Pro application to measure the signal at different points in Sincelejo. Mapping of

the mobile network infrastructure was implemented with GPS and compass, and the collected data was organized and tabulated and then used the Planet 7.5 software where a coverage simulation was carried out. Drive Tests were then carried out to evaluate coverage in the selected areas.

The results indicate that, although Claro and Tigo in both cases cover 100% of the population center of Sincelejo, there are six areas, three in Claro and three in Tigo in different areas where the signal quality is not sufficient to provide an adequate service. . In conclusion, deficiencies in signal power and quality were identified in specific neighborhoods, which limits access to the LTE network and affects digital inclusion rights. In addition, the lack of investment in telecommunications infrastructure, especially in rural areas, was highlighted as a key factor contributing to the problem.

### **Palabras claves**

Palabras claves: Cobertura, Redes Móviles, Operadores, Conectividad, Drive Test

Keywords: Coverage, Mobile Networks, Operators, Connectivity, Drive Test

## **Introducción**

En diferentes campos de nuestro ambiente y entorno social, económico y cultura debe haber siempre una buena comunicación, por ende, debe existir el canal o los canales que permitan que dicha comunicación sea efectiva para lograr un desarrollo propicio en todas estas áreas de nuestro entorno. Por lo tanto, actualmente es interesante e indispensable depender de dichos canales como el acceso a internet y la conectividad móvil en materia de comunicación. Sin embargo, hay desigualdades significativas en la cobertura de las redes móviles, lo cual sería limitante para el propósito de los derechos de inclusión digital y ambiente sano. La ciudad de Sincelejo, en el departamento de Sucre, no es la excepción, y la cobertura de los servicios móviles desempeña un papel crucial en la vida cotidiana de sus habitantes. No obstante, persisten desafíos significativos en cuanto a la equidad en la distribución de estas redes, lo que podría estar generando dichas omisiones.

Este proyecto se enfoca en explorar la cobertura de los principales proveedores de redes móviles en Sincelejo, con el propósito de identificar posibles deficiencias en la infraestructura y en la calidad del servicio. Mediante una metodología cuantitativa y descriptiva, se han seleccionado los operadores Claro y Tigo para un análisis exhaustivo de la intensidad de la señal y su impacto en diferentes sectores de la ciudad.

La importancia de esta investigación radica en su potencial para evidenciar las zonas donde la población podría estar experimentando un acceso limitado o nulo a servicios de red LTE. Estas carencias no solo afectan el desarrollo digital de la región, sino que también limitan el acceso a oportunidades educativas, laborales y de bienestar, perpetuando la brecha digital existente.

## **Marco de referencia**

### **Marco teórico**

A continuación, se mencionan algunas investigaciones en las cuales se estudian las redes móviles en cuanto a su infraestructura, cobertura y calidad optima de señal.

En el 2018 Rodríguez Castro Libia Paola realizó un estudio llamado Incompatibilidad de la infraestructura de la tecnología 4G en la Región Junín 2018, se basó en construir un método para para la regulación respecto a la instalación y utilización de la infraestructura de Red 4G, en Junín - 2018 con orientación de inclusión social. Optando por conclusiones donde los operadores se comprometieran en invertir e implementar en la Región la red 4G y que su intervención tuviera una dirección social y la reducción de costos, obviamente mejorando la calidad de los servicios, la calidad de la señal y la reducción del impacto ambiental en las zonas donde se presente. (Rodríguez Castro, 2018)

Edwin Esteban Narvaez Ortiz también para éste mismo año 2018 realizó un Estudio de la calidad del servicio de redes móviles en el sector de la Troncal en Guayaquil Ecuador. Logró evaluar la calidad de los servicios de redes móviles de los operadores Claro, Movistar y CNT en el sector de la troncal, obteniendo que en el Cantón la troncal efectivamente se brindan servicios de telefonía móvil avanzada y que el único operador que brinda servicios 3G y 4G es Conecel o bien sea Claro actualmente, mientras que el resto que operan solo suministran servicios 3G presentando caídas de señal en la zona Sur y Oeste del cantón, esto debido a la ubicación geográfica por ser áreas rurales. Dando

como alternativa implementar antenas repetidoras de señal móvil para ampliar la cobertura en dichas zonas. (Narváez Ortiz, 2018)

De igual manera Fabio Nelson para el mismo año en Colombia llevó a cabo un estudio el cual fue denominado Estudio Migratorio de la Tecnología 3G a 4G LTE, el cual tenía como objetivo determinar si la migración de la tecnología 3G a 4G LTE mejoraba la calidad del servicio de las redes móviles en Colombia, mediante este trabajo se determina la necesidad urgente de realizar estudios de cobertura que tomen en cuenta la geografía de Colombia. (Rodríguez Duran, 2018)

Para abril del 2018 en la ciudad de Quito Mario Andrés Pepinós realizó un Estudio y propuesta de mejora de cobertura de una red móvil en lugares de difícil acceso a la señal. En su estudio analítico de exploración e investigativo identificó la estructura-comportamiento de la red móvil y lo que causaba obstrucciones en las señales, en dos casos de estudio evidentes de una pobre cobertura, “vivienda de dos pisos” y una “autopista en zona montañosa con variación de elevación y curvas”. Se implementaron dos propuestas, donde la mejor fue garantizar la mejora de cobertura móvil mediante un Sistema Distribuido de Antenas “DAS” y una estación base distribuirá las señales provistas, obteniendo desde los dispositivos receptores un rango entre -62 a 85 dBm extinguiendo las interrupciones y mejorando la rapidez del servicio. (Pepinós Ruiz, 2018)

En junio de 2021 Hilda Pardo y Juan Obando analizaron el proceso de implementación de redes 4G en Colombia, determinaron los avances y grado de cumplimiento que se realizaron hasta el mes de marzo del año 2021 en la ejecución del plan de transición a nuevas tecnologías donde la meta propuesta era lograr 27 millones de conexiones a

internet móvil de red 4G, teniendo en cuenta cobertura y cantidad de usuarios con el fin de lograr la evolución de las redes móviles en el país. (Pardo Figueroa & Obando Fernández, 2021)

### **Marco conceptual**

**Redes Móviles.** Según Vidal, (2017) son aquellas redes pensadas para que el teléfono o equipo del usuario pueda moverse con libertad en la zona cubierta por dicha red incluso mientras mantiene una conversación o una conexión de datos. Una red móvil debe permitir el movimiento incluso a la velocidad de un coche sin que exista una pérdida de la conexión. Las redes móviles actuales permiten mantener esta conexión incluso a la velocidad de un tren de alta velocidad con velocidades superiores a 300 km/h.

**Cobertura Radioeléctrica.** Es la zona que denomina el área donde el receptor recibe la señal con un nivel adecuado para tener servicio de voz y datos, la propagación de las ondas radioeléctricas emitidas por las antenas de una estación base cubren el área, estas se miden a través de pruebas de campo o drive test RF, para determinar áreas con indicadores que garanticen un buen servicio. Sallent R & Otros, (2003).

**Radiación no ionizante.** Según (NIH, 2023) Tipo de radiación de baja energía que no tiene suficiente energía como para eliminar un electrón (partícula negativa) de un átomo o molécula. La radiación no ionizante incluye la luz visible, infrarroja y ultravioleta; las microondas; las ondas de radio y la energía de radiofrecuencia de los teléfonos móviles. Se ha establecido que la mayoría de los tipos de radiación no ionizante no producen cáncer.

**Drive Test.** Es una prueba que se realiza para la medición de la cobertura de redes móviles, en esta prueba se obtienen datos muy importantes puesto que, es lo más próximo a la percepción del usuario final y los indicadores son útiles para realizar optimizaciones y en troubleshooting. Hernando R & Otros, (2013)

**LTE (Long Term Evolution).** Según PANHISPÁNICO, (2023) (Evolución a largo plazo). Corresponde a las siglas del proyecto *UTRA & UTRAN Long Term Evolution*, promovido por el *3rd Generation Partnership Project (3GPP)* a finales de 2004 para trabajar sobre la evolución hacia las redes de cuarta generación (4G) móviles. Propone la técnica de conmutación por paquetes IP, al igual que la tecnología 3.5G, y soporta velocidades de 326,4 Mbps de bajada y 86,4 Mbps de subida.

Brinda al usuario una mayor velocidad de conexión a internet, lo que ofrece a su vez una mejor experiencia de navegabilidad y desempeño en las aplicaciones de juegos, videos, música, streaming, video conferencias y demás.

**ARFCN.** Es un esquema de numeración de canales estandarizado que se utiliza para identificar de forma única canales de radiofrecuencia dentro del espectro LTE. Es un parámetro esencial para definir la frecuencia operativa de los operadores LTE. (Teletopix, 2024)

**Indicadores de calidad KPI.** Según Arroyo Pérez, (2021) Son métricas que permiten conocer el nivel de satisfacción del cliente en un determinado servicio.

