

Factibilidad técnica – económica: Cobertura LTE en banda de 700 MHz en la comuna El Tambo

Technical–economic feasibility: LTE coverage in the 700 MHz band in the El Tambo commune

José Regatto, Daniel Jaramillo

Abstract—The rural commune of El Tambo, in the province of Santa Elena, is characterized by a very marked digital divide, due to the deficient coverage of the services of mobile phone operators, which have coverage between -140 dBm and -120 dBm, making networks with 4G technology inoperable, which limits the population from developing socioeconomically. The objective of this research was to determine the technical and economic feasibility of implementing a node with LTE coverage on the 700 MHz platform. The research validation methodology combined simulations in the specialized software ATOLL (under an educational license) to design the coverage, with a financial analysis using a 15% discount rate. The technical results confirm that the proposed solution guarantees optimal coverage, with RSRP signal levels above -85 dBm, despite colocation, in the El Tambo commune and surrounding communities such as Prosperidad, La Ladrillera, and La Delicia. In the economic field, the project demonstrated a high viability and profitability index, presenting a Discounted Payback Time, TDR, of 1 year and 5 months. In contrast, the profitability was ratified with a Net Present Value, NPV, of \$30217.15 and an Internal Rate of Return, IRR, of 49.81% at the end of year 2. At that time, the recovery of invested capital is resolved. It is concluded that this implementation is a technical necessity for developing community strategies and a good investment opportunity that promises a financial return significantly greater than the required risk.

Index Terms—LTE Coverage, Digital Divide, 700 MHz, El Tambo, 4G Telephony.

Resumen—La comuna rural de El Tambo, en la provincia de Santa Elena, se caracteriza por una marcada brecha digital debido a la deficiente cobertura de los servicios de telefonía móvil, que oscila entre -140 dBm y -120 dBm. Esto hace que las redes con tecnología 4G queden inoperativas, lo que limita el desarrollo socioeconómico de la población. El objetivo de esta investigación fue determinar la viabilidad técnica y económica de implementar un nodo con cobertura LTE en la banda de 700 MHz. La metodología de validación combinó simulaciones en el software especializado ATOLL (bajo licencia educativa) para diseñar la cobertura, junto con un análisis financiero que utilizó una tasa de descuento del 15%. Los resultados técnicos

confirman que la solución propuesta garantiza una cobertura óptima, con niveles de señal RSRP superiores a -85 dBm, incluso en la colocalización, en la comuna de El Tambo y en comunidades aledañas como Prosperidad, La Ladrillera y La Delicia. En el ámbito económico, el proyecto demostró un alto índice de viabilidad y rentabilidad, con un período de recuperación de la inversión (PRI) de 1 año y 5 meses. En contraste, la rentabilidad se confirmó con un Valor Actual Neto (VAN) de \$30,217.15 y una Tasa Interna de Retorno (TIR) del 49.81% al final del segundo año. En ese momento, se resolvió la recuperación del capital invertido. Se concluye que esta implementación es técnicamente necesaria para el desarrollo de estrategias comunitarias y constituye una buena oportunidad de inversión que promete un retorno financiero significativamente mayor que el riesgo asumido.

Palabras Claves—Cobertura LTE, brecha digital, 700 MHz, El Tambo, telefonía 4G.

I. INTRODUCTION

La conectividad a Internet se ha consolidado como un pilar fundamental para el desarrollo socioeconómico en el siglo XXI. Sin embargo, la brecha digital persiste, especialmente en áreas rurales y con topografía compleja. La conectividad limitada a internet en las comunidades rurales constituye una barrera significativa para su desarrollo integral. La topografía accidentada y la dispersión demográfica del sector de estudio dificultan la implementación de una infraestructura de telecomunicaciones robusta, afectando a la comunidad en diversos ámbitos de la vida y ampliando la brecha digital existente [1]. La inexistencia de una cobertura de telefonía celular con tecnología LTE afecta directamente a la población, limitando el acceso a servicios como la educación en línea y el comercio electrónico y generando restricciones educativas y económicas en los habitantes [2].

La implementación de un nodo LTE en estas zonas no solo mejoraría la calidad de vida de sus habitantes al facilitar el acceso a información y servicios digitales, sino que también impulsaría el desarrollo económico local [3]. En este contexto, la comuna EL Tambo, cuya actividad económica principal es la producción de muebles, se ve afectada por la falta de conectividad a internet, lo que limita el crecimiento y el desarrollo de este sector [4]. La falta de acceso al servicio de internet, ya sea mediante la conectividad celular o fija, hace

Regatto J., estudiante del programa de maestría de Telecomunicaciones de la Universidad Estatal Península de Santa Elena, La Libertad, Ecuador (email: j.regattodelpezo@upse.edu.ec).

Jaramillo D. docente del programa de maestría de Telecomunicaciones de la Universidad Estatal Península de Santa Elena, La Libertad, Ecuador (email: djaramillo@upse.edu.ec).

que los fabricantes desconozcan las tendencias de diseño, la innovación en materiales y las tecnologías de producción [5].

Implementar una estación base de cobertura 4G en la comuna de El Tambo se presenta como una necesidad para cerrar la brecha digital y promover el desarrollo sostenible de la zona de estudio [6]. La comunidad tendrá múltiples beneficios, como el desarrollo de la economía local y la mejora de la calidad de vida, entre otros. El trabajo conjunto de los actores involucrados y las autoridades es de vital importancia, pues garantizará la integración de la comunidad en la sociedad de la información [7].

El estudio tiene como objetivo la evaluación de la factibilidad técnica – económica para la implementación de una estación base con cobertura 4G dentro de la comunidad El Tambo mediante el uso de simuladores especializados, ATOLL, para determinar la cobertura óptima, capacidades de la red, y calidad de servicio a ofertar a los usuarios de esta comunidad en diferentes escenarios de tráfico.

En la actualidad, el desarrollo socioeconómico de las comunidades se basa en la conectividad a internet [8]. Sin embargo, aún existen comunidades rurales que se enfrentan al desafío del acceso a servicios de calidad en el ámbito de las telecomunicaciones, lo que limita la educación en línea y el comercio electrónico, y impide que los habitantes participen como individuos activos en la sociedad de la información [9].

Los autores Soto et al. aseguran que implementar una red de cobertura LTE en áreas rurales permite mejorar la calidad de vida de sus habitantes y, además, impulsa el desarrollo económico local. Uno de los sectores con mayores beneficios de la conectividad será el productivo, en particular, el dedicado a la fabricación de muebles [10].

Los artesanos y fabricantes podrían acceder a información actualizada sobre tendencias de diseño, nuevos materiales y tecnologías de producción, lo que les permitiría mejorar la calidad de sus productos y expandir sus mercados. Además, la conectividad facilitaría la colaboración con diseñadores y fabricantes de otros lugares, fortaleciendo la cadena de valor local y generando nuevas oportunidades de negocio [11].

En este contexto, se evidencia el reconocimiento de los impactos positivos que la conectividad genera en las comunidades rurales. Sin embargo, se puede identificar un alto grado de información inexistente para profundizar en los aspectos técnicos de la implementación de tecnologías como el LTE en las zonas rurales ecuatorianas [12]. Debido a esto, es importante realizar estudios focalizados para comprender las particularidades y los desafíos inherentes a la implementación de estas señales [13].

Asimismo, es importante comprender que la justificación técnica y económica para la implementación de este tipo de proyectos debe estar respaldada por un marco regulatorio vigente en la República del Ecuador. La Agencia de Regulación y Control de las Telecomunicaciones (ARCOTEL) establece normativas sobre cobertura, calidad de servicio (QoS) y los requisitos técnicos que las operadoras deben cumplir. En esta situación, se establecen las exigencias para que las operadoras mantengan umbrales mínimos que permitan un QoS aceptable en el Nivel de Potencia de Señal

Recibida (RSRP), de al menos -105 dBm, para el adecuado funcionamiento de la red 4G LTE y sus servicios adicionales [14].

En conclusión, la falta de conectividad a internet en la comuna de El Tambo es un obstáculo para su desarrollo integral. La implementación de una red 4G no solo es una necesidad técnica, sino también una inversión estratégica que permitirá cerrar la brecha digital, mejorar la calidad de vida de los habitantes, impulsar el desarrollo económico local y posicionar a la comuna El Tambo como una población más conectada y competitiva en el siglo XXI [15].

