

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE QUITO

CARRERA:
INGENIERÍA ELECTRÓNICA

Trabajo de titulación previo a la obtención del título de: INGENIEROS
ELECTRÓNICOS

TEMA:
DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UNA SOLUCIÓN DE TELEFONÍA
MÓVIL PARA LA RED UMTS EN LA AVENIDA PERIMETRAL SIMÓN
BOLÍVAR EN LA CIUDAD DE QUITO PARA BRINDAR COBERTURA Y
CALIDAD.

AUTORES:
RICARDO JAVIER CUICHÁN CUEVA
DARWIN EDUARDO LASSO VALAREZO

TUTORA
EMMA VERÓNICA SORIA MALDONADO

Quito, junio 2016

CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR

Nosotros Ricardo Javier Cuichán Cueva con documento de identificación N° 1716048655 y Darwin Eduardo Lasso Valarezo con documento de identificación N° 1712601697, manifestamos nuestra voluntad y cedemos a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que somos autores del trabajo de titulación intitulado: DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UNA SOLUCIÓN DE TELEFONÍA MÓVIL PARA LA RED UMTS EN LA AVENIDA PERIMETRAL SIMÓN BOLÍVAR EN LA CIUDAD DE QUITO PARA BRINDAR COBERTURA Y CALIDAD, mismo que ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingenieros Electrónicos, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En aplicación a lo determinado en la Ley de Propiedad Intelectual, en nuestra condición de autores nos reservamos los derechos morales de la obra antes citada. En concordancia, suscribo este documento en el momento que hago entrega del trabajo final en formato impreso y digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.



Darwin Eduardo Lasso Valarezo

CI: 1712601697



Ricardo Javier Cuichán Cueva

CI: 1716048655

Quito, junio de 2016

Declaratoria de coautoría del docente tutora

Yo, declaro que bajo mi dirección y asesoría fue desarrollado el trabajo de titulación DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UNA SOLUCIÓN DE TELEFONÍA MÓVIL PARA LA RED UMTS EN LA AVENIDA PERIMETRAL SIMÓN BOLÍVAR EN LA CIUDAD DE QUITO PARA BRINDAR COBERTURA Y CALIDAD, realizado por Ricardo Javier Cuichán Cueva y Darwin Eduardo Lasso Valarezo, obteniendo un producto que cumple con todos los requisitos estipulados por la Universidad Politécnica Salesiana para ser considerados como trabajo final de titulación.

Quito, junio de 2016

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Emma Verónica Soria Maldonado', written in a cursive style.

Emma Verónica Soria Maldonado

Cédula de identidad:1715185961

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a mis padres Jaime y Carmen que han sido mi inspiración, mi fuerza y me han apoyado en todo para seguir adelante y culminar esta meta.

Darwin Eduardo Lasso Valarezo

Este trabajo lo dedico a mi familia y a Dios, en especial a mis padres Patricio y Esperanza que son ejemplo de perseverancia y siempre me han guiado por el camino del bien en mi vida, además a mis hermanos Alexis y Sofy quienes me han apoyado siempre en mis metas, también lo dedico a todos las personas que me han ayudado y me han guiado en este camino como son mis abuelitos y mis amigos en especial a: Diego, Edison, Saúl, y todos quienes han estado a mi lado les agradezco de corazón y de manera especial a mi novia Gaby por apoyarme en cada momento de mi vida y siempre estar a mi lado.

Ricardo Javier Cuichán Cueva

AGRADECIMIENTO

A nuestra directora de trabajo de titulación la Ing. Emma Verónica Soria Maldonado por habernos colaborado y guiado con su conocimiento y experiencia de manera constante a lo largo de todo el trabajo de titulación, le agradecemos ya que gracias a su apoyo hemos logrado culminar exitosamente este trabajo

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO 1	3
MARCO TEÓRICO.....	3
Introducción a los sistemas celulares	3
Evolución de las redes de telecomunicación móvil.....	3
Características de las generaciones de telefonía móvil.....	5
UMTS + WCDMA	6
Características	6
Funcionamiento	7
Arquitectura	8
Modelo de Propagación.....	10
Modelo específico.....	10
Antenas	13
Tipos de antenas	13
Patrón de radiación	14
Relación frente espalda	14
Ganancia	14
Tilt eléctrico	14
Tilt mecánico	15
Azimuth	15
Principales parámetros de los indicadores de servicio	15
RSCP (Received Signal Code Power)	15
Ec/Io (Chip Energy and Interference).....	16
RTWP (Received Total Wide-band Power)	16
Throughput	17
BLER (Block Error Rate)	17
Código de aleatorización	17
Polución de piloto	18
Modulación	18

Indicador de canal (CQI)	18
Drive test.....	19
CAPÍTULO 2.....	20
ESTADO DE LA RED UMTS PREVIO A LA IMPLANTACIÓN DE TELEFONÍA MÓVIL EN LA AVENIDA SIMÓN BOLÍVAR.	20
Planificación de Subtramos en la Avenida Simón Bolívar	20
Drive test antes de la implementación de la solución de telefonía móvil	23
Elementos y conexión usados al realizar el drive test	23
Procedimiento para realizar el drive test.	24
Drive Test antes de la implementación de la solución de telefonía móvil	25
Niveles de RSCP del Mejor Servidor subtramo Llano Chico	25
Niveles de Ec/Io del Mejor Servidor subtramo Llano Chico	26
Niveles de RSCP del Mejor Servidor subtramo Nayón.....	27
Niveles de Ec/Io del Mejor Servidor subtramo Nayón.....	28
Niveles de RSCP del Mejor Servidor subtramo Monteolivo.....	29
Niveles de Ec/Io del Mejor Servidor subtramo Monteolivo.....	30
Niveles de RSCP del Mejor Servidor subtramo Cumbayá.....	31
Niveles de Ec/Io del Mejor Servidor subtramo Cumbayá.....	32
Niveles de RSCP del Mejor Servidor subtramo Autopista.....	33
Niveles de Ec/Io del Mejor Servidor subtramo Autopista.....	34
Niveles de RSCP del Mejor Servidor subtramo Ilumbisí.....	35
Niveles de Ec/Io del Mejor Servidor subtramo Ilumbisí	36
Niveles de RSCP del Mejor Servidor subtramo San Martin	37
Niveles de Ec/Io del Mejor Servidor subtramo San Martin	38
Niveles de RSCP del Mejor Servidor subtramo Atom cell San Martin-Tambillo	39
Niveles de Ec/Io del Mejor Servidor subtramo Atom cell San Martin-Tambillo	40
Niveles de RSCP del Mejor Servidor subtramo Tambillo.....	41

Niveles de Ec/Io del Mejor Servidor subtramo Tambillo.....	42
Análisis y Planificación de los nuevos sitios a implementarse	43
Predicciones de cobertura antes de implementarse la solución en el subtramo	
Llano Chico	44
Planificación de los nuevos sitios	45
Ubicación de puntos nominales subtramo Llano chico	45
Verificar la factibilidad de los puntos nominales	51
Validación de puntos nominales subtramo Llano Chico	52
Configuración final de cada subtramo.....	53
Implementación	57
Cronograma de instalación	59
Supervisión de instalación del sistema radiante	59
Single site verification de cada subtramo con la solución.....	60
Procedimiento de pruebas estáticas	61
Resultados de pruebas estáticas	64
Drive test y análisis de resultados	65
Niveles de RSCP del Mejor Servidor subtramo Llano Chico	65
Niveles de Ec/Io del Mejor Servidor subtramo Llano Chico	66
Scrambling code del Mejor Servidor subtramo Llano Chico	67
BLER (Block Error rate) subtramo Llano Chico.....	68
Potencia del TX	69
Soft Handover	70
Polución del Piloto.....	71
RLC Throughput DL	72
Modulación HSDPA (QPSK, 16QAM, 64QAM)	74
CONCLUSIONES	79
REFERENCIAS	82
1 Referencias	82
ANEXOS	84
Anexo 1. Ubicación de los nodos subtramo Nayón.....	84

Anexo 2. Longitud, Latitud, tipo de antena, azimuth, tilt eléctrico y tilt mecánico nominales.....	88
Anexo 3. Predicciones subtramo Nayón	90

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Estándar de las redes de telecomunicación móvil.....	5
Tabla 2. Resumen de la evolución de las redes de telecomunicación móvil	5
Tabla 3. Resumen de la arquitectura del sistema de alto nivel	9
Tabla 4. Valores de factores multiplicativos.....	12
Tabla 5. Valores dados a las pérdidas de clutter	12
Tabla 6. Modulación QPSK Y 16QAM características principales.....	18
Tabla 7. Ubicación de los nodos subtramo Llano Chico	22
Tabla 8. Niveles de RSCP tomados por el UE.....	26
Tabla 9. Niveles de Ec/Io tomados por el UE.....	27
Tabla 10. Niveles de RSCP tomados por el UE.....	28
Tabla 11. Niveles de Ec/Io tomados por el UE.....	29
Tabla 12. Niveles de RSCP tomados por el UE.....	30
Tabla 13. Niveles de Ec/Io tomados por el UE.....	31
Tabla 14. Niveles de RSCP tomados por el UE.....	32
Tabla 15. Niveles de Ec/Io tomados por el UE.....	33
Tabla 16. Niveles de RSCP tomados por el UE.....	34
Tabla 17. Niveles de Ec/Io tomados por el UE.....	35
Tabla 18. Niveles de RSCP tomados por el UE.....	36
Tabla 19. Niveles de Ec/Io tomados por el UE.....	37
Tabla 20. Niveles de RSCP tomados por el UE.....	38
Tabla 21. Niveles de Ec/Io tomados por el UE.....	39
Tabla 22. Niveles de RSCP tomados por el UE.....	40
Tabla 23. Niveles de Ec/Io tomados por el UE.....	41
Tabla 24. Niveles de RSCP tomados por el UE.....	42
Tabla 25. Niveles de Ec/Io tomados por el UE.....	43
Tabla 26. Configuración nominal subtramo LLANO_CHICO.....	50
Tabla 27. Configuración de radio frecuencia final subtramo LLANO_CHICO.....	57
Tabla 28. Configuración de plan de pruebas.....	61
Tabla 29. Resultados de las pruebas realizadas en los puntos estáticos en un nodo de cada subtramo.....	65
Tabla 30. Niveles de RSCP tomados por el UE.....	66
Tabla 31. Niveles de Ec/Io tomados por el UE.....	67

Tabla 32. Scrambling code subtramo LLANO_CHICO	68
Tabla 33. Valores BLER subtramo LLANO_CHICO	69
Tabla 34. Valores de potencia subtramo LLANO_CHICO	70
Tabla 35. Intentos exitosos al realizar el handover entre cada una de las servidoras, subtramo LLANO_CHICO	71
Tabla 36. Valores de Throughput promedio en bajada	73
Tabla 37. Valores de Throughput dounlink subtramo Llano Chico.....	73
Tabla 38. Valores de porcentaje de modulaciones.....	74
Tabla 39. Niveles de RSCP tomados por el UE en todos los subtramos.	75
Tabla 40. Niveles de Ec/Io tomados por el UE en todos los subtramos.	76
Tabla 41. Indicadores de servicio después de la implementación de la solución de telefonía móvil desde el tramo Llano Chico hasta Tambillo.	77

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. UMTS arquitectura del sistema de alto nivel.	7
Figura 2. Elementos de la red en una PLMN	8
Figura 3. Ubicación geográfica subtramo LLANO_CHICO	21
Figura 4. Interconexión de equipos	23
Figura 5. Niveles de RSCP LLANO CHICO.....	26
Figura 6. Niveles de Ec/Io LLANO CHICO.....	27
Figura 7. Niveles de RSCP NAYON	28
Figura 8. Niveles de Ec/Io NAYON	29
Figura 9. Niveles de RSCP MONTEOLIVO	30
Figura 10. Niveles de Ec/Io MONTEOLIVO	31
Figura 11. Niveles de RSCP CUMBAYA	32
Figura 12. Niveles de Ec/Io CUMBAYA	33
Figura 13. Niveles de RSCP AUTOPISTA	34
Figura 14. Niveles de Ec/Io AUTOPISTA	35
Figura 15. Niveles de RSCP ILUMBISI.....	36
Figura 16. Niveles de Ec/Io ILUMBISI.....	37
Figura 17. Niveles de RSCP SAN MARTIN.....	38
Figura 18. Niveles de Ec/Io SAN MARTIN.....	39
Figura 19. Niveles de RSCP SAN MARTIN - TAMBILLO.....	40
Figura 20. Niveles de Ec/Io SAN MARTIN - TAMBILLO.....	41
Figura 21. Niveles de RSCP TAMBILLO.....	42
Figura 22. Niveles de Ec/Io TAMBILLO.....	43
Figura 23. Niveles de cobertura obtenidos del software ATOLL.....	44
Figura 24. Niveles de cobertura obtenidos del software ATOLL, LLANO_CHICO5	46
Figura 25. Azimut obtenido del software Goolge Earth	47
Figura 26. Perfil de elevación obtenido del software Google Earth	48
Figura 27. Diagramas de radiación LLANO_CHICO5, antena Yagi y antena Sectorial.....	49
Figura 28. Niveles de cobertura obtenidos del software ATOLL, subtramo LLANO_CHICO.....	51

Figura 29. Distancia entre punto nominal y poste validado nodo LLANO_CHICO5	52
Figura 30. Línea de vista del poste validado nodo LLANO_CHICO5.....	53
Figura 31. Fotomontaje poste validado nodo LLANO_CHICO5.....	53
Figura 32. Cobertura con nodo LLANO_CHICO5 sector 1	54
Figura 33. Cobertura nodo LLANO_CHICO5 sector1 y LLANO_CHICOU19.....	55
Figura 34. Cobertura con el sector 1 y 2 activos de LLANO_CHICO1	56
Figura 35. Cobertura con los nuevos nodos subtramo LLANO_CHICO	56
Figura 36. Partes que conforman el nodo SAN_MARTIN3.....	58
Figura 37. Cronograma de instalación	59
Figura 38. Supervisión de ubicación Azimuth correcto SAN_MARTIN3	60
Figura 39. Relación throughput, vs tiempo en Downlink	63
Figura 40. Relación throughput, vs tiempo en uplink	64
Figura 41. Niveles de RSCP del mejor servidor subtramo LLANO_CHICO	66
Figura 42. Niveles de Ec/Io del mejor servidor subtramo LLANO_CHICO	67
Figura 43. Scrambling code subtramo LLANO_CHICO	68
Figura 44. Valores de la tasa de error de bloque tomados por el UE subtramo LLANO_CHICO.....	69
Figura 45. Valores de Potencia de la transmisión tomados por el UE subtramo LLANO_CHICO.....	70
Figura 46. Intentos exitosos al realizar el handover entre cada una de las servidoras, subtramo LLANO_CHICO.....	71
Figura 47. Las figuras de mano en rojo indican que existe polución en el subtramo LLANO_CHICO.....	72
Figura 48. Valores de Throughput subtramo LLANO_CHICO.	73
Figura 49. Valores de uso de modulación en HSDPA (QPSK, 16QAM, 64QAM) subtramo LLANO_CHICO.....	74
Figura 50. Valores de (RSCP) luego de la implementación de la solución de telefonía móvil en todos los subtramos.....	75
Figura 51. Valores de (Ec/Io) luego de la implementación de la solución de telefonía móvil en todos los subtramos.....	76

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Ubicación de los nodos subtramo Nayón	84
Anexo 2. Longitud, Latitud, tipo de antena, azimuth, tilt eléctrico y tilt mecánico nominales	88
Anexo 3. Predicciones subtramo Nayón	90

Resumen

La avenida Simón Bolívar se encuentra ubicada en el cantón QUITO, esta atraviesa una topografía de terrenos montañosos, por lo que los nodos anteriores a la implementación del proyecto no proporcionan cobertura en toda su extensión, al ser una avenida con alto número de usuarios que demandan el servicio de voz y datos se implementa el proyecto para mejorar la cobertura y calidad de la red UMTS que utiliza tecnología WCDMA/HSDPA+, lo que permitirá que sus usuarios cuenten con continuidad en servicios.

Se realiza un primer drive test para medir parámetros de RSCP y E_c/I_o y se obtiene resultados del estado de cobertura y calidad de la red en la avenida Simón Bolívar desde el tramo de Llano Chico hasta Tambillo.

Con los datos obtenidos se ubican los puntos nominales (coordenadas), con el uso del software de posicionamiento global (Google Earth). Una vez encontrados y validados los puntos nominales se determinan los parámetros de radio frecuencia de cada nodo como: tipos de antenas, azimuth, inclinación eléctrica, inclinación mecánica, para los cuales se usará el software de predicciones y planeamiento ATOLL.

Instalado el sistema radiante se ejecuta un segundo drive test y con la información obtenida se procesa y se analiza los parámetros: RSCP (received signal code power), E_c/I_o (energía por chip y nivel de interferencia), mejor servidor (celda con los mejores niveles de los parámetros RSCP y E_c/I_o), BLER (Block Error Rate), potencia de transmisión, soft handover, polución del piloto, throughput en bajada, modulación, CQI (Channel Quality Indicator).

ABSTRACT

The Simon Bolivar Avenue is located in the canton QUITO, this crosses a topography of mountainous terrain, so the nodes prior to project implementation does not provide coverage in its entirety, being an avenue with high number of users who demand voice service and data the project is implemented to improve the coverage and quality of the UMTS network using WCDMA / HSDPA + technology, which will allow its users to have continuity services.

A first drive test is performed to measure parameters of RSCP and E_c / I_o and status outcomes coverage and network quality in the Simon Bolivar Avenue is obtained from the section of Llano Chico to Tambillo.

With nominal data points (coordinates) are located, with the use of global positioning software (Google Earth). types of antennas, azimuth, tilt electrical, mechanical inclination, for which the predictions and planning software will be used ATOLL: Once found and validated points nominal radio frequency parameters of each node as determined.

Installed the radiant system runs one second drive test and the information obtained is processed and the parameters are analyzed: RSCP (signal received code power), E_c / I_o (energy per chip and interference level), best server (cell with best levels RSCP and E_c / I_o parameter), BLER (Block Error Rate), transmit power, soft handover, pilot pollution, throughput downhill modulation, CQI (Channel Quality Indicator).

INTRODUCCIÓN

El proyecto a continuación expuesto trata de la implementación de nodos b en varios sitios (postes de alumbrado público) a lo largo de la Avenida Simón Bolívar en el tramo considerado entre el sector de Llano Chico hasta Tambillo para mejorar la cobertura en donde no existía o era deficiente.

La Avenida Simón Bolívar al ser una vía con un alto número de usuarios en la ciudad de Quito existe la necesidad de implementar una solución que se adapte a su perfil topográfico por lo que haciendo uso de postes de alumbrado público se brinda cobertura en el tramo antes ya expuesto.

Se realizan predicciones y un drive test para tener una clara visión del estado de cobertura de la red y servirá para la planificación de la instalación de los nodos para garantizar la continuidad de servicio en la avenida.

Una vez instalados la solución de telefonía móvil se ejecuta un segundo drive test que permitirá evaluar la cobertura y calidad en el tramo considerado y así los usuarios tengan acceso a voz y datos en todo el trayecto.

El primer capítulo consta de una introducción a los sistemas celulares donde se analiza de forma particular la tecnología UMTS, además se exponen conceptos generales de propagación, tipos de antenas y principales parámetros de servicio en UMTS.

En el segundo capítulo muestra el estado actual de la red UMTS previo a la implementación, a continuación, se realiza: el diseño, verificación en campo, configuración final de parámetros de radio frecuencia y coordinación de la implementación de la solución.

En el tercer capítulo presenta las conclusiones con los resultados obtenidos del drive test una vez implementada la solución donde se compara los resultados de cobertura y calidad obtenidos antes y después de la implementación de la solución de telefonía móvil.

CAPÍTULO 1

MARCO TEÓRICO

Introducción a los sistemas celulares

La telefonía móvil ofrece servicios de telecomunicaciones mediante una infraestructura fija, dirigida en general para clientes que no están conectados a la red por cable.

Evolución de las redes de telecomunicación móvil

Evolución de las redes de telefonía móvil desde la primera generación hasta la quinta generación, se presentan a continuación.

- **La primera generación 1G.** La empresa Ericsson actualizó su sistema NMT (Nordic Mobile Telephone), la que seguía utilizando canales analógicos. En 1986, la empresa Ericsson utilizó frecuencias superiores de 900 MHz de esta manera se creó un servicio para un mayor número de usuarios. Además del sistema NMT, en los años 1980 se originaron otros sistemas de telefonía móvil como TACS (Total Access Communications System), que se usaron en España con el nombre comercial de MoviLine.
- **La segunda generación 2G.** Esta se inicia en la década de los años de 1990 con nuevos sistemas como GSM (Global System for Mobile communications), IS-136, IDEN e IS-95. El sistema GSM fue la creación más sobresaliente, puesto que se convirtió en el estándar europeo de telefonía móvil digital. En este nuevo sistema participaron 26 empresas europeas de telecomunicaciones y en 1992 se

realizó la instalación de las primeras redes europeas de GSM-900, surgiendo los primeros teléfonos móviles GSM. Esta nueva tecnología GSM se posicionó en Europa y terminó imponiéndose también en Asia, América Latina, Oceanía y una parte de América del Norte. Se calculó en 3.000 millones de usuarios en su época de mayor apogeo.

- **La tercera generación 3G.** La necesidad de mayor velocidad en la transmisión de datos y mayores capacidades que permitan ofrecer nuevos servicios al usuario dio lugar a la tercera generación 3G, no sin antes pasar por el 2.5G que proporcionó el GPRS (General Packet Radio Service). El estándar europeo es el UMTS basado en la tecnología W-CDMA gestionado por la empresa 3GPP, también responsable de GSM, GPRS y EDGE (Enhanced Data Rates for GSM Evolution).
- **La cuarta generación o 4G.** Esta surge a partir de las tecnologías 2G y 3G, ofreciendo, entre otras mejoras del sistema, mayor seguridad y calidad de servicio (QoS), sumado a velocidades de acceso muy superiores a sus predecesoras mayores a 100 Mbit/s en movimiento y 1 Gbit/s en reposo. Esta tecnología se fundamenta en el protocolo IP, y se logra gracias a la convergencia entre las redes cableadas e inalámbricas. La norma LTE (Long Term Evolution) es la más extendida, aunque no la única existente hoy en día, porque se tiene el acceso WIMAX (Worldwide Interoperability for Microwave).
- **5G será la nueva revisión.** Se revisa el sistema de conexión de red sin cables y se espera que esté disponible en 2020 en países como Corea del Sur y también en Europa, la que incluye un proyecto de 50 millones de euros. La mayor velocidad de transferencia será su mayor avance con velocidades de bajada de hasta 10 Gbps (1,25 GB/s).

Tabla 1. Estándar de las redes de telecomunicación móvil

Estándar de las redes de telecomunicación móvil				
1G (1980)	2G (1990)	3G (2000)	4G (2010)	5G (2020)
AMPS, TAC'S, NMT	GSM, CDMA IS- 95, TDMA IS-136	IMT-2000 ,CDMA 2000,UMTS, WCDMA, TD SCDMA	LTE, WMAX	Aún no existe el estándar

Nota: Elaborado por Ricardo Cuichán, Darwin Lasso.

Características de las generaciones de telefonía móvil

A continuación, se detallan las principales características de las distintas generaciones de telecomunicación móvil.

Tabla 2. Resumen de la evolución de las redes de telecomunicación móvil

Características	Ancho de Banda	Velocidades de Transmisión	Modulación	Conmutación	Acceso al medio	Servicios
Primera Generación	30 KHz	1.9 Kbps	FM	Circuitos	FDMA	Telefonía móvil Analógica
Segunda Generación	200 kHz	14.4 Kbps	GMSK 8PSK	Circuitos	TDMA/FDMA	Telefonía móvil
Tercera Generación	5 MHz	2Mbps	QPSK 16QAM 64QAM	Circuitos/Paquetes	CDMA	Telefonía móvil (Voz y SMS) Servicio de datos
Cuarta Generación	20MHz	200 Mbps-1Gbps	QPSK 16QAM 64QAM	Paquetes	OFDMA	Telefonía móvil (Voz y SMS) Servicio de datos
Quinta Generación	+3GHz	+100Gbps	QPSK 16QAM 64QAM	Paquetes	F-OFDM	Telefonía móvil (Voz y SMS) Servicio de datos

Nota: Elaborado por Ricardo Cuichán, Darwin Lasso.

UMTS + WCDMA

La tecnología UMTS consta de tres elementos principalmente el UE o equipo de usuario, UTRAN (UMTS Terrestrial Radio Access Network) y la red central (CN).

La interfaz entre el equipo de usuario y la red de acceso para UMTS se da por medio de la tecnología WCDMA

Características

A continuación, se presentan las características principales de un sistema WCDMA:

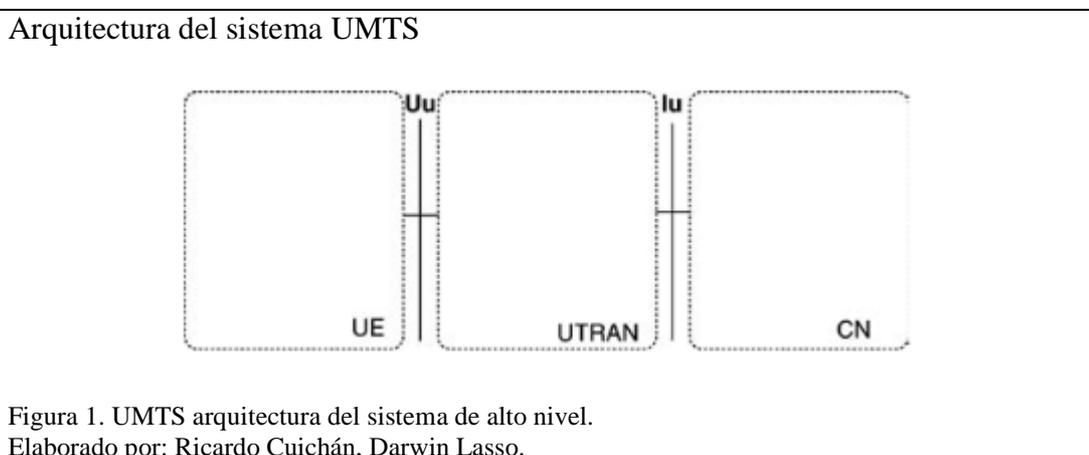
- La técnica de acceso al medio WCDMA, usa el acceso múltiple por división de código, esto quiere decir que todos los usuarios transmiten simultáneamente, y con el mismo ancho de banda, los usuarios son identificados por que se les asigna un código que los identifica de forma.
- La velocidad de chip de 3,84 Mcps conduce a un ancho de banda de portadora de aproximadamente 5 MHz. Sistemas con un ancho de banda de 1 MHz, como IS-95 DS-SS-SSMA, se conoce comúnmente como sistemas CDMA de banda estrecha.
- WCDMA opera en dos modos básicos: Frequency Division Duplex (FDD) y Time Division Duplex (TDD). Si se emplea FDD, se usan diferentes portadoras para los enlaces ascendente y descendente, en TDD se usa una sola portadora la cual es compartida entre el enlace ascendente y el enlace descendente.
- WCDMA emplea detección coherente en el enlace ascendente y enlace descendente basado en el uso de símbolos piloto o piloto común.