Los indicadores de calidad y desempeño son factores determinantes en las redes móviles, debido a que estos mejoran el rendimiento, la usabilidad, la estabilidad,

usabilidad, escalabilidad y sobre todo la satisfacción del cliente. Por lo tanto, estos indicadores deben monitorearse de manera seguida, periódica y deben ser obtenidos desde la perspectiva del usuario mediante un drive test.

Los KPIs se pueden usar en las siguientes tareas:

- Monitorear y optimizar el rendimiento de la red radio para proporcionar una mejor calidad de los suscriptores o lograr un mejor uso de los recursos de red instalados.
- En la detección de problemas relacionados con el rendimiento en el terminal usuario, lo cual permite tomar acciones rápidas para mejorar el desempeño.
- Proporcionan información detallada de la planificación, esto ayuda a optimizar la red para un óptimo desempeño.

**Indicadores de calidad KPI en redes LTE.** En LTE, existe una gran cantidad de indicadores que permiten evaluar el desempeño y calidad de la cobertura para tener una percepción desde la experiencia del usuario final al estar conectado a la red.

Durante un drive test se toman indicadores como la intensidad de la señal RSSI, potencia de la señal recibida en referencia RSRP, calidad de la señal recibida en referencia RSRQ, interferencia de la señal + relación ruido SINR e indicador de calidad del canal CQI; dichos indicadores son determinantes para garantizar un servicio estable y de calidad según su valor durante la conexión a la red y por lo tanto son los que se obtienen durante una prueba de drive test. Arroyo Pérez, (2021).

**RSRP** (Reference Signals Received Power). (potencia de señal de referencia recibida) es un tipo de medida RSSI. Es la potencia de las señales de referencia LTE distribuidas en todo el ancho de banda y la banda estrecha. El valor se mide en dBm, para LTE recomienda mayor a los -110 dBm para una estabilidad en la conexión, pero para que el usuario tenga un servicio de calidad y un alto throughput los valores deben estar entre -70 y -95 dBm. (Teltonika, 2018).

El RSRP se calcula con la siguiente formula:

$$\text{RSRP (dBm)} = \text{RSSI (dBm)} - 10 * \log (12 * N)$$

Indicadores de calidad (RSRP)

-80 to 0	Indicador excelente
-95 to -80	Indicador bueno
-104 to -95	Indicador aceptable
-107 to -104	Indicador deficiente
-110 to -107	Indicador malo
-120 to -110	Indicador muy malo

**RSRQ** (Reference Signals Received Power). Calidad de la señal de referencia recibida: calidad que también considera el RSSI y la cantidad de bloques de recursos utilizados (N)  $\text{RSRQ} = (N * \text{RSRP}) / \text{RSSI}$  medido sobre el mismo ancho de banda. RSRQ es un tipo de medición C/I e indica la calidad de la señal de referencia recibida. La medición RSRQ proporciona información adicional cuando el RSRP no es suficiente para tomar una decisión confiable de transferencia o reelección de celda. (Teltonika, 2018).

**SINR** (Signal to Interference and Noise Ratio). También llamado CINR (Carrier to Interference + Noise Ratio) es la relación entre el nivel de señal y el nivel de ruido (o simplemente la relación señal/ruido). El valor SINR se mide en dB (decibelios). (Boiarynov, 2024)

El SINR se calcula con la siguiente formula:

$$\text{SINR} = P / I + N$$

Dónde,

P es la potencia de señal,

I es poder de interferencia

N es la potencia de ruido

El SINR no está definida en las especificaciones de 3GPP, sino que está definida por el proveedor de UE.

**RSSI** (Signal to Interference and Noise Ratio). Indicación de intensidad de la señal recibida. Mide La potencia total recibida en la banda teniendo en cuenta interferencia y ruido, el valor de este indicador se mide en dBm y está dado por la fórmula:

$$\text{RSSI} = \text{Potencia de banda ancha} = \text{ruido} + \text{potencia de la celda de servicio} + \text{potencia de interferencia. Arroyo Pérez, (2021).}$$

**CQI** (Signal to Interference and Noise Ratio). Boiarynov, (2024) (Indicador de calidad del canal) Para cada equipo de usuario y cada bloque de frecuencias de la portadora se forman indicadores de calidad de canal CQI (Channel Quality Indicator). De acuerdo con la transferencia datos requerida por el usuario, la estación base se configura sobre el número de bloques de recursos asignados a un usuario específico, y los bloques de frecuencia asignar a los usuarios depende del indicador CQI. A los usuarios se les asignan los bloques de recursos que tienen el CQI más alto y, por tanto, la mejor relación señal/ruido. Dicho parámetro puede tomar valores de 0 a 15. Cuanto mayor sea el valor, mejor (mayor será la velocidad que puede asignar una estación base LTE).

**Aplicación para prueba de manejo Drive Test RF.** Para realizar la prueba de manejo Drive Test se utilizará la aplicación G-Net Track Pro.

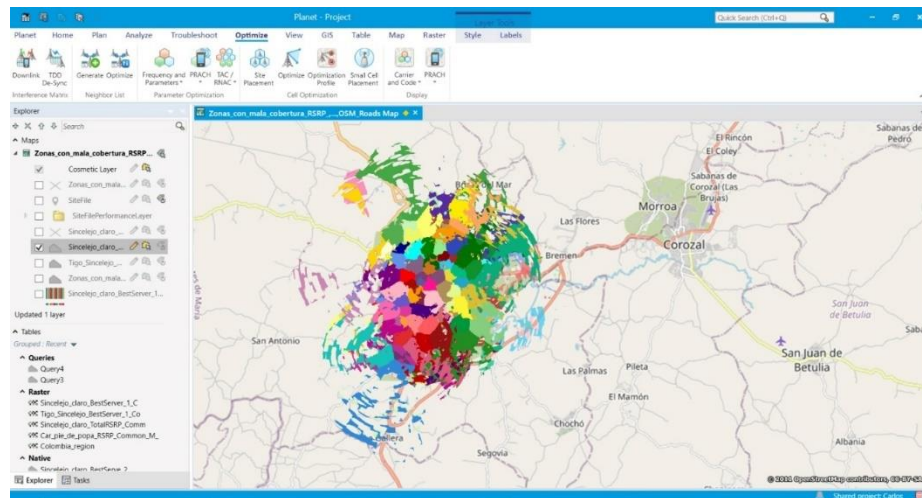
**G-Net Track Pro:** Es una aplicación de monitor de red y herramienta de prueba de conducción para redes 5G/4G/3G/2G, como se muestra en la Figura 1. Permite monitorear y registrar la información de las celdas vecinas y de servicio de la red móvil sin utilizar equipos especializados. Es una herramienta y es un juguete. Puede ser utilizado por profesionales para obtener una mejor visión de la red o por entusiastas de la radio para aprender más sobre las redes inalámbricas. (GyokovSolutions, 2015).



**Figura 1.** App G-Net Track Pro.

**Software para pos-proceso de Drive Test RF.** Para realizar el pos-proceso de Drive Test para la simulación de cobertura se utilizará el software Planet 7.5.

**Planet 7.5:** Es un software de planificación y optimización precisa de RF con el cual de forma inteligente se pueden hacer simulaciones de las redes 2G, 3G, 4G y 5G, como se muestra en la Figura 2. Dentro de sus principales beneficios y características se ofrece la aceleración de implementación de 5G, mejorar modelos de propagación de RF, automatizar e integrar para mejorar la productividad, maximizar conocimiento con fuente de datos externas, optimizar el retorno de la inversión CAPEX de la red y por último y no menos importante que identificar y resolver problemas de calidad del servicio de manera rápida.



**Figura 2.** Software Planet 7.5.

**Hardware para captar indicadores en Drive Test RF.** Para realizar Drive Test se requiere un Smartphone inteligente que tenga la App G-NetTrack Pro, un computador o

lapto que tenga instalado el software Planet 7.5, un sistema de posicionamiento global GPS y adicional una brújula.

### **Marco Legal**

**Normativa Límites Campos Electromagnéticos.** A nivel mundial, los organismos de referencia para los temas relacionados con las radiaciones no ionizantes son la Unión Internacional de Telecomunicaciones –UIT- y la Organización Mundial de la Salud –OMS- (tanto la UIT como la OMS son agencias especializadas del Sistema de Naciones Unidas). Ambas Entidades han aunado sus esfuerzos en la materia, en el seno de la Comisión de Estudio Cinco del Sector de Estandarización de la UIT (ITU-T SG5: “Protección contra Efectos de Ambientes Electromagnéticos”), en el cual se realizan permanentes análisis de temáticas afines.