II. TRABAJOS RELACIONADOS

Para los autores Chamorro et al., la investigación planteada sobre la implementación de una estación base LTE en la zona rural del Perú aborda el análisis de la brecha digital existente entre las áreas urbanas y rurales del país. La investigación realizada tiene como centro la evaluación de la conectividad y calidad de señal mediante las métricas de indicadores de rendimiento, KPIs, a través de niveles de señal recibido, específicamente se mide la relación señal-ruido (SRN), esta variable se compara con las recomendaciones determinadas por la UIT para las frecuencias de 700 MHz y 2100 MHz donde se puede determinar que la estación base implementada cumple los estándares internacionales, superando los valores mínimos establecidos. La investigación presentó valores de 31.4 dB y -9.6 dB, superando los valores establecidos por la Unión Internacional de Telecomunicaciones de 20 dB y -15 dB para SRN y calidad de señal, respectivamente [16].

De acuerdo con Shutko et al., la cobertura en las zonas rurales de Ucrania se ha enfrentado a diversos desafíos debido a las distancias y a la complejidad geográfica de las regiones. La solución propuesta en esta investigación es la implementación de antenas externas de alta ganancia, donde el modelo Yagi de 20 dBi con tecnología MIMO alcanza velocidades de 8 Mbps, señales con SINR positivo y conectividad con estaciones a una distancia de hasta 30 km. Estas características permiten el acceso a internet. Para lograr estos enlaces es necesario instalar antenas con ganancias de 15 a 24 dBi a una altura mínima de 6 metros. La propuesta define soluciones viables para hogares en zonas rurales, bioestaciones y estaciones médicas en zonas remotas, lo que permite la continuidad de los servicios y contribuye a la economía y la ciencia locales de las regiones más apartadas [17].

Un estudio técnico-económico realizado para evaluar la tecnología Acceso Inalámbrico Fijo (FWA) LTE demuestra que es una estrategia efectiva para mitigar la brecha digital de banda ancha en los sectores rurales europeos. Este estudio incluye un análisis comparativo frente a soluciones guiadas de alta velocidad, como G.fast (Gigabit Digital Subscriber Line, DSL, protocolo de alta velocidad, 1 Gbps en un par de cables de cobre) y FTTdp (Fiber To The Distribution Point, arquitectura de red de fibra óptica donde el cobre G.fast completa la última milla). Uno de los problemas más importantes fue la densidad poblacional, que oscilaba entre 30 y 50 personas por km²; sin embargo, la tecnología aplicada

demostró ser la más rentable, proporcionando conectividad a internet con velocidades de hasta 30 Mbps. La diferencia económica entre las tecnologías se centra en el CAPEX, donde la tecnología FFTdp representa el 72% de la inversión, sin incluir las tarifas de asignación de espectro, mientras que FWA representa el 34.7% en costos de eNodeB y las tarifas de alquiler de espectro el 23.5%; es decir, la inversión representa el 58.2% del CAPEX. De acuerdo con el estudio realizado, la tecnología LTE FWA aprovecha la cobertura que ya poseen las redes móviles y requiere menos inversión y subsidios que la implementación de redes fijas [18].

Para el respaldo de esta propuesta de bajo costo se analiza el trabajo de implementación de un prototipo de estación base con tecnología 4G/LTE con una inversión de referencial de \$2960.00, este proyecto a pesar de haberse desarrollado con hardware de bajo costo, BladeRF Micro 2.0 xA9 y el software abierto OpenAirInterface, se logra una velocidad de descarga de 10 Mbps operando en la banda de 2.8 GHz. Adicional a esto, se realizaron pruebas de potencia de la señal recibida, que mostraron un desempeño estable, con valores de -75 dBm y -88 dBm a 1 y 2 metros, respectivamente, del equipo emisor. [19].

III. METODOLOGÍA

La investigación propuesta adoptó un diseño no experimental de tipo transversal, misma que se fundamentó en el fenómeno de interés, falta de cobertura móvil LTE en la ruta Santa Elena – Ancón, cuyas condiciones preexistentes se observaron y se analizaron sin la manipulación deliberada por parte del investigador, además la recolección de datos se realizó en un único momento temporal, lo que permitió examinar la incidencia y la interrelación de las variables de estudio [20].

Debido al alcance y propósito, la investigación poseyó un enfoque mixto descriptivo – analítico, debido a que no se limitó a la descripción del fenómeno para la caracterización del contexto de estudio, estado de conectividad y la naturaleza de los problemas percibidos, sino también a entender de manera profunda cómo y por qué la ausencia de cobertura LTE impacta a los grupos de interés.

Esto conllevó el análisis de correlación entre las variables de infraestructura y la factibilidad técnica [21].

Adicional a esto, el enfoque se extendió a la factibilidad socioeconómica, donde la investigación validó la necesidad social mediante la medición de la brecha digital con la métrica Reference Signal Received Power (RSRP) y probó la factibilidad financiera, demostrando la asequibilidad de los planes de la operadora TUENTI para la economía local.

El proceso metodológico combinó la recolección de datos con equipos especializados y la simulación del modelado técnico en la etapa inicial. Las mediciones realizadas in situ son importantes, ya que los resultados se utilizaron para optimizar el modelo de propagación de radiofrecuencia en ATOLL. Además, con esta información se realizó un análisis correlacional mediante el índice de Pearson, lo que permitió la validación y calibración del nuevo modelo para establecer una predicción de la cobertura total de la señal 4G en la zona y,

finalmente, se realizó la evaluación técnico-económica de la propuesta para la implementación de la red LTE, Fig. 1.

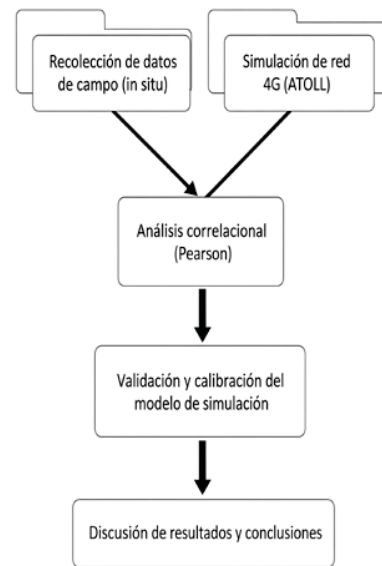


Fig. 1. Diagrama de proceso de la metodología aplicada

El desarrollo de la propuesta tuvo lugar en un sector rural de la provincia de Santa Elena, cantón del mismo nombre, comuna El Tambo y en la ruta Santa Elena – El Tambo – Ancón. La Fig. 2 presenta el mapa geográfico de cobertura, propiedad de la operadora TUENTI, que demuestra que en la comunidad se mantiene un nivel de recepción extremadamente bajo, en un rango de -120 a -140 dBm, para las señales 4G (LTE), lo que la hace inoperable para los servicios de telefonía celular.

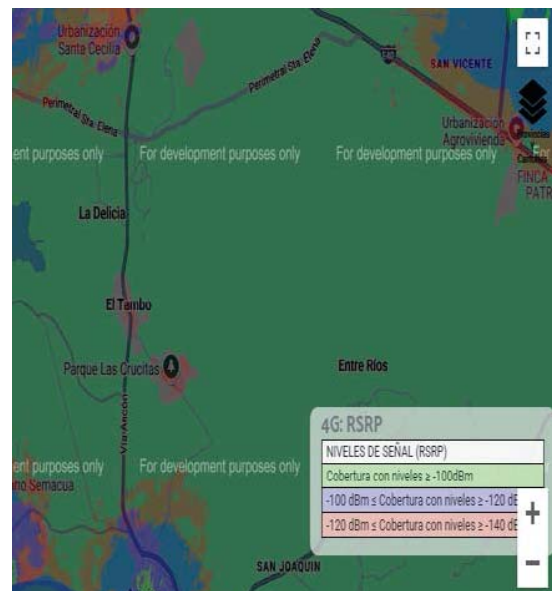


Fig. 2. Ubicación del escenario de estudio y cobertura

Es importante mencionar que la renovación de los contratos de concesiones de uso de frecuencias para las operadoras de telefonía móvil en el país, con las operadoras telefónicas

Conecel (Claro) y Millicom (Movistar y Tuenti) tienen un periodo de 13 años, hasta el año 2038, y además incluye los títulos habilitantes para la transmisión en la banda 28, misma que representa los 700 MHz [22].

El planteamiento de la solución está diseñado en 4 etapas, Fig. 3, con una estructura robusta para mantener un control estricto en las tareas secuenciales: Planificación, Recolección, Modelado y Análisis. Una de las ventajas más importantes de esta estructuración es la mitigación de riesgos, ya que cada etapa se convierte en un hito de control para verificar la calidad de los datos y validar las simulaciones, lo que permite corregir errores.