- La interfaz de aire WCDMA se enfoca en la recepción avanzada, como la detección multiusuario y las antenas adaptativas inteligentes, para aumentar la capacidad y / o cobertura. (Holma & A.Toskala, 2007, págs. 47-49).

Funcionamiento

Posee tres elementos principales que son: RAN (Red de Acceso de Radio) conformada por todos los controladores de radio y la estación transceptora base, la cual está conformada por transmisores y receptores para la comunicación con el equipo de usuario. La red Central (CN) se encarga de la conmutación y direccionamiento tanto de llamadas como de datos hacia redes externas, y el equipo de usuario que mediante la interface de radio Uu se comunica con la UTRAN (Holma & A.Toskala, 2007, pág. 67).

A continuación, se muestra la arquitectura del sistema de alto nivel en la figura 1.

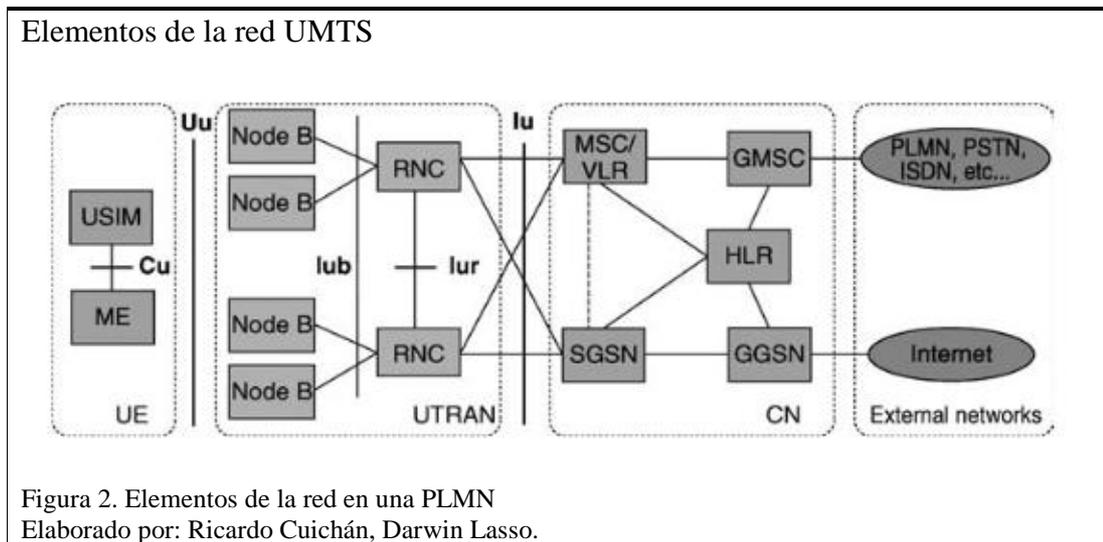


Tanto la UE y UTRAN dependen completamente de nuevos protocolos, los diseños de los cuales están basados de las necesidades de la nueva tecnología de radio WCDMA.

Arquitectura

La UMTS utiliza la misma arquitectura que ha sido usada por todos los sistemas principales de segunda generación e incluso por algunos sistemas de primera generación. El UMTS está compuesto de una serie de elementos de red lógica en la que cada uno tiene una definida funcionalidad (Holma & A.Toskala, 2007, págs. 67-69).

En la Figura 2 se expone los elementos de una PLMN (Public Land Mobile Network) con el fin de ilustrar sus conexiones.



La arquitectura UTRAN se presenta con una breve introducción a todos los elementos que lo conforman.

A continuación, en la tabla 3 se tiene las partes y su función de la red UMTS

Tabla 3. Resumen de la arquitectura del sistema de alto nivel

UMTS arquitectura del sistema de alto nivel	Partes	Función
UE (Equipo de Usuario)	- Equipo móvil - Módulo de Identidad del Suscriptor UMTS (USIM)	- Radio utilizado para la comunicación - Realiza algoritmos de autenticación, y almacena claves de cifrado
UTRAN (UMTS Terrestrial Radio Access Network)	- Nodo B - Controlador de red de radio (RNC)	- Convierte el flujo de datos entre las interfaces Iub y Uu - Controla los recursos de radio en su dominio
CN (Red central)	- Registro de Localización (HLR) - Centro de Conmutación Móvil / Registro de Localización del Visitante (MSC / VLR) - Puerta de enlace MSC (GMSC) - General Packet Radio Service (GPRS) - Puerta de enlace Nodo de Soporte GPRS (GGSN)	- Base de datos ubicada en el sistema principal del usuario - Es el interruptor (MSC) y base de datos (VLR) que sirve a la UE en su ubicación actual para los servicios de conmutación de circuitos (CS) - Es el interruptor en el punto donde UMTS PLMN está conectado a redes externas CS - Nodo de Soporte (SGSN) funcionalidad es similar a la de MSC / VLR - Funcionalidad es cercana a la de GMSC pero es en relación a los servicios de PS
Redes Externas	- Redes CS - Redes PS	- proporcionan conexiones de conmutación de circuitos - proporcionan conexiones para los servicios de datos por paquetes.

Nota: Elaborado por Ricardo Cuichán, Darwin Lasso

Principales Interfaces de la arquitectura UTRAN

- Interfaz de Cu. Esta es la interfaz eléctrica entre la tarjeta inteligente USIM y el ME.

- Interfaz Iu. Esto conecta UTRAN a la NC. Similar a las interfaces correspondientes en GSM, A (CS) y GB (PS), el Iu abierto interfaz proporciona a los operadores UMTS la posibilidad de adquirir UTRAN y CN de diferentes fabricantes.
- Interfaz Iur. La interfaz Iur abierta permite traspaso suave entre RNCs de diferentes fabricantes y, por lo tanto, complementa la interfaz Iu abierta.
- Interfaz Iub. El Iub conecta un Nodo B y un RNC. UMTS es el primer comercial sistema de telefonía móvil en la interfaz del controlador Estación Base está estandarizado como una interfaz completamente abierta.

Modelo de Propagación

“Existen múltiples modelos empíricos basados en medidas experimentales, estos métodos describen las pérdidas de propagación en entornos de exteriores” (Sallent Roig, Valenzuela Gonzáles, & Agustí Comes, 2003, pág. 55).

Modelo específico

El modelo de propagación que usa la herramienta de predicción es el modelo estándar de propagación, el cual está basado en las fórmulas del modelo Hata, además de ser el modelo más adecuado para realizar simulaciones entre las bandas de 150 a 3500 MHz a distancias de hasta los 20 km.

Este modelo se lo usa para tecnologías GSM 900/1800, UMTS y CDMA 2000. Su

Fórmula matemática es:

Porcentaje de utilización de potencia de un nodo B

$$P_{Rx} = P_{Tx} + G_{Tx} - (K_1 + K_2 * \log d + K_3 * \log H_{Tx} + K_4 * \text{PérdidaDifraccion} + K_5 * \log d * \log H_{Tx} + K_6 * H_{Rx} + K_7 * \log H_{Rx} + K_{clutter} * f_{clutter} + Corr_{Montañas})$$

En donde

P_{Rx}	Potencia Recibida (dBm)
P_{Tx}	Potencia Trasmitida (EIRP) (dBm)
G_{Tx}	Ganancia de Antena (dB)
K_1	Constante Offset (db)
K_2	Factor multiplicativo para $\log d$
d	Distancia entre transmisor y receptor (m)
K_3	Factor multiplicativo para $\log H_{Tx}$
H_{Tx}	Altura efectiva de la antena del transmisor
K_4	Factor multiplicativo para el cálculo de difracción. Puede ser valor positivo
Pérdidas Difracción	Pérdidas por difracción de más de un camino obstruido
K_5	Factor multiplicativo para $\log d * \log H_{Tx}$
K_6	Factor multiplicativo para H_{Rx}
H_{Rx}	Altura de antena móvil
K_7	Factor multiplicativo para $f_{clutter}$
$K_{clutter}$	Promedio de pérdidas ponderadas debido al clutter
$Corr_{Montañas}$	Factor de corrección para las regiones montañosas (=0 en caso de NLOS).

Algunos valores posibles para las constantes utilizadas en la fórmula del modelo propagación estándar (García, 2015, págs. 90-91).

Tabla 4. Valores de factores multiplicativos

	Mínimo	Típico	Máximo
K1	Tabla 5.	Tabla 5.	Tabla 5.
K2	20	44.9	70
K3	-20	5.83	20
K4	0	0.5	0.8
K5	-10	-6.55	0
K6	-1	0	0
K7	-10	0	0

Nota: Elaborado por Ricardo Cuichán, Darwin Lasso

Se recomienda ajustar K6 a 0, y el uso de K7 en lugar de K6, K6 es un coeficiente multiplicativo en dB, lo que significa que pequeñas variaciones en K6 tienen un impacto considerable en la pérdida de trayectoria.

K1, es una constante que depende de la frecuencia de radio. Su valor está fuertemente influenciado por los valores dados a las pérdidas de clutter.

En la tabla 5 se observa las pérdidas por clutter para diferentes frecuencias.

Tabla 5. Valores dados a las pérdidas de clutter

Frecuencia (MHz)	K1	Pérdida de clutter	Fclutter
935	12.5	Denso urbano	4 a 5
1805	22	Bosque	2 a 3
1930	23	Urbano	0
2110	23.8	Suburbano	-5 a -3
1900	23	Industrial	-5 a -3
2300	24.7	Abierto en zonas urbanas	-6 a -4
2500	25.4	Abierto	-12 a -10
2700	26.1	Agua	-14 a -12
3300	27.8		
3500	28.3		

Nota: Elaborado por Ricardo Cuichán, Darwin Lasso

Antenas

La antena es un dispositivo pasivo parte de un sistema de transmisión y recepción, capaz de radiar y recibir ondas electromagnéticas, sus características de emisor y receptor son iguales.

Tipos de antenas

Existen dos tipos de antenas involucradas en el proyecto, principalmente por presupuesto se eligieron los dos tipos de antenas, las que se describirán a continuación con los parámetros fundamentales que servirán para un futuro análisis en la implementación de la solución de telefonía móvil.

Antena Yagi

Este tipo de antenas fueron creadas por los japoneses Hidetsugu Yagi y Shintaro Uda, de quienes toman su nombre, su característica más importante es su diseño muy simple, ya que utiliza elementos parásitos, se la emplea usualmente en aplicaciones de radiodifusión de televisión, estaciones de radioaficionados entre otras. En su configuración más común consta de un reflector, un elemento activo, y varios directores

Panel

Estas antenas son sectoriales, su funcionamiento se da en ángulos específicos que permiten un mayor alcance que las omnidireccionales, pero no tiene el mismo alcance y concentración de energía que las direccionales.

Patrón de radiación

Es una representación gráfica de las características de radiación de la antena. Se divide en “lóbulos”, regiones donde la radiación es permanente. El lóbulo con la mayor concentración de la radiación es el lóbulo principal. Si existen más lóbulos, a estos se los llaman secundarios y dependiendo la posición, toman el nombre de laterales o posteriores.

Relación frente espalda

Es una particularidad propia de las antenas directivas. Se expresa en dBs, pero no tiene nada que ver con la ganancia de la antena. Esta relación muestra que tan importante es el lóbulo principal frente al lóbulo posterior.

Ganancia

Es la relación entre la intensidad de radiación en una dirección y la intensidad de radiación de una antena isotrópica. (Hernández Rueda, 1998, pág. 37)

Tilt eléctrico

Es un procedimiento que se efectúa en algunas antenas para variar la fase de la señal, con lo que se consigue una reducción o aumento en el área de cobertura. (García, 2015, pág. 89)

Tilt mecánico

Es la variación en la inclinación de la antena, puede ser Tilt positivo que se da al girar la antena hacia la base de la estructura y Tilt negativo al rotar la antena hacia la parte superior de la estructura. (García, 2015, pág. 88)

Azimuth

Es la orientación de la antena que toma como referencia el Norte y en sentido horario puede tener valores desde 0° hasta 360° en los cuales se orienta el lóbulo principal. (García, 2015, pág. 89)

Principales parámetros de los indicadores de servicio

A continuación, se describen los principales parámetros de servicio con los cuales se realiza las mediciones de cobertura y calidad para verificar el correcto funcionamiento de la red de tercera generación en la Avenida Simón Bolívar desde el tramo de Llano Chico hasta Tambillo

RSCP (Received Signal Code Power)

Es la potencia medida de un canal físico de comunicación en un receptor, es decir es un indicador de la fuerza de la señal. Sus valores están definidos por el estándar 3GPP (García, 2015, págs. 37-38).

Los niveles de RSCP se los expresa en [dBm] y son:

0 a -85: es una señal muy buena

-85 a -95: es una señal aceptable

-95 a -105: se tiene mala recepción.

-105 o menores; se tiene muy malas señales.

Ec/Io (Chip Energy and Interference)

Es una relación que proporciona información acerca de la calidad de servicio que el proveedor brinda a los usuarios. Este valor es variable y depende de la interferencia en el canal piloto. Sus valores están definidos por el estándar 3GPP. (García, 2015, págs. 38-39)

Los valores que se podrían tener de Ec/Io [dB] son:

0 a -9: es una señal muy buena

-9 a -14: es una señal aceptable

-14 en adelante: se tiene mala recepción.

RTWP (Received Total Wide-band Power)

Es la potencia total en una banda de frecuencia. Esta potencia está constituida de interferencias de celdas vecinas, ruido y señales de dispositivos que emitan en la misma banda de frecuencia. Sus valores están definidos por el estándar 3GPP. (García, 2015, pág. 47)

Se lo expresa en [dBm] y sus valores son:

-100 a -110: valores ideales

-94 a - 100: valores aceptables

Througpout

Tiene que ver con la conexión de datos y es la medida de la tasa de transferencia de datos exitosos en un canal de transmisión. Cuya unidad de medición son en bits/s o bytes/s.

Para UMTS se tienen altas velocidades de transmisiones:

- 144 Kbps para uso móvil (vehicular) → Release99
- 384 Kbps para uso de peatones → Release99
- 14 Mbps para uso fijo (módems) → Release5 (HSDPA)
- 21 Mbps para uso fijo (módems) → Release7 (HSPA+)

BLER (Block Error Rate)

Es un parámetro que indica la cantidad de paquetes erróneos recibidos del total de paquetes enviados.

Código de aleatorización

La 3GPP ha dividido en 64 grupos de códigos primarios, y cada grupo consta de 8 códigos, estos códigos son utilizados en enlaces ascendentes para diferenciar los distintos equipos de usuario, y en los enlaces descendentes para diferenciar cada nodo B.

Polución de piloto

Es un parámetro que indica el número de celdas con niveles RSCP buenos que típicamente son 3 activas, si existe una cuarta celda con iguales niveles de RSCP ésta ya produce polución.

Modulación

Es el cambio de alguno de los parámetros que determinan una onda portadora (amplitud, frecuencia, fase), por una moduladora para su transmisión, comúnmente son de baja frecuencia y su transmisión por radio es casi imposible. La modulación permite transmitir varias señales de baja frecuencia a la vez desplazando su frecuencia para que no se interfieran entre sí.

En la tabla 6 se describen las principales características de las modulaciones usadas.

Tabla 6. Modulación QPSK Y 16QAM características principales

Modulación	QPSK	16QAM
Características	Modulación por cambio de fase de la onda	Modulación por desplazamiento en amplitud
	Cambios de fase de 0, 90, 180 y 270	Los datos se dividen en grupos de 4 bits

Nota: Elaborado por Ricardo Cuichán, Darwin Lasso

Indicador de canal (CQI)

CQI (Channel Quality Indicator) es el parámetro definido por el estándar 3GPP para medir la calidad del canal, el cual indica el estado del radio – enlace al nodo B. Sus valores son

- 0-15: valores muy malos (condiciones malas)
- 16-24: valores regulares (modulaciones QPSK)
- 24-28: valores buenos (modulaciones 16-QAM)
- 28-30: valores ideales (modulaciones 64-QAM)

Drive test

Es un proceso que se sigue para obtener medidas de varios parámetros, que se utilizan para analizar el comportamiento de la red de telefonía móvil, la información que se recopila es lo más cercana a la experiencia real del usuario.

CAPÍTULO 2

ESTADO DE LA RED UMTS PREVIO A LA IMPLANTACIÓN DE TELEFONÍA MÓVIL EN LA AVENIDA SIMÓN BOLÍVAR.

Para la implementación de los nuevos nodos B se dividió por subtramos que son Llano Chico, Monteolivo, Autopista, Cumbayá, Ilumbisí, Nayón, San Martín, Atom cell San Martín-Tambillo, Tambillo tomando como referencia el nombre de la localización geográfica más cercana.

Planificación de Subtramos en la Avenida Simón Bolívar

Para la planificación de la solución de telefonía móvil en la avenida Simón Bolívar desde Llano Chico hasta Tambillo se dividió en nueve subtramos para un análisis detallado debido a la gran extensión de la carretera.

La Figura 3 muestra la ubicación geográfica del subtramo Llano Chico donde se observa su localización en el software de posicionamiento global.

Subtramo Llano Chico

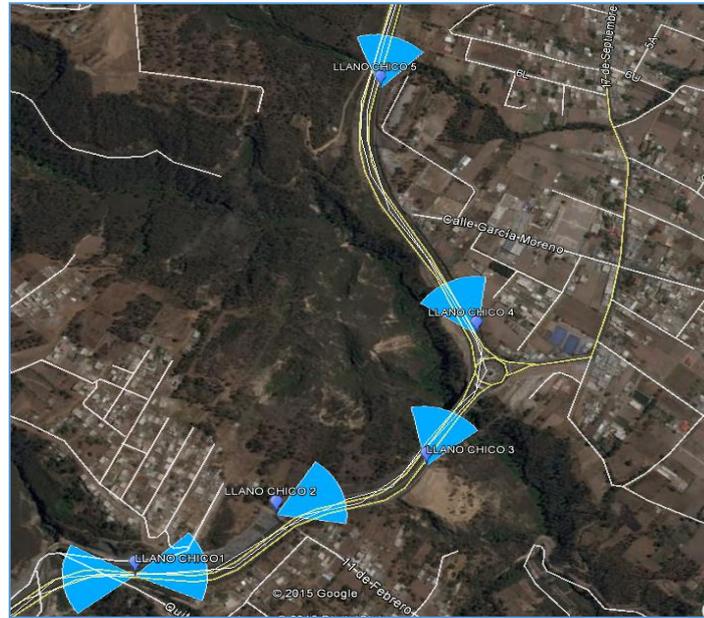


Figura 3. Ubicación geográfica subtramo LLANO_CHICO
Elaborado por: Ricardo Cuichán, Darwin Lasso.

Para los subtramos: Nayón, Monteolivo, Cumbayá, Autopista, Ilumbisí, San Martín, Atom cell San Martín-Tambillo, Tambillo se muestran la ubicación geográfica en las figuras 1-8 del anexo 1.

La Tabla 7 muestra el nombre de la celda, longitud y latitud de la solución de telefonía móvil donde serán implementadas por cada subtramo ya descrito.

Tabla 7. Ubicación de los nodos en cada subtramo

ATOM_CELL_MONJAS_NUEVA_ORIENTAL1	-78,492391	-0,231439
ATOM_CELL_NODO3_SAN_MARTIN1	-78,522708	-0,350425
ATOM_CELL_TAMBILLO1	-78,529476	-0,357053
AUTOPISTA1	-78,47785	-0,24699
AUTOPISTA2	-78,47601	-0,24447
AUTOPISTA3	-78,4737	-0,23887
AUTOPISTA4	-78,47124	-0,23242
AUTOPISTA5	-78,46925	-0,22558
CUMBAYAU1	-78,46103	-0,20726
CUMBAYAU2	-78,456354	-0,20057
CUMBAYAU3	-78,461214	-0,19812
CUMBAYAU4	-78,467043	-0,196229
CUMBAYAU5	-78,45946	-0,193886
CUMBAYAU6	-78,46421	-0,2152
ILUMBISI1	-78,508585	-0,272607
ILUMBISI2	-78,50427	-0,26159
ILUMBISI3	-78,50246	-0,25722
ILUMBISI4	-78,50405	-0,25295
ILUMBISI5	-78,5021	-0,248581
ILUMBISI6	-78,50017	-0,24297
LLANO_CHICO1	-78,447553	-0,147607
LLANO_CHICO2	-78,445824	-0,145787
LLANO_CHICO3	-78,443771	-0,14403
LLANO_CHICO4	-78,443815	-0,141281
LLANO_CHICO5	-78,447177	-0,137157
MONTE_OLIVO1	-78,450775	-0,183425
MONTE_OLIVO2	-78,453474	-0,180568
MONTE_OLIVO3	-78,456004	-0,180091
MONTE_OLIVO4	-78,452372	-0,173475
MONTE_OLIVO5	-78,448821	-0,168433
MONTE_OLIVO6	-78,447876	-0,163475
MONTE_OLIVO7	-78,454099	-0,188465
NAYON1	-78,446269	-0,159071
NAYON2	-78,4467	-0,15383
NAYON3	-78,448727	-0,152494
NAYON4	-78,451807	-0,151437
NAYON5	-78,458225	-0,151819
NAYON6	-78,463397	-0,152057
SAN_MARTIN1	-78,52085	-0,33922
SAN_MARTIN2	-78,52036	-0,32286
SAN_MARTIN3	-78,52226	-0,31067
SAN_MARTIN4	-78,52148	-0,30131
SAN_MARTIN5	-78,51967	-0,28751
SAN_MARTIN6	-78,5149	-0,27883
TAMBILLO1	-78,53893	-0,39601
TAMBILLO2	-78,5355	-0,39171
TAMBILLO3	-78,53172	-0,38208
TAMBILLO4	-78,5299	-0,3733
TAMBILLO5	-78,52836	-0,366308
TAMBILLO6	-78,534082	-0,360551

Nota: Elaborado por Ricardo Cuichán, Darwin Lasso.

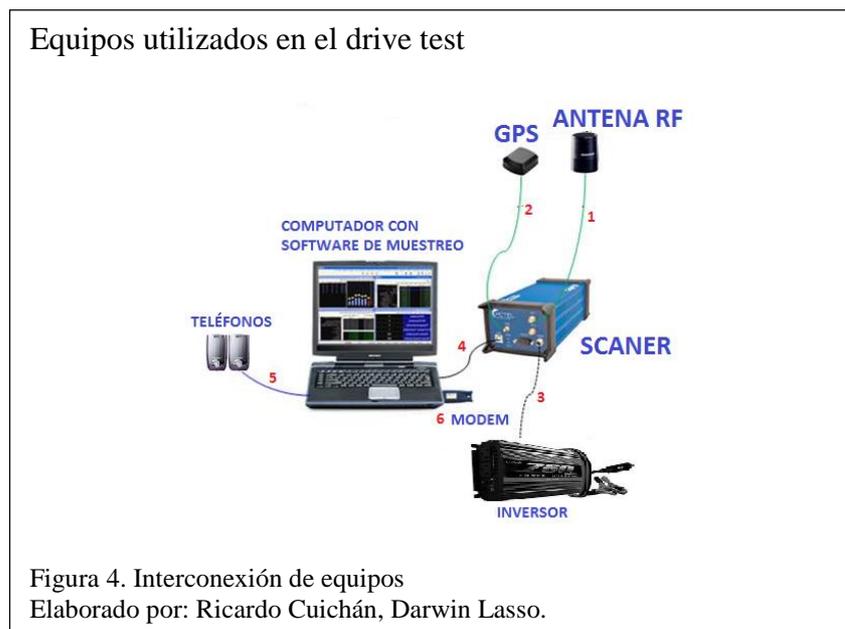
Drive test antes de la implementación de la solución de telefonía móvil

Para conocer el estado de la red UMTS de la operadora móvil antes de implementarse la solución de telefonía móvil se realiza un drive test con el cual se mide los parámetros de cobertura (RSCP) y calidad (Ec/Io).

Elementos y conexión usados al realizar el drive test

Los elementos que se usaron en el drive test son: dos teléfonos celulares, módem 3G, software de muestreo, scanner, hub, inversor, computador personal

La Figura 4 corresponde a los elementos y las conexiones entre los equipos utilizados en el drive test.



La conexión de los equipos utilizados en el drive test se detalla a continuación:

- 1: conexión entre antena rf y escáner
- 2: conexión entre GPS y escáner
- 3: conexión entre inversor y escáner

4: conexión entre computador y escáner

5: conexión entre computador y teléfonos

6: conexión entre computador y modem

Procedimiento para realizar el drive test.

Una vez que los equipos estén conectados se procede a configurar un plan de pruebas en el software de muestreo para cada dispositivo (teléfonos, modem, escáner)

- Teléfono celular 1: se configura una llamada larga automática a otro número de destino con duración de tiempo indefinido, se debe forzar a la red WCDMA la cual sirve para medir continuidad en la red y evaluar niveles de cobertura(RSCP) y calidad(E_c/I_o)
- Teléfono celular 2: se configura una llamada corta automática a otro número de destino con duración de tiempo de un minuto e intervalos de tiempo de marcado entre llamadas de 15 segundos, se debe forzar a la red WCDMA para medir solo parámetros de esta tecnología y sirve para medir eventos de acceso y retenibilidad como: call request, call success, access failures, call dropped, handover request, handover success.
- Modem 3G: Se configura una descarga manual de un archivo de 1 Gb desde un servidor FTTP, se debe forzar a la red WCDMA para medir solo parámetros de esta tecnología y sirve para evaluar throughput tanto en enlace de baja como en enlace de subida.
- Escáner: se configura la banda de frecuencia en la que trabaja la operadora móvil, además al escáner se conecta la antena RF la cual

recepta todas las señales de la banda y el GPS el cual da la ubicación geográfica durante el recorrido.

- Computador con software de muestreo: almacena la información receptada desde los dispositivos conectados.