Este Grupo cuenta con la participación activa de la Comisión Internacional de la Protección de emisiones no ionizantes, ICNIRP (International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection), perteneciente a la Asociación Internacional de Radioprotección, IRPA (International Radioprotection Association). El Grupo UIT-T SG5 cuenta a su vez con dos Grupos de Trabajo:

- WP1: “Seguridad y Prevención de Daños”
- WP2: “Emisión, Inmunidad, y Campos Electromagnéticos” (ANE, 2023)

**Decreto 1370 de 2018.** Por el cual se dictan disposiciones relacionadas con los límites de exposición de las personas a los campos electromagnéticos generados por estaciones de radiocomunicaciones y que, según la Organización Mundial de la Salud (OMS), se

han realizado varias investigaciones acerca de los posibles efectos sobre la salud a causa de la exposición a radiaciones generadas por los equipos que hacen uso del espectro radioeléctrico, el cual abarca el intervalo de frecuencias de 9 kHz a 300 GHz. Todas las evaluaciones realizadas hasta la fecha han indicado que las exposiciones a niveles inferiores a los límites recomendados en las directrices sobre Campos Electromagnéticos de la International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection (ICNIRP en español Comisión Internacional para la Protección de la Radiación No Ionizante), no producen ningún efecto perjudicial conocido a la salud en el corto plazo. (EVA, 2018)

### **Planteamiento del problema.**

En Colombia al igual que en otros países subdesarrollados, muchas personas están en la necesidad de poder conectarse a la red para favorecer su conocimiento y progreso, partiendo de que si logran conectarse su experiencia no es la más satisfactoria, es por eso hay una necesidad de saber que Redes móviles son aptas para la conectividad más idónea y que las personas no desaprovechen la mejor oportunidad para una buena calidad de conexión. El acto de hacer caso omiso a la necesidad de la conexión hace que ocurran eventos como lo fue la Pandemia global (2020), donde la mayoría de las personas masificaron el uso de los servicios móviles dando así inestabilidad en las redes.

Hoy en día el acceso a internet es de tanta importancia que si un ciudadano no cuenta con este servicio puede quedar excluido de cualquier oportunidad de desarrollo económico y social, de acuerdo con (MinTic, 2019), “hoy el 90% de los centros poblados en Colombia no tienen cobertura de tecnología 4G, que es la más moderna del mercado comercial que todos conocemos en el país”.

Otro factor que contribuye al déficit de velocidad de conexión en Colombia es la falta de inversión en infraestructura de telecomunicaciones por parte de las empresas proveedoras de servicios de internet. En muchos casos estas empresas no ven una demanda lo suficientemente grande en áreas rurales como para justificar la inversión en infraestructura necesaria para proporcionar conexiones de alta velocidad. Es importante tener en cuenta que la velocidad de Internet también puede depender de otros factores, como la calidad del equipo de red, la distancia desde la fuente de la señal y la cantidad de usuarios que comparten la misma conexión.

El índice de penetración de internet en Sincelejo, Sucre, Colombia ha sido históricamente bajo en comparación con otras ciudades de Colombia. Según (DANE, 2022) Encuesta de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones en Hogares (ENTIC Hogares) la porción de hogares con conexión a internet en 2021 en el total nacional fue 60,5% en cabaceras 70,0% y en los centros poblados y rural disperso 28,8%, a su vez la penetración de internet en Sucre fue del 37,5%, lo que significa que menos de la mitad de la población tiene acceso a internet.

El bajo índice de penetración de internet en Sucre puede tener un impacto negativo en el desarrollo económico y social de la región. Sin acceso a internet, los residentes pueden tener dificultades para acceder a información importante, buscar empleo y conectarse con amigos y familiares. Además, las empresas pueden tener dificultades para expandir sus operaciones y llegar a nuevos clientes sin acceso a internet. Para abordar este problema, se necesitan inversiones significativas en infraestructura de telecomunicaciones y programas para fomentar la adopción de internet en la región. Además, se necesitan iniciativas para hacer que los servicios de internet sean más asequibles para los residentes de la región. Con el tiempo, estas medidas podrían ayudar a aumentar el índice de penetración de internet en Sucre y mejorar la calidad de vida de sus residentes.

### **Formulación del problema**

¿Cómo analizar la cobertura de los principales proveedores de las redes móviles para establecer evidentes omisiones a los derechos de inclusión digital y ambiente sano en la ciudad de Sincelejo – Sucre?

## **Objetivos**

### **Objetivo General**

Explorar la cobertura de los principales proveedores de redes móviles para establecer evidentes omisiones a los derechos de inclusión digital y ambiente sano en la ciudad de Sincelejo – Sucre.

### **Objetivos específicos**

- Identificar los aspectos relevantes para medir la cobertura de las generaciones de redes móviles de los principales proveedores de servicios en la zona urbana de la ciudad de Sincelejo - Sucre.
- Caracterizar la cobertura de las generaciones de redes móviles de los principales proveedores de servicios en la zona urbana de la ciudad de Sincelejo - Sucre.
- Determinar falencias relacionadas con las coberturas de redes móviles de los principales proveedores que vulneren los derechos de inclusión digital y ambiente sano a los ciudadanos de la ciudad de Sincelejo – Sucre

## **Metodología**

En el ámbito cuantitativo la recolección de datos de redes móviles es un proceso crucial en la planificación y optimización de redes de telecomunicaciones. Un enfoque cuantitativo en la recolección de datos implica la utilización de herramientas y técnicas que permiten la medición y cuantificación de variables relevantes relacionadas con el rendimiento de la red móvil. Según Hernández Sampieri & Otros (2020), este tipo de enfoque, “usa recolección de datos para probar hipótesis con base en la medición numérica y el análisis estadístico para establecer patrones de comportamiento”, Se buscó medir, evaluar y recolectar datos sobre diversas variables, aspectos, dimensiones o componentes del fenómeno a investigar. Además de que esta investigación es de enfoque descriptivo porque se buscó especificar características del objeto de estudio que fue sometido a análisis, mediante la recolección de información.

## **Población y Muestra**

Para la selección de los operadores de telefonía móvil, se utilizó el enfoque de muestreo de conveniencia o intencional, el cual implicó una cuidadosa selección de muestras que fueron representativas cualitativamente y típicas del entorno en el que se eligió la muestra. Además, se eligieron operadores de telefonía móvil que son de interés de los investigadores y que son ampliamente utilizados por la cantidad de usuarios que acaparan en el mercado nacional. Basados en este concepto de muestreo de conveniencia se optó por evaluar a los operadores de Claro y Tigo.

## **Variables Independientes.**

- Intensidad de la señal medida en dBm en puntos concretos del territorio.
- Distancia física entre puntos geográficos y antenas de telefonía móvil.

#### **Variables Dependientes.**

- Alcance de la señal recibida.
- Interferencias y ruido que puedan afectar la integridad de la señal.

#### **Procedimiento**

El procedimiento consta de un estudio descriptivo y análisis documental que permite abordar los conceptos técnicos de las redes de telefonía móvil. Durante esta fase, se realizó una identificación de los aspectos necesarios para garantizar un ambiente saludable en relación con la radiación no ionizante, así como de las variables de estudio y los requisitos mínimos de conectividad que son esenciales para que las comunidades puedan acceder a los servicios requeridos por la industria 4.0.

Se llevó a cabo el trabajo de campo, que implicó recorridos por las áreas urbanas del municipio de Sincelejo para evaluar en un contexto general la calidad de señal y hacer un primer acercamiento y reconocimiento de las zonas a evaluar. Finalmente se analizan los datos recolectados mediante el aplicativo G-Net Track Pro para verificar la calidad de cobertura de los dos operadores seleccionados.

## Resultados

Se identificaron y se tuvieron en cuenta aspectos relevantes mostrados en la Tabla 1:

*Tabla 1. Identificación de variables*

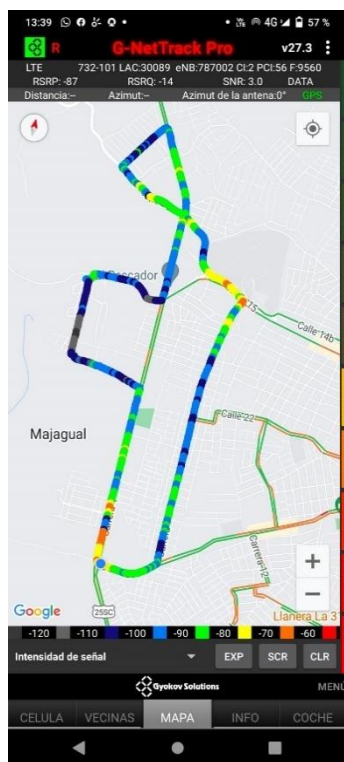
<b>Variable</b>	<b>Descripción</b>	<b>Indicador</b>
RSRP	Potencia de señal de referencia recibida	dBm (decibelio-milivatio)
RSRQ	Calidad de la señal de referencia recibida	dB (decibelio)
SINR	Relación señal/ruido	dB (decibelio)
ARFCN	Radio Frecuencia dentro del espectro	Frecuencia en la Red

De acuerdo con la memoria justificativa de la modificación excepcional de normas urbanísticas del plan de ordenamiento territorial de acuerdo 147 de 2015. El municipio de Sincelejo se encuentra sectorizado en 10 comunas de las cuales se realizaron recorridos en todas ellas, utilizando la aplicación G-Net Track Pro para recopilar información sobre las variables de estudio tales como: la intensidad, la calidad de la señal y posibles interferencias, entre otras, utilizando un Smartphone con sistema operativo Android. Se seleccionaron los principales proveedores de servicios móviles, como Claro y Tigo, mediante un muestreo de conveniencia. Esto con el objetivo de identificar aquellas que están experimentando una negación del derecho a la inclusión digital y un entorno saludable, proporcionado por los principales proveedores de servicios de redes móviles.