Fig. 3. Etapas de la solución propuesta

A. Planificación y definición de objetivos

El objetivo principal de este estudio es evaluar la factibilidad técnica del despliegue de una red 4G en la comunidad de El Tambo mediante la simulación en el software ATOLL, con el fin de determinar la cobertura óptima, la capacidad de la red y la calidad del servicio que se puede ofrecer a los usuarios en diferentes escenarios de tráfico.

Los objetivos de la investigación es realizar un levantamiento de información referente a los niveles de señal actuales de la red celular 4G de la operadora TUENTI, propiedad de Millicom, y las características geográficas, topográficas y de infraestructura de la comuna, incluyendo la identificación de obstáculos a la propagación de la señal, posteriormente una simulación y despliegue de la red 4G en ATOLL, variando la ubicación de la estación base para determinar la cobertura óptima y analizar la intensidad de la señal y la capacidad de la red en diferentes puntos de la zona; finalmente estimar el costo de la implementación de la solución, considerando toda la infraestructura correspondiente.

Durante esta etapa se seleccionaron los puntos, Fig. 4, donde se efectuaron las mediciones, se especificaron los parámetros a medir, los equipos y las rutas de medición. Para abordar la problemática planteada, fue necesario realizar mediciones en la ruta que va desde Santa Elena hasta la comuna de San José de Ancón, que pasa por El Tambo.

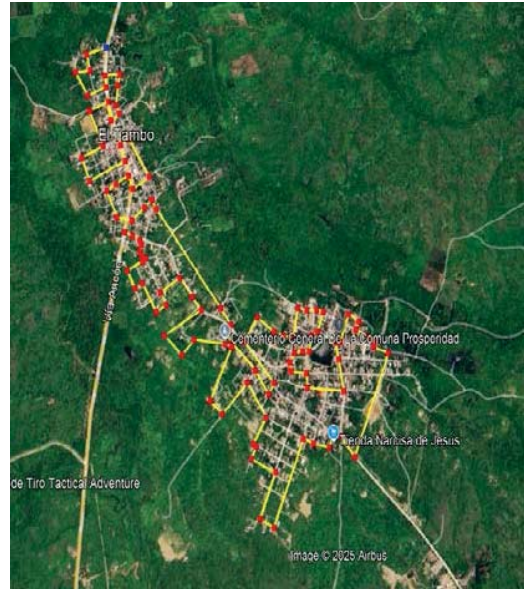


Fig. 4. Recorrido dentro de la comuna para adquisición de datos de potencia de señal recibida

En este contexto, se ha establecido que las mediciones se realizarán en tres recorridos (véase la Tabla I).

TABLA I
DISTANCIAS Y ÁREAS DE TRAMOS DONDE SE REALIZARÁ LA MEDICIÓN DE LA POTENCIA DE SEÑAL

Ruta	Distancia	Área
Ancón – El Tambo	3.50 km	-
El Tambo	10.91 km	1.08 km ²
El Tambo – Santa Elena	3.68 km	-

Una vez definidos los puntos y áreas en los que se tomaron las mediciones, se establecieron los tipos de señales que podían medirse, como se muestra en la Tabla II. Es importante mencionar que, para este estudio en particular, se utilizó la señal RSRP (Reference Signal Received Power) de la torre de transmisión. Esta señal debe tener un nivel de al menos -115 dBm para poder utilizar los servicios básico de la telefonía móvil, y de al menos -90 dBm o mayor para el uso de servicios adicionales de la tecnología 4G [23]-[25].

TABLA II
MÉTRICAS DE SEÑAL CELULAR PARA 4G/LTE Y 5G

Señal	Medida	Descripción
RSRP	Potencia dBm	Esta señal es la potencia media recibida de las señales de referencia (RS) de la celda más cercana y se considera un indicador de la cobertura y la intensidad de la señal útil.
SINR	Calidad dB	Esta señal define la tasa de transmisión o velocidad de datos capaz de alcanzar mediante la medición de la relación señal a interferencia más al ruido.
RSSI	Potencia dBm	Este parámetro es un indicador de la intensidad de la señal recibida, capaz de medir la potencia total recibida por un dispositivo dentro del ancho de banda de un canal.
RSRQ	Calidad dB	Métrica de calidad que combina RSRP y RSSI sobre un número de bloques de

recursos, informando el nivel de interferencia y carga de la celda, esta señal permite conocer la calidad de la señal de referencia recibida

A continuación, se detallan los equipos disponibles para medir la métrica seleccionada (véase la Tabla III).

TABLA III
DESCRIPCIÓN DE EQUIPOS A UTILIZAR

Equipo	Tipo	Característica	Función
Network Cell Info	Aplicación	Monitoreo de redes móviles y Wi-Fi	Calidad y rendimiento de red
Narda SMR-3006	Medidor de campos electromagnéticos	Medidor de parámetros técnicos de red	Medición precisa y detallada de señales
Xiaomi Redmi Note 11	Smartphone	Terminal móvil para uso de aplicación	Instrumento para recolección de datos

B. Recolección de datos en campo.

Durante esta etapa, se recolectaron datos en campo; la información obtenida resultó útil para el análisis de la cobertura. Sin embargo, es necesario preparar los equipos y calibrarlos conforme a las configuraciones establecidas por el fabricante y a los estándares aplicables, asegurando la exactitud y la validación de los datos.

Con los equipos correctamente calibrados, se procedió a la toma de métricas según el siguiente protocolo (ver Tabla IV).

TABLA IV
PROTOCOLO DE TOMA DE POTENCIA DE SEÑAL

Parámetro	Valor	Observación
Altura de antena (equipo de recepción)	1.25 m	Altura promedio de las personas
Tiempo total de muestreo	2 h 35 min	-
Intervalo de muestreo	0.25 s	-
Distancia de rutas	7.18 km	Por seguridad se realiza dentro de un vehículo
Velocidad de desplazamiento en rutas	20 km/h	
Distancia dentro de la comuna	10.91 km	
Velocidad de desplazamiento dentro de la comuna	5 km/h	
Entorno	Rural	-

Los datos obtenidos se almacenaron en formato digital. La aplicación utilizada tuvo la capacidad de generar un archivo con los datos recopilados, como el nivel de RSRP, las coordenadas geográficas, el dispositivo desde el que se ejecutó y el estándar de cobertura recibido por el terminal móvil. Para la contrastación y validación de datos se utilizó el equipo Narda SMR3006 para medir la misma variable y, al igual que permite, se exportaron los datos almacenados durante el recorrido.

C. Modelado y simulación

Una vez finalizada la etapa de recolección, organización y validación de las métricas obtenidas en campo, se procedió a realizar la simulación en el software especializado ATOLL. Esta etapa fue de suma importancia, ya que permitió un análisis real y tangible del efecto de las transmisiones de las

estaciones base.

Inicialmente, se realizó una simulación de la situación actual, en la que se elaboró el perfil del sector estudiado.

La comuna El Tambo, ubicada en la parroquia Ancón de la provincia de Santa Elena, Ecuador, presenta características geográficas particulares que influyen significativamente en su desarrollo y en la planificación de proyectos como el despliegue de una red 4G. con una extensión de 2287 hectáreas y limita al norte con la capital provincial Santa Elena, por el sur la comuna San José de Ancón cabecera parroquial, por el este la Bocana y la Comuna San Vicente; por el oeste el sector de la Represa Velasco Ibarra, La Libertad y Salinas [26]. La topografía de la zona es variada, con planicies, colinas y valles. Es importante considerar la altitud, la pendiente y la orientación de las laderas al planificar la ubicación de las estaciones base, ya que estos factores influyen en la propagación de la señal radioeléctrica [27]. La Fig. 5 presenta el mapa topográfico obtenido mediante el software de simulación, en el que se muestran los niveles de elevación del área de estudio, que van de 4 a 52 metros sobre el nivel del mar.