Drive Test antes de la implementación de la solución de telefonía móvil

Se presentan los resultados obtenidos de cobertura (RSCP) y calidad (Ec/Io) de las pruebas realizadas en cada subtramo.

Niveles de RSCP del Mejor Servidor subtramo Llano Chico

La Figura 5 y la Tabla 8 muestran los niveles de RSCP del mejor servidor tomados por el teléfono 1, los niveles de cobertura no son aceptables para un servicio continuo de voz y datos ya que son menores a -95 dBm en un 52% como se observa en la gráfica que más de la mitad de las muestras están en estos rangos (color amarillo y rojo) como indica los porcentajes en la leyenda.

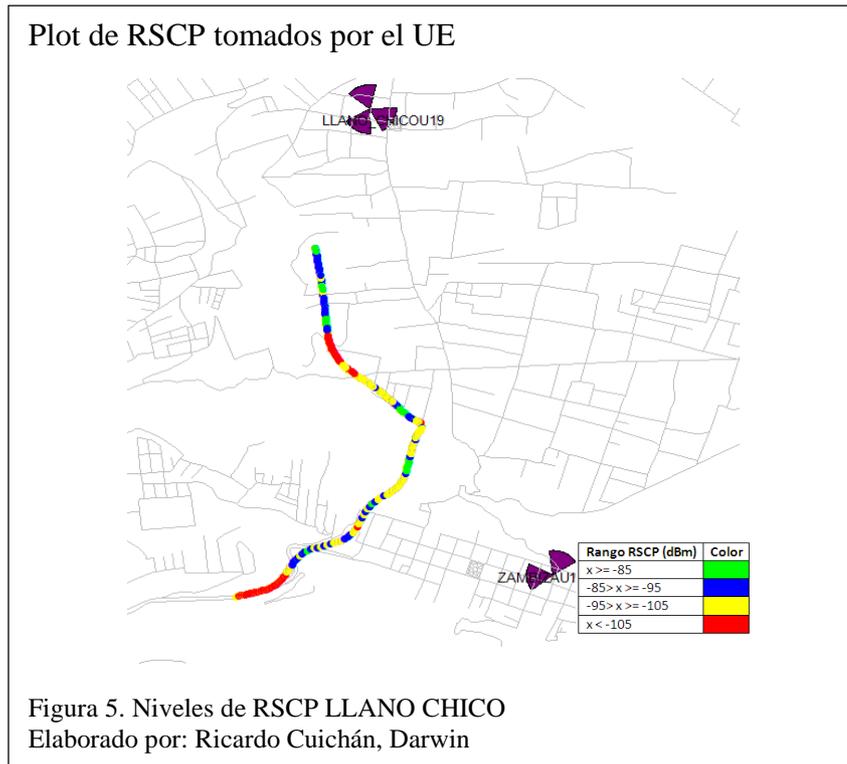


Tabla 8. Niveles de RSCP tomados por el UE

Rango RSCP (dBm)	Número de Muestras	Rango Porcentual	Color
$x \geq -85$	75	14%	Verde
$-85 > x \geq -95$	180	34%	Azul
$-95 > x \geq -105$	166	31%	Amarillo
$x < -105$	111	21%	Rojo

Nota: Elaborado por Ricardo Cuichán, Darwin Lasso

Niveles de Ec/Io del Mejor Servidor subtramo Llano Chico

La Figura 6 y la

Tabla 9 muestran los niveles de Ec/Io del mejor servidor tomados por el teléfono 1, los niveles de calidad no son aceptables para un servicio continuo de voz y datos ya que son menores a -12 dB en un 91% como se observa en la gráfica que más de la mitad de las muestras están en estos rangos (color amarillo y rojo) como indica los porcentajes en la leyenda.

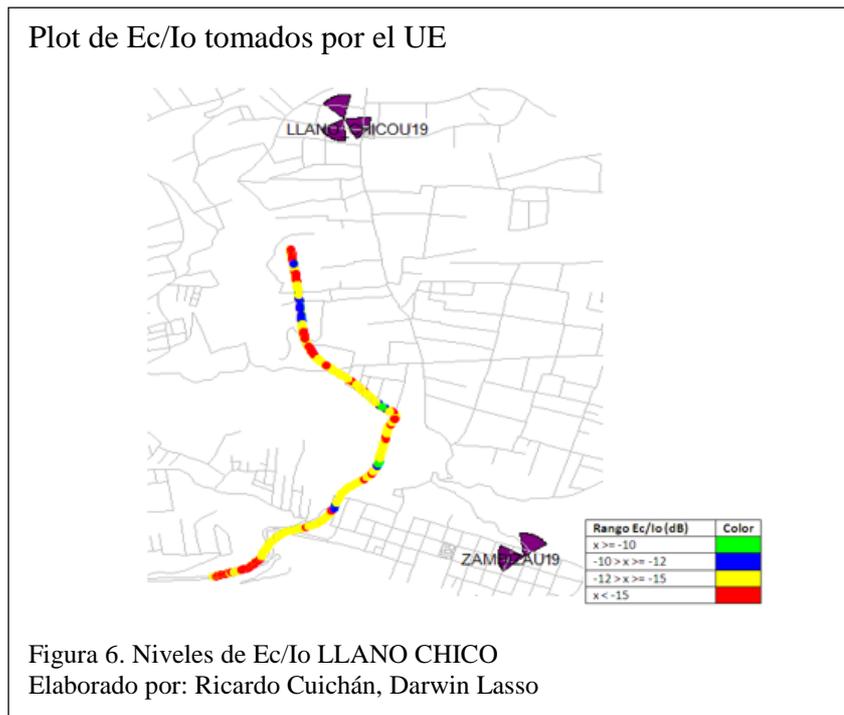


Tabla 9. Niveles de Ec/Io tomados por el UE

Rango Ec/Io (dB)	Número de Muestras	Rango Porcentual	Color
$x \geq -10$	10	2%	Verde
$-10 > x \geq -12$	39	7%	Azul
$-12 > x \geq -15$	340	64%	Amarillo
$x < -15$	143	27%	Rojo

Nota: Elaborado por Ricardo Cuichán, Darwin Lasso.

Niveles de RSCP del Mejor Servidor subtramo Nayón

La Figura 7 y la

Tabla 10 muestran los niveles de RSCP del mejor servidor tomados por el teléfono 1, los niveles de cobertura no son aceptables para un servicio continuo de voz y datos ya que son menores a -95 dBm en un 98% como se observa en la gráfica que más de la mitad de las muestras están en estos rangos (color amarillo y rojo) como indica los porcentajes en la leyenda.

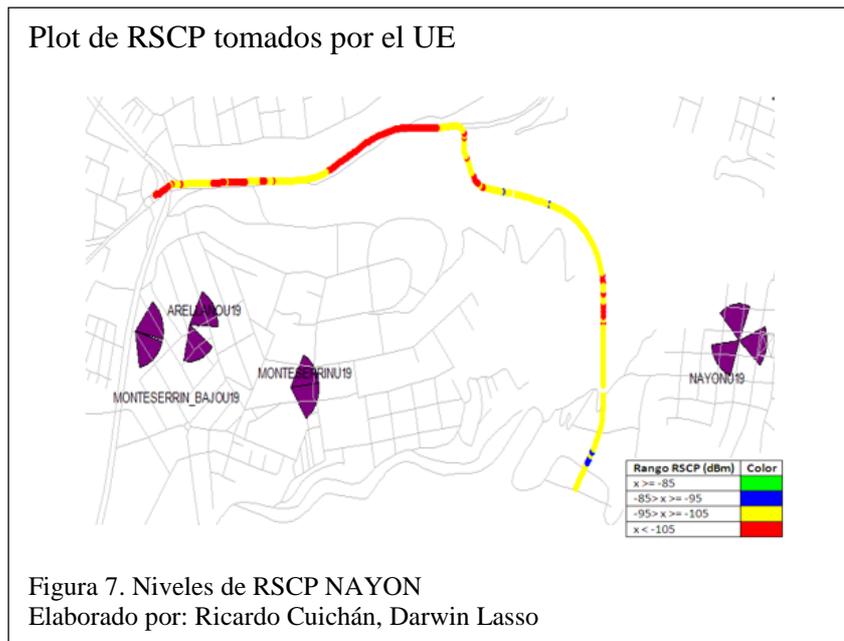


Tabla 10. Niveles de RSCP tomados por el UE

Rango RSCP (dBm)	Número de Muestras	Rango Porcentual	Color
$x \geq -85$	0	0%	Verde
$-85 > x \geq -95$	5	2%	Azul
$-95 > x \geq -105$	180	64%	Amarillo
$x < -105$	93	33%	Rojo

Nota: Elaborado por Ricardo Cuichán, Darwin Lasso.

Niveles de Ec/Io del Mejor Servidor subtramo Nayón

La Figura 8 y la

Tabla 11 muestran los niveles de Ec/Io del mejor servidor tomados por el teléfono 1, los niveles de calidad no son aceptables para un servicio continuo de voz y datos ya que son menores a -12 dB en un 100% como se observa en la gráfica que más de la mitad de las muestras están en estos rangos (color amarillo y rojo) como indica los porcentajes en la leyenda.

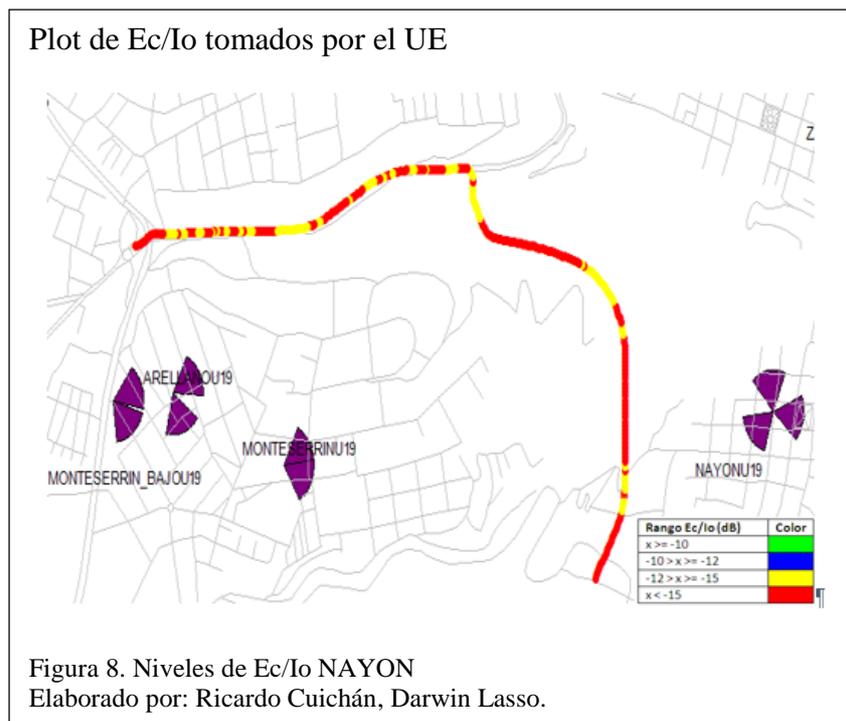


Tabla 11. Niveles de Ec/Io tomados por el UE

Rango Ec/Io (dB)	Número de Muestras	Rango Porcentual	Color
$x \geq -10$	0	0%	Verde
$-10 > x \geq -12$	0	0%	Azul
$-12 > x \geq -15$	92	33%	Amarillo
$x < -15$	188	67%	Rojo

Nota: Elaborado por Ricardo Cuichán, Darwin Lasso.

Niveles de RSCP del Mejor Servidor subtramo Monteolivo

La Figura 9 y la Tabla 12 muestran los niveles de RSCP del mejor servidor tomados por el teléfono 1, los niveles de cobertura no son aceptables para un servicio continuo de voz y datos ya que son menores a -95 dBm en un 87% como se observa en la gráfica que más de la mitad de las muestras están en estos rangos (color amarillo y rojo) como indica los porcentajes en la leyenda.

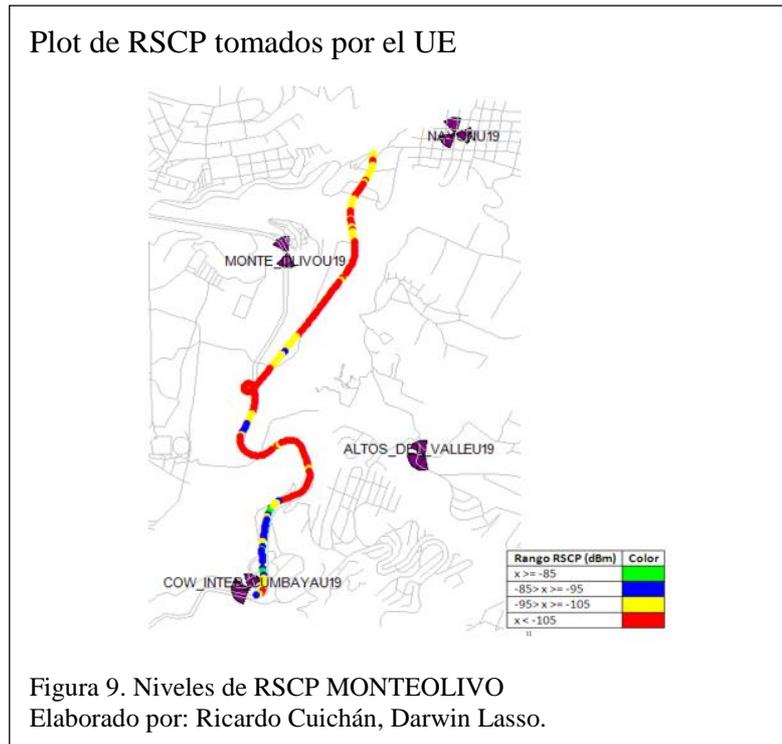


Tabla 12. Niveles de RSCP tomados por el UE

Rango RSCP (dBm)	Número de Muestras	Rango Porcentual	Color
$x \geq -85$	5	2%	Verde
$-85 > x \geq -95$	27	11%	Azul
$-95 > x \geq -105$	63	25%	Amarillo
$x < -105$	156	62%	Rojo

Nota: Elaborado por Ricardo Cuichán, Darwin Lasso.

Niveles de Ec/Io del Mejor Servidor subtramo Monteolivo

La Figura 10 y la

Tabla 13 muestran los niveles de Ec/Io del mejor servidor tomados por el teléfono 1, los niveles de calidad no son aceptables para un servicio continuo de voz y datos ya que son menores a -12 dB en un 80% como se observa en la gráfica que más de la mitad de las muestras están en estos rangos (color amarillo y rojo) como indica los porcentajes en la leyenda.

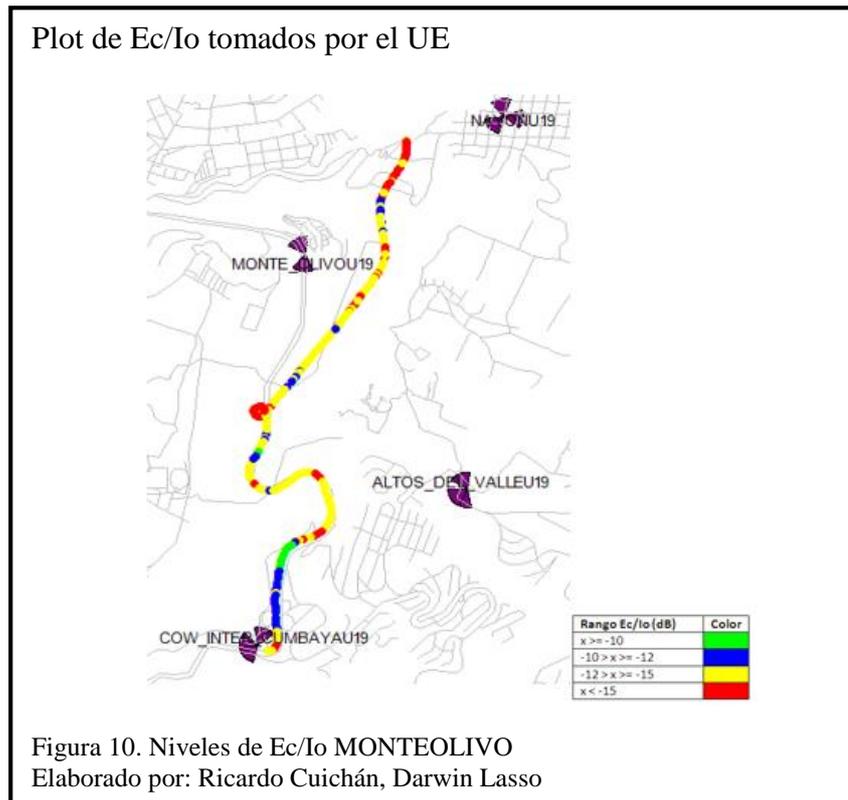


Tabla 13. Niveles de Ec/Io tomados por el UE

Rango Ec/Io (dB)	Número de Muestras	Rango Porcentual	Color
$x \geq -10$	13	5%	Verde
$-10 > x \geq -12$	38	15%	Azul
$-12 > x \geq -15$	137	55%	Amarillo
$x < -15$	63	25%	Rojo

Nota: Elaborado por Ricardo Cuichán, Darwin Lasso.

Niveles de RSCP del Mejor Servidor subtramo Cumbayá

La Figura 11 y la Tabla 14 muestran los niveles de RSCP del mejor servidor tomados por el teléfono 1, los niveles de cobertura no son aceptables para un servicio continuo de voz y datos ya que son menores a -95 dBm en un 55% como se observa en la gráfica que más de la mitad de las muestras están en estos rangos (color amarillo y rojo) como indica los porcentajes en la leyenda.

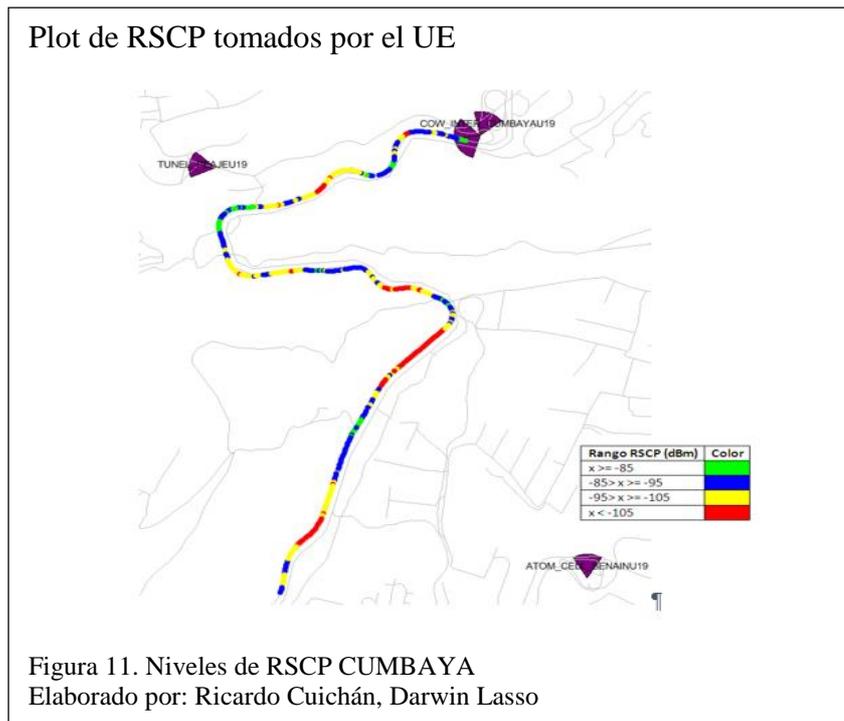


Tabla 14. Niveles de RSCP tomados por el UE

Rango RSCP (dBm)	Número de Muestras	Rango Porcentual	Color
$x \geq -85$	43	9%	Verde
$-85 > x \geq -95$	171	36%	Azul
$-95 > x \geq -105$	172	36%	Amarillo
$x < -105$	89	19%	Rojo

Nota: Elaborado por Ricardo Cuichán, Darwin Lasso.

Niveles de Ec/Io del Mejor Servidor subtramo Cumbayá

La Figura 14 y la Tabla 15 muestran los niveles de Ec/Io del mejor servidor tomados por el teléfono 1, los niveles de calidad no son aceptables para un servicio continuo de voz y datos ya que son menores a -12 dB en un 84% como se observa en la gráfica que más de la mitad de las muestras están en estos rangos (color amarillo y rojo) como indica los porcentajes en la leyenda.

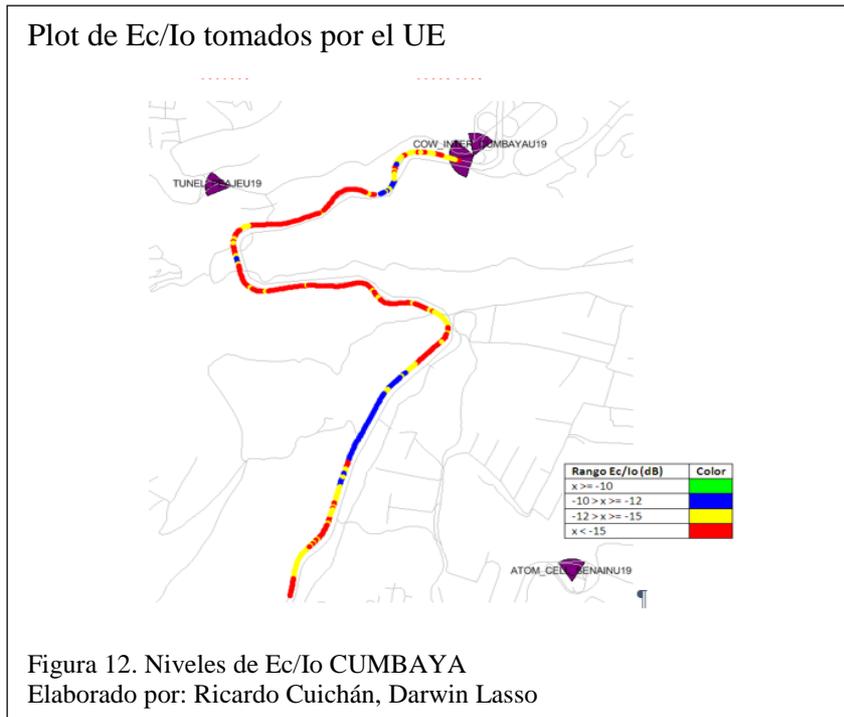


Tabla 15. Niveles de Ec/Io tomados por el UE

Rango Ec/Io (dB)	Número de Muestras	Rango Porcentual	Color
$x \geq -10$	0	0%	Green
$-10 > x \geq -12$	75	16%	Blue
$-12 > x \geq -15$	130	27%	Yellow
$x < -15$	270	57%	Red

Nota: Elaborado por Ricardo Cuichán, Darwin Lasso

Niveles de RSCP del Mejor Servidor subtramo Autopista

La Figura 13 y la

Tabla 16

Tabla 16 muestran los niveles de RSCP del mejor servidor tomados por el teléfono 1, los niveles de cobertura no son aceptables para un servicio continuo de voz y datos ya que son menores a -95 dBm en un 77% como se observa en la gráfica que más de la mitad de las muestras están en estos rangos (color amarillo y rojo) como indica los porcentajes en la leyenda.

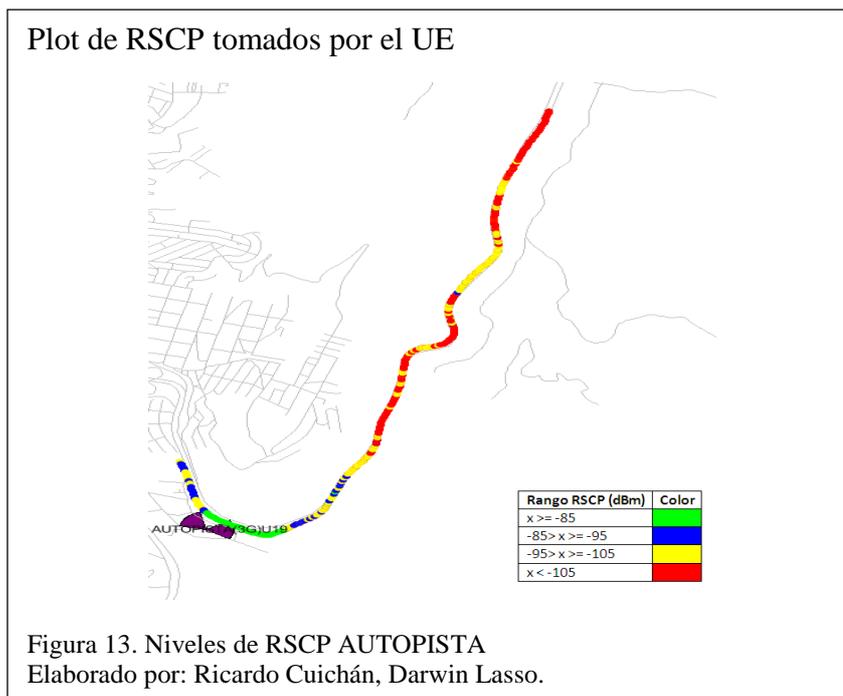


Tabla 16. Niveles de RSCP tomados por el UE

Rango RSCP (dBm)	Número de Muestras	Rango Porcentual	Color
$x \geq -85$	109	13%	Verde
$-85 > x \geq -95$	85	10%	Azul
$-95 > x \geq -105$	251	29%	Amarillo
$x < -105$	416	48%	Rojo

Nota: Elaborado por Ricardo Cuichán, Darwin Lasso

Niveles de Ec/Io del Mejor Servidor subtramo Autopista

La Figura 14 y la Tabla 17 muestran los niveles de Ec/Io del mejor servidor tomados por el teléfono 1, los niveles de calidad no son aceptables para un servicio continuo de voz y datos ya que son menores a -12 dB en un 84% como se observa en la gráfica que más de la mitad de las muestras están en estos rangos (color amarillo y rojo) como indica los porcentajes en la leyenda.