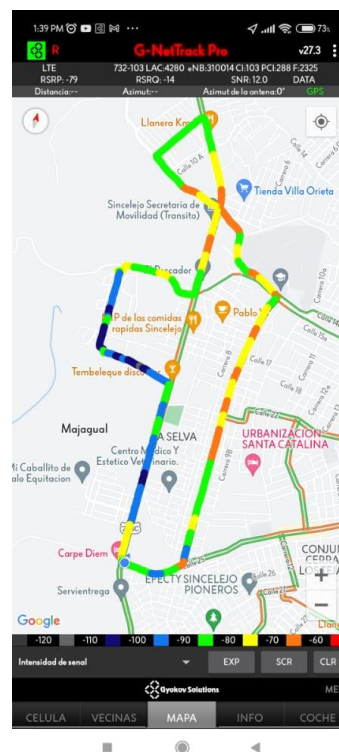
*Figura 3.* Plan de ordenamiento territorial Sincelejo 2015.

## Ejemplo de recorridos



**Figura 5.** Recorrido

Comuna 1 Claro



**Figura 4.** Recorrido

Comuna 1 Tigo

A medida que se avanza en el recorrido la aplicación muestra diferentes colores que representan cómo está la recepción y la calidad de la señal en los diferentes puntos por donde pasa de acuerdo con el valor que percibe, como se muestra en las figuras 4 y 5, representados mediante el Rf Conditions, como la muestra la figura 6.

LTE & 5G Signal Strength Reference Table			
RF Experience	RSRP (dBm) Reference Signal Received Power	RSRQ (dB) Reference Signal Received Quality	SINR (dB) Signal to Interference & Noise Ratio
Excellent	>= -80	>= -10	>= 20
Good	-80 to -90	-10 to -15	13 to 20
Mid Cell	-90 to -100	-15 to -20	0 to 13
Cell Edge	<= -100	<= -20	<= 0

Figura 6. Rf Conditions

Una vez terminado el corrido la aplicación guarda un archivo en formato .kml el cual más adelante se ingresa al software Planet 7.5 para realizar la simulación del despliegue de cobertura; por otro lado, dicho archivo se puede convertir a .xlsx y de esta manera visualizar los datos captados por la aplicación de manera tabulada en Excel dentro de los cuales se pueden observar RSRP, RSRQ, SNR, ARFCN, TECHNOLOGY, MODE, CELLID y especialmente las coordenadas, como se muestra en la figura 7.

ns1:name	name	ns1:value	ns1:scale	ns1:color	ns1:scale2	ns1:href	ns1:coordinates
4G 9560	CGI	7321013008900002	0	FF095600	0.8	http://maps.google.com/mapsfiles/kml/shapes/shaded_dot.png	-75.41298586,9.29303877,0
4G 9560	CELLNAME		0	FF095600	0.8	http://maps.google.com/mapsfiles/kml/shapes/shaded_dot.png	-75.41298586,9.29303877,0
4G 9560	CELLID	2	0	FF095600	0.8	http://maps.google.com/mapsfiles/kml/shapes/shaded_dot.png	-75.41298586,9.29303877,0
4G 9560	eNB	787002	0	FF095600	0.8	http://maps.google.com/mapsfiles/kml/shapes/shaded_dot.png	-75.41298586,9.29303877,0
4G 9560	TAC	30089	0	FF095600	0.8	http://maps.google.com/mapsfiles/kml/shapes/shaded_dot.png	-75.41298586,9.29303877,0
4G 9560	TECHNOLOGY	4G	0	FF095600	0.8	http://maps.google.com/mapsfiles/kml/shapes/shaded_dot.png	-75.41298586,9.29303877,0
4G 9560	MODE	LTE	0	FF095600	0.8	http://maps.google.com/mapsfiles/kml/shapes/shaded_dot.png	-75.41298586,9.29303877,0
4G 9560	ARFCN	9560	0	FF095600	0.8	http://maps.google.com/mapsfiles/kml/shapes/shaded_dot.png	-75.41298586,9.29303877,0
4G 9560	BAND	L28	0	FF095600	0.8	http://maps.google.com/mapsfiles/kml/shapes/shaded_dot.png	-75.41298586,9.29303877,0
4G 9560	BANDWIDTH	10	0	FF095600	0.8	http://maps.google.com/mapsfiles/kml/shapes/shaded_dot.png	-75.41298586,9.29303877,0
4G 9560	CA	false	0	FF095600	0.8	http://maps.google.com/mapsfiles/kml/shapes/shaded_dot.png	-75.41298586,9.29303877,0
4G 9560	RSRP	-69 dBm	0	FF095600	0.8	http://maps.google.com/mapsfiles/kml/shapes/shaded_dot.png	-75.41298586,9.29303877,0
4G 9560	RSRQ	-17	0	FF095600	0.8	http://maps.google.com/mapsfiles/kml/shapes/shaded_dot.png	-75.41298586,9.29303877,0
4G 9560	LAYER	1	0	FF095600	0.8	http://maps.google.com/mapsfiles/kml/shapes/shaded_dot.png	-75.41298586,9.29303877,0
4G 9560	PC	56	0	FF095600	0.8	http://maps.google.com/mapsfiles/kml/shapes/shaded_dot.png	-75.41298586,9.29303877,0
4G 9560	DL_BITRATE	36 kbps	0	FF095600	0.8	http://maps.google.com/mapsfiles/kml/shapes/shaded_dot.png	-75.41298586,9.29303877,0
4G 9560	UL_BITRATE	69 kbps	0	FF095600	0.8	http://maps.google.com/mapsfiles/kml/shapes/shaded_dot.png	-75.41298586,9.29303877,0
4G 9560	IP	128.117.132.172	0	FF095600	0.8	http://maps.google.com/mapsfiles/kml/shapes/shaded_dot.png	-75.41298586,9.29303877,0
4G 9560	SNR	8.0	0	FF095600	0.8	http://maps.google.com/mapsfiles/kml/shapes/shaded_dot.png	-75.41298586,9.29303877,0
4G 9560	LTE_RSSI	-51	0	FF095600	0.8	http://maps.google.com/mapsfiles/kml/shapes/shaded_dot.png	-75.41298586,9.29303877,0
4G 9560	TA	2	0	FF095600	0.8	http://maps.google.com/mapsfiles/kml/shapes/shaded_dot.png	-75.41298586,9.29303877,0
4G 9560	PHONE STATE	D	0	FF095600	0.8	http://maps.google.com/mapsfiles/kml/shapes/shaded_dot.png	-75.41298586,9.29303877,0
4G 9560	IMEI		0	FF095600	0.8	http://maps.google.com/mapsfiles/kml/shapes/shaded_dot.png	-75.41298586,9.29303877,0

Figura 7. Datos captados en un Drive Test

Luego, se visitó las infraestructuras de redes móviles Claro y Tigo para mapear la ubicación de las torres de cada operador por medio de un GPS y una brújula, obteniendo

así datos pertinentes que ayudaron a agilizar la obtención de la información sobre la cobertura de red, dependiendo de cada una; al poder obtener la ubicación exacta de la estructura de la red móvil pudimos sobrellevar de manera más sencilla la problemática que afecta a los derechos de inclusión y ambiente sano digital.

Se procedió a organizar y tabular la información recolectada en campo, en la visita a los sitios o torres de los operadores donde se encuentra la infraestructura y los equipos de telecomunicaciones, los cuales son datos como: Id del sitio, coordenadas, los grados de ubicación de cada sector en que se encuentran los equipos transmisores, la altura y la inclinación en que se encuentran, como lo podemos ver en las tablas 2 y 3.