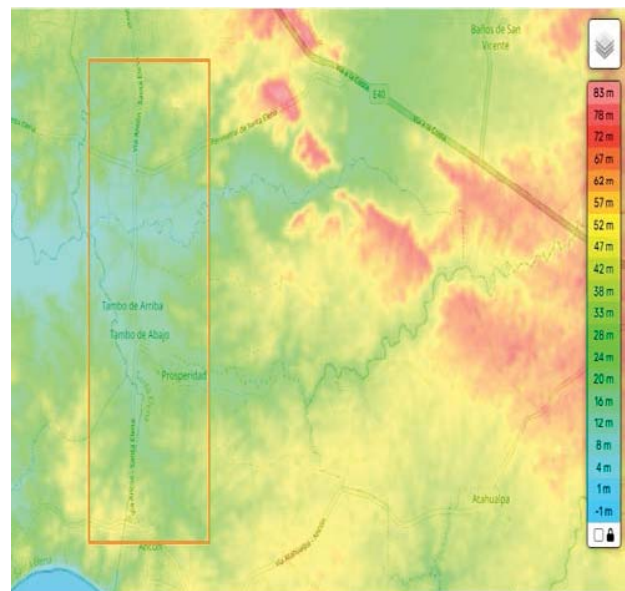


Fig. 5. Mapa topográfico del sector de estudio

Con esta información, se procedió a realizar la simulación en el software con la estación base más cercana, esta se encuentra ubicada en la parroquia San José de Ancón, en las coordenadas $2^{\circ}19'54.54''S$; $80^{\circ}51'13.39''O$, misma que se encarga de dar cobertura a todo el sector de estudio, una vez cargado los parámetros en el simulador (ver Tabla V) se obtiene como resultado la siguiente cobertura por parte de la estación base, Fig. 6.

TABLA V
PARÁMETROS DE SIMULACIÓN PARA ESTACIÓN BASE

Parámetro	Valor
Tip de Celda	LTE
Banda de Frecuencia	E-ULTRA Band 12 -10MHz
Potencia Máxima	43 dBm
RS EPRE (Reference)	15.4 dBm

Signal Energy per
Resource Element)
Min RSRP

-140 dBm

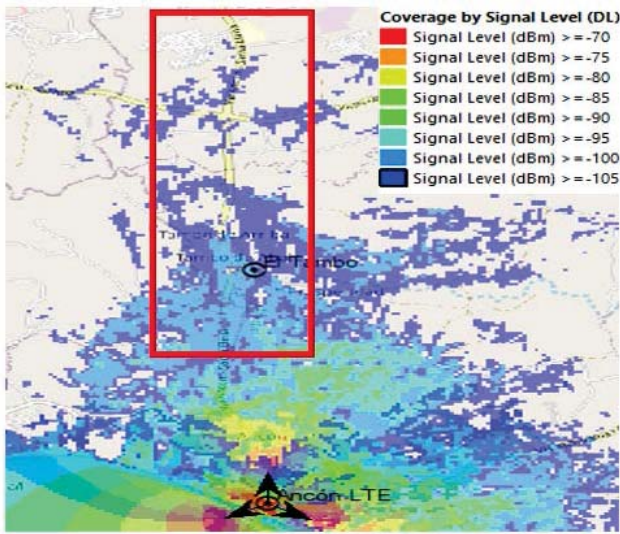


Fig. 6. Simulación de cobertura actual en la ruta Ancón - Santa Elena (comuna El Tambo)

Se observa que los niveles de señal en la comuna El Tambo y en la ruta Ancón – Santa Elena se encuentran por debajo del umbral óptimo para aprovechar los servicios que puede ofrecer la tecnología LTE.

Para resolver la problemática presentada, se propone la implementación de un nodo LTE dentro de la comuna El Tambo, es importante mencionar que actualmente existe una infraestructura perteneciente a otra operadora donde hay disponibilidad de espacio para colocación de antenas sectoriales y aplicar lo que técnicamente se conoce como Colocación, esta práctica es estándar y altamente recomendada, misma que permite la reducción de CAPEX, disminución del tiempo de despliegue, y mitigación de los riesgos de implementación. Utilizando las mismas configuraciones de la TABLA V para la simulación del eNodeB en la comuna el tambo, asumiendo que se utiliza la infraestructura de la otra operadora, ubicada en las coordenadas geográficas 2°17'18.66"S; 80°51'19.07"O, la única diferencia es la altura a la que se encuentran las antenas, que para el caso de la nueva implementación es de 25 m.

En la simulación se aprecia una mejora significativa en los niveles de potencia de la señal recibida, Fig. 7, donde la comuna El Tambo no es la única favorecida por la implementación del eNodeB, sino también las poblaciones circundantes, más pequeñas, como La Delicia, La Ladrillera, El Club de Tiro “Tactical Adventure” y parte de la avenida perimetral.

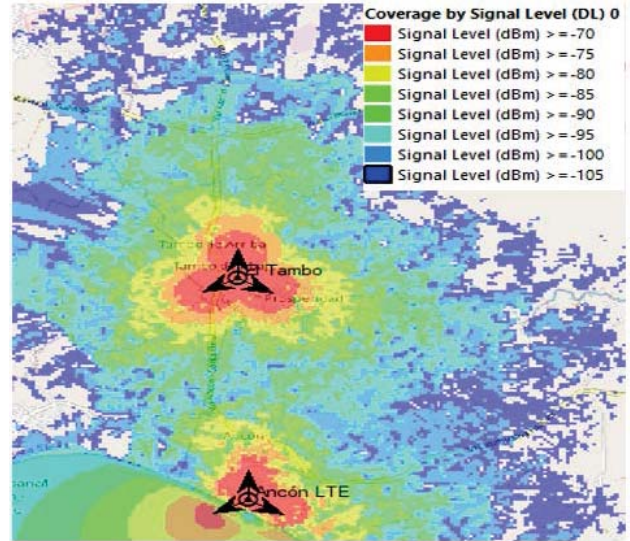


Fig. 7. Simulación de Cobertura luego de la implementación de un e-NodeB en la comuna El Tambo

IV. RESULTADOS

El primer paso es la validación de los datos recolectados mediante el uso de la aplicación frente a los registrados por el equipo Narda, para ello es necesario realizar un análisis estadístico que incluye: el cálculo del error para cada medición realizada (1), y la definición de la desviación estándar del error (2) utilizando un 95% de intervalo de confiabilidad (3), y finalmente determinar el MAPE (4) para la cuantificación de la discrepancia entre ambos registro de datos, obteniendo los resultados mostrados en la Tabla VI.

$$Error_i = Variable2_i - Variable1_i \quad (1)$$

$$s = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (Error_i - Error_{medio})^2} \quad (2)$$

$$Margendeerror = z \cdot \frac{s}{\sqrt{n}}; \quad z = 1.96 \quad (3)$$

$$MAPE = \frac{100}{n} \sum_{i=1}^n \left| \frac{Variable2_i - Variable1_i}{Variable1_i} \right| \quad (4)$$

TABLA VI
ANÁLISIS DE LAS VARIABLES: COMPARACIÓN ENTRE LA APLICACIÓN Y EL EQUIPO NARDA

Parámetro	Valor
Variable	RSRP (dBm)
Error (1)	1.04 dB
Desv. (2)	0.57 dBm
Margen (3)	2.0 dB
MAPE (4)	15.30%

La precisión de los datos se define por los valores de las métricas de error y de desviación, calculadas a partir de los datos obtenidos durante el muestreo. El error del conjunto de datos es de 1.04 dB, lo que se considera un valor bajo, ya que en ingeniería de RF se permite hasta 3 dB para aceptar el parámetro. En cuanto al valor de la desviación, es de 0,57

dBm, es decir, muy cercano a 0, lo que implica que la aplicación está leyendo 0,57 dBm más fuerte, un error fácil de corregir. Por lo tanto, se puede inferir que los datos obtenidos por la aplicación son precisos y válidos para modelar la cobertura LTE en la comuna de El Tambo.

Los valores de la señal recibida en el equipo móvil, Fig. Las Tablas VII, VIII y IX coinciden con los valores generados en la simulación, Fig. 9. Donde se demuestra que los valores de cobertura oscilan entre -95 dBm y -105 dBm. Sin embargo, también se puede observar que en gran parte de la ruta Ancón – El Tambo – Santa Elena la señal es inexistente; estos resultados de lecturas en campo coinciden con la información de cobertura proporcionada por la operadora.