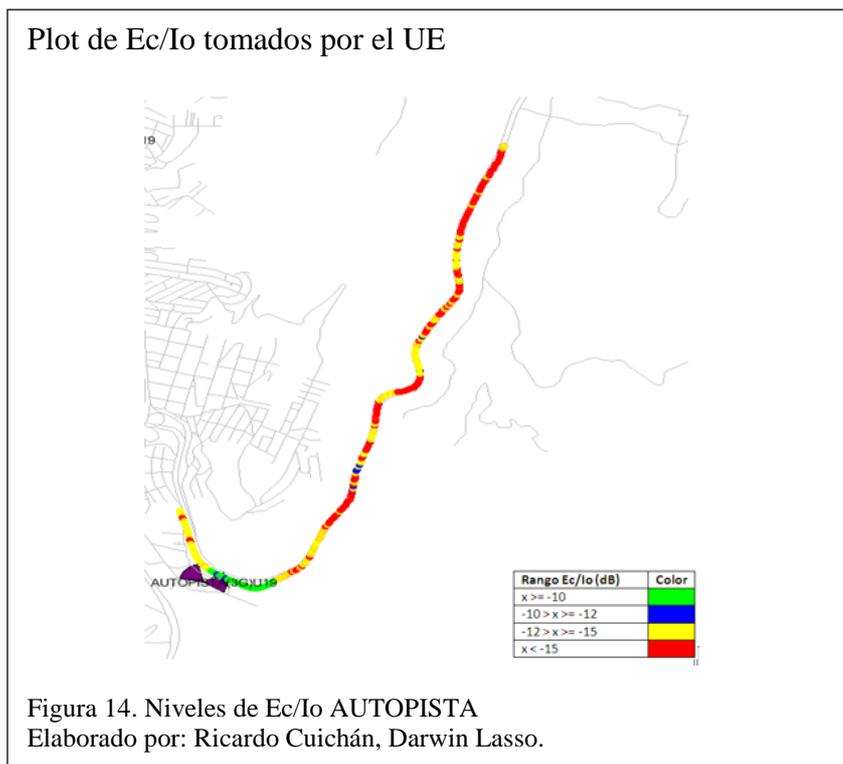


Tabla 17. Niveles de Ec/Io tomados por el UE

Rango Ec/Io (dB)	Número de Muestras	Rango Porcentual	Color
$x \geq -10$	91	11%	Verde
$-10 > x \geq -12$	47	5%	Azul
$-12 > x \geq -15$	326	38%	Amarillo
$x < -15$	397	46%	Rojo

Nota: Elaborado por Ricardo Cuichán, Darwin Lasso.

Niveles de RSCP del Mejor Servidor subtramo Ilumbisí

La Figura 15 y la

Tabla 18 muestran los niveles de RSCP del mejor servidor tomados por el teléfono 1, los niveles de cobertura no son aceptables para un servicio continuo de voz y datos ya que son menores a -95 dBm en un 68% como se observa en la gráfica que más de la mitad de las muestras están en estos rangos (color amarillo y rojo) como indica los porcentajes en la leyenda.

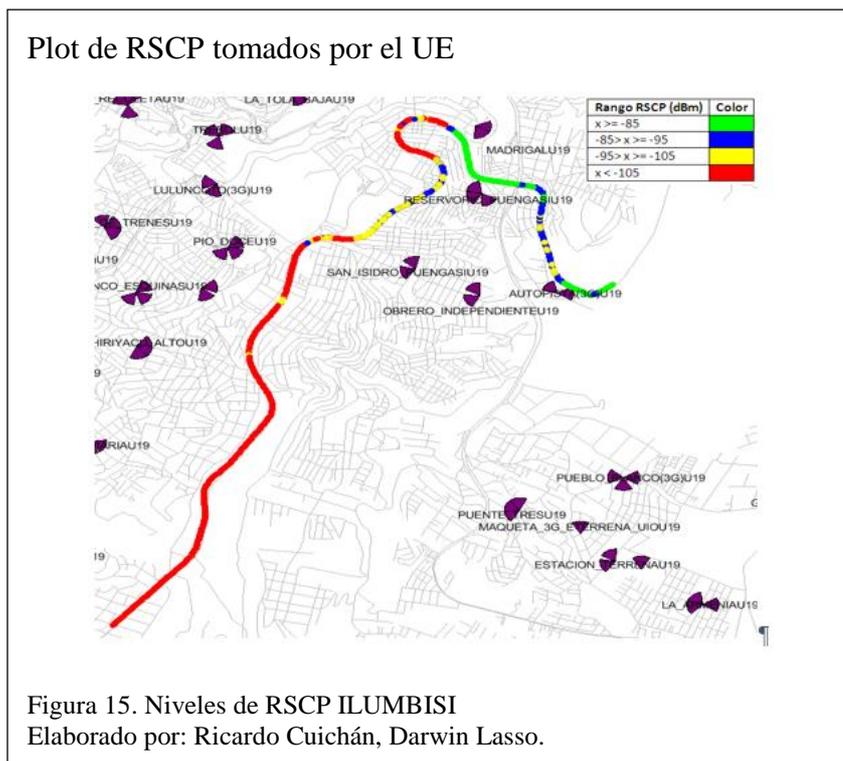


Tabla 18. Niveles de RSCP tomados por el UE

Rango RSCP (dBm)	Número de Muestras	Rango Porcentual	Color
$x \geq -85$	278	18%	Verde
$-85 > x \geq -95$	212	14%	Azul
$-95 > x \geq -105$	213	14%	Amarillo
$x < -105$	841	54%	Rojo

Nota: Elaborado por Ricardo Cuichán, Darwin Lasso.

Niveles de Ec/Io del Mejor Servidor subtramo Ilumbisi

La Figura 16 y la Tabla 19 muestran los niveles de Ec/Io del mejor servidor tomados por el teléfono 1, los niveles de calidad no son aceptables para un servicio continuo de voz y datos ya que son menores a -12 dB en un 68% como se observa en la gráfica que más de la mitad de las muestras están en estos rangos (color amarillo y rojo) como indica los porcentajes en la leyenda.

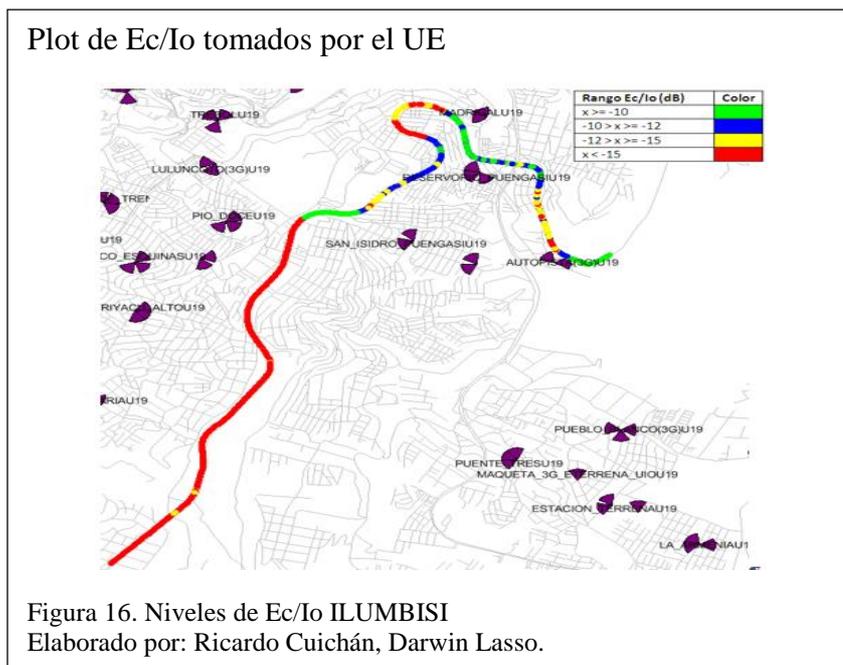


Tabla 19. Niveles de Ec/Io tomados por el UE

Rango Ec/Io (dB)	Número de Muestras	Rango Porcentual	Color
$x \geq -10$	242	16%	Verde
$-10 > x \geq -12$	247	16%	Azul
$-12 > x \geq -15$	230	15%	Amarillo
$x < -15$	825	53%	Rojo

Nota: Elaborado por Ricardo Cuichán, Darwin Lasso

Niveles de RSCP del Mejor Servidor subtramo San Martin

La Figura 17 y la

Tabla 20 muestran los niveles de RSCP del mejor servidor tomados por el teléfono 1, los niveles de cobertura no son aceptables para un servicio continuo de voz y datos ya que son menores a -95 dBm en un 97% como se observa en la gráfica que más de la mitad de las muestras están en estos rangos (color amarillo y rojo) como indica los porcentajes en la leyenda.

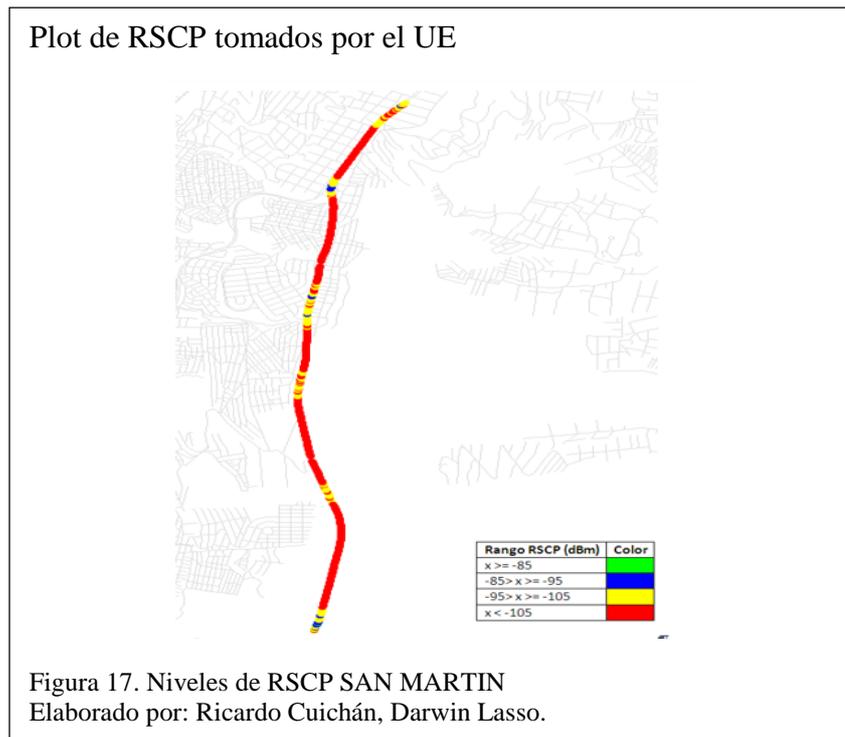


Tabla 20. Niveles de RSCP tomados por el UE

Rango RSCP (dBm)	Número de Muestras	Rango Porcentual	Color
$x \geq -85$	0	0%	Verde
$-85 > x \geq -95$	15	3%	Azul
$-95 > x \geq -105$	104	22%	Amarillo
$x < -105$	358	75%	Rojo

Nota: Elaborado por Ricardo Cuichán, Darwin Lasso.

Niveles de Ec/Io del Mejor Servidor subtramo San Martin

La Figura 18 y la Tabla 21 muestran los niveles de Ec/Io del mejor servidor tomados por el teléfono 1, los niveles de calidad no son aceptables para un servicio continuo de voz y datos ya que son menores a -12 dB en un 97% como se observa en la gráfica que más de la mitad de las muestras están en estos rangos (color amarillo y rojo) como indica los porcentajes en la leyenda.

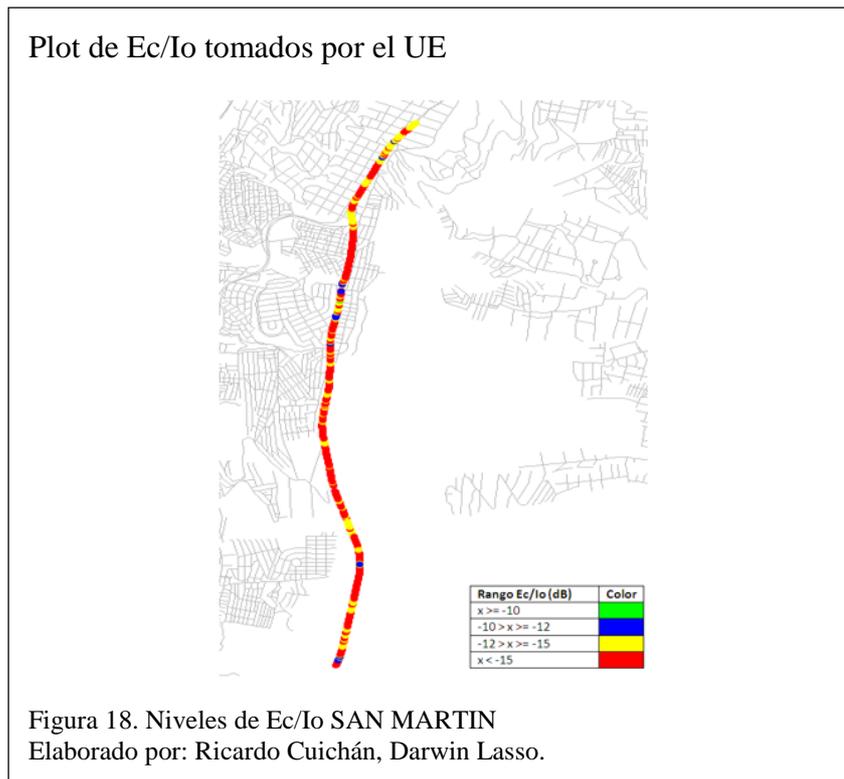


Tabla 21. Niveles de Ec/Io tomados por el UE

Rango Ec/Io (dB)	Número de Muestras	Rango Porcentual	Color
$x \geq -10$	1	0%	Green
$-10 > x \geq -12$	16	3%	Blue
$-12 > x \geq -15$	141	30%	Yellow
$x < -15$	320	67%	Red

Nota: Elaborado por Ricardo Cuichán, Darwin Lasso.

Niveles de RSCP del Mejor Servidor subtramo Atom cell San Martín-Tambillo

La Figura 19 y la

Tabla 22 muestran los niveles de RSCP del mejor servidor tomados por el teléfono 1, los niveles de cobertura no son aceptables para un servicio continuo de voz y datos ya que son menores a -95 dBm en un 100% como se observa en la gráfica que más de la mitad de las muestras están en estos rangos (color amarillo y rojo) como indica los porcentajes en la leyenda.

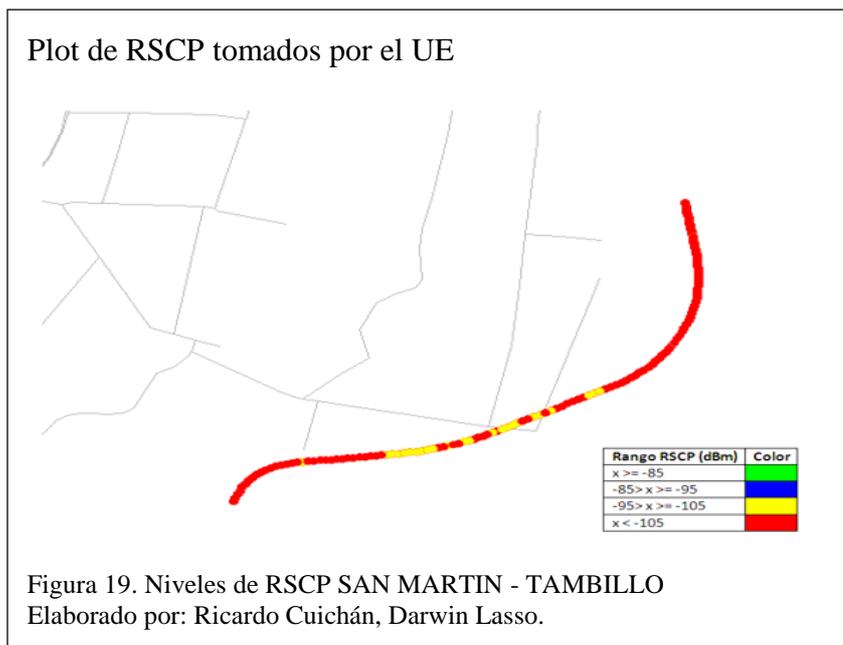


Tabla 22. Niveles de RSCP tomados por el UE

Rango RSCP (dBm)	Número de Muestras	Rango Porcentual	Color
$x \geq -85$	0	0%	Verde
$-85 > x \geq -95$	0	0%	Azul
$-95 > x \geq -105$	167	12%	Amarillo
$x < -105$	350	88%	Rojo

Nota: Elaborado por Ricardo Cuichán, Darwin Lasso.

Niveles de Ec/Io del Mejor Servidor subtramo Atom cell San Martín-Tambillo

La Figura 20 y la Tabla 23 muestran los niveles de Ec/Io del mejor servidor tomados por el teléfono 1, los niveles de calidad no son aceptables para un servicio continuo de voz y datos ya que son menores a -12 dB en un 100% como se observa en la gráfica que más de la mitad de las muestras están en estos rangos (color amarillo y rojo) como indica los porcentajes en la leyenda.

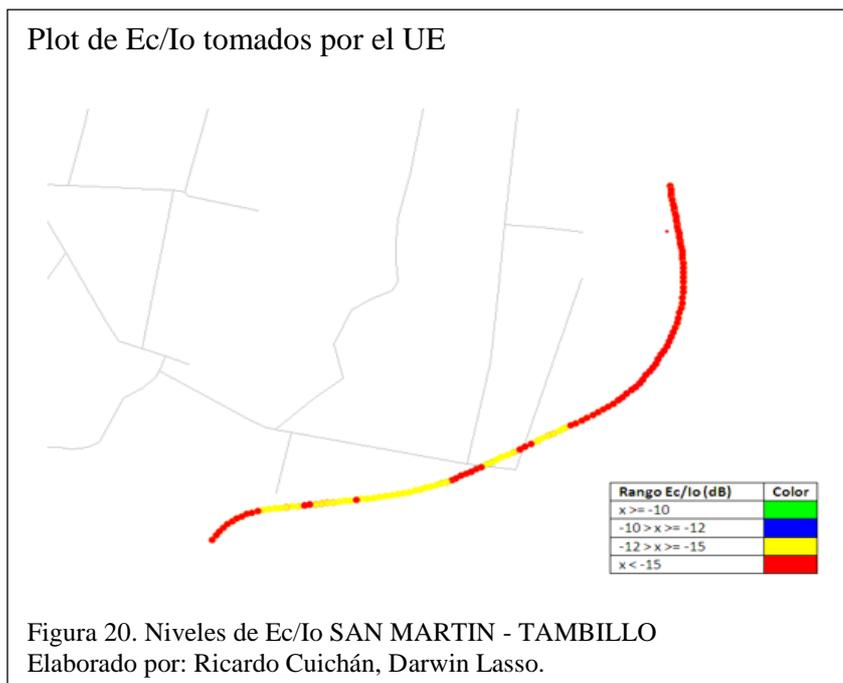


Tabla 23. Niveles de Ec/Io tomados por el UE

Rango Ec/Io (dB)	Número de Muestras	Rango Porcentual	Color
$x \geq -10$	0	0%	Verde
$-10 > x \geq -12$	0	0%	Azul
$-12 > x \geq -15$	156	40%	Amarillo
$x < -15$	229	60%	Rojo

Nota: Elaborado por Ricardo Cuichán, Darwin Lasso.

Niveles de RSCP del Mejor Servidor subtramo Tambillo

La Figura 21 y la

Tabla 24 muestran los niveles de RSCP del mejor servidor tomados por el teléfono 1, los niveles de cobertura no son aceptables para un servicio continuo de voz y datos ya que son menores a -95 dBm en un 97% como se observa en la gráfica que más de la mitad de las muestras están en estos rangos (color amarillo y rojo) como indica los porcentajes en la leyenda.

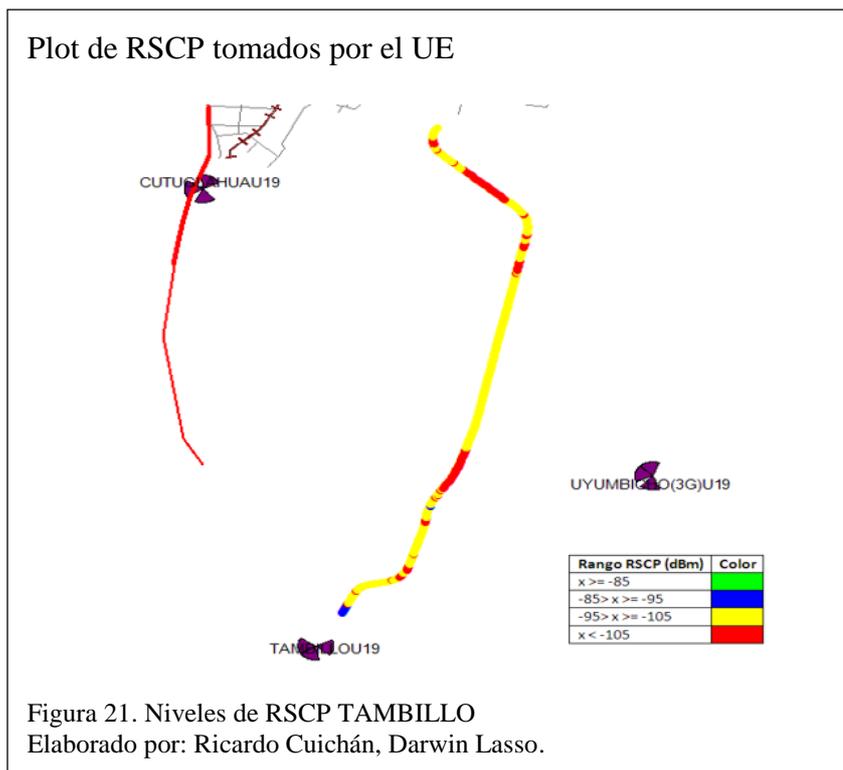


Tabla 24. Niveles de RSCP tomados por el UE

Rango RSCP (dBm)	Número de Muestras	Rango Porcentual	Color
$x \geq -85$	0	0%	Verde
$-85 > x \geq -95$	10	3%	Azul
$-95 > x \geq -105$	270	71%	Amarillo
$x < -105$	101	27%	Rojo

Nota: Elaborado por Ricardo Cuichán, Darwin Lasso.

Niveles de Ec/Io del Mejor Servidor subtramo Tambillo

La Figura 22 y la

Tabla 25 muestran los niveles de Ec/Io del mejor servidor tomados por el teléfono 1, los niveles de calidad no son aceptables para un servicio continuo de voz y datos ya que son menores a -12 dB en un 99% como se observa en la gráfica que más de la mitad de las muestras están en estos rangos (color amarillo y rojo) como indica los porcentajes en la leyenda.

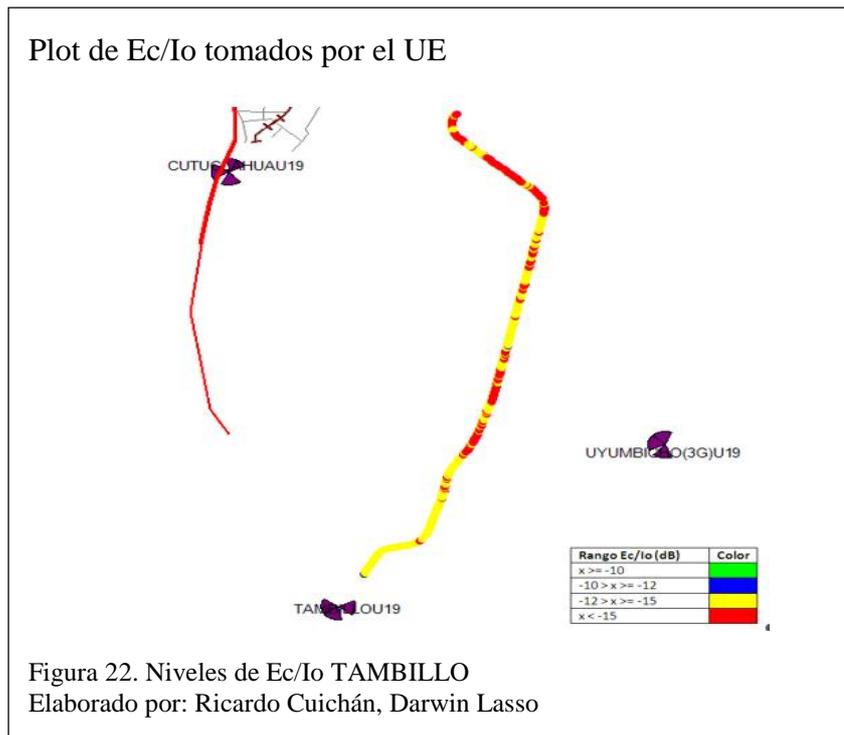


Tabla 25. Niveles de Ec/Io tomados por el UE

Rango Ec/Io (dB)	Número de 0Muestras	Rango Porcentual	Color
$x \geq -10$	0	0%	Green
$-10 > x \geq -12$	2	1%	Blue
$-12 > x \geq -15$	231	61%	Yellow
$x < -15$	148	39%	Red

Nota: Elaborado por Ricardo Cuichán, Darwin Lasso.

Análisis y Planificación de los nuevos sitios a implementarse

Con los resultados obtenidos al realizar el primer drive test se tiene información sobre trayectos de la avenida que carecen de cobertura por lo que se planifica la implementación de los nuevos nodos en estos sitios.

Predicciones de cobertura antes de implementarse la solución en el subtramo

Llano Chico

La Figura 23 muestra los niveles de cobertura (RSCP) antes de la implementación de la solución de telefonía móvil donde se observa los huecos de cobertura de la red UMTS, los colores rojo y amarillo muestran que los niveles de cobertura son deficientes con lo que el usuario no contará con servicio.