**Tabla 2.** Estaciones Operador Claro Sincelejo, Sucre

<i>Claro</i>	<i>Coordenadas</i>		<i>Sectores</i>				<i>Altura</i>	<i>Inclinación</i>
	<i>N°</i>	<i>W°</i>	<i>S1°</i>	<i>S2°</i>	<i>S3°</i>	<i>s4°</i>	<i>Metros</i>	<i>Grados</i>
<i>ID Sitio</i>	<i>Latitud</i>	<i>Longitud</i>						
BTS Claro	09.28320	075.39766	340	225	45		35	2°
c-Verbel	09.29095	075.38617	335	235	120		35	2°
C holalla	09.28500	075.38159	320	205	55		35	2°
C-Venecia	09.30455	075.38155	255	80	32		35	2°
C- Jamar	09.29862	075.38520	310	180	56		35	2°
C- Bolivar	09.27352	075.41177	320	197	90		35	2°
C- 20 de enero	09.27853	075.40843	220	80	13		35	2°
C-Barlovento	09.28970	075.41212	360	157	130		35	2°
C-Pionero	09.29016	075.40746	210	115	10		35	2°
C-Las americas	09.29573	075.40537	295	140	30		35	2°
C-Mochila	09.30072	075.39978	280	147	40		35	2°

C-20 de junio	09.30293	075.40258	280	175	56		35	2°
C-Pablo Sexto	09.30454	075.40975	327	165	56		45	2°
C- La pollita	09.31448	075.41443	310	209	10	125	35	2°
C- 2 de septiembre	09.31533	075.40816	350	230	85		20	2°
Mirador la Pollita	09.32027	075.40820	327	153	50		35	2°
C-Sierra Flor	09.32864	075.40285	327	235	147		35	2°
C- la fe	09.31544	075.39616	235	192	141		35	2°
C - Villa Angela	09.32910	075.38927	152	280	235		35	2°
C - Villa Angela -2	09.32718	075.38985	328	203	56		35	2°
C - Puerta Roja	09.31489	075.38943	270	140	23		35	2°
C - Puerta Roja -2	09.31124	075.38771	283	170	73		35	2°
C - Libertad	09.31609	075.30107	360	243	135		35	2°

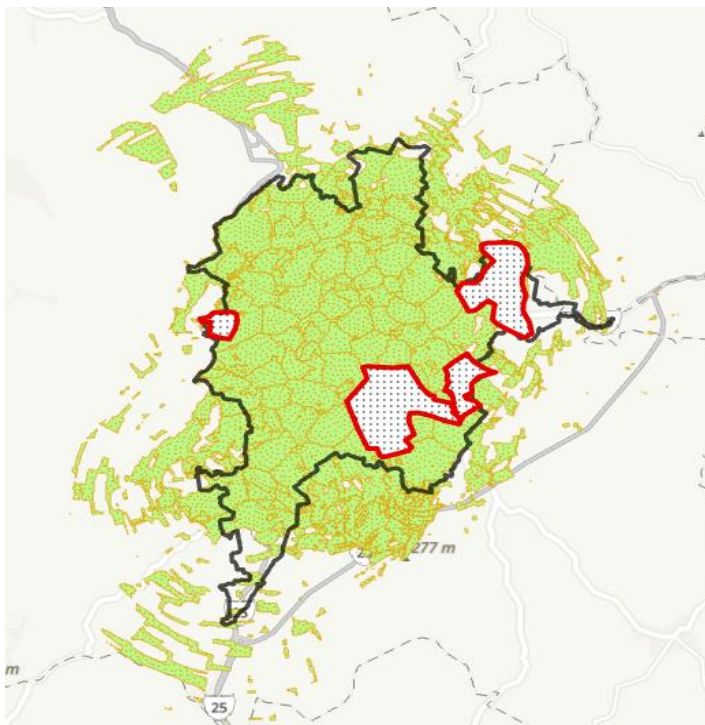
**Tabla 3.** Estaciones Operador Tigo Sincelejo, Sucre

<i>ID Sitio</i>	<i>Coordenadas</i>		<i>Sectores</i>				<i>Altura</i>	<i>Inclinación</i>
	<i>N° Latitud</i>	<i>W° Longitud</i>	<i>S1°</i>	<i>S2°</i>	<i>S3°</i>	<i>s4°</i>	<i>Metros</i>	<i>Grados</i>
BTS Tigo	9.31319	75.41457	170	125	10		35	2°
T-Venecia	9.30423	75.37819	300	260	80		35	2°
T-San Vicente	9.28576	75.39563	245	120	10		35	2°
T-El progreso	9.28855	75.38136	293	163	80		35	2°
T-Bogotá	9.2946	75.38212	213	73	12		35	2°
T-maizal	9.27388	75.41041	360	213	80		35	2°
T-Argelia	9.28122	75.40538	310	215	68		35	2°
T-Argelia 2	9.28257	75.40398	297	125	45		35	2°
T-Bucaramanga	9.29846	75.40430	315	213	113		35	2°

T-San Carlos	9.30854	75.40839	280	125	45	35	2°
T-Cruz de Mayo	9.30755	75.39889	327	213	68	35	2°
T-Altos de la saba	9.32969	75.39029	315	180	53	35	2°
T-Alpes	9.31189	75.37261	135	250	10	35	2°

Una vez organizada dicha información se realizó el ingreso de esta al software Planet 7.5 con el cual se desplegó la simulación de cobertura en base a los parámetros físicos de ingeniería.

**Percepción Cobertura Operador Claro.**



**Figura 10.** Áreas donde el servicio de Claro no tiene la mejor calidad

AREAS	MEDIDAS
Area centro poblado Sincelejo	↑ 30645992.86
Area, zona deficiente Oriente	↓ 1454664
Area, zona deficiente Oriente	↓ 541679
Area, zona deficiente Sur	↓ 2050368
Area, zona deficiente Occidente	↓ 250475

**Figura 9.** Áreas y medidas cobertura Claro



**Figura 8.** Gráfico comparativo de muestras - Claro

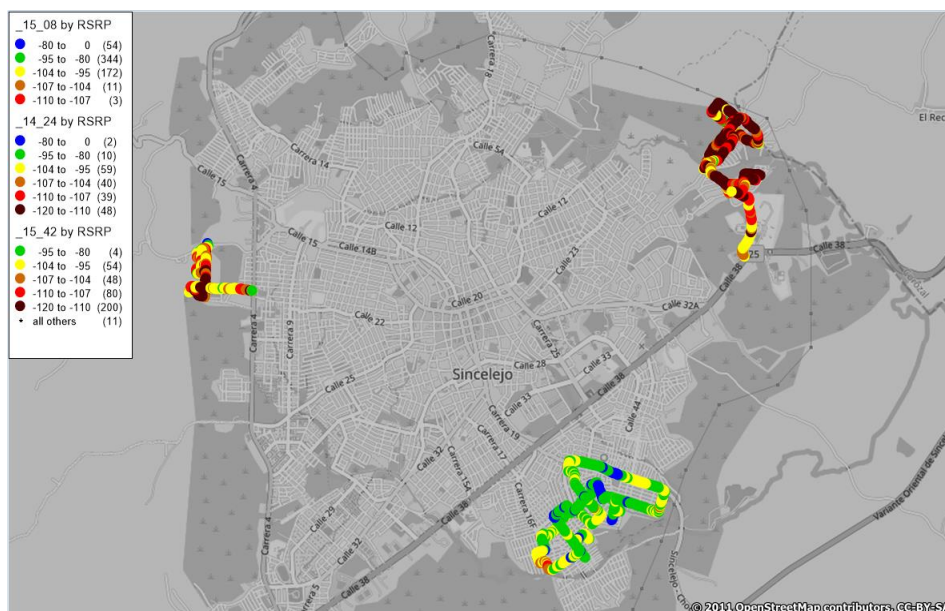
### Observaciones:

La red de Claro cubre el 100% del centro poblado de Sincelejo, sin embargo, por diseño obtenido en base a los parámetros físicos de ingeniería, se evidencian 3 áreas donde la cobertura existente no tiene los indicadores de calidad (RSRP) adecuados para brindar un servicio con calidad.

Esta percepción en base a la simulación de cobertura se verificó con una prueba de manejo RF (Drive Test)

### Análisis de la prueba de manejo RF (Drive Test) Claro.

#### Análisis General



**Figura 11.** Zonas Evaluadas Drive Test - Claro

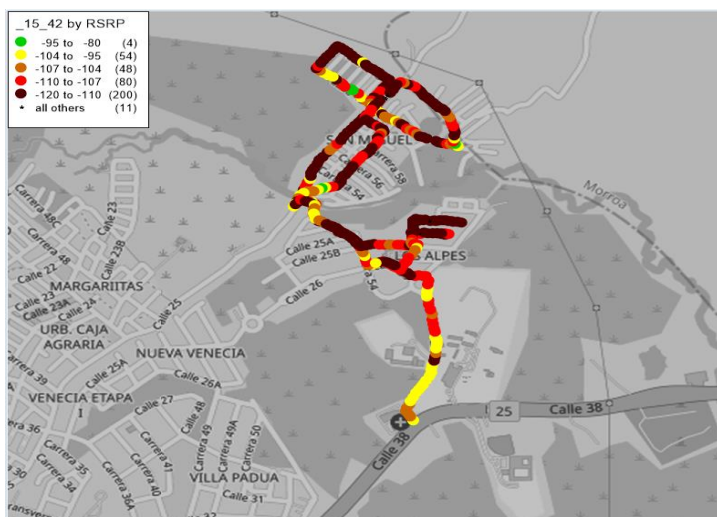
#### Indicadores de calidad (RSRP)

-80 to 0	Indicador excelente
-95 to -80	Indicador bueno
-104 to -95	Indicador aceptable
-107 to -104	Indicador deficiente
-110 to -107	Indicador malo
-120 to -110	Indicador muy malo

Los indicadores en las zonas evaluadas no son los adecuados para mantener un servicio de calidad y con estabilidad, por lo cual se requiere de un proceso de optimización con ajustes físicos para mejorar los KPI.