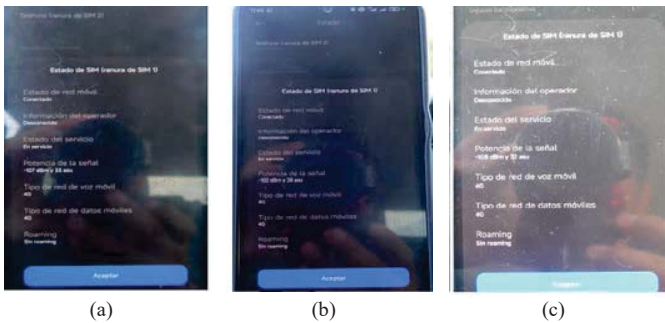


Fig. 8. Nivel de señal recibida en el dispositivo. (a) ruta: Ancón - El Tambo, (b) El Tambo, (c) ruta: El Tambo - Santa Elena

TABLA VII
EXTRACTO DE DATOS DE RECEPCIÓN DE SEÑAL EN LA RUTA: ANCÓN - EL TAMBO

Sim	RT	Lat	Lon	Sig	Dev
1	LTE	-2.3116363	-80.859073	-106	Xiaomi_220 1117TL
1	LTE	-2.3110924	-80.8590174	-106	Xiaomi_220 1117TL
1	LTE	-2.3105578	-80.8589105	-106	Xiaomi_220 1117TL
1	LTE	-2.3099156	-80.8590063	-108	Xiaomi_220 1117TL
1	LTE	-2.3094141	-80.8588759	-116	Xiaomi_220 1117TL
1	LTE	-2.3088113	-80.8588525	-111	Xiaomi_220 1117TL
1	LTE	-2.3082016	-80.8588403	-109	Xiaomi_220 1117TL
1	LTE	-2.3076338	-80.8588203	-108	Xiaomi_220 1117TL

TABLA VIII
EXTRACTO DE DATOS DE RECEPCIÓN DE SEÑAL, DENTRO DE LA COMUNA EL TAMBO

Sim	RT	Lat	Lon	Sig	Dev
1	LTE	-2.2867753	-80.8558736	-114	Xiaomi_220 1117TL
1	LTE	-2.2864791	-80.8560083	-114	Xiaomi_220 1117TL
1	LTE	-2.2861077	-80.8559842	-115	Xiaomi_220 1117TL
1	LTE	-2.2859117	-80.8562317	-119	Xiaomi_220 1117TL
1	LTE	-2.2855959	-80.8563707	-117	Xiaomi_220 1117TL
1	LTE	-2.2851852	-80.8566394	-115	Xiaomi_220 1117TL
1	LTE	-2.2848916	-80.8568683	-118	Xiaomi_220 1117TL

1	LTE	-2.2845762	-80.8570716	-119	Xiaomi_220 1117TL
---	-----	------------	-------------	------	----------------------

TABLA IX
EXTRACTO DE DATOS DE RECEPCIÓN DE SEÑAL EN LA RUTA: EL TAMBO - SANTA ELENA

Sim	RT	Lat	Lon	Sig	Dev
1	LTE	-2.2600325	-80.8581257	-113	Xiaomi_220 1117TL
1	LTE	-2.2594829	-80.8578962	-113	Xiaomi_220 1117TL
1	LTE	-2.2589538	-80.8578707	-109	Xiaomi_220 1117TL
1	LTE	-2.2583669	-80.8580129	-113	Xiaomi_220 1117TL
1	LTE	-2.2577485	-80.8580599	-101	Xiaomi_220 1117TL
1	LTE	-2.2569538	-80.8580243	-113	Xiaomi_220 1117TL
1	LTE	-2.2553099	-80.857758	-103	Xiaomi_220 1117TL
1	LTE	-2.2545737	-80.8576627	-97	Xiaomi_220 1117TL

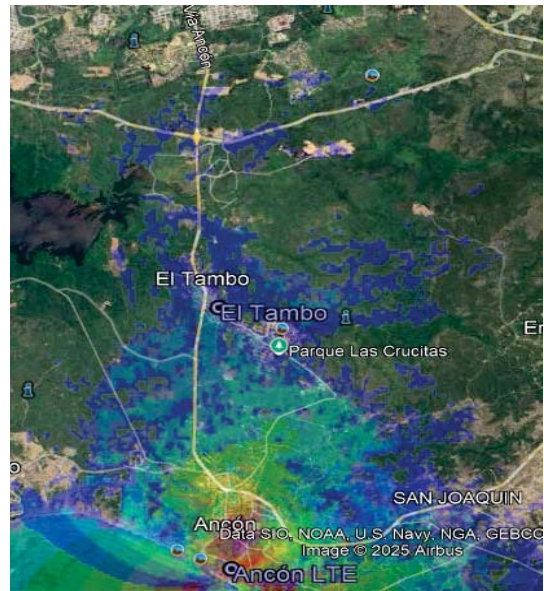


Fig. 9. Cobertura generada por ATOLL, exportada a Google Earth

Con la implementación del eNodeB, la zona de estudio presenta cobertura LTE, según la Fig. 10, en la ruta Ancón – El Tambo, se logra captar señal de las estaciones de ambas localidades; sin embargo, el proceso de Hard Handover permite la conectividad con la estación de mejor señal. Para esta simulación, en este punto específico (aproximadamente a la mitad de la ruta), el terminal móvil se conectaría con la estación base de El Tambo, obteniendo una potencia de señal de -93.62 dBm, lo que permitiría la conectividad a internet de alta velocidad y un desplazamiento de 90 km/h.

De igual manera, se realiza un análisis para la ruta El Tambo – Santa Elena, en un punto intermedio, donde el móvil recibiría señal de las estaciones de las tres localidades: Ancón, El Tambo y Santa Elena. La configuración Hard Handover conectaría el terminal móvil con la estación de El Tambo, otorgándole una señal de -90.49 dBm, con las mismas características de conectividad y desplazamiento Fig. 11.

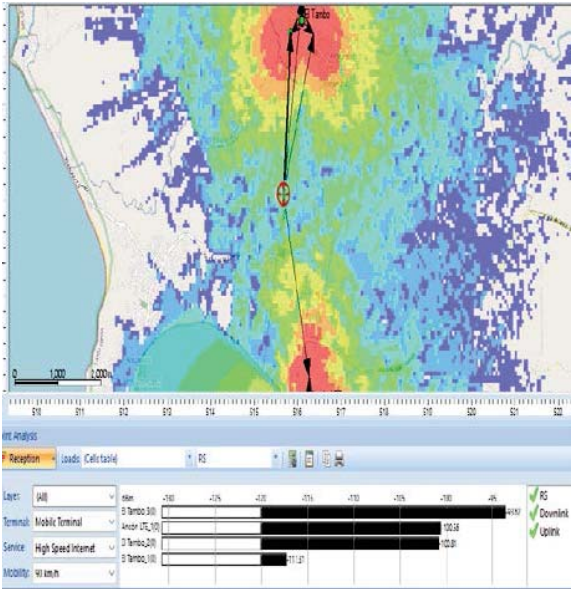


Fig. 10. Simulación de un objetivo en la ruta Ancón - El Tambo

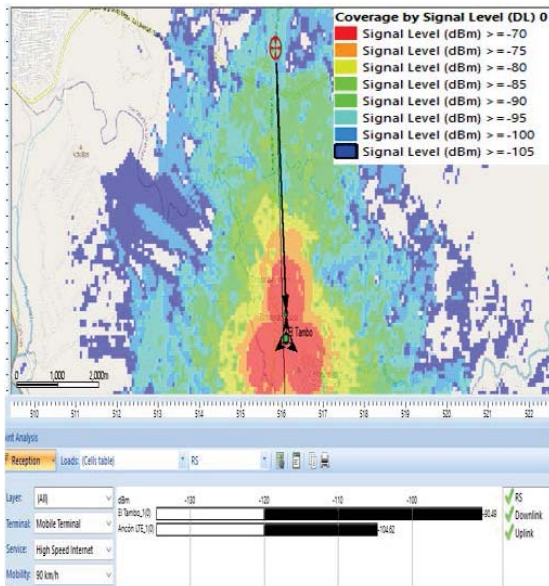


Fig. 11. Simulación de un objetivo en la ruta El Tambo - Santa Elena

En cuanto a la cobertura dentro de la localidad, se puede observar que la implementación de la solución provee de señal en un rango de -38 a -140 dBm, cubriendo un área total de 68 Km² (ver Fig. 12), sin embargo, es importante mencionar que para el uso de los servicios 4G es necesario que la intensidad de señal sea mayor a -90 dBm, lo que reduce el área de cobertura a 17.20 Km², como se muestra en la Fig. 13.