Predicciones de cobertura sector LLANO_CHICO antes de la implementación de los nuevos nodos

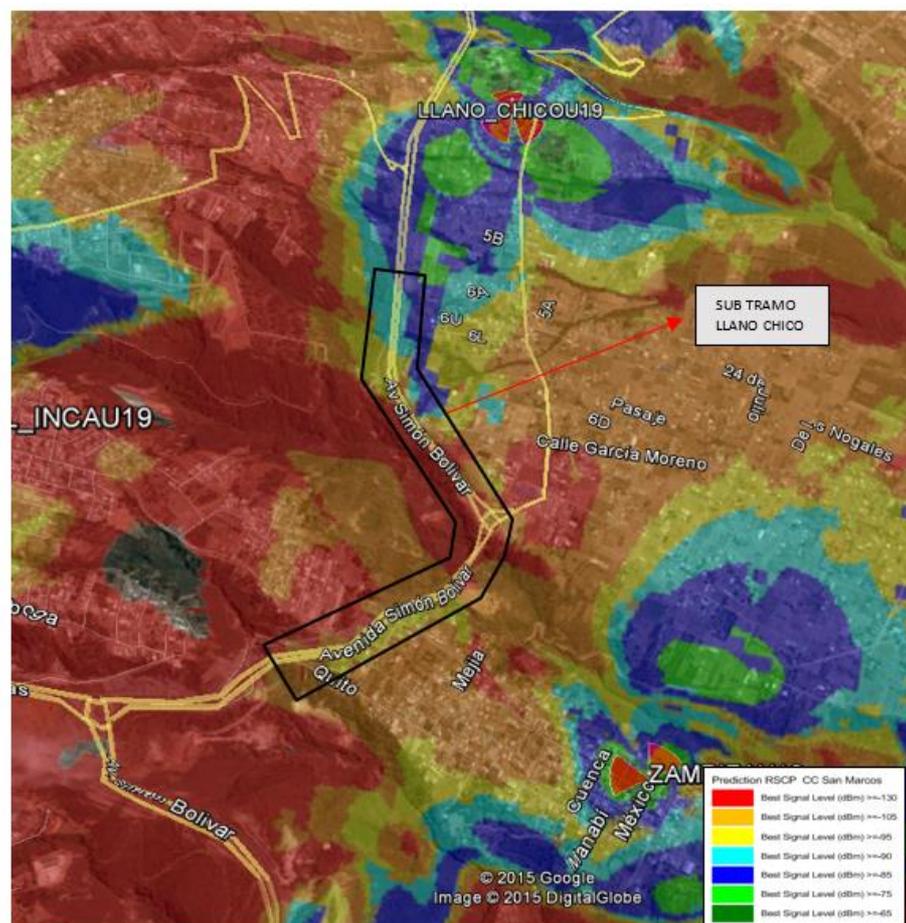


Figura 23. Niveles de cobertura obtenidos del software ATOLL
Elaborado por: Ricardo Cuichán, Darwin Lasso.

Planificación de los nuevos sitios

Se definen los puntos nominales en cada subtramo donde se posiciona el mejor sitio mediante un análisis de cobertura anterior a la implementación (ver Figura 23) de la solución para cubrir huecos de cobertura existentes.

Ubicación de puntos nominales subtramo Llano chico

Mediante el uso de software de posicionamiento global (Google Earth) y de predicciones (ATOLL) se definen las configuraciones preliminares de radiofrecuencia donde se especifican: tipo de antena, inclinación mecánica, inclinación eléctrica, Azimut).

Determinación de coordenadas

Para definir las coordenadas del subtramo Llano Chico se tomó en cuenta la cobertura del nodo más cercano existente a la Av. Simón Bolívar, en este caso es el Nodo LLANO_CHICOU19 como se observa en la Figura 23 la cual muestra la cobertura sin el nodo LLANO_CHICO5 que es el nuevo nodo propuesto y en la Figura 24 el nuevo nodo LLANO_CHICO5 y el nodo existente LLANO_CHICOU19, de este modo se define el primer punto nominal a una distancia a la cual se pueda dar continuidad de cobertura y al mismo tiempo no se sobre propague esto quiere decir que el lóbulo de radiación de la antena no interfiera con otras antenas cercanas.

Predicciones de cobertura sector LLANO_CHICO5

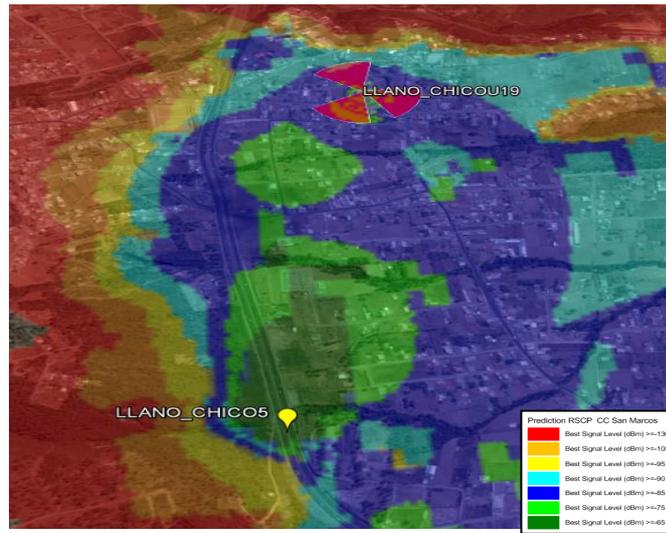


Figura 24. Niveles de cobertura obtenidos del software ATOLL, LLANO_CHICO5
Elaborado por: Ricardo Cuichán, Darwin Lasso.

Determinación de Azimut

Para definir los azimut nominales se toma como referencia la dirección geográfica de la avenida mediante del software Google Earth como muestra la Figura 25.

En la Figura 25 se observa en el recuadro la dirección del Azimut a 350 grados con respecto al norte magnético.

Azimut nominal LLANO_CHICO5.

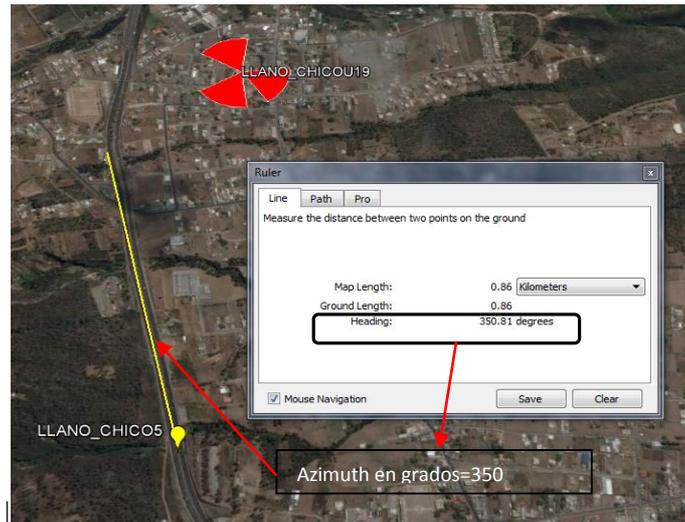


Figura 25. Azimut obtenido del software Goolge Earth
Elaborado por: Ricardo Cuichán, Darwin Lasso.

De la misma manera se define la dirección de Azimut de los demás Nodos.

Determinación de Inclinación mecánica y eléctrica

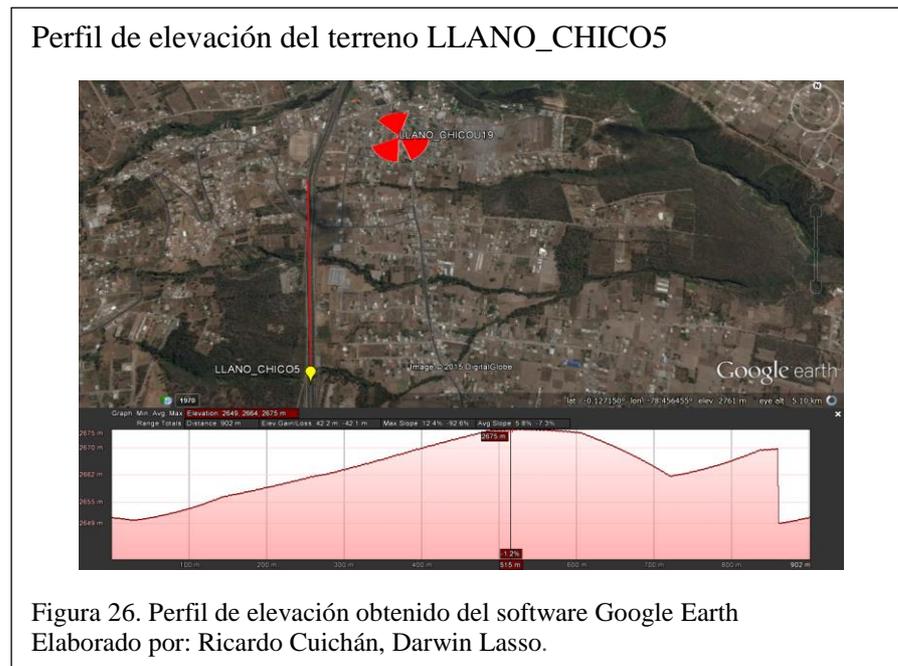
Para definir la inclinación eléctrica y mecánica nominal se toma como referencia el perfil de elevación del terreno y la altura a la que se encuentra la antena en todos los casos las antenas fueron instaladas a 6 metros en los postes de la avenida a esta distancia no interfiere con los cables eléctricos y se obtiene buena cobertura.

Mediante el software Google Earth como muestra la Figura 26 donde se observa una pendiente no pronunciada por lo que se propone un uptilt mecánico de -2 grados para alcanzar la cobertura deseada y se corrobora con la predicción como se muestra en la Figura 26.

Para el caso del tilt eléctrico se observa que dicha pendiente evitaría sobre propagación por lo que se propone un Tilt eléctrico de 0 grados ya que no existiría sobre propagación como se muestra en la Figura 26, el tilt eléctrico permite variar el lóbulo de radiación.

Es importante mencionar que el modelo de antena Yagi que se usa en el proyecto no cuenta con Tilt eléctrico ya que su hardware no permite modificar y este viene por defecto de 0 grados

A diferencia de la antena panel la cual si cuenta con Tilt Eléctrico y se puede modificar desde 0 grados hasta 10 grados.



Determinación de Tipo de Antena

En el proyecto de telefonía móvil en la Avenida Simón Bolívar existe dos tipos de antenas para realizar la planificación las cuales son: Antena Panel y Antena Yagi.

Para escoger el tipo de antena más adecuado se realizó un análisis de los objetivos de cobertura en base a la geografía de la carretera y a la relación frente espalda de cada antena.

El nodo LLANO_CHICO5 cuenta con línea de vista al objetivo a cubrir, además favorece la topografía de la carretera en este tramo ya que es regular y no cuenta con curvas o pendientes por lo que sería mejor la antena Yagi ya que esta al ser una

antena directiva cuenta con mayor densidad de potencia en su lóbulo principal y su relación frente a espalda es mayor ya que existe concentración de energía en su lóbulo principal y menos en su lóbulo secundario como muestra la Figura 27.

Se realizó el mismo procedimiento para escoger el tipo de antena para los demás nodos.

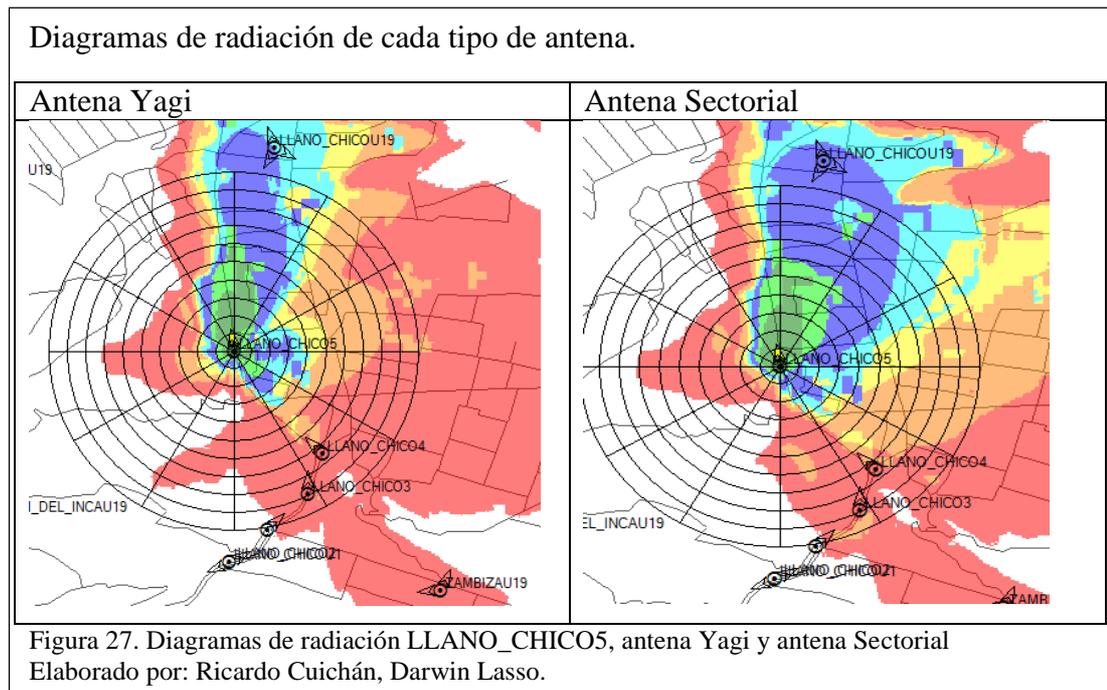


Tabla configuración nominal tramo Llano Chico

En la

Tabla 26 se determina la configuración preliminar final de cada nodo que comprende este subtramo y se observa en la Figura 28 los niveles de cobertura los cuales son óptimos para tener continuidad de cobertura en este tramo. Se sigue el mismo procedimiento para el resto de subtramos. La configuración nominal se muestra en la tabla 1 del anexo 2.

Tabla 26. Configuración nominal subtramo LLANO_CHICO

Nombre Celda	Longitud	Latitud	Tipo de Antena	Altura	Azimut	Tilt mecánico	Tilt Eléctrico
LLANO_CHICO1	-78,44758	-0,14751	A19451 803	6	30	-2	2
LLANO_CHICO1	-78,44758	-0,14751	A19451 803	6	240	-2	1
LLANO_CHICO2	-78,44573	-0,14587	Yaggi	6	50	2	0
LLANO_CHICO3	-78,44379	-0,14407	Yaggi	6	0	2	0
LLANO_CHICO4	-78,443084	-0,14209	Yaggi	6	320	1	0
LLANO_CHICO5	-78,447331	-0,136939	Yaggi	6	340	-2	0

Nota: Elaborado por Ricardo Cuichán, Darwin Lasso.

Predicciones de cobertura de los nodos LLANO_CHICO

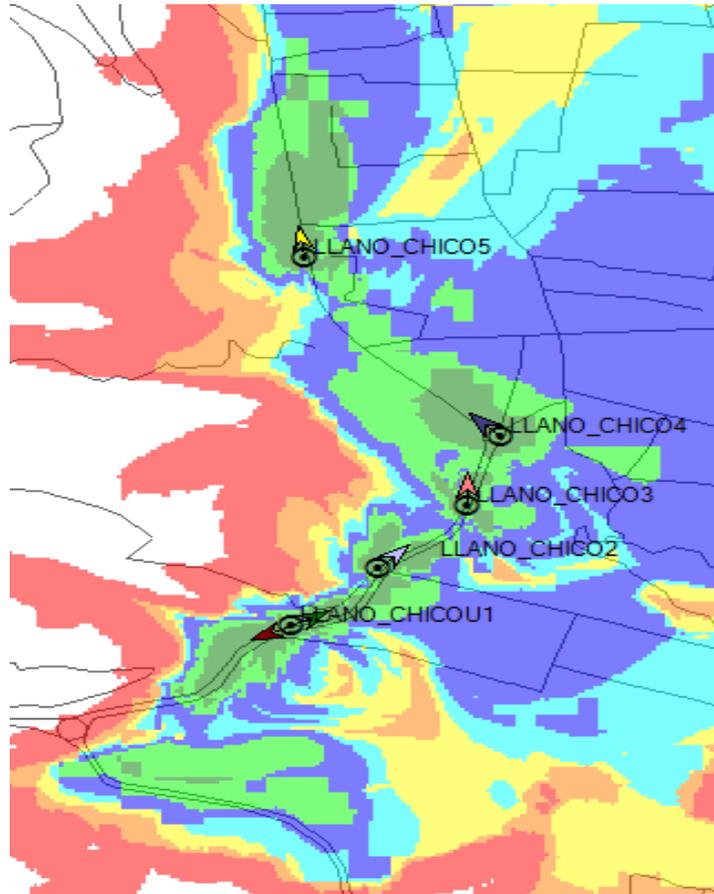


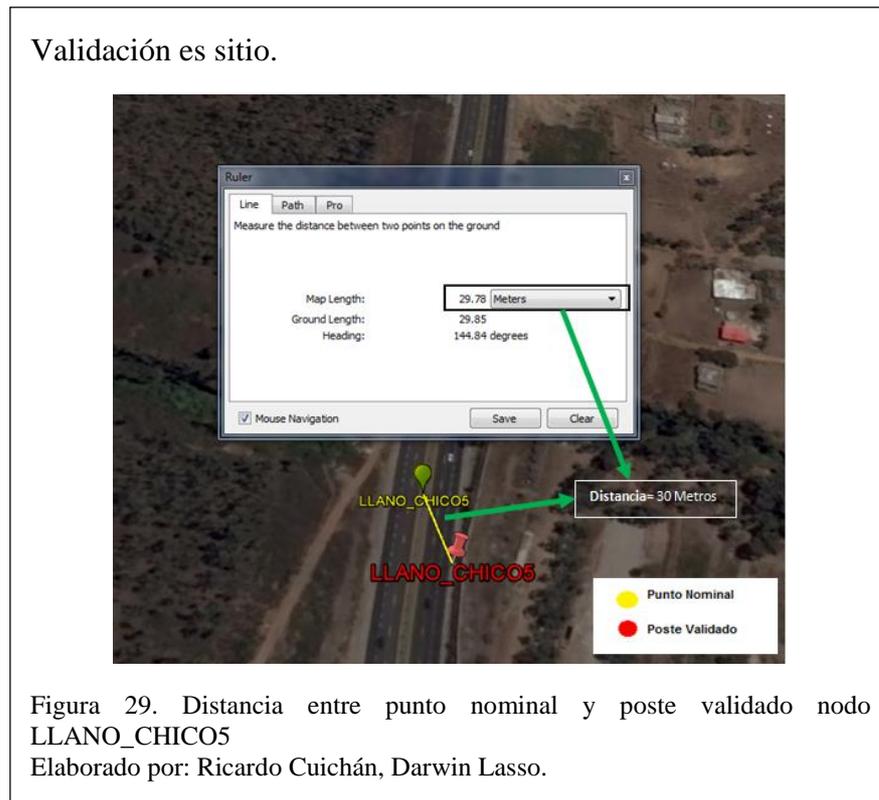
Figura 28. Niveles de cobertura obtenidos del software ATOLL, subtramo LLANO_CHICO
Elaborado por: Ricardo Cuichán, Darwin Lasso.

Verificar la factibilidad de los puntos nominales

Una vez definido los puntos nominales se validó en campo el poste más cercano al punto nominal para cumplir con objetivos de cobertura donde se tomó en cuenta el poste más cercano y que no exista obstrucciones como: vegetación, construcciones, taludes y se garantice línea de vista tanto en el sentido norte-sur como en sentido sur norte de la Avenida Simón Bolívar.

Validación de puntos nominales subtramo Llano Chico

En el caso del nodo LLANO_CHICO 5 el punto nominal no coincide exacto con un poste a este punto, por lo que se valida el poste más cercano que está a 30 metros como muestra la Figura 29.



Una vez validado el poste más cercano se comprueba que existe línea de vista en sentido sur-norte ver Figura 30, para este poste solo se cuenta con un sector (Antena Yagi) para cumplir con los objetivos de cobertura.

Verificación de línea de vista.



Figura 30. Línea de vista del poste validado nodo LLANO_CHICOS
Elaborado por: Ricardo Cuichán, Darwin Lasso.

Finalmente se realiza un fotomontaje del poste validado de cómo quedaría la opción final como muestra la Figura 31.

Fotomontaje.



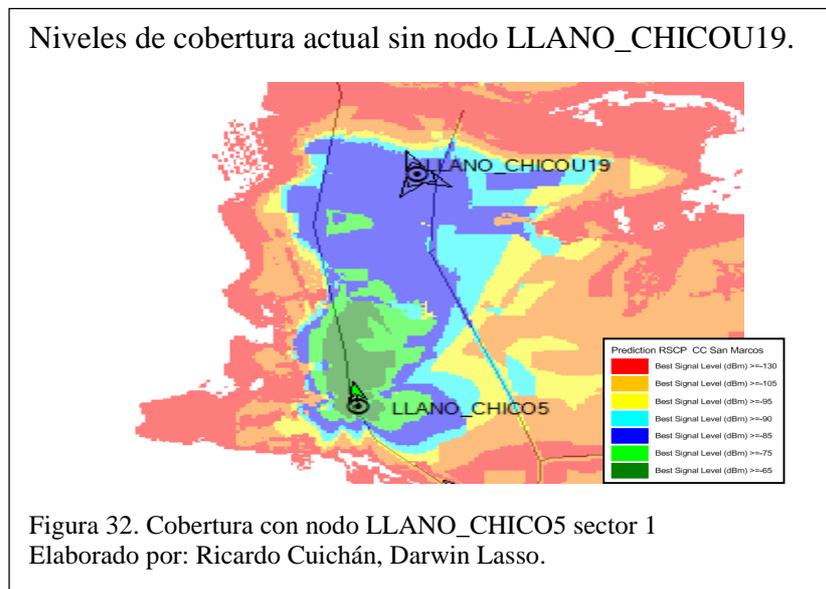
Figura 31. Fotomontaje poste validado nodo LLANO_CHICOS
Elaborado por: Ricardo Cuichán, Darwin Lasso.

Configuración final de cada subtramo

Con las nuevas coordenadas del nodo LLANO_CHICOS se realiza la configuración final de radio frecuencia para lo cual se realizan nuevas predicciones, la Figura 32

muestra la cobertura sin el nodo LLANO_CHICOU19 y la Figura 33 con este nodo, se observa la cobertura entre el nuevo nodo LLANO_CHICO5 y el nodo existente LLANO_CHICOU19 en este nuevo punto donde se garantiza continuidad de cobertura con buenos niveles de RSCP.

Se realiza el mismo procedimiento para los demás nodos siempre y cuando se garantice con continuidad de cobertura tanto en sentido norte-sur y sur-norte.



Niveles de cobertura incluida la solución LLANO_CHICO5

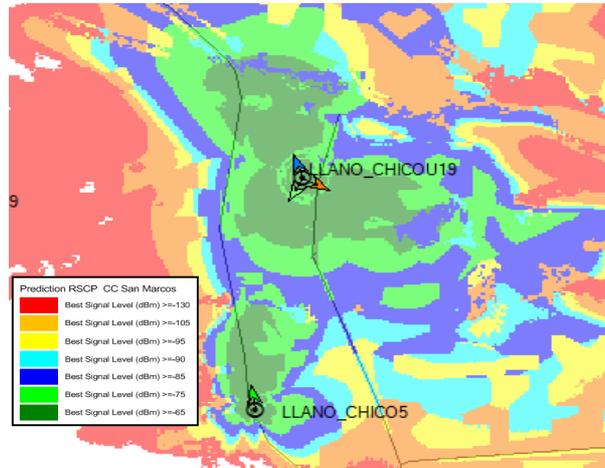


Figura 33. Cobertura nodo LLANO_CHICO5 sector1 y LLANO_CHICOU19
Elaborado por: Ricardo Cuichán, Darwin Lasso.

Para el nodo LLANO_CHICO1 se instaló un splitter para dividir la señal como se observa en la Figura 34 para garantizar la continuidad de cobertura entre este nodo y NAYON4 debido a que con el lóbulo posterior no se cubre la zona y existe un hueco de cobertura.

Se realiza el mismo procedimiento al implementar un splitter para otros nodos en la solución de telefonía móvil donde con el lóbulo posterior no garantice continuidad de cobertura en sentido norte-sur o sur-norte

Niveles de cobertura nodo LLANO_CHICO1 sector 1 y 2 mediante Splitter.

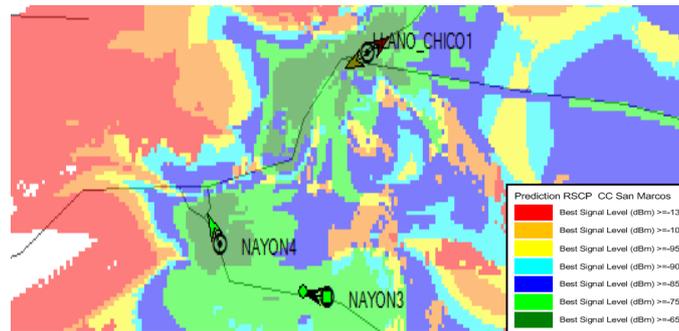


Figura 34. Cobertura con el sector 1 y 2 activos de LLANO_CHICO1
Elaborado por: Ricardo Cuichán, Darwin Lasso.

Finalmente se muestra la cobertura llano chico en la Figura 35 donde se observa la continuidad de la cobertura en todo el trayecto.

Niveles de cobertura total subtramo LLANO_CHICO.

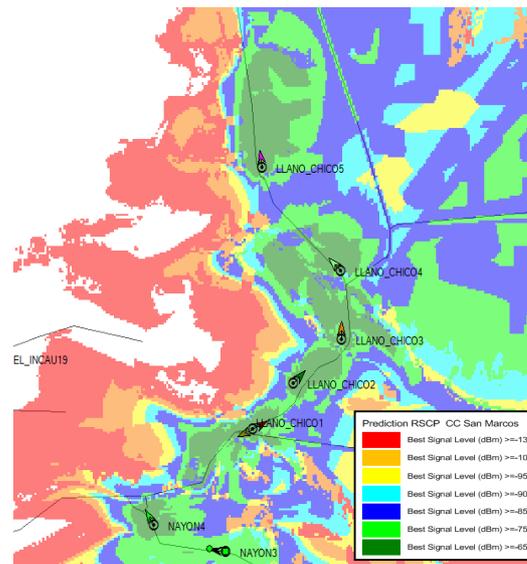


Figura 35. Cobertura con los nuevos nodos subtramo LLANO_CHICO
Elaborado por: Ricardo Cuichán, Darwin Lasso.

Finalmente se realiza el mismo procedimiento y se realiza predicciones de cobertura en los demás subtramos como se muestra en las figuras:9-16 del anexo 3

En la Tabla 27 se muestra la configuración final del subtramo LLANO_CHICO

Tabla 27. Configuración de radio frecuencia final subtramo LLANO_CHICO

CellName	AntType	Azimuth	MechTilt	ElecTilt
LLANO_CHICO1	A19451803	60	0	0
LLANO_CHICO1	A19451803	245	-2	0
LLANO_CHICO2	Yaggi	45	2	0
LLANO_CHICO3	Yaggi	0	0	0
LLANO_CHICO4	Yaggi	315	0	0
LLANO_CHICO5	Yaggi	350	0	0

Nota: Elaborado por Ricardo Cuichán, Darwin Lasso.

En la tabla 2. del anexo 3 se muestra las configuraciones finales de radio frecuencia de toda la solución de telefonía móvil.

Implementación

Se detalla el proceso de instalación de un sistema radiante, así como sus partes en San Martín.

Se aplica el mismo proceso para los demás postes de toda la solución de telefonía móvil.

Una vez que se ha movilizado hacia el sitio de la instalación los técnicos se colocan los trajes y todos los elementos de seguridad, se desempacan los equipos y se procede con la ubicación de estos en el poste, en la Figura 36 se muestran los equipos ya instalados y se detallan sus partes.