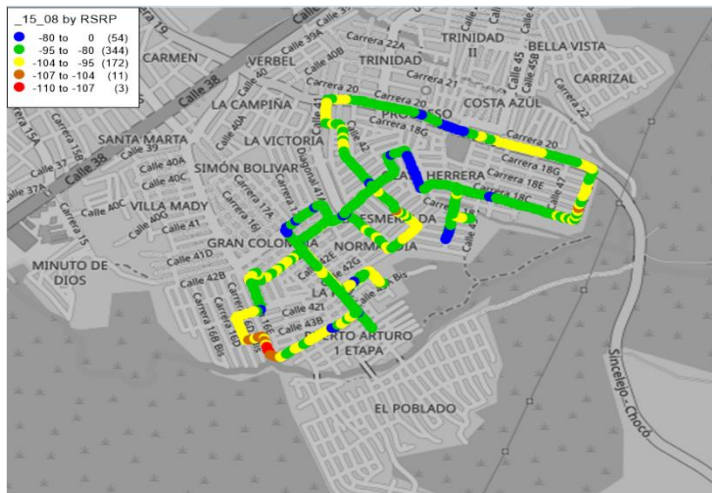
Los indicadores para una buena navegación y un servicio de calidad deben estar entre -95 to 0

### Análisis Detallado



**Figura 12.** Área 1 Evaluada - Drive Test Claro

En el análisis de prueba de manejo RF, se observa que los KPI en esta zona donde se ubican los barrios Los Alpes y San Miguel. Están entre los rangos -120 dB a -104 dB por lo cual la conexión a datos es deficiente a muy mala. Este rango de valores en el indicador RSRP no garantizan una buena navegación ni estabilidad en el servicio.



**Figura 13.** Área 2 Evaluada - Drive Test Claro

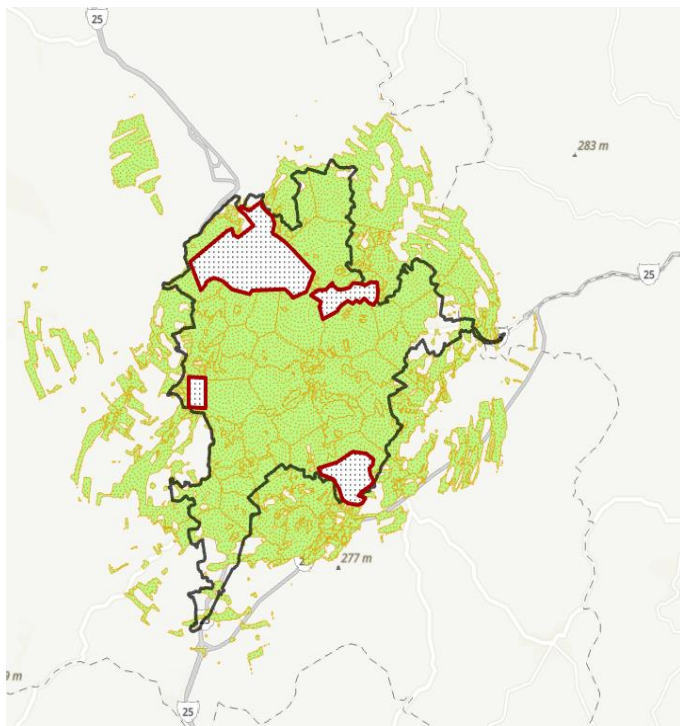
En el análisis de prueba de manejo RF, se observa que los KPI en esta zona donde se ubican los barrios: El Progreso, Uribe Uribe, El Dorado, Olaya Herrera, La Esmeralda, La Paz, Antonio Nariño y Puerto 1 Etapa. Están entre los rangos -95 dB a -80 dB en algunas partes y entre -104 dB a -95 dB en otras, lo que indica que están entre el límite de buenos y aceptables, sin embargo, esto puede generar bajo throughput y con ello lentitud en la navegación.



**Figura 14.** Área 3 Evaluada - Drive Test Claro

En el análisis de prueba de manejo RF, se observa que los KPI en esta zona donde está ubicado el Barrio Vallejo están entre los rangos -120 dB a -104 dB por lo cual la conexión a datos es deficiente a muy mala. Este rango de valores en el indicador RSRP no garantizan una buena navegación ni estabilidad en el servicio.

### Percepción Cobertura Operador Tigo.



**Figura 17.** Áreas donde el servicio de Tigo no tiene la mejor calidad

AREAS	MEDIDAS
Area centro poblado Sincelejo	↑ 30645992.86
Area, zona deficiente Norte	↓ 2925189
Area, zona deficiente Oriente	↓ 588391
Area, zona deficiente Sur	↓ 804482
Area, zona deficiente Occidente	↓ 247168

**Figura 16.** Áreas y medidas cobertura Tigo



**Figura 15.** Gráfico comparativo de muestras - Tigo

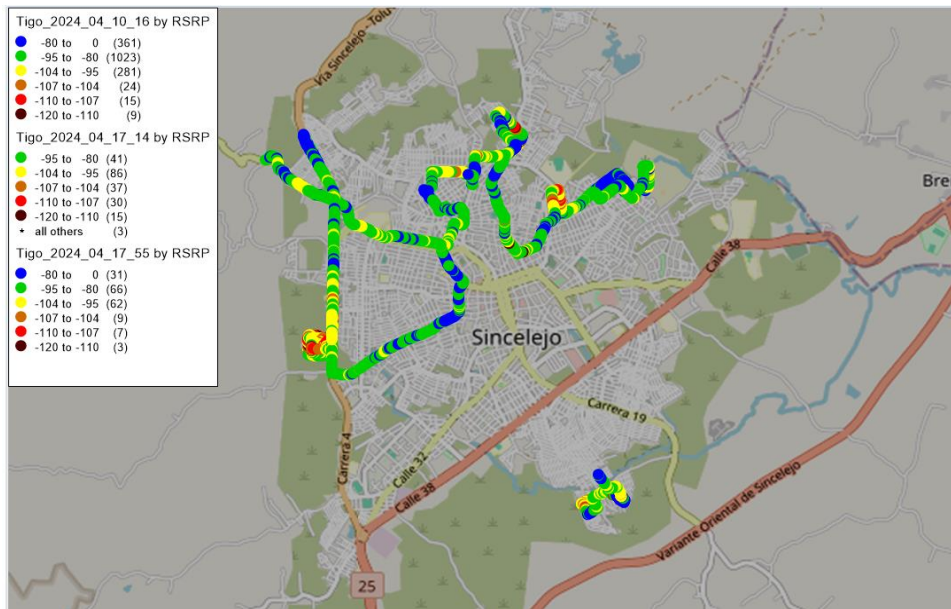
#### Observaciones:

La red de Tigo cubre el 100% del centro poblado de Sincelejo, sin embargo, por diseño obtenido en base a los parámetros físicos de ingeniería, se evidencian 3 áreas donde la cobertura existente no tiene los indicadores de calidad (RSRP) adecuados para brindar un servicio con calidad.

Esta percepción en base a la simulación de cobertura se verificó con una prueba de manejo RF (Drive Test)

## Análisis de la prueba de manejo RF (Drive Test) Tigo.

### Análisis General



**Figura 18.** Zonas Evaluadas Drive Test - Tigo

#### Indicadores de calidad (RSRP)

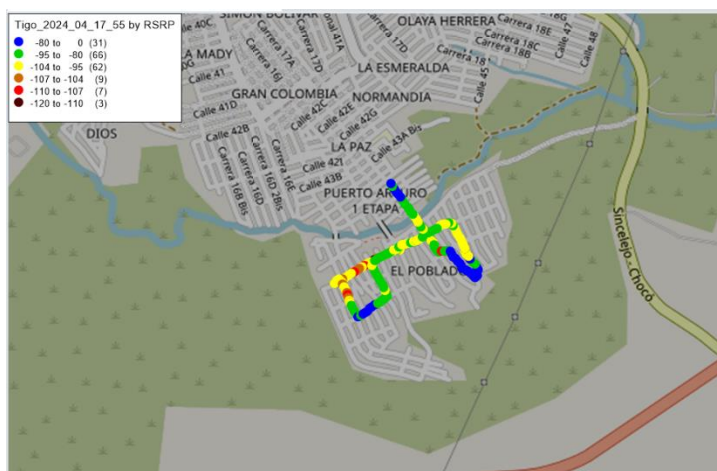
-80 to 0	Indicador excelente
-95 to -80	Indicador bueno
-104 to -95	Indicador aceptable
-107 to -104	Indicador deficiente
-110 to -107	Indicador malo
-120 to -110	Indicador muy malo

Los indicadores en las zonas evaluadas no son los adecuados para mantener un servicio de calidad y con estabilidad, por lo cual se requiere de un proceso de optimización con ajustes físicos para mejorar los KPI.