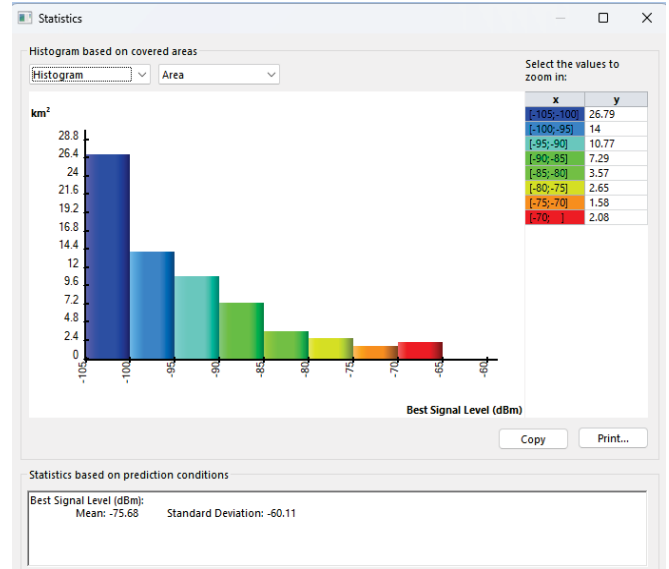


Fig. 12. Histograma de áreas de cobertura de acuerdo al nivel de señal recibida

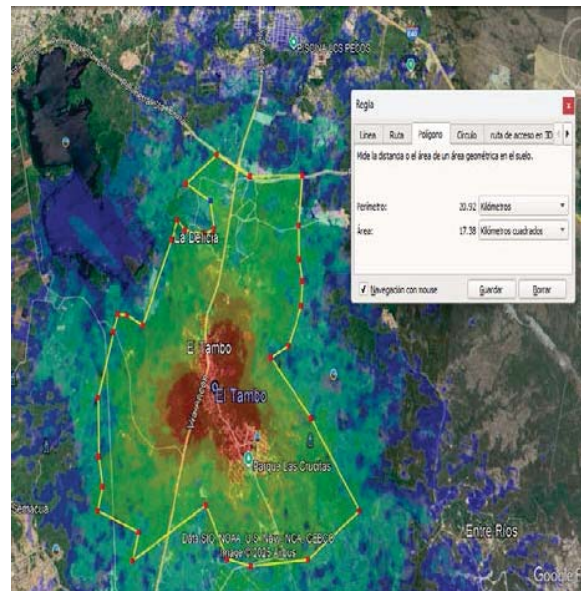


Fig. 13. Simulación de cobertura 4G de la estación base implementada en El Tambo

Lograr la conectividad en la comuna El Tambo dependerá de la infraestructura que se instalará in situ; para ello, se realiza un cálculo para determinar el gasto de inversión de capital (CAPEX; ver Tabla X), el gasto operativo anual (OPEX; ver Tabla XI) y la proyección de ventas. Estos datos permitirán evaluar la factibilidad económica de implementar el e-NodeB.

Para definir las proyecciones de ingresos, es necesario reconocer que la operadora ya cuenta con un nivel de penetración en el mercado. Sin embargo, la nueva cobertura propuesta podrá satisfacer las necesidades reprimidas de servicios esenciales para una rápida migración de los usuarios a la operadora. Es importante definir el ingreso promedio por usuario (ARPU), que se refleja en la adquisición de un plan que incluya datos 4G y justifique la inversión en LTE. La

ventaja que presenta al ser una operadora ya establecida es la rapidez con la que la población podrá adquirir el servicio, lo que implicará un periodo de recuperación acelerado.

TABLA X
CAPEX, INVERSIÓN INICIAL PARA IMPLEMENTACIÓN DE ESTACIÓN BASE EN EL TAMBO

Servicio	Componente	Subcomponente	Valor
Equipamiento RAN	eNodeB/RRU (3 sectores)	Unidad de Radio Remota y Baseband	23000.00
	Antenas LTE	3 antenas Sectoriales 120°	6000.00
	Cables y Conectores RF	Cables de fibra, coaxiales, RF y accesorios	2500.00
Backhaul	Radio Enlaces de Microondas	ODU e IDU	6000.00
	Antenas de Radioenlace	2 antenas Parabólicas	3000.00
Sistema de Energía	Gabinete Exterior y Rectificador	Gabinete y sistema de conversión AC-DC	4500.00
	Baterías (BackUp)	Banco de baterías 4-6 horas	2000.00
Servicio de Instalación	Ingeniería y Diseño	Estudio, Diseño, Link Budget	3500.00
	Instalación y Commissioning	Mano de obra para montar equipos y configuración	5500.00
Total CAPEX			56000.00

TABLA XI
OPEX, COSTOS OPERATIVOS ANUALES DE ESTACIÓN BASE EN EL TAMBO

Componente	Valor
Alquiler de Torre	3000.00
Consumo Eléctrico	2500.00
Mantenimiento y Reparación	2000.00
Licencias y Seguros	1000.00
Total OPEX	8500.00

Los planes de la operadora tienen una amplia de gama de planes que permite la conectividad con los servicios 4G / LTE [28], Tabla XII, por lo tanto, se realiza la selección de un valor promedio y asequible, siendo este el plan de \$10 mensuales, mismo que se establece como ARPU para la proyección de ingresos, en este caso se espera que iniciada la operación de la estación base, se logre conseguir el 5% de índice de penetración en la zona e ir creciendo a un ritmo progresivo del 5%, hasta alcanzar el límite de la capacidad técnica operativa de las antenas.

TABLA XII
PLANES DISPONIBLES DE LA OPERADORA

Plan	Beneficios	Valor
500 Megas 1 día	10 min a otras operadoras Min ilimitados a misma operadora 50 Sms (Spotify y Whatspp) Ilimitado	\$ 1.00
	15 min a otras operadoras	
1 Giga 5 días	Min ilimitados a misma operadora 50 Sms (Spotify y Whatspp) Ilimitado	\$ 2.00
	30 min a otras operadoras	
3 Gigas 15 días	Min ilimitados a misma operadora 50 Sms (Spotify y Whatspp) Ilimitado	\$ 4.00
	80 min a otras operadoras	
8 Gigas 30 días	Min ilimitados a misma operadora 50 Sms (Spotify y Whatspp) Ilimitado	\$ 8.00
	100 min a otras operadoras	
12 Gigas 30 días	Min ilimitados a misma operadora 50 Sms (Spotify y Whatspp) Ilimitado	\$ 10.00
	150 min a otras operadoras	
17 Gigas 30 días	Min ilimitados a misma operadora 50 Sms (Spotify y Whatspp) Ilimitado	\$ 15.00
	Min ilimitados a misma operadora	
25 Gigas 30 días	Min ilimitados a misma operadora 50 Sms (Spotify y Whatspp) Ilimitado	\$ 25.00
	Min ilimitados a misma operadora	

Para calcular los ingresos proyectados a 5 años, se recurre al análisis de la población favorecida por el proyecto, que corresponde a la parroquia de San José de Ancón, a la que pertenece la comuna de El Tambo. Bajo esta consideración, se toma como población 7920 habitantes (población económicamente activa) [29]. Se estima que la operadora pueda captar anualmente el 5% de la población para lograr una migración exitosa (ver Tabla XIII).

TABLA XIII
USUARIOS Y CÁLCULO DE INGRESO ANUAL

Año	% Penetración	Usuarios	Ingreso Anual
1	5	350	42000.00
2	10	700	84000.00
3	15	1050	126000.00
4	20	1250	150000.00
5	25	1250	150000.00

Una vez determinado el CAPEX, el OPEX y los ingresos anuales, se procede a realizar el flujo de caja (TABLA XIV), mismo que permitirá la evaluación de la factibilidad económica mediante la aplicación de índices de rentabilidad, con el Valor Actual Neto (VAN), y la Tasa Interna de Retorno (TIR), además, se considera un 15% como tasa de descuento (TMAR) que es el resultado de la proyección de inflación, riesgo país y Pria de riesgo Específico [30].