Partes del sistema de transmisión.

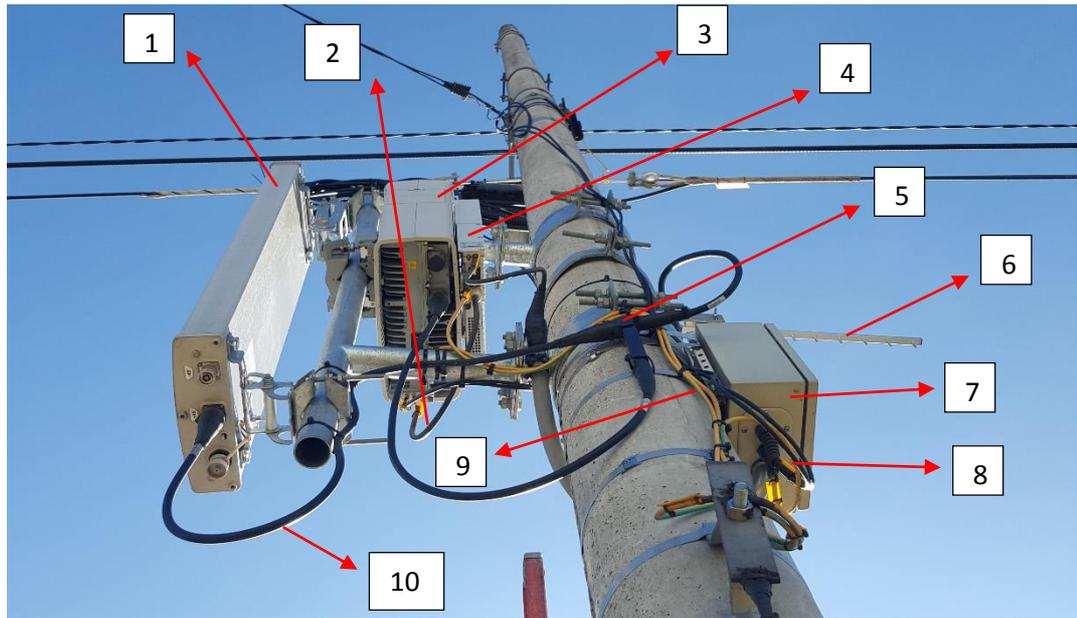
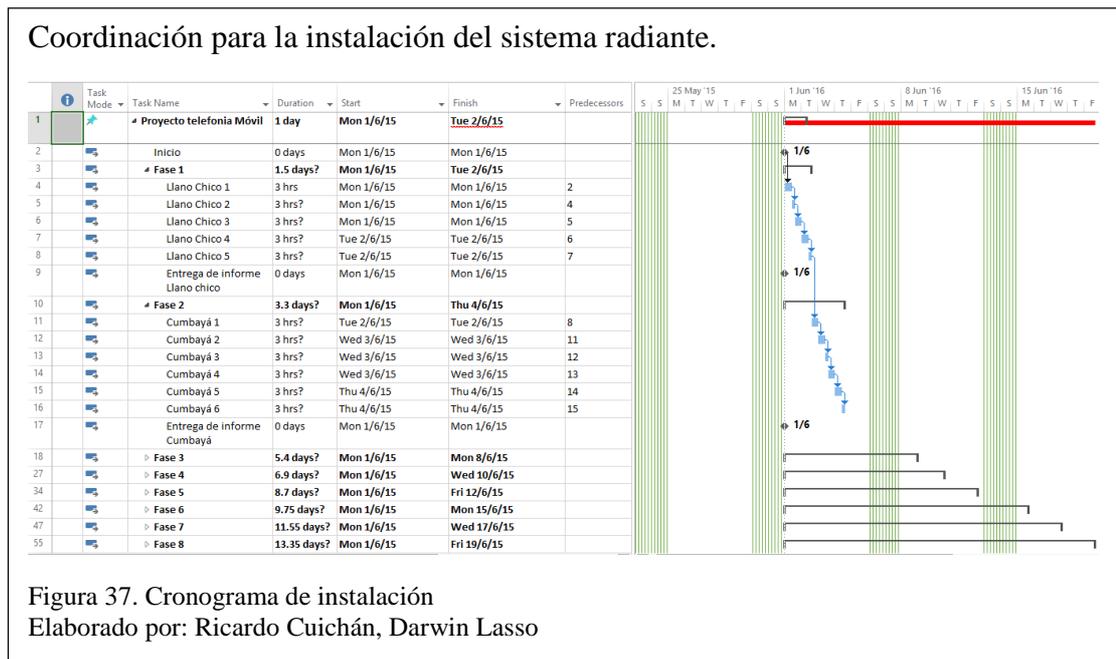


Figura 36. Partes que conforman el nodo SAN_MARTIN3
Elaborado por: Ricardo Cuichán, Darwin Lasso.

- 1: Antena Panel
- 2: Fibra óptica
- 3: RRU (Unidad de radio remota)
- 4: Conversor AC-DC
- 5: Splitter
- 6: Antena Yagi
- 7: Cajetín de breakers
- 8: Cables de entrada AC
- 9: Cables de alimentación de conversor AC-DC
- 10: Jumper de conexión entre la antena y la RRU

Cronograma de instalación

La Figura 37 muestra el cronograma de la instalación del sistema radiante de la solución de telefonía móvil, en todos los subtramos, el tiempo medio de instalación de cada antena es de 3 a 4 horas por lo tanto en un día se instalan 2 a 3 antenas por cada subtramo.



Supervisión de instalación del sistema radiante

Como muestra la Figura 38 en este poste se encuentran instaladas dos antenas de dos tipos una panel y una Yagi, en este sector se instaló de esta manera porque se requería cobertura en los dos sentidos de la carretera y con el lóbulo posterior de una de las antenas no se tenía continuidad en la cobertura.

La Figura 38 muestra la orientación azimuth de la antena panel, se le está dando instrucciones al técnico para que ésta sea orientada correctamente

Nodo SAN_MARTIN3 azimuth.

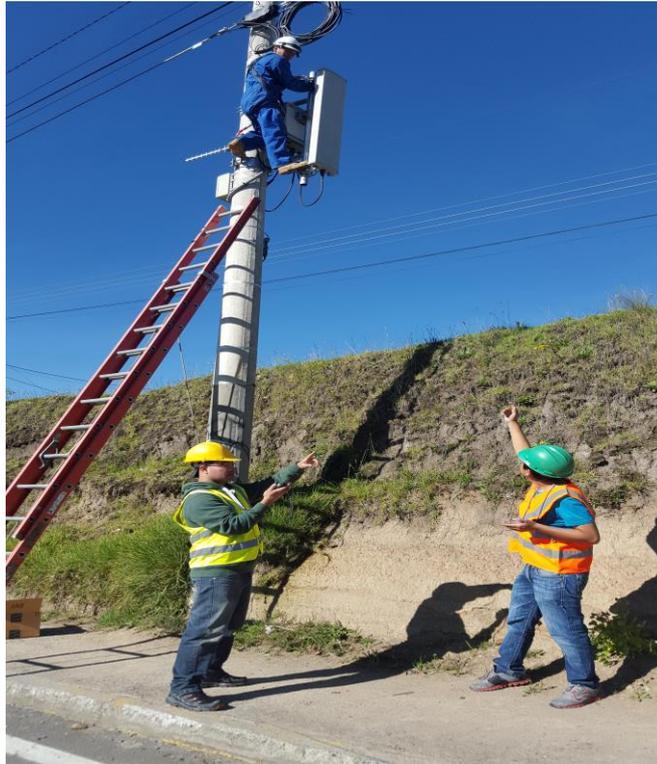


Figura 38. Supervisión de ubicación Azimuth correcto SAN_MARTIN3
Elaborado por: Ricardo Cuichán, Darwin Lasso

Single site verification de cada subtramo con la solución

Una vez comisionados e integrados, (esto consiste en la activación del nodo, desbloqueo de celdas habilitación o des habilitación de puertos), los nuevos nodos de la solución de telefonía móvil en la RNC y en el Core se procede a realizar las pruebas de verificación de cada subtramo, en este caso se procedió a realizar las pruebas en un solo nodo de cada subtramo por tiempos de entrega del proyecto ya que existen 50 nodos en toda la solución por lo que se procedió a realizar las pruebas en el primer nodo de cada subtramo en donde se verificó servicio de voz y datos.

Procedimiento de pruebas estáticas

Para verificar los servicios de voz y datos se utiliza el mismo equipo de pruebas ya descrito anteriormente en el drive test realizado, la diferencia principal es estar en un punto estático sin movimiento al momento de realizar las pruebas cerca o alrededor del Nodo para lo cual se realiza el siguiente procedimiento:

1.- Se realiza la conexión entre los equipos de igual manera que en el drive test, y se procede a configurar un plan de pruebas similar al drive test el cual en la Tabla 28 se describe a continuación:

Tabla 28. Configuración de plan de pruebas

Dispositivo	Configuración	Función
teléfono 1	1.-Llamada larga con tiempo indefinido 2.-Envío de 20 mensajes al teléfono 2 3.-Configuración Dial para realizar pruebas de descarga, es necesario que esta desactivado HSDPA	1.-Llamada larga: Verificar que exista llamas continuas y no exista interferencias 2.- Envío de mensajes: Verificar que no exista problemas con el envío y recepción de mensajes de texto 3.-Realizar pruebas de descarga desde un servidor FTTP para verificar release 99 y verificar que se alcance velocidades de 384 Kbps como recomienda el estándar
teléfono 2	1.-Llamadas cortas de 60 segundos cada una a: -Llamada a número telefónico de operadora 1 -Llamada a número telefónico de operadora 2 -Llamada a número telefónico de operadora 3 -Llamada a número de teléfono fijo	Llamadas cortas: Configurar 4 llamadas cortas para Verificar que no exista problemas al llamar a la misma operadora y a otras operadoras

modem 3g	1.- Configuración manual	Acceder a un servidor FTTP para realizar pruebas de descarga y carga con archivos de 200 MB y que se alcance velocidades teóricas de HSDPA:14Mbps y HSUPA: 2 Mbps
----------	--------------------------	---

Nota: Elaborado por Ricardo Cuichán, Darwin Lasso.

2.- Se procede a ubicar geográficamente el nodo a realizar las pruebas estáticas con la ayuda del GPS del scanner.

3.- Al estar cerca del nodo se observa que el CQI (Channel Quality Indicator) este en los rangos de 25-30 para alcanzar modulaciones y throughput estables.

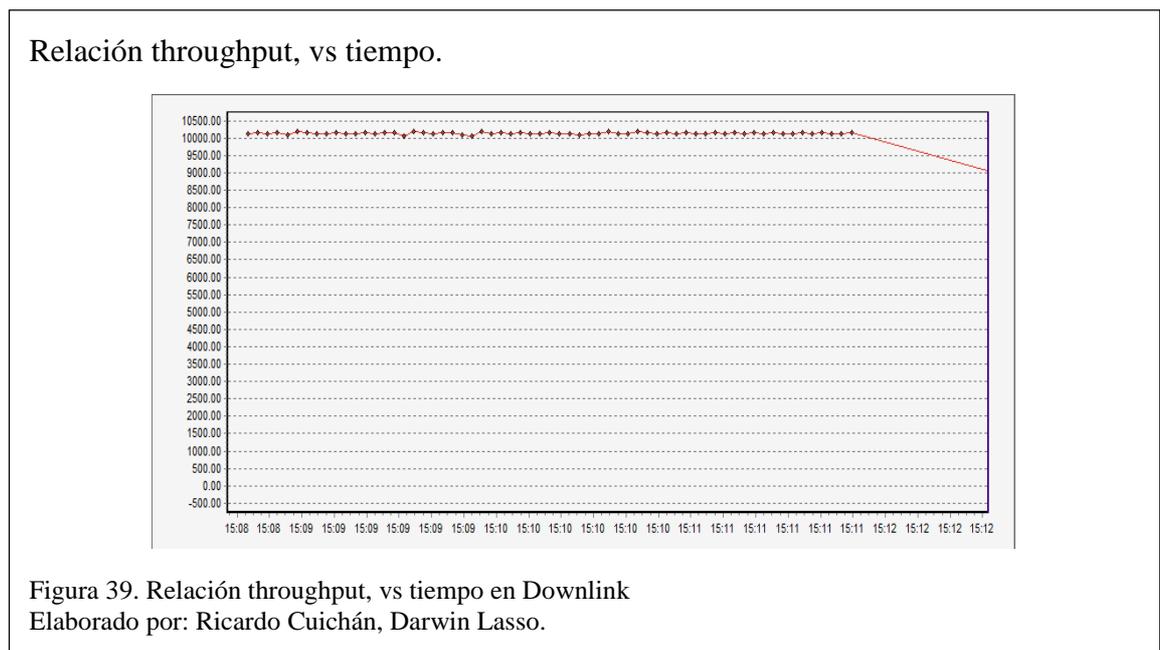
4.-Se realizar las pruebas de voz para lo cual se activa el test plan y se verifica que exista con normalidad llamada larga y cortas anteriormente configuradas en el test plan donde se verifica que no exista robotización de voz, caídas de llamadas, intermitencia en las llamadas, entre otros que permita que no exista una buena experiencia de usuario al realizar las llamadas tanto a la misma operadora como a las otras.

5.-Se verifica que en el envío de mensajes de texto no exista inconveniente tanto al enviar como al recibir mensajes, para lo cual se envía desde el teléfono 1 hasta el teléfono 2, es recomendable al menos realizar un envío de 20 mensajes para así comprobar que no exista inconvenientes en el futuro

6.- Se procede a evaluar el throughput en uplink (HSUPA) y de downlink (HSDPA) para lo cual se accede a una sesión de datos y se realiza las pruebas con el modem 3G, es necesario usar el servidor gratuito FTTP: <http://testmy.net/download> para incrementar el volumen de datos y así alcanzar el máximo throughput, se recomienda

al menos 3 minutos para verificar la estabilidad con el uso del servidor testmynet de un archivo de 2MB.

La Figura 37 muestra la relación de throughput, vs tiempo en downlink (HSDPA) del nodo LLANO_CHICO5 donde se observa que por más de 3 minutos el throughput se mantiene en un promedio de 10000 Kbps.



La Figura 39, muestra la relación throughput, vs tiempo en downlink del nodo LLANO_CHICO5

La Figura 40 muestra la relación de throughput, vs tiempo en uplink (HSUPA) del nodo LLANO_CHICO5 donde se observa que por más de 3 minutos el Throughput se mantiene en un promedio de 1800 Kbps

Relación throughput, vs tiempo.

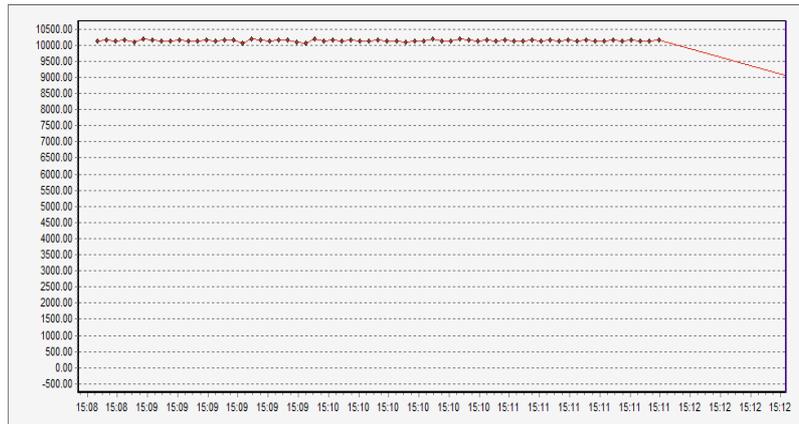


Figura 40. Relación throughput, vs tiempo en uplink
Elaborado por: Ricardo Cuichán, Darwin Lasso.

Figura 40, muestra la relación throughput, vs tiempo en uplink del nodo LLANO_CHICO5.

7.-Finalmente se realiza pruebas de release 99, para lo cual se accede a una sesión de datos mediante dial up directamente desde un teléfono que no soporte HSDPA,y se realiza el mismo procedimiento anterior para HSDPA.

Este procedimiento aplica para todos los puntos estáticos realizados en este proyecto de solución de telefonía móvil.

Resultados de pruebas estáticas

La Tabla 29 muestra los resultados de las pruebas realizadas en los puntos estáticos en un nodo de cada subtramo donde se observa el correcto funcionamiento tanto en voz como en datos, ya que en voz se obtuvo un 100% de intentos y establecimientos de llamadas, mensajes y se obtuvo throughput estable en HSDPA, HSUPA y release 99.

Tabla 29. Resultados de las pruebas realizadas en los puntos estáticos en un nodo de cada subtramo.

INDICADORES DE SERVICIO	LLANO _CHICO 5	NAYON6	MONTEO LIVO6	CUMBAYA 1	AUTOPISTA 5	SAN_MARTI N6	ILUMBIS I6	ATOM CELL-SAN MATIN	TAMBILLO 6
Llamadas operadora 1(%) Intentos/Exitosos	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Llamadas operadora 2(%) Intentos/Exitosos	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Llamadas operadora 3(%) Intentos/Exitosos	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Llamadas fijo(%) Intentos/Exitosos	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Mensajes(%) Intentos/Exitosos	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Throughput DL promedio (kbps)	10200	10300	10010	10000	10400	9800	10300	10200	11100
Throughput UL promedio (kbps)	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8
Release 99 (kbps)	384	384	384	384	384	384	384	384	384

Nota: Elaborado por Ricardo Cuichán, Darwin Lasso.

Drive test y análisis de resultados

A continuación, se presentan los resultados luego de la implementación de la solución de telefonía móvil.

Niveles de RSCP del Mejor Servidor subtramo Llano Chico

La Figura 41 muestra los niveles de RSCP del mejor servidor tomados por el UE donde se observa que luego de implementarse la solución de telefonía móvil en la Avenida Simón Bolívar los niveles de cobertura son aceptables para un servicio continuo de voz y datos ya que son mayores a -95 dBm en un 100% como se observa en la gráfica que todas las muestras están en estos rangos (color verde y azul) como indica la leyenda.

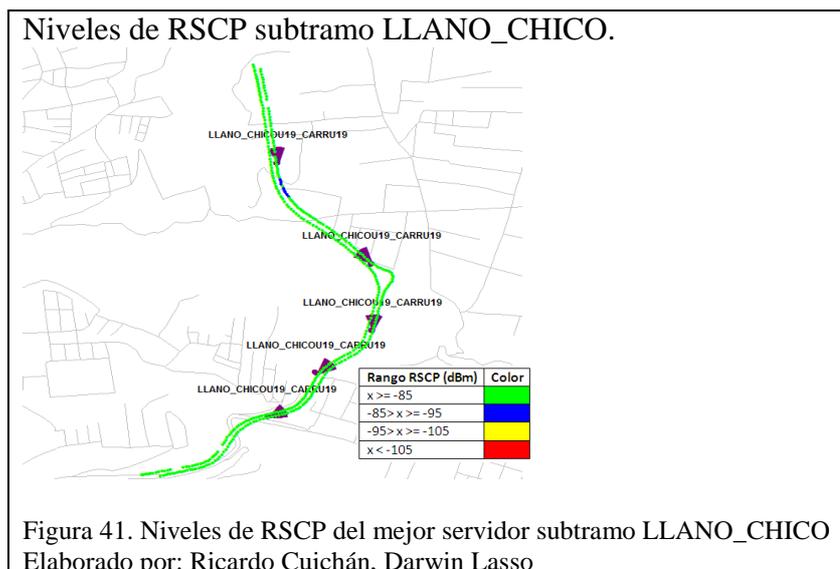


Tabla 30. Niveles de RSCP tomados por el UE

Rango RSCP (dBm)	Número de Muestras	Rango Porcentual	Color
$x \geq -85$	402	98.05%	Verde
$-85 > x \geq -95$	8	1.95%	Azul
$-95 > x \geq -105$	0	0.00%	Amarillo
$x < -105$	0	0.00%	Rojo

Nota: Elaborado por Ricardo Cuichán, Darwin Lasso.

Niveles de Ec/Io del Mejor Servidor subtramo Llano Chico

La Figura 42 muestra los niveles de Ec/Io del mejor servidor tomados por el UE donde se observa luego de implementarse la solución de telefonía móvil en la avenida Simón Bolívar los niveles de calidad son aceptables para un servicio continuo de voz y datos ya que son mayores a -12 dB en un 98.78% como se observa en la gráfica que todas las muestras están en estos rangos (color verde y azul) como muestra la leyenda.

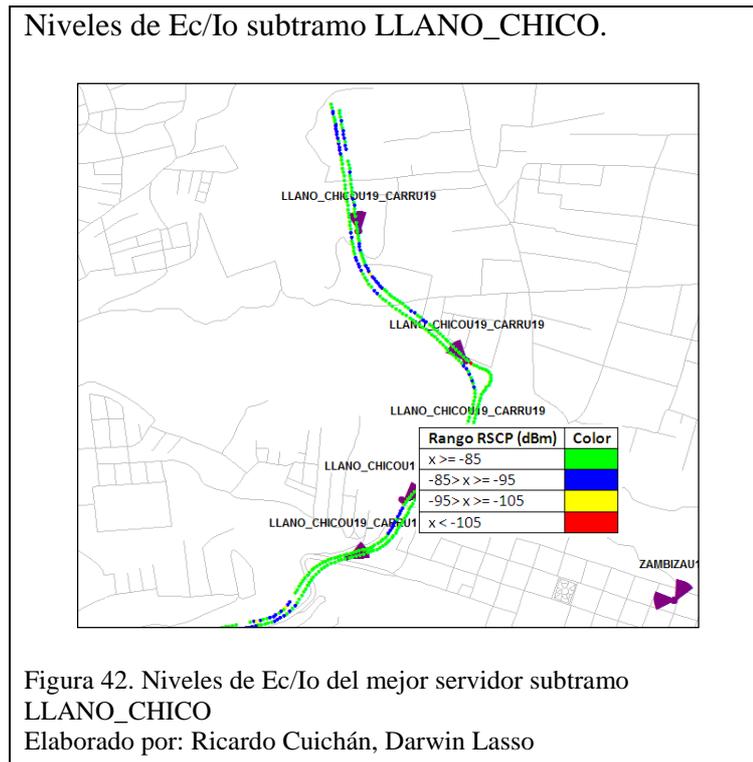


Tabla 31. Niveles de Ec/Io tomados por el UE

Rango RSCP (dBm)	Número de Muestras	Rango Porcentual	Color
$x \geq -10$	311	75.85%	Verde
$-10 > x \geq -12$	94	22.93%	Azul
$-12 > x \geq -15$	3	0.73%	Amarillo
$x < -15$	2	0.49%	Rojo

Nota: Elaborado por Ricardo Cuichán, Darwin Lasso.

Scrambling code del Mejor Servidor subtramo Llano Chico

La Figura 43 muestra el mejor servidor con su respectivo código de celda (scrambling code) tomados por el UE donde se observa a cada color representando a la celda la cual está sirviendo en cada punto de la trayectoria del recorrido y sus porcentajes, lo que indica que cada celda está dando cobertura en la parte del trayecto la que le correspondía cubrir en el diseño de la solución, lo que se observa que no existe sobre propagación de otras servidoras.

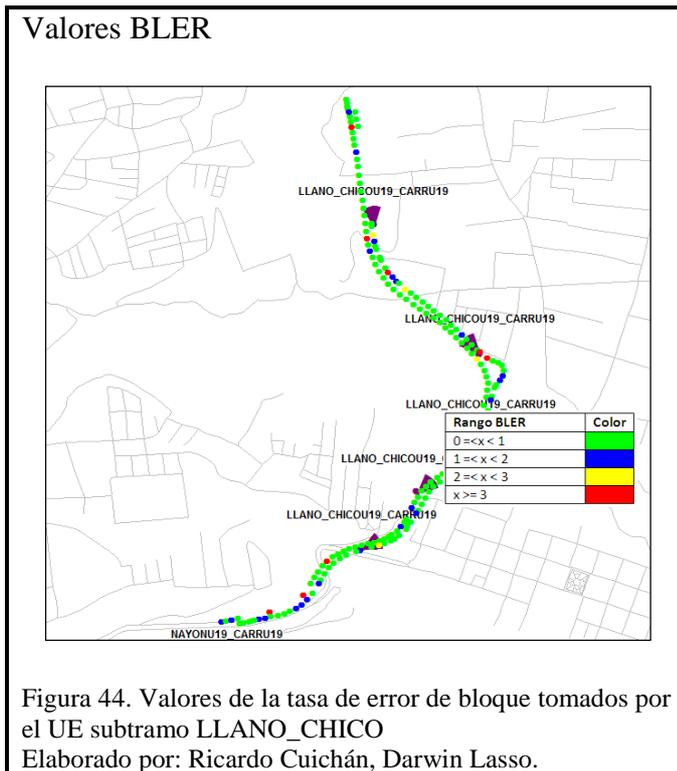


Tabla 33. Valores BLER subtramo LLANO_CHICO

Rango BLER (%)	Número de Muestras	Rango Porcentual	Color
$0 \leq x < 1$	152	80.00%	Verde
$1 \leq x < 2$	24	12.63%	Azul
$2 \leq x < 3$	4	2.11%	Amarillo
$x \geq 3$	10	5.26%	Rojo

Nota: Elaborado por Ricardo Cuichán, Darwin Lasso

Potencia del TX

La Figura 45 muestra la potencia de la transmisión tomados por el UE donde se observa que luego de implementarse la solución de telefonía móvil en la avenida Simón Bolívar el 100% de valores está por debajo de 0 dBm como muestra la leyenda en color verde por lo que se usa menos potencia desde el usuario hasta el nodo b y se usa menos recursos de potencia.