Los indicadores para una buena navegación y un servicio de calidad deben estar entre -95 to 0



En el análisis de prueba de manejo RF, se observa que los KPI en esta zona donde se ubican los barrios: Los Laureles, Media Luna, San Rafael, Pablo VI, Olimpo, Camilo Torres, La Bucaramanga, Santa María, San José, Kennedy, Botero, Villa Carmela, Los Rosales, El Bosque y Florencia 1. Están entre los rangos -95 dB a -80 dB en algunas partes y entre -104 dB a -95 dB en otras, lo que indica que están entre el límite de buenos y aceptables, sin embargo, esto puede generar bajo throughput y con ello lentitud en la navegación.



**Figura 21.** Área 3 Evaluada - Drive Test Tigo

En el análisis de prueba de manejo RF, se observa que los KPI en esta zona donde se ubica el barrio El Poblado están entre los rangos -95 dB a -80 dB en algunas partes y entre -104 dB a -95 dB en otras, lo que indica que están entre el límite de buenos y aceptables, sin embargo, esto puede generar bajo throughput y con ello lentitud en la navegación.

De acuerdo con las observaciones de los KPI por cada zona analizada, se les está vulnerando el acceso a la red LTE y estarían limitando el derecho a la inclusión digital y ambiente sano a los siguientes barrios, Tabla 4.

**Tabla 4. Zonas vulneradas**

<i>Zona</i>	<i>Barrios</i>	<i>Operador que vulnera</i>
Comuna 1	Ciudad Satélite	Tigo
	B. Vallejo	Claro
Comuna 8	El Poblado	Tigo
	El Progreso,	Claro
	Uribe Uribe,	Claro
	El Dorado,	Claro
	Olaya Herrera,	Claro
	La Esmeralda,	Claro
	La Paz,	Claro
	Antonio Nariño	Claro
Comuna 7 Este-noreste o estenordeste (ENE)	Los Alpes	Claro
	San Miguel	Claro
Límites de la comuna 7 hacia el Noreste (NE).	Los Laureles,	Tigo
Límites de la comuna 6 hacia el Norte-noreste (NNE).	Media Luna,	Tigo
	San Rafael,	Tigo
Límites entre la comuna 1 y 6 hacia el noreste (NO).	Pablo VI,	Tigo
	Olimpo,	Tigo
Límites entre las comunas 2, 3, y 4 hacia el sudoeste (SO).	Camilo Torres,	Tigo
	La Bucaramanga,	Tigo
	Santa María,	Tigo
	San José,	Tigo
	Kennedy,	Tigo
	Botero,	Tigo
	Villa Carmela,	Tigo
	Los Rosales,	Tigo
El Bosque y Florencia 1.	Tigo	


### Cálculo de ARFCN.

En los datos captados mediante los Drive Test con la aplicación G-NetTrack Pro, se evidencia el ARFCN de los operadores evaluados de la siguiente manera:

Claro tiene un ARFCN de 9560 lo que según la calculadora de cellmapper, (2024) representa una frecuencia del enlace ascendente (teléfono a la estación base) de 738 MHz y una frecuencia del enlace descendente (estación base a teléfono) de 793 MHz.

ns1:name	name	ns1:value
4G 9560	CGI	7321013008900002
4G 9560	CELLNAME	
4G 9560	CELLID	2
4G 9560	eNB	787002
4G 9560	TAC	30089
4G 9560	TECHNOLOGY	4G
4G 9560	MODE	LTE
4G 9560	ARFCN	9560
4G 9560	BAND	L28
4G 9560	BANDWIDTH	10
4G 9560	CA	false
4G 9560	RSRP	-69 dBm
4G 9560	RSRQ	-17
4G 9560	LAYER	1
4G 9560	PC	56
4G 9560	DL_BITRATE	36 kbps
4G 9560	UL_BITRATE	69 kbps
4G 9560	IP	128.117.132.172
4G 9560	SNR	8.0
4G 9560	LTE_RSSI	-51
4G 9560	TA	2
4G 9560	PHONE STATE	D
4G 9560	IMEI	

**Figura 23.** ARFCN Claro

Resultado	
Tipo de tecnología	LTE (FDD)
E/U/ARFCN	9560
Nombre de la Banda	APT
Frecuencia del enlace ascendente (teléfono a la estación base)	738 MHz
Frecuencia del enlace descendente (estación base a teléfono)	793 MHz
Número de Banda	28
Possible Bandwidths	3 MHz 5 MHz 10 MHz 15 MHz 20 MHz
Sector Color	

**Figura 22.** Calculo ARFCN

Tigo tiene un ARFCN de 9310 lo que según la calculadora de cellmapper, (2024) representa una frecuencia del enlace ascendente (teléfono a la estación base) de 713 MHz y una frecuencia del enlace descendente (estación base a teléfono) de 768 MHz.

ns1:name	name	ns1:value
4G 9310	CGI	7321030128000153
4G 9310	CELLNAME	
4G 9310	CELLID	153
4G 9310	eNB	310014
4G 9310	TAC	1280
4G 9310	TECHNOLOGY	4G
4G 9310	MODE	LTE
4G 9310	ARFCN	9310
4G 9310	BAND	L28
4G 9310	BANDWIDTH	
4G 9310	CA	false
4G 9310	RSRP	-86 dBm
4G 9310	RSRQ	-13
4G 9310	LAYER	1
4G 9310	PC	15
4G 9310	DL_BITRATE	0 kbps
4G 9310	UL_BITRATE	0 kbps
4G 9310	IP	100.86.188.190
4G 9310	SNR	0.0
4G 9310	LTE_RSSI	-53
4G 9310	PHONE STATE	I
4G 9310	IMEI	
4G 9310	SPEED	0 km/h

*Figura 25. ARFCN Tigo.*

Resultado	
Tipo de tecnología	LTE (FDD)
E/U/ARFCN	9310
Nombre de la Banda	APT
Frecuencia del enlace ascendente (teléfono a la estación base)	713 MHz
Frecuencia del enlace descendente (estación base a teléfono)	768 MHz
Número de Banda	28
Possible Bandwidths	3 MHz 5 MHz 10 MHz 15 MHz 20 MHz
Sector Color	

*Figura 24. Calculo ARFCN Tigo.*

Los valores de ARFCN de los operadores están dentro de los rangos permitidos debido a que oscilan entre intervalo de frecuencias de 9 kHz a 300 GHz. Por lo tanto, no representan peligro de radiación ionizante de acuerdo con la normatividad vigente sobre límites de campos electromagnéticos según la Organización Mundial de la Salud (OMS).

## Discusión

Los hallazgos obtenidos sobre exploración de la cobertura de las redes móviles en Sincelejo presentan importantes desafíos en el provisionamiento de servicios de telecomunicaciones adecuados en cuestión de calidad. A pesar de que tanto la señal de Claro como la de Tigo cubren el 100% del centro poblado del municipio, se identificaron de manera significativa varias áreas donde la calidad de señal no cumple con los estándares necesarios para garantizar una conectividad apropiada.

Hay que destacar que la deficiencia de calidad en la señal puede ser atribuida a varios motivos, entre ellos la insuficiente financiación en infraestructura por parte de los operadores, especialmente en las áreas que están alrededor de los límites que redondean la ciudad. En esta situación se evidencia una brecha digital que no solo impacta el acceso a servicios de comunicación, sino que también tiene implicaciones en el acceso a oportunidades educativas, laborales y de bienestar social.

Además, el hecho de que las estaciones transmisoras no representen un peligro de radiación ionizante es un aspecto positivo para tener en cuenta en el contexto de garantizar un ambiente sano. Sin embargo, esto no debe compensar la deficiencia de calidad en la cobertura, la cual sigue siendo un problema crítico a tener en cuenta y que requiere atención inmediata.