TABLA XIV
FLUJO DE CAJA

Año	CAPEX	OPEX	Ingreso anual	Flujo de caja neto	Flujo de caja acumulado
0	56000.00	0.00	0.00	-56000.00	-56000.00
1	0.00	8500.00	42000.00	33500.00	-22500.00
2	0.00	8500.00	84000.00	75500.00	53000.00
3	0.00	8500.00	126000.00	117500.00	170500.00
4	0.00	8500.00	150000.00	141500.00	312000.00
5	0.00	8500.00	150000.00	141500.00	453500.00

De acuerdo con los cálculos del flujo de caja neto, se observó que la recuperación de la inversión se produjo al finalizar el segundo año. Por lo tanto, a pesar de haberse proyectado para 5 años, se demuestra que su recuperación se realiza en un periodo menor. Por lo tanto, se procedió a calcular el factor de descuento, FDCTO (5), para cada año y a obtener el flujo de caja con descuento, FCD (ver Tabla XV).

$$FDCTO = \frac{1}{(a + \text{tasa } dcto)^t} \quad (5)$$

TABLA XV
FLUJO DE CAJA, TASA DE DESCUENTO

Año	Flujo de caja neto	FDCTO (5)	Flujo de caja dcto.	Flujo de caja dcto. acumulado
0	-56000.00	1.00	-56000.00	-56000.00
1	33500.00	0.8696	29131.6	-26868.40
2	75500.00	0.7561	57085.55	30217.15

Definido el FCD, se procede a calcular el VAN (6), la TIR (7) y el Tiempo de Recuperación (TR) (8); véase la Tabla XVI.

$$VAN_2 = \sum_{t=0}^2 \frac{\text{Flujo de caja } Neto_t}{(1 + \text{tasa de } dscto)^t} \quad (6)$$

Para el cálculo de la TIR es necesario realizar la evaluación en el punto de equilibrio financiero donde VAN = 0 y la tasa de descuento se convierte en la variable TIR.

$$\sum_{t=0}^2 \frac{\text{Flujo de caja } Neto_t}{(1 + TIR)^t} = 0 \quad (7)$$

$$TR = 1 \text{ año} + \frac{FCD_{\text{ultimo negativo}}}{FCD_{\text{año de calculo}}} \quad (8)$$

TABLA XVI
INDICADORES DE RENTABILIDAD

Parámetro	Valor
VAN (6)	\$30217.15
TIR (7)	49.81%
TR (8)	1 año, 5 meses

V. DISCUSIÓN

Los hallazgos del estudio demuestran la factibilidad técnica y económica de la solución propuesta para la implementación de una estación base con tecnología LTE en la comuna de El Tambo, mediante un modelado orientado a la optimización de costos. Durante la simulación inicial de la potencia de señal

recibida (RSRP), se confirman los datos recolectados en campo, que demuestran que la cobertura actual no superaba los umbrales para el uso de los servicios de 4G, lo que valida la necesidad imperiosa de implementar la propuesta para disminuir la brecha digital existente.

La combinación de los criterios de uso de frecuencia en la banda de 700 MHz y la estrategia de colocation presentan un alto índice de éxito, debido a que estas frecuencias son aptas para la propagación de óptima en ambientes rurales y topografía compleja, mientras que la estrategia de utilizar, mediante alquiler, infraestructura existente minimiza el CAPEX y los riesgos de despliegue.

Referente a la viabilidad económica de la propuesta, se demuestra que el proyecto es atractivo, pues presenta un porcentaje exigente para la recuperación de capital, 15%, y aunque el proyecto inicialmente se proyectó a 5 años, se valida la recuperación y rentabilidad en un periodo de 1 año 5 meses, aproximadamente, presentando valores de índice de rentabilidad superiores al rendimiento exigido. De esta manera, el VAN muestra un valor positivo desde el punto de vista de la rentabilidad. La TIR, al término del segundo año, supera la tasa de recuperación inicialmente establecida.

En resumen, los resultados técnicos y financieros sugieren que la propuesta presentada para el modelo de negocio demuestra robustez y sostenibilidad en la implementación de una red LTE en la comuna de El Tambo, donde la inversión estratégica permite disminuir la brecha digital y asegurar el retorno del capital.

VI. CONCLUSIONES

La factibilidad técnica y económica se demuestra mediante los resultados obtenidos durante la investigación, que evidencian una cobertura actual deficiente, con niveles por debajo de -120 dBm en toda la vía Ancón – Santa Elena, lo que no permite el uso de los servicios de la tecnología LTE. El modelo simulado de un e-nodeB en la comuna El Tambo permite mantener la conectividad tanto en la zona poblada de la comuna como en las rutas Ancón – El Tambo y El Tambo – Santa Elena. Esta implementación, por sus características, permite beneficiar un área de 17.20 km² alrededor de la estación, donde se encuentran no solo la comuna El Tambo, sino también la comuna de Prosperidad, con niveles de señal RSRP por encima de -85 dBm, lo que permite el uso de los diferentes servicios del LTE.

Además, en la simulación se demuestra que las rutas contarán con rangos de potencia de -95 dBm a -80 dBm, lo que permite el uso de servicios de telefonía celular que no requieren un alto flujo de datos, como llamadas y mensajería instantánea.

La implementación de esta solución conlleva un gasto económico considerable; sin embargo, se han propuesto varias estrategias para reducir el CAPEX a \$56000.00. Entre ellas se encuentra el colocation, que consiste en el uso de la infraestructura existente de otra operadora mediante un contrato de arrendamiento, lo que reduce los riesgos de implementación. La rentabilidad económica del proyecto se basa en los índices de rentabilidad calculados, que arrojan una

Tasa Interna de Retorno (TIR) del 49.81% y un Valor Actual Neto (VAN) de \$30217.15.

Estos valores se calculan al finalizar el segundo año de operaciones, cuando el flujo de caja acumulado con descuento se convierte en positivo. El tiempo exacto donde el proyecto es capaz de realizar una devolución total del capital invertido es en 1 año 5 meses, considerando que la operadora al encontrarse operando a nivel nacional, cuenta con un alto índice de penetración en el mercado nacional, sin embargo, en el sector del estudio al encontrarse reprimida por falta de cobertura, se espera que este índice comience en un 5% y vaya aumentando a un ritmo constante de 5% anual para poder cumplir con las proyecciones realizadas.

Finalmente, esta investigación tiene valor estratégico para la operadora TUENTI, propiedad de Millicom, pues se ha identificado como proveedor de planes prepago asequibles para la economía local, lo que la convierte en una herramienta clave para las negociaciones. Ante la ARCOTEL, se debe presentar formalmente la propuesta, demostrando que el despliegue de la red 4G mediante colocation cumple con las obligaciones regulatorias para las coberturas en zonas de brecha digital. Además de presentar un VAN positivo que minimiza el riesgo financiero y maximiza el cumplimiento de la Norma de Calidad de Servicio Móvil.

RECONOCIMIENTOS

Agradecemos a la Universidad Estatal Península de Santa Elena por brindar apoyo y facilitar el uso de los equipos para medir las métricas en campo.