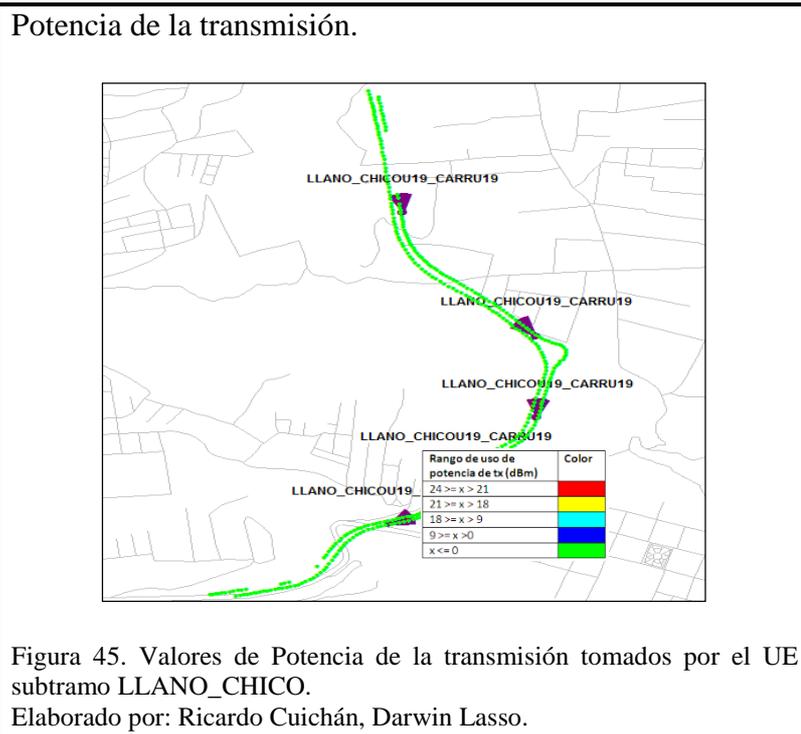


Tabla 34. Valores de potencia subtramo LLANO_CHICO

Rango de uso de potencia de Tx (dBm)	Número de Muestras	Rango Porcentual	Color
$24 \geq x > 21$	0	0%	Red
$21 \geq x > 18$	0	0%	Yellow
$18 \geq x > 9$	0	0%	Cyan
$9 \geq x > 0$	0	0%	Blue
$x \leq 0$	383	100%	Green

Nota: Elaborado por Ricardo Cuichán, Darwin Lasso.

Soft Handover

La Figura 46 muestra los resultados tomados por el teléfono 2 donde se observa que luego de implementarse la solución de telefonía móvil existe el 100% de intentos exitosos al realizar el handover entre cada una de las servidoras.



Tabla 35. Intentos exitosos al realizar el handover entre cada una de las servidoras, subtramo LLANO_CHICO.

Evento	Intentos	Exitosos	Porcentual
Handover	46	46	100%

Polución del Piloto

La Figura 47 muestra los resultados tomados por el UE donde se observa que luego de implementarse la solución de telefonía móvil en la avenida Simón Bolívar en tres puntos existe polución, es decir existe más de tres servidoras definidas en este lugar y están con niveles de cobertura iguales o mayores a 5 dBm entre las servidoras como se observa en la Figura 47 donde existe una mano roja, en estos puntos se observa ligeramente degradada la calidad al existir polución.

Polución subtramo LLANO_CHICO.

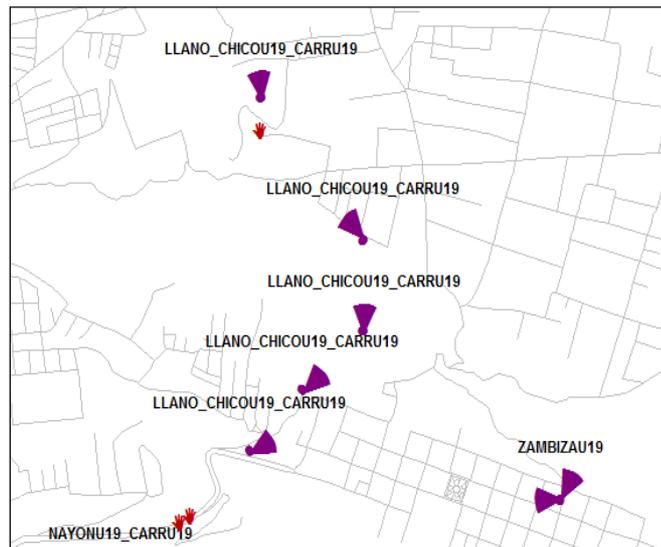


Figura 47. Las figuras de mano en rojo indican que existe polución en el subtramo LLANO_CHICO.

Elaborado por: Ricardo Cuichán, Darwin Lasso.

RLC Throughput DL

La Figura 48 muestra los resultados tomados por el modem donde se observa que luego de implementarse la solución de telefonía móvil en la avenida Simón Bolívar, existe en un 100% throughput en bajada mayores a 1024 Kbps con los cuales se garantiza una buena experiencia de usuario en servicio de datos .

Resultados tomados por el modem en Llano Chico.

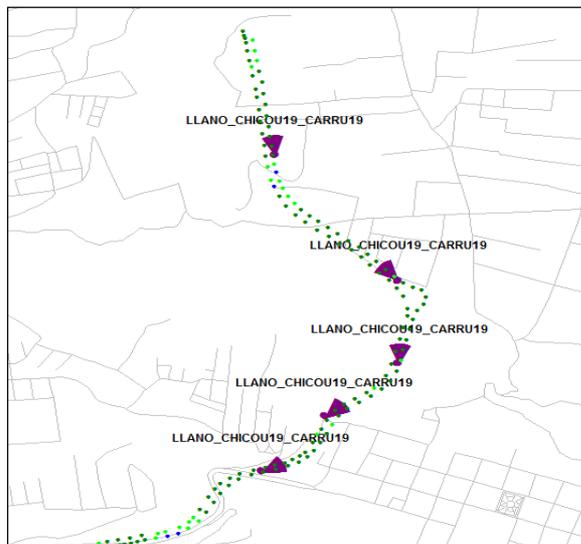


Figura 48. Valores de Throughput subtramo LLANO_CHICO. Elaborado por: Ricardo Cuichán, Darwin Lasso.

Tabla 36. Valores de Throughput promedio en bajada

	Máximo (kbps)	Promedio (kbps)
Throughput DL	11167.43	8957.05

Tabla 37. Valores de Throughput dounlink subtramo Llano Chico

Rango RLC Throughput DL (kbps)	Número de Muestras	Rango Porcentual	Color
$0 \leq x < 256$	0	0%	Red
$256 \leq x < 512$	0	0%	Orange
$512 \leq x < 1024$	0	0%	Yellow
$1024 \leq x < 2048$	0	0%	Cyan
$2048 \leq x < 4096$	4	2.80%	Blue
$4096 \leq x < 8192$	25	17.48%	Green
$x \geq 8192$	114	79.72%	Dark Green

Nota: Elaborado por Ricardo Cuichán, Darwin Lasso.

Modulación HSDPA (QPSK, 16QAM, 64QAM)

La Figura 49 muestran el uso de modulación en HSDPA (QPSK, 16QAM, 64QAM) medido por el Modem donde se observa que luego de implementarse la solución de telefonía móvil en un 98.8% existen modulaciones 64QAM y 16QAM, al existir este tipo de modulaciones existe throuput estable y mayor velocidad.

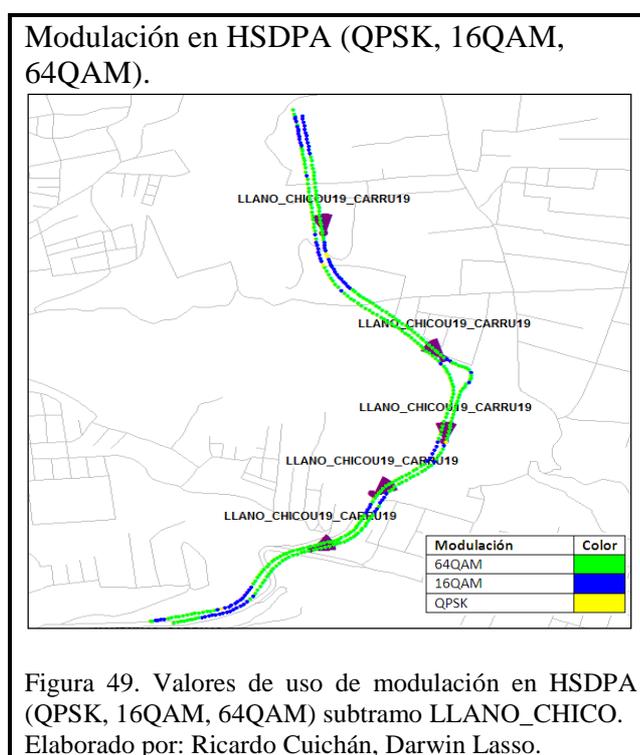


Tabla38. Valores de porcentaje de modulaciones

Modulación	Número de Muestras	Rango Porcentual	Color
64QAM	309	73.92%	Verde
16QAM	104	24.88%	Azul
QPSK	5	1.20%	Amarillo

Nota: Elaborado por Ricardo Cuichán, Darwin Lasso.

Niveles de cobertura y calidad después de la implementación de la solución de telefonía móvil desde el tramo Llano Chico hasta Tambillo

A continuación, se muestra los resultados de niveles de cobertura (RSCP) y calidad (Ec/Io) luego de la implementación de la solución de telefonía móvil desde el tramo Llano Chico hasta Tambillo donde se observa los niveles de RSCP en la Figura 50 y un resumen de resultados en la Tabla 39 de igual manera se muestra el Ec/Io en la Figura 51 y un resumen de resultados en la 40.

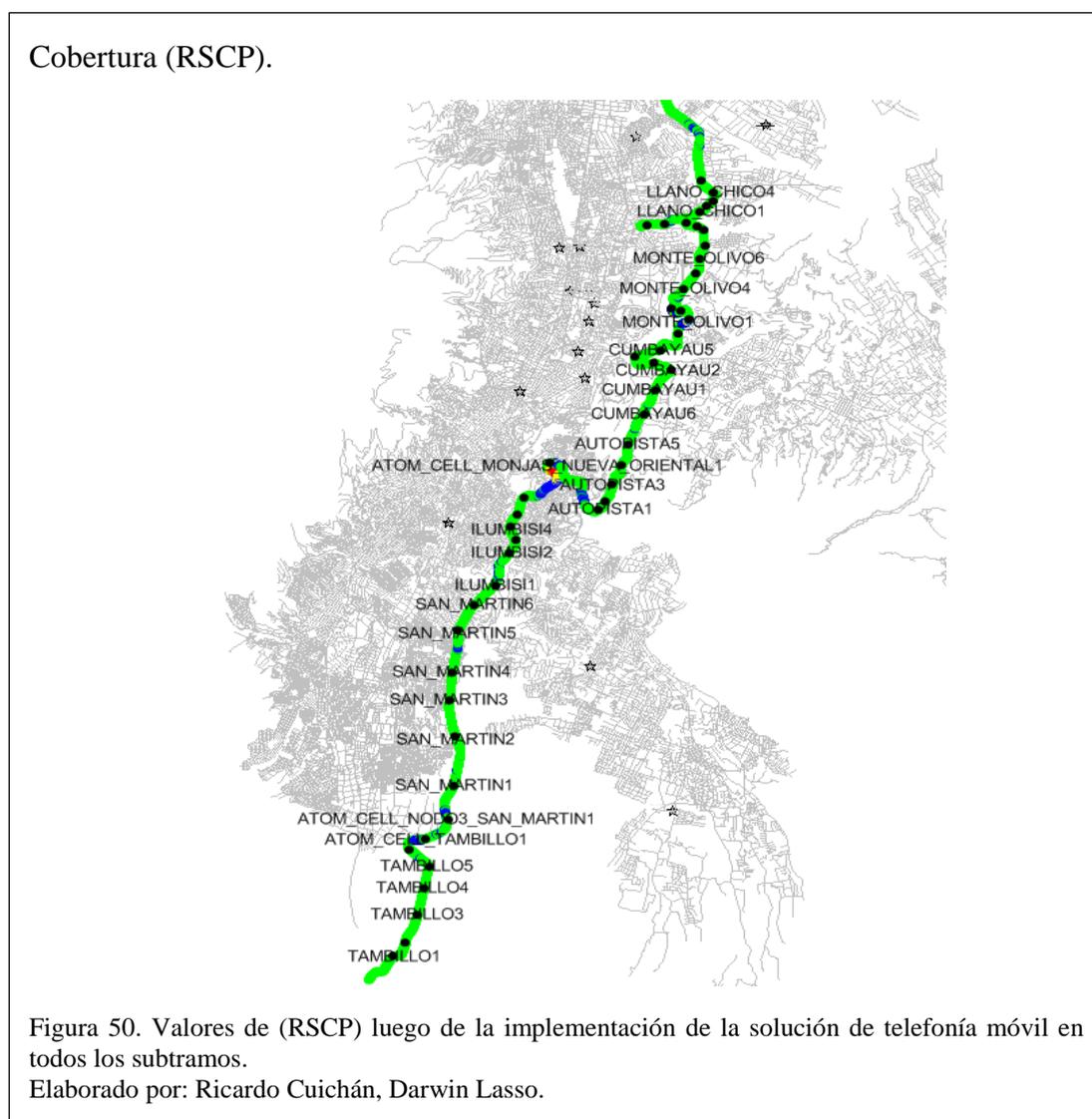


Tabla 39. Niveles de RSCP tomados por el UE en todos los subtramos.

Rango Ec/Io (dB)	Número de Muestras	Rango Porcentual	Color
$x \geq -85$	5207	91%	Green
$-85 > x \geq -95$	459	7%	Blue
$-95 > x \geq -105$	48	1%	Yellow
$x < -105$	21	1%	Red

Nota: Elaborado por Ricardo Cuichán, Darwin Lasso.

Calidad (Ec/Io)

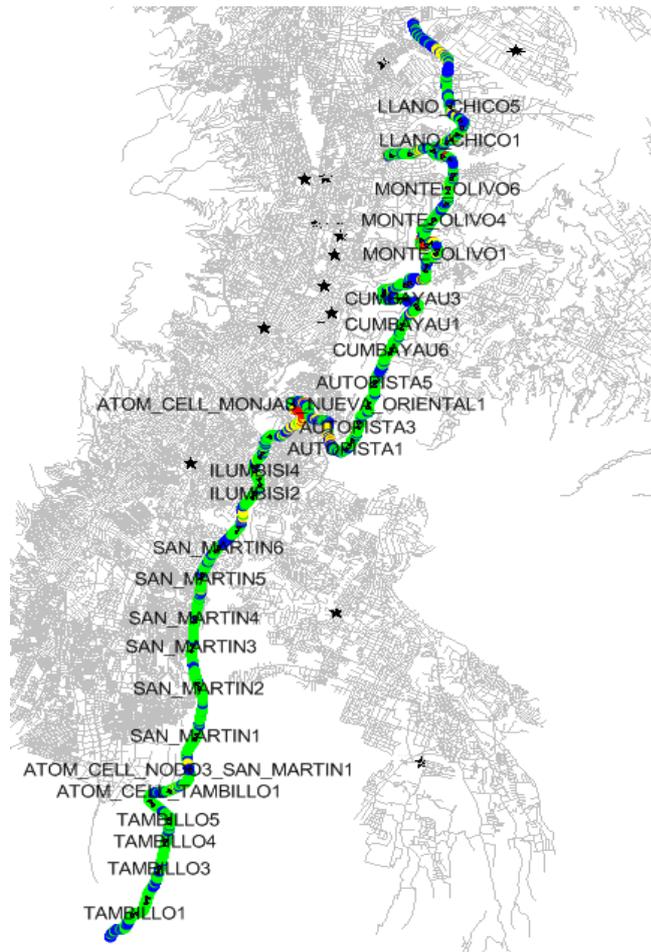


Figura 51. Valores de (Ec/Io) luego de la implementación de la solución de telefonía móvil en todos los subtramos.

Elaborado por: Ricardo Cuichán, Darwin Lasso.

Tabla 40. Niveles de Ec/Io tomados por el UE en todos los subtramos.

Rango Ec/Io (dB)	Número de Muestras	Rango Porcentual	Color
$x \geq -10$	3766	66%	Verde
$-10 > x \geq -12$	1560	27%	Azul
$-12 > x \geq -15$	325	6%	Amarillo
$x < -15$	84	1%	Rojo

Nota: Elaborado por Ricardo Cuichán, Darwin Lasso.

Resultado de indicadores de servicio después de la implementación de la solución de telefonía móvil desde el tramo Llano Chico hasta Tambillo.

En la Tabla 41 se muestra los resultados de indicadores de servicio donde se observa que se garantiza la continuidad del servicio de voz y datos en toda la avenida y se muestran los siguientes parámetros de servicio:

-RSCP (dBm) \geq -95: En un 98% cumplen al ser mayores a -95 dBm

-Ec/Io (dB) \geq -12: En un 96% cumplen al ser mayores a -12 dB

-BLER (%) \leq 2: En un 94% cumplen al ser menores a 2 %

-Potencia del TX \leq 0: En un 95% cumplen al ser menores a 0

-Soft Handover(%) Intentos/Exitosos: En un 100% cumplen

-Throughput DL (kbps) \geq 1024: En un 98.84% cumplen al ser mayores a 1024 Kbps

-Modulación HSDPA (16 QAM, 64 QAM): En un 96% cumplen al tener modulaciones 16QAM y 64QAM

-CQI \geq 16: En un 96% cumplen al ser mayores a 16 y así alcanzar modulaciones 16QAM y 64QAM

Tabla 41. Indicadores de servicio después de la implementación de la solución de telefonía móvil desde el tramo Llano Chico hasta Tambillo.

INDICADORES DE SERVICIO	LLANO CHICO	NAYON	MONTEO LIVO	CUMBAYA	AUTOPISTA	SAN MARTIN	ILUMBIS I	ATOM CELL-SAN MATIN-TAMBILLO	TAMBILLO
RSCP (dBm) \geq -95	100	100	97,33	100	100	86,94	96,96	98,73	100
Ec/Io (dB) \geq -12	98,78	97,12	97,9	97,52	94,49	83,55	97,29	99,15	99,68
BLER (%) \leq 2	92,63	91,23	100	92,72	92,07	97,67	95,09	93,06	94,81
Potencia del TX \leq 0	100	100	96,37	99,87	95,89	72,88	90,9	96,77	100
Soft Handover(%) Intentos/Exitosos	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Throughput DL (kbps) \geq 1024	100	100	99,7	99,29	98,57	92,06	100	100	100
Modulacion HSDPA(16 QAM, 64 QAM)	98,8	98,79	95,98	98,41	93,13	82,58	96,05	97,91	100
CQI \geq 16	98,8	98,79	95,98	98,41	93,13	82,58	96,05	97,91	100

Nota: Elaborado por Ricardo Cuichán, Darwin Lasso.

Una vez implementada la solución de telefonía móvil se observa niveles aceptables de cobertura ($RSCP \text{ (dBm)} \geq -95$ en un 98% y calidad ($E_c/I_o \text{ (dB)} \geq -12$ en un 96% a lo largo de todo el trayecto con lo que se garantiza continuidad de servicio.

CONCLUSIONES

- Antes de implementarse la solución de telefonía móvil los niveles de cobertura(RSCP) en un 19% eran mayores a -95dBm y los de calidad (Ec/Io) eran en un 11% mayores a -12 dB por lo que no se garantizaba servicio de voz y datos en la avenida y existía robotización de la voz, caída de llamadas, intento fallidos de mensajes, sesiones fallidas de datos, pero una vez implementada la solución se observa que los niveles de cobertura(RSCP) en un 98% son mayores a -95 dBm y de calidad en un 96% son mayores a -12 dB con lo que se garantiza servicio continuo de voz y datos en toda la avenida, y se observa que se mejoró en un 79% los niveles de cobertura(RSCP) y calidad en un 85%
- Para definir los parámetros finales de radio frecuencia: azimuth, tilt eléctrico, tilt mecánico se usó el software de predicciones y planeamiento ATOLL y se pudo comprobar que el modelo de propagación usado fue el correcto ya que al realizar el segundo drive test se comprobó que existió una semejanza del 95% entre lo que se planeaba dar cobertura y lo que finalmente se dio cobertura.
- En el recorrido entre los subtramos Llano Chico y Tambillo se comprobó el buen estado de la solución de telefonía móvil al no existir ningún intento fallido de llamada y ninguna caída de llamada por lo que existe continuidad de servicio de voz a lo largo de todo el trayecto ya que del 100% de intentos de llamadas todas fueron exitosas con lo que se garantiza servicio de voz en todo el trayecto.
- Se pudo comprobar el buen estado de la red de tercera generación en la avenida Simón Bolívar al realizar intentos de handover entre una celda con

otra y se obtuvo como resultado que del 100% de intentos de handover el 100% fueron exitosos con lo que se garantiza que no exista intentos fallidos o caída de llamadas al existir un arrastre o caídas de llamadas cuando no existe handover entre una servidora con otra.

- Al realizar pruebas de puntos estáticos se verificó que existe un correcto funcionamiento de llamadas a todas las operadoras ya que del 100% de intentos a las demás operadoras el 100% fue exitoso, de igual manera al comprobar el servicio de mensajes del 100% de intentos de mensajes de texto el 100% fue exitosos y finalmente se comprobó el funcionamiento de datos y se verificó que el promedio de throughput en HSDPA fue de 10 Mbps y HSUPA de 1,8 Mbps y al desactivar HSDPA y realizar pruebas de release 99 se obtuvo throughput en promedio de 398 Kbps con lo que se garantiza servicio de voz, datos y mensajes de texto en toda la avenida.
- Para la implementación de la solución de telefonía fue necesario planificar y coordinar el proyecto con un cronograma de actividades y funciones ya que al tener un tiempo límite de entrega se planificó un promedio de tres instalaciones por día, el cual al final se entregó sin ningún inconveniente el proyecto con la debida supervisión de la instalación del sistema radiante en cada subtramo.

RECOMENDACIONES

- Basado en los resultados del drive test que se muestran en este documento la cobertura del subtramo ILUMBISI a la altura de la iglesia de Monjas existe una zona degradada por la topografía del lugar al encontrarse curvas pronunciadas en esta zona y no existir un servidor definido existe bajos niveles de cobertura (RSCP), por lo que se recomienda la implementación para una futura optimización una ATOM CELL con dos sectores a 100 y 300 grados
- Una vez implementado la solución de telefonía móvil en la avenida Simón Bolívar se recomienda este documento como guía para futuros análisis en carreteras o avenidas las cuales no cuentan con cobertura por su perfil topográfico.
- Para un trabajo futuro se recomienda la optimización de la solución de telefonía móvil desde el tramo Llano Chico hasta Tambillo, además la extensión de la implementación de la solución en el sector de Martha Bucaram hasta el puente de Guajalo el cual no fue considerado para esta implementación.
- Una parte fundamental del proyecto fue el diseño y validación en campo del sistema radiante antes de la implementación de la solución de telefonía móvil debido a que de ellos depende que en un futuro exista continuidad de cobertura en toda la avenida y como se puede verificar en los resultados del segundo drive test no existen huecos de cobertura.

REFERENCIAS

- Chávez, R. C. (2007). *Influencia de la Radiación sobre el Desempeño de la Redes Wi-fi*.
Obtenido de <http://publicaciones.urbe.edu/index.php/telematique/article/viewArticle/890/220>
3
- Chávez, R. C. (2011). *Diseño y construcción de un prototipo GPS de bajo costo para el levantamiento de información en campo relacionada con el proceso de georeferenciación para redes del sistema de distribución eléctrica*. Quito.
- Flores, A. (Septiembre de 2009). *Evolución de las redes de telefonía móvil*. Obtenido de <http://www.antonioflores.es/antonioflores/articulos/consultateleco.pdf>
- García, E. (Octubre de 2015). *Diseño e Instalación de un Nodo B adicional en una zona de alto tráfico de la ciudad del Coca provincia de Orellana para aumentar capacidad y cobertura de la red UMTS*. Quito, Pichincha, Ecuador.
- Hernández Rueda, J. A. (1998). *Antenas: principios básicos, análisis y diseño*. California: Editorial UABC.
- Holma, H., & A.Toskala. (2007). *WCDMA for UMTS: SSPA Evolution and LTE* (Cuarta ed.). Finlandia.
- Mahesh, R. C. (2014). *Detailed evaluation of DEM interpolation methods in GIS using DGPS data*. Bhopal, India.
- Moreno, O., & Franco, I. (Junio de 2011). *Introducción a la Tecnología de Antenas Inteligentes: Aplicación a UMTS*. Obtenido de <http://www.radiocomunicaciones.net/pdf/introduccion-tecnologia-antenas-inteligentes.pdf>

Pardo, I. (26 de Marzo de 2014). *Modelos de Propagación*. Obtenido de <https://prezi.com/insaobvysxm0/modelos-de-propagacion/>

Ranchal, J. (31 de Enero de 2014). *Inicios, evolución y futuro del teléfono móvil*. Obtenido de <http://www.muycanal.com/2014/01/31/futuro-del-telefono-movil>

Sallent Roig, O., Valenzuela Gonzáles, J. L., & Agustí Comes, R. (2003). *Principios de comunicaciones móviles*. Barcelona: Edicions de la Universitat Politècnica de Catalunya, SL.

Shoel Ahmed, Q. S. (2014). Comparative Analysis of DGPS Predicted Corrections using Dynamic Neural Networks. En Q. S. Shoel Ahmed, *Comparative Analysis of DGPS Predicted Corrections using Dynamic Neural Netw* (pág. 5). Hyderabad, India.

ANEXOS

Anexo 1: Ubicación de los nodos subtramo Nayón

La figura 1 muestra la ubicación geográfica del subtramo Nayón donde se observa su localización geográfica en el software de posicionamiento global

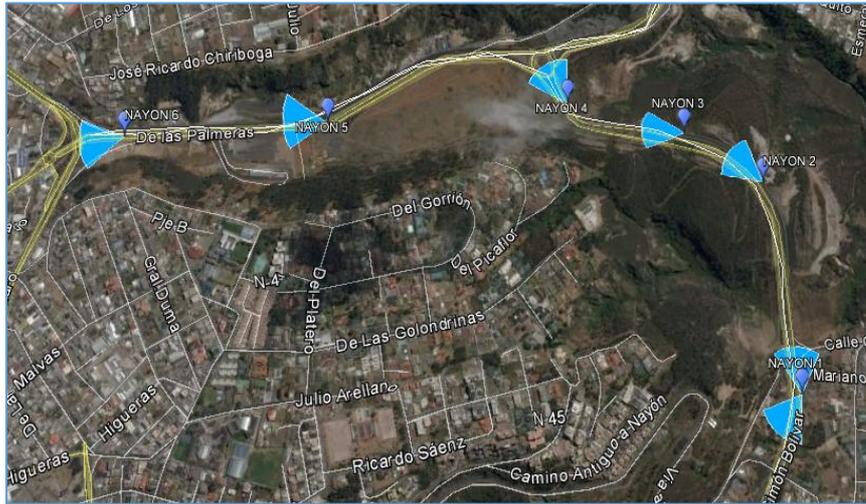


Figura 1. Ubicación de los nodos subtramo Nayón

La figura 2 muestra la ubicación geográfica del subtramo Monteolivo donde se observa su localización geográfica en el software de posicionamiento global.