De manera evidente la diferencia en la calidad de la señal entre diferentes barrios de Sincelejo resalta la necesidad de una inversión más significativa en las infraestructuras de telecomunicaciones y de políticas que garanticen una eficiente distribución equitativa de

los recursos digitales. Solo así se podrá cerrar la brecha digital y asegurar que todos los ciudadanos tengan acceso a los beneficios de la conectividad estable.

### **Conclusiones**

Cada análisis de pruebas iniciales de manejo RF (Drive Test) con los operadores Claro y Tigo por cada una de las comunas y diferentes sectores urbanísticos del municipio de Sincelejo, dio un reporte diferente el cual analizamos de manera general para reconocimiento de las zonas, para luego de manera detallada realizar las visitas a las estaciones y tomar los datos para realizar las simulaciones de cobertura que ayudaron a minimizar la problemática al evaluar 3 áreas por cada operador.

En pocas palabras, el análisis realizado ayudó a sectorizar y saber en qué puntos, zonas, o barrios de la ciudad de Sincelejo, los principales operadores de servicios móviles de datos Claro y Tigo tienen deficiencias en cuanto a potencia y calidad de señal de acuerdo con los indicadores de calidad RSRP; por lo cual, se les está restringiendo el acceso a la red LTE en dichos sectores.

El análisis de la cobertura de redes móviles de datos en la ciudad de Sincelejo, Sucre, es de vital importancia para mitigar el impacto de la brecha digital que existe hoy en día y de esta forma analizar si existe alguna omisión de derechos de inclusión digital y ambiente sano en la región.

Los resultados obtenidos revelan que no existe una continuidad en rangos de indicadores de buenos a excelentes, lo cual conlleva a que ciertas zonas tengan acceso

limitado o nulo a la red LTE de los operadores evaluados. De alguna forma se estarían limitando los derechos de inclusión digital.

Es crucial destacar que la falta de inversión en infraestructura de telecomunicaciones por parte de los proveedores de servicios de internet es un factor determinante en esta problemática. La ausencia de una demanda suficiente en áreas rurales ha impedido la expansión de redes y la mejora de la conectividad en esas regiones. Esto ha dejado a numerosos ciudadanos excluidos de oportunidades de desarrollo económico y social.

## Referencias

- ANE. (13 de 11 de 2023). *Agencia Nacional del Espectro*. Obtenido de [www.ane.gov.co](http://www.ane.gov.co): <https://www.ane.gov.co/gestion-tecnica/SitePages/despliegue-infraestructura/normatividad.aspx>
- Arroyo Pérez, C. D. (02 de 11 de 2021). *Análisis comparativo entre un Drive Test RF realizado con el modelo tradicional y un Drive Test utilizando un Dron Phantom como vehículo*. Obtenido de [repository.udistrital.edu.co](http://repository.udistrital.edu.co): <https://repository.udistrital.edu.co/items/04418d4d-f009-49c3-8034-70aa71a76ab5>
- Boiarynov, S. (27 de 01 de 2024). *ZYXEL NETWORKS*. Obtenido de [support.zyxel.eu](http://support.zyxel.eu): <https://support.zyxel.eu/hc/es/articles/360005188999-Calidad-de-la-se%C3%B1al-LTE-5G-Par%C3%A1metros-de-calidad-de-la-se%C3%B1al-LTE-y-5G#01H92WFF8W9PTTF1MVKP484PMA>
- cellmapper. (15 de 02 de 2024). *Calculadora de ARFCN*. Obtenido de [www.cellmapper.net](http://www.cellmapper.net): <https://www.cellmapper.net/arfcn?net=LTE&ARFCN>
- DANE. (28 de 07 de 2022). *Comunicado de prensa Encuesta de tecnologías de la información y las comunicaciones en hogares (ENTIC Hogares) 2021*. Obtenido de [dane.gov.co](http://dane.gov.co): <https://www.dane.gov.co/index.php/estadisticas-por-tema/tecnologia-e-innovacion/tecnologias-de-la-informacion-y-las-comunicaciones-tic/encuesta-de-tecnologias-de-la-informacion-y-las-comunicaciones-en-hogares-entic-hogares>
- EVA. (02 de 08 de 2018). *Función Pública*. Obtenido de EVA (Espacio Virtual de Asesoría) : <https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=87800>
- GyokovSolutions. (03 de 03 de 2015). *Google Play*. Obtenido de [play.google.com](http://play.google.com): [https://play.google.com/store/apps/details?id=com.gyokovsolutions.gnettrackpropus&hl=es\\_CO&pli=1](https://play.google.com/store/apps/details?id=com.gyokovsolutions.gnettrackpropus&hl=es_CO&pli=1)
- Hernandez Sampieri, R., Fernandez Collado, C., & Baptista Lucio, P. (2020). *Metodología De La Investigación*. México: Mc Graw Hill Education.
- Hernando Róbanos, J. M., Riera Solís, J. M., & Mendo, T. L. (2013). *Transmisión por radio 7° Edición*. CEURA.
- MinTic. (29 de 10 de 2019). *MinTic*. Obtenido de [www.mintic.gov.co](http://www.mintic.gov.co): <https://www.mintic.gov.co/portal/inicio/Sala-de-prensa/Noticias/106940:No-tener-Internet-es-estar-excluido-del-sistema-de-desarrollo-economico-y-social-viceministro-Mantilla>
- Narváez Ortiz, E. E. (10 de 09 de 2018). *Repositorio Institucional De La Universidad De Guayaquil*. Obtenido de <http://repositorio.ug.edu.ec>: <http://repositorio.ug.edu.ec/handle/redug/36181>
- NIH. (25 de 10 de 2023). *INSTITUTO NACIONAL DEL CÁNCER*. Obtenido de [cancer.gov](http://cancer.gov): <https://www.cancer.gov/espanol/publicaciones/diccionarios/diccionario-cancer/def/radiacion-no-ionizante>
- PANHISPÁNICO. (25 de 10 de 2023). *Diccionario panhispánico del español jurídico*. Obtenido de [dpej.rae.es](http://dpej.rae.es): <https://dpej.rae.es/lema/lte>

- Pardo Figueroa, H. M., & Obando Fernández, J. A. (10 de 06 de 2021). *UNAD Universidad Nacional Abierta y a Distancia* . Obtenido de <https://repository.unad.edu.co/handle/10596/42461>
- Pepinós Ruiz, M. A. (04 de 2018). *Repositorio Institucional De La universidad Politécnica Salesiana* . Obtenido de <https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/15455>
- Rodríguez Castro, L. P. (05 de 09 de 2018). *Repositorio Institucional Continental*. Obtenido de <https://repositorio.continental.edu.pe/handle/20.500.12394/4885>
- Rodríguez Duran, F. N. (2018). *Repositorio Institucional Universidad Piloto De Colombia*. Obtenido de <http://repository.unipiloto.edu.co/handle/20.500.12277/9972>
- Sallent R, O., Valenzuela G, J. ..., & Agustí C, R. (2003). *Principios de comunicaciones móviles*. Edicions UPC.
- Teletopix. (31 de 03 de 2024). *teletopix.org*. Obtenido de Telecomunicaciones Tecnología: <https://teletopix.org/es/que-es-arfcn-lte/>
- Teltonika. (07 de 12 de 2018). *Teltonika-Networks*. Obtenido de [wiki.teltonika-networks.com: https://wiki.teltonika-networks.com/view/RSRP\\_and\\_RSRQ](https://wiki.teltonika-networks.com/view/RSRP_and_RSRQ)
- Vidal, F. (09 de 2017). *Redes Móviles*. Obtenido de mindmeister: <https://www.mindmeister.com/es/951569060/redes-m%C3%B3viles>

## Anexos

### A. Instrumentos utilizados en campo.



### B. Estaciones de operadores móviles.



### C. Tomando datos de las estaciones



### D. Realizando Drive Test



## E. Ponencias

The image shows a presentation slide from UNIREMINGTON. The slide content is as follows:

**UNIREMINGTON**  
CORPORACIÓN UNIVERSITARIA REMINGTON  
CALLE 100 # 100-100

Exploración de la cobertura de los principales proveedores de las redes móviles para establecer evidentes omisiones a los derechos de inclusión digital y ambiente sano en la ciudad de Sincelejo - Sucre

Estudiantes  
Daniel David Sanchez Florez  
Deimer Luis Marchan Medina

Docentes  
Alex David Morales Acosta

Facultad  
Ingeniería

The screenshot below the photo shows a Zoom meeting interface. The main window displays the same presentation slide. The chat window on the right contains the following messages:

**Chat de la reunión**

Cordial saludo, por favor diligenciar la asistencia.  
<https://forms.office.com/USD/F62301U>

Pleas...  
A post on...  
forms.offi...  
ce.com

Daniel David Sanchez Florez: 14:42

DD si, aqui estoy

14:42

Si estamos

Daniel David Sanchez Florez: 14:42

DD buenas tardes

Escribe un mensaje...

Windows taskbar at the bottom shows the time as 14:43 on 30/9/2023.