REFERENCIAS

- [1] M. V. Ramos, D. S. Hernández, y R. R. Gaeta, "Acción pública y telefonía comunitaria para la inclusión digital de comunidades rurales indígenas: el caso de San Pedro el Alto, Zimatlán, Oaxaca", *PAAKAT Rev. Tecnol. Soc.*, n.o. 22, Feb. 2022, doi: 10.32870/Pk.a12n22.674.
- [2] N. Santamaría, "Desconexión y despoblación rural en España: un asunto urgente en la era de la educación digital", *Perspect. Rural. Nueva Época*, vol. 23, n.o. 45, pp. 1-20, ene. 2025, doi: 10.15359/prne.23-45.1.
- [3] J. L. C. Moreira, A. G. F. Aguilera, I. A. M. Solís, J. F. L. Dután, M. V. C. Centeno, y N. B. I. Taco, "Reducción de la brecha digital en zonas rurales: soluciones tecnológicas para una educación equitativa", *South Fla. J. Dev.*, vol. 5, n.o. 10, pp. e4527-e4527, oct. 2024, doi: 10.46932/sfjdv5n10-033.
- [4] D. P. Rodríguez, "Estudio para la ampliación de la red Wireless del ISP Santa Elena Net, dirigida para la comuna Prosperidad del cantón Santa Elena", Ingeniería en Tecnologías de la Información, Universidad Estatal Península de Santa Elena, Santa Elena, 2023. Accedido: 4 de octubre de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://repositorio.upse.edu.ec/handle/46000/9271>
- [5] E. Gómez, P. Ricaurte, y I. Siles, "Descolonizando los métodos para estudiar la cultura digital: Una propuesta desde Latinoamérica", *Cuadernos.info*, n.o. 54, pp. 160-181, 2023, doi: 10.7764/cdi.54.52605.
- [6] G. D. Corzo, E. L. Alvarez-Aros, "Estrategias de competitividad tecnológica en la conectividad móvil y las comunicaciones de la industria 4.0 en Latinoamérica", *Inf. Tecnológica*, vol. 31, n.o. 6, pp. 183-192, dic. 2020, doi: 10.4067/S0718-07642020000600183.
- [7] D. Monti y G. Assusa, "Estrategias sociales y educativas para enfrentar la "continuidad pedagógica": jóvenes estudiantes, desigualdad y apropiaciones tecnológicas en Villa María, Argentina, durante la pandemia Covid-19", *Civ. - Rev. Ciênc. Sociais*, vol. 23, p. e, ago. 2023, doi: <https://doi.org/10.15448/1984-7289.2023.1.42269>.
- [8] C. Adrogué, M. E. Orlicki, C. Adrogué, y M. E. Orlicki, "Acceso y uso de las Tecnologías de la Información y Comunicación (TIC) en la Escuela Secundaria en diferentes contextos socioeconómicos en Argentina", *Prax. Educ.*, vol. 24, n.o. 3, pp. 117-117, Sep. 2020.
- [9] A. D. Ojeda et al., "Análisis del impacto de la inteligencia artificial ChatGPT en los procesos de enseñanza y aprendizaje en la educación universitaria", *Form. Univ.*, vol. 16, n.o. 6, pp. 61-70, dic. 2023, doi: 10.4067/S0718-50062023000600061.
- [10] D. Soto, O. D. Valencia-López, y R. Rentería, "Alfabetización y brecha digital entre los pueblos originarios de México, 1990-2015. Efectos socioeconómicos", *Trilogía Cienc. Tecnol. Soc.*, vol. 12, n.o. 23, pp. 84-107, dic. 2020, doi: 10.22430/21457778.1720.
- [11] J. G. Aguilar, A. B. Mungaray, y R. Mahecha, "Los retos de las nuevas emprendedoras de negocios por internet en un mundo pospandémico", *PAAKAT Rev. Tecnol. Soc.*, vol. 13, n.o. 24, 2023, doi: 10.32870/pk.a13n24.769.
- [12] G. A. Chica, Á. F. Díaz, M. Espinosa, y D. N. Angulo, "Implementación de estación base GSM recepción de señales LTE aplicando radio definido por software", *Iteckne*, vol. 17, n.o. 1, pp. 19-30, jun. 2020, doi: 10.15332/iteckne.v17i1.2426.
- [13] F. Ulloa, L. García, y D. Carrizo, "Simulación de comunicación inalámbrica WAN para internet de las cosas: Un estudio de caso", *Ingeniare Rev. Chil. Ing.*, vol. 30, n.o. 2, pp. 218-228, jun. 2022, doi: 10.4067/S0718-33052022000200218.
- [14] Agencia de Regulación y Control de las Telecomunicaciones, "Norma de calidad para los servicios de telecomunicaciones", Quito, 2018. Accedido: 3 de noviembre de 2025. [En línea]. Disponible en: https://www.arcotel.gob.ec/wp-content/uploads/2022/09/9_resumen_air_normadecalidad_publicacion_26ago22.pdf
- [15] M. A. D. Olarte, D. J. Flores, K. J. Rios, A. D. Quispe, y N. A. Seguil, "Tecnologías de la Información y Comunicación (TIC) en la gestión empresarial: Un análisis cuantitativo", *Comuni@cción*, vol. 14, n.o. 4, pp. 388-400, oct. 2023, doi: 10.33595/2226-1478.14.4.899.
- [16] O. Chamorro, E. Pizarro, y D. Arce, "Evaluation of the Quality Parameters of a 4G-LTE Communications Base Station, Installed in a Rural Area of Peru", *Adv. Sci. Technol. Eng. Syst. J.*, vol. 5, n.o. 1, pp. 71-76, ene. 2020, doi: 10.25046/aj050109.
- [17] V. Shutko, N. Fomenko, y O. Klyuchko, "Implementation of 3G, 4G Mobile Connections Technologies in Urban and Rural Regions", *Electron. Control Syst.*, vol. 4, n.o. 78, pp. 62-68, dic. 2023, doi: 10.18372/1990-5548.78.18277.
- [18] N. Ioannou, D. Katsianis, y D. Varoutas, "Comparative technoeconomic evaluation of LTE fixed wireless access, FTTH G.fast and FTTC VDSL network deployment for providing 30 Mbps broadband services in rural areas", *Telecommun. Policy*, vol. 44, n.o. 3, p. 101875, abr. 2020, doi: 10.1016/j.telpol.2019.101875.
- [19] J. G. Ochoa y S. García, "Implementación de un prototipo de estación base para una red 4G-LTE utilizando SDR", *CEDAMAZ*, vol. 13, n.o. 1, pp. 71-77, jun. 2023, doi: 10.54753/cedamaz.v13i1.1839.
- [20] P. I. V. Zúñiga, R. J. C. Cedeño, y I. A. M. Palacios, "Metodología de la investigación científica: guía práctica", *Cienc. Lat. Rev. Científica Multidiscip.*, vol. 7, n.o. 4, pp. 9723-9762, sep. 2023, doi: 10.37811/cl_rcm.v7i4.7658.
- [21] E. Hernandez y R. Sampieri, *Metodología de la investigación*, vol. 1. México D.F.: McGraw-Hill Interamericana de España S.L., 2014.
- [22] Agencia de Regulación y Control de las Telecomunicaciones, "Ecuador recibe la valoración de las Bandas 2.5 GHZ y 700 MHZ y abre el camino para la Renegociación de Contratos con las operadoras de Servicio Móvil Avanzado y nuevos servicios", ARCOTEL. Accedido: 3 de noviembre de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://www.arcotel.gob.ec/ecuador-recibe-la-valoracion-de-las-bandas-2-5-ghz-y-700-mhz-y-abre-el-camino-para-la-renegociacion-de-contratos-con-las-operadoras-de-servicio-movil-avanzado-y-nuevos-servicios/>
- [23] C. Rocha, "Detección de patrones de comportamiento de parámetros de rf en redes de comunicación móvil mediante mediciones de campo y técnicas de machine learning - propuesta de un modelo predictivo para identificar factores que se manifiestan en las fallas de handover en redes lte utilizando mediciones de campo y un árbol de decisión en r studio (caso de estudio voip)", Ingeniería en Telecomunicaciones, Escuela Politécnica Nacional, Quito, 2022.
- [24] K. A. Molina Villalta, "Análisis de desempeño del servicio de voz sobre redes LTE (VoLTE) mediante el uso de indicadores claves de

- rendimiento (KPI)”, Maestría en Telecomunicaciones, Universidad Católica Santiago de Guayaquil, Guayaquil, 2021. Accedido: 3 de noviembre de 2025. [En línea]. Disponible en: <http://repositorio.ucsg.edu.ec/handle/3317/17692>
- [25] A. A. Apablaza de la Cuadra, “Estudio y simulación de cobertura VoLTE mediante diseño de link Budget para red 4G LTE de Entel de Santiago”, Ingeniería Civil Eléctrico, Universidad de Chile, Santiago de Chile, 2017. Accedido: 3 de noviembre de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://repositorio.uchile.cl/handle/2250/150298>
- [26] J. L. Gonzabay, “Turismo comunitario y su aporte al desarrollo turístico de la comuna Palmar, parroquia Colonche, cantón Santa Elena, año 2023”, bachelorThesis, La Libertad: Universidad Estatal Península de Santa Elena, 2024. Accedido: 24 de enero de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://repositorio.upse.edu.ec/handle/46000/12338>
- [27] L. Palacios, “Diseño y Desarrollo de un inhibidor de señal celular para tecnología 4G /LTE en el rango de los 1900 MHZ”, Universidad Politécnica Salesina, Quito, 2016. Accedido: 24 de enero de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/13354/1/UPS%20-%20ST002873.pdf>
- [28] OPERADORA TUENTI, “¿Planes Móviles? Olvidate de los contratos y conoce los Combos Tuenti | Tuenti Ecuador”. Accedido: 2 de octubre de 2025. [En línea]. Disponible en: https://www.tuenti.ec/comprar-combos-tuenti?gclid=aw.ds&gad_source=1&gad_campaignid=17758527770
- [29] Instituto Nacional de Estadísticas y Censo, “Santa Elena”, INEC, CENSO Y POBLACIÓN, 2010. Accedido: 2 de octubre de 2025. [En línea]. Disponible en: https://www.ecuadorencifras.gob.ec/wp-content/descargas/Manu-lateral/Resultados-provinciales/santa_elena.pdf
- [30] Ministerio de Economía y Finanzas, “Programación Macroeconómica 2025 – 2028”, Ministerio de Economía y Finanzas, Quito, Programación Macroeconómica, abr. 2025.