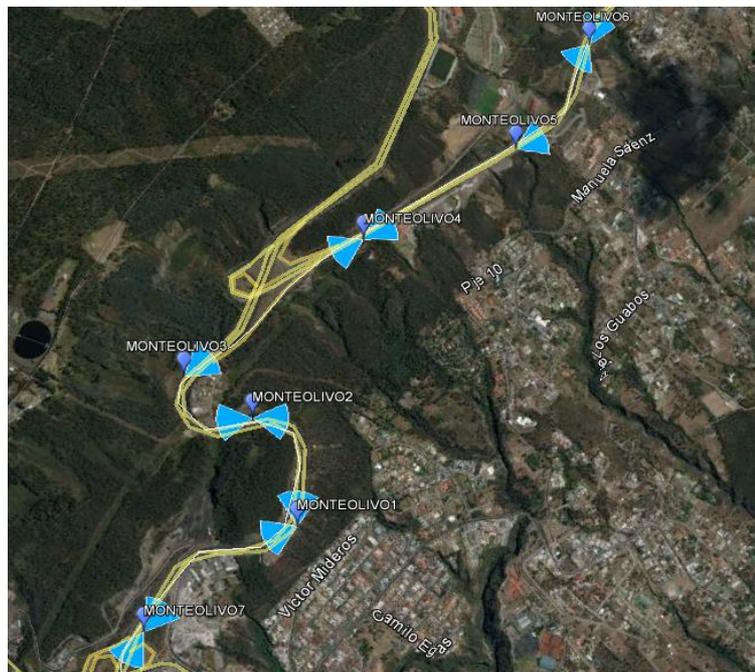


Figura 2. Ubicación de los nodos subtramo Monteolivo

La figura 3 muestra la ubicación geográfica del subtramo Cumbayá donde se observa su localización geográfica en el software de posicionamiento global.



Figura 3. Ubicación de los nodos subtramo Cumbayá

La figura 4 muestra la ubicación geográfica del subtramo Autopista donde se observa su localización geográfica en el software de posicionamiento global.

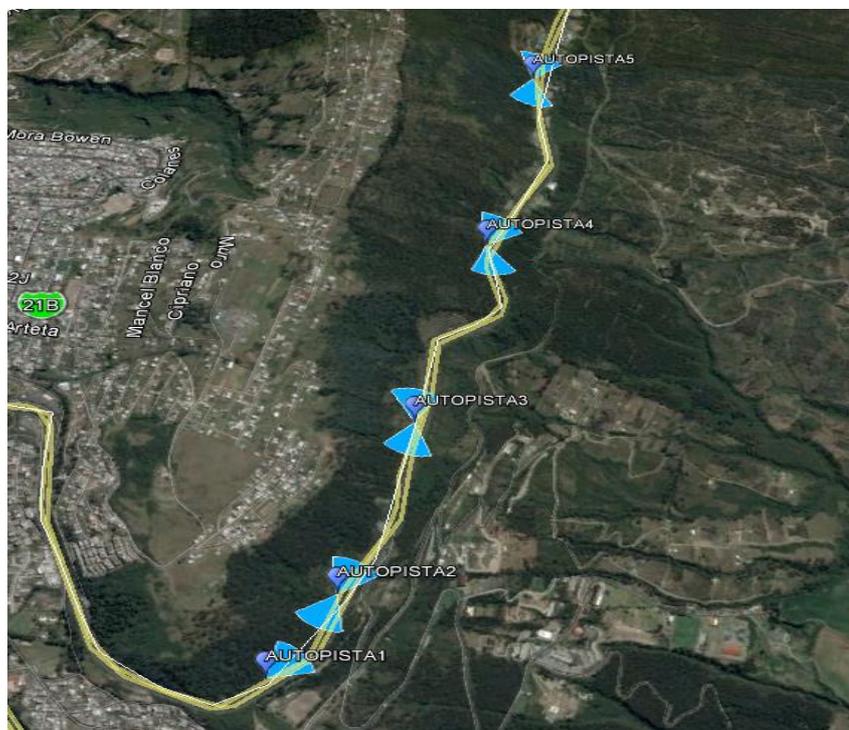


Figura 4. Ubicación de los nodos subtramo Autopista

La figura 5 muestra la ubicación geográfica del subtramo Ilumbisí donde se observa su localización geográfica en el software de posicionamiento global.

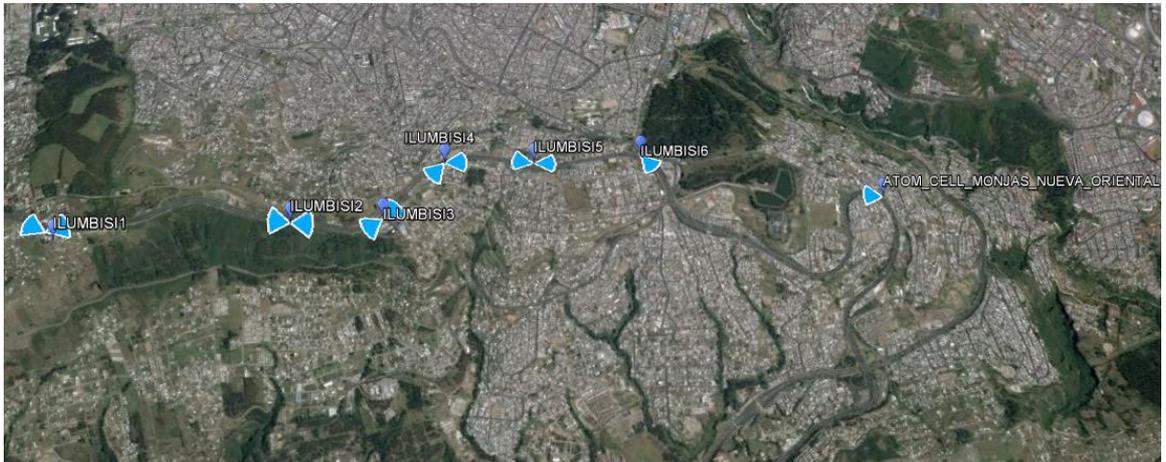


Figura 5. Ubicación de los nodos subtramo Ilumbisí

La figura 6 muestra la ubicación geográfica del subtramo San Martin donde se observa su localización geográfica en el software de posicionamiento global.

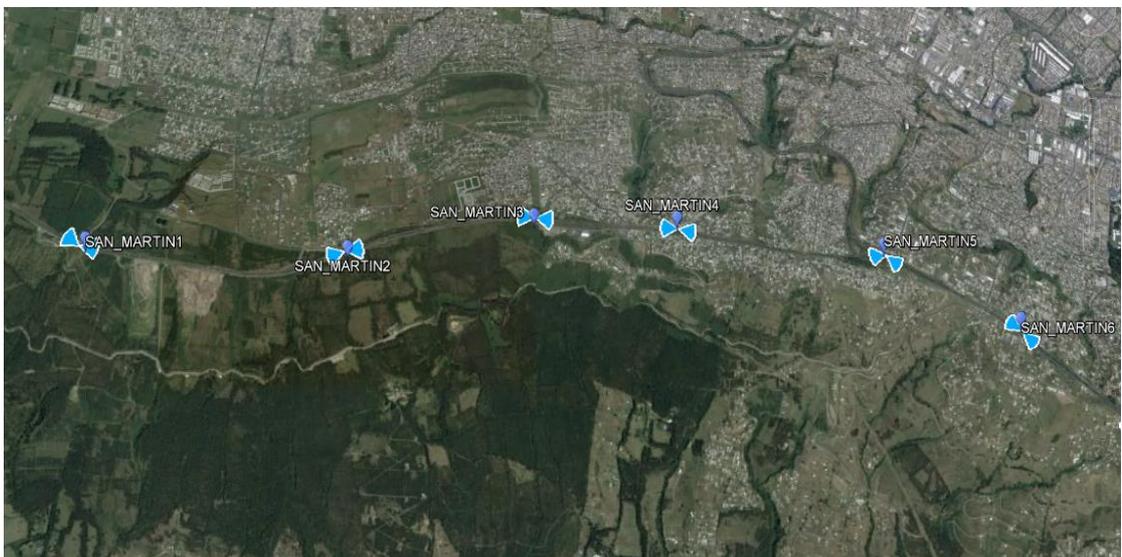


Figura 6. Ubicación de los nodos subtramo San Martin

La figura 7 muestra la ubicación geográfica del subtramo atom San Martin-Tambillo donde se observa su localización geográfica en el software de posicionamiento global.

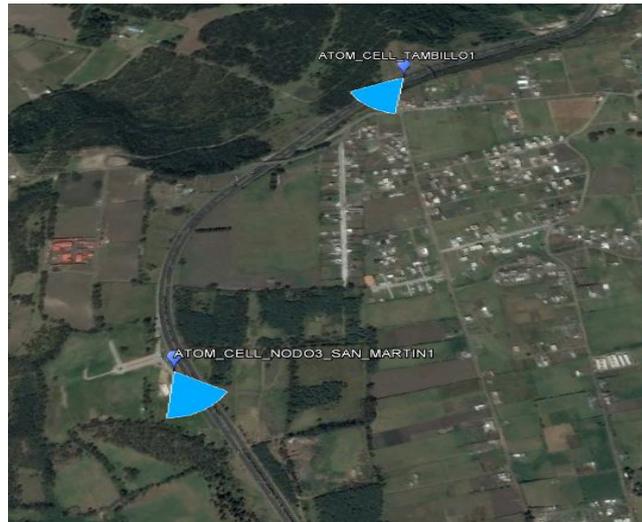


Figura 7. Ubicación de los nodos subtramo Atom Cell San Martín-Tambillo

La figura 8 muestra la ubicación geográfica del subtramo Tambillo donde se observa su localización geográfica en el software de posicionamiento global.

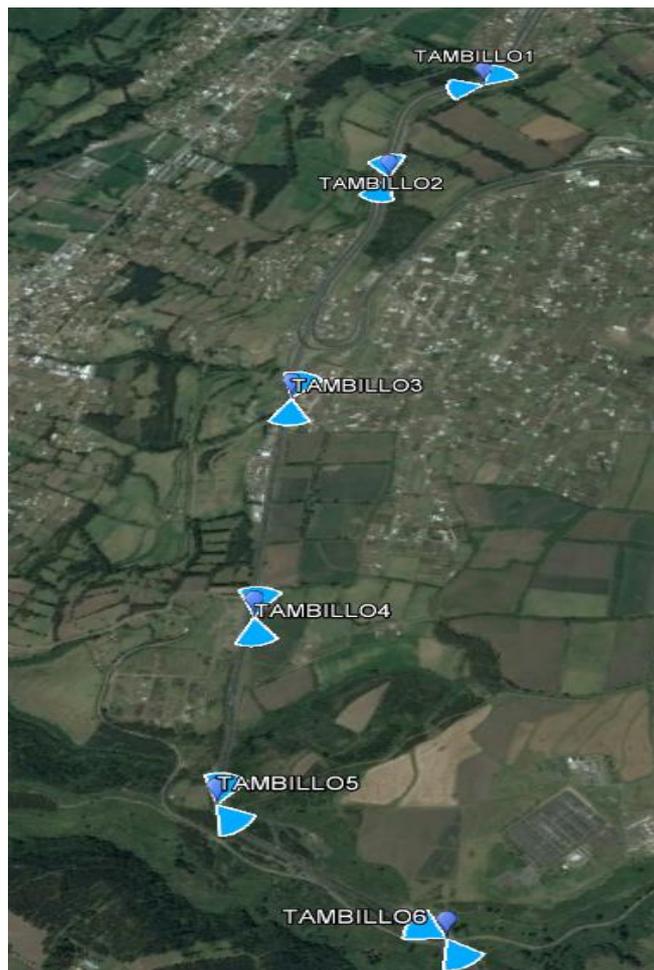


Figura 8. Ubicación de los nodos subtramo Tambillo

Anexo 2: Longitud, Latitud, tipo de antena, azimuth, tilt eléctrico y tilt

mecánico nominales

En la tabla 1 se muestra la longitud, Latitud, tipo de antena, azimuth, tilt eléctrico y tilt mecánico nominales antes de la implementación de la solución de telefonía móvil

Tabla 1. Configuración nominal de radio frecuencia de la solución de telefonía móvil

Nombre Celda	Longitud	Latitud	Tipo de Antena	Azi mut h	Tilt mecánico	Tilt Eléctrico
ATOM_CELL_MONJAS_N UEVA_ORIENTAL1	-78,492716	-0,23177	A19451803	190	0	1
ATOM_CELL_NODO3_SA N_MARTINI	-78,522851	-0,350591	A19451803	350	0	3
ATOM_CELL_TAMBILLO 1	-78,529476	-0,357053	A19451803	70	0	1
AUTOPISTA1	-78,46424	-0,21518	Yaggi	60	0	0
AUTOPISTA2	-78,47336	-0,2388	Yaggi	35	0	0
AUTOPISTA2	-78,47336	-0,2388	Yaggi	180	0	0
AUTOPISTA3	-78,47093	-0,23234	A19451803	0	0	2
AUTOPISTA3	-78,47093	-0,23234	Yaggi	200	0	0
AUTOPISTA4	-78,47568	-0,24438	A19451803	30	0	3
AUTOPISTA4	-78,47568	-0,24438	A19451803	170	0	2
AUTOPISTA5	-78,4689	-0,22547	Yaggi	40	0	0
AUTOPISTA5	-78,4689	-0,22547	Yaggi	160	0	0
CUMBAYAU1	-78,46107	-0,20734	A19451803	20	0	4
CUMBAYAU1	-78,46107	-0,20734	Yaggi	200	0	0
CUMBAYAU2	-78,456588	-0,200669	Yaggi	220	0	0
CUMBAYAU2	-78,456588	-0,200669	Yaggi	300	0	0
CUMBAYAU3	-78,461104	-0,198401	A19451803	105	0	1
CUMBAYAU3	-78,461104	-0,198401	A19451803	250	-2	0
CUMBAYAU4	-78,467039	-0,19739	A19451803	80	0	1
CUMBAYAU4	-78,467039	-0,19739	Yaggi	145	0	0
CUMBAYAU5	-78,459498	-0,193981	Yaggi	20	0	0
CUMBAYAU5	-78,459498	-0,193981	Yaggi	300	-3	0
CUMBAYAU6	-78,454273	-0,188413	A19451803	10	-7	0
CUMBAYAU6	-78,454273	-0,188413	Yaggi	225	-3	0
MONTE_OLIVO1	-78,45075	-0,18347	Yaggi	225	0	0
MONTE_OLIVO1	-78,45075	-0,18347	Yaggi	340	-3	0
MONTE_OLIVO2	-78,45315	-0,18046	Yaggi	250	0	0
MONTE_OLIVO2	-78,45315	-0,18046	Yaggi	80	2	0
MONTE_OLIVO3	-78,45569	-0,18003	Yaggi	15	-2	0

MONTE_OLIVO4	-78,452417	-0,173472	A19451803	35	-2	1
MONTE_OLIVO4	-78,452417	-0,173472	A19451803	230	-2	2
MONTE_OLIVO5	-78,448907	-0,168817	A19451803	40	-2	0
MONTE_OLIVO6	-78,44785	-0,16353	Yaggi	0	0	0
MONTE_OLIVO6	-78,44785	-0,16353	Yaggi	190	0	0
MONTE_OLIVO7	-78,45387	-0,188402	Yaggi	20	0	0
MONTE_OLIVO7	-78,45387	-0,188402	Yaggi	180	0	0
NAYON1	-78,45834	-0,15183	A19451803	0	0	2
NAYON1	-78,45834	-0,15183	A19451803	220	0	3
NAYON2	-78,44633	-0,15949	Yaggi	300	0	0
NAYON3	-78,44671	-0,15386	A19451803	280	-2	0
NAYON4	-78,4487	-0,15252	A19451803	310	-2	0
NAYON5	-78,45167	-0,15174	Yaggi	270	0	0
NAYON6	-78,463085	-0,152125	Yaggi	260	0	0
SAN_MARTIN1	-78,520888	-0,338674	A19451803	15	2	1
SAN_MARTIN1	-78,520888	-0,338674	A19451803	220	-3	1
SAN_MARTIN2	-78,521613	-0,309741	Yaggi	160	-4	0
SAN_MARTIN2	-78,521613	-0,309741	Yaggi	340	-2	0
SAN_MARTIN3	-78,49914	-0,24255	Yaggi	10	0	0
SAN_MARTIN3	-78,49914	-0,24255	Yaggi	190	-2	0
SAN_MARTIN4	-78,51982	-0,28802	A19451803	20	2	0
SAN_MARTIN4	-78,51982	-0,28802	Yaggi	185	0	0
SAN_MARTIN5	-78,51429	-0,27868	A19451803	190	-2	2
SAN_MARTIN5	-78,51429	-0,27868	A19451803	50	-4	1
SAN_MARTIN6	-78,52088	-0,29977	Yaggi	50	-4	0
SAN_MARTIN6	-78,52088	-0,29977	Yaggi	220	2	0
ILUMBISI1	-78,520416	-0,321934	Yaggi	0	0	0
ILUMBISI1	-78,520416	-0,321934	Yaggi	230	-4	0
ILUMBISI2	-78,50186	-0,24873	Yaggi	50	-1	0
ILUMBISI2	-78,50186	-0,24873	Yaggi	215	2	0
ILUMBISI3	-78,50431	-0,25332	Yaggi	180	2	0
ILUMBISI3	-78,50431	-0,25332	Yaggi	350	-1	0
ILUMBISI4	-78,50244	-0,25728	Yaggi	10	3	0
ILUMBISI4	-78,50244	-0,25728	Yaggi	160	-1	0
ILUMBISI5	-78,50446	-0,26193	Yaggi	25	3	0
ILUMBISI5	-78,50446	-0,26193	Yaggi	215	-1	0
ILUMBISI6	-78,50762	-0,27021	Yaggi	75	0	0
TAMBILLO1	-78,53909	-0,396365	Yaggi	90	0	0
TAMBILLO1	-78,53909	-0,396365	Yaggi	230	0	0
TAMBILLO2	-78,530221	-0,357071	A19451803	40	-6	1
TAMBILLO2	-78,530221	-0,357071	A19451803	180	2	2
TAMBILLO3	-78,534817	-0,391103	A19451803	10	0	1
TAMBILLO3	-78,534817	-0,391103	A19451803	200	0	0
TAMBILLO4	-78,531794	-0,382009	A19451803	0	-3	0
TAMBILLO4	-78,531794	-0,382009	A19451803	210	0	1

TAMBILLO5	-78,529714	-0,373286	A19451803	200	0	0
TAMBILLO5	-78,529714	-0,373286	A19451803	310	0	0
TAMBILLO6	-78,53383	-0,3608	Yaggi	130	-2	0
TAMBILLO6	-78,53383	-0,3608	Yaggi	330	3	0

Anexo 3: Predicciones subtramo Nayón

La figura 9 muestra las predicciones en el software ATOLL con la configuración final de radio frecuencia del subtramo Nayón donde se observa continuidad de cobertura en todo el trayecto.

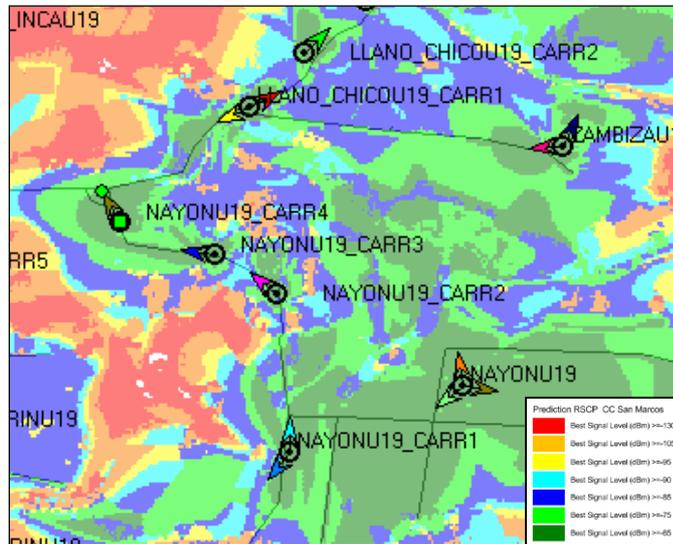


Figura 9. Predicciones subtramo Nayón

La figura 10 muestra las predicciones en el software ATOLL con la configuración final de radio frecuencia del subtramo Monteolivo donde se observa continuidad de cobertura en todo el trayecto.

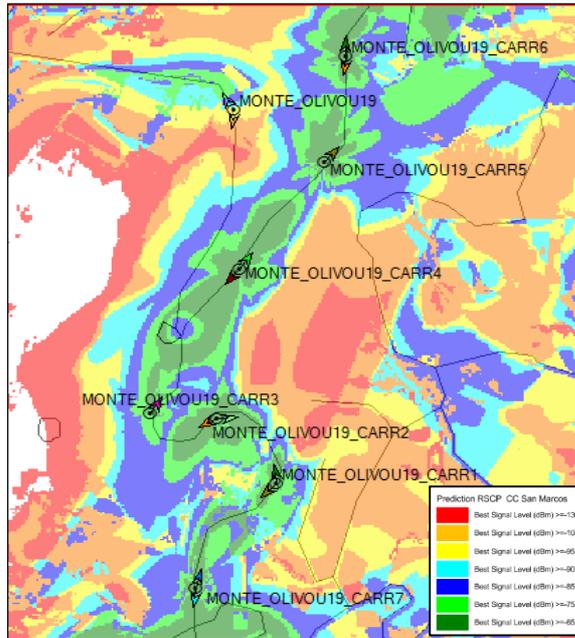


Figura 10. Predicciones subtramo Monteolivo

La figura 11 **muestra** las predicciones en el software ATOLL con la configuración final de radio frecuencia del subtramo Cumbayá donde se observa continuidad de cobertura en todo el trayecto.

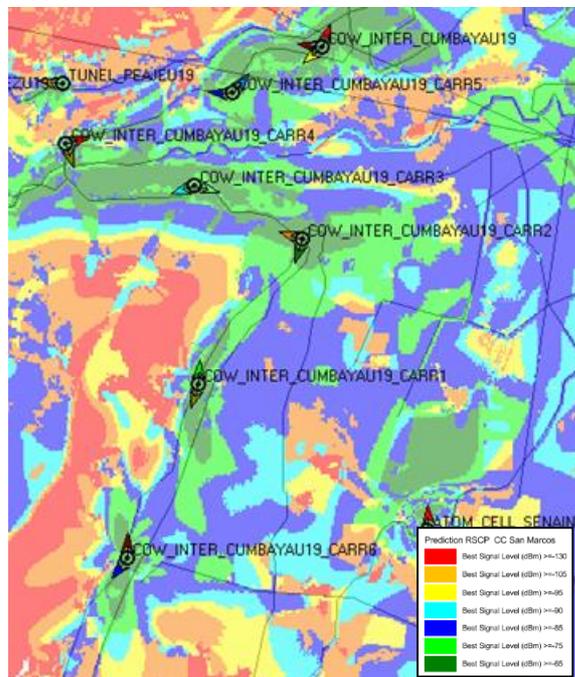


Figura 11. Predicciones subtramo Cumbayá

La figura 12 muestra las predicciones en el software ATOLL con la configuración final de radio frecuencia del subtramo Autopista donde se observa continuidad de cobertura en todo el trayecto.

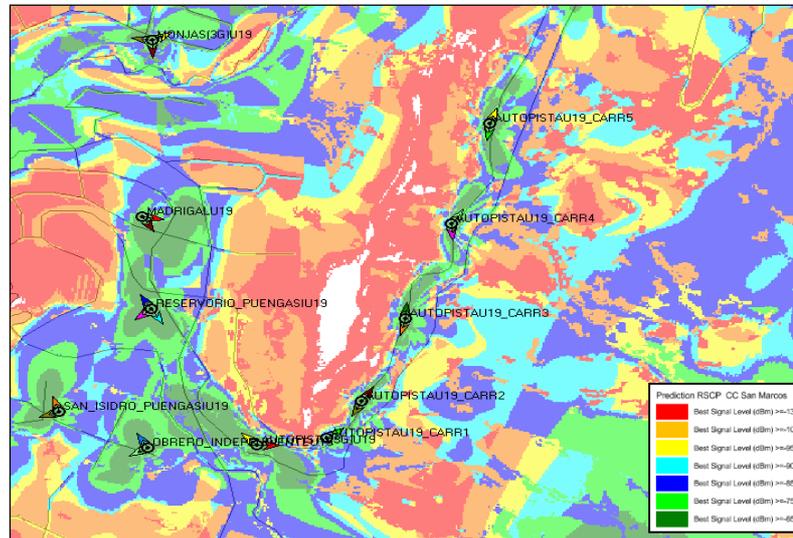


Figura 12. Predicciones subtramo Autopista

La figura 13 muestra las predicciones en el software ATOLL con la configuración final de radio frecuencia del subtramo Ilumbisi donde se observa continuidad de cobertura en todo el trayecto

La figura 14 muestra las predicciones en el software ATOLL con la configuración final de radio frecuencia del subtramo San Martín donde se observa continuidad de cobertura en todo el trayecto

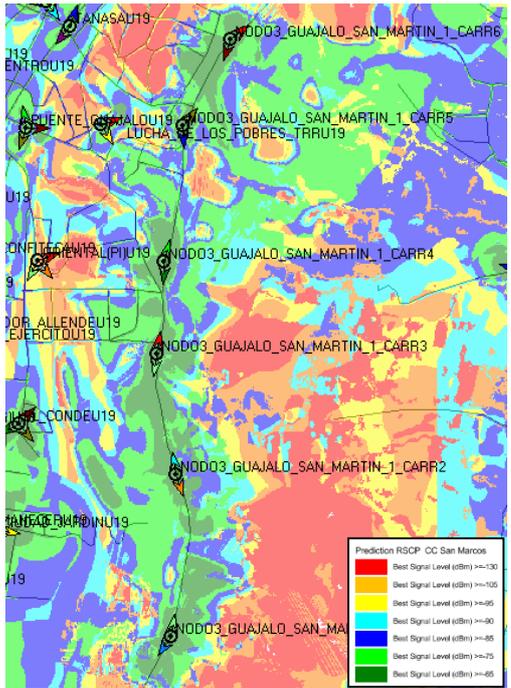


Figura 14. Predicciones subtramo San Martin

La figura 15 muestra las predicciones en el software ATOLL con la configuración final de radio frecuencia del subtramo Atom cell San Martin-Tambillo donde se observa continuidad de cobertura en todo el trayecto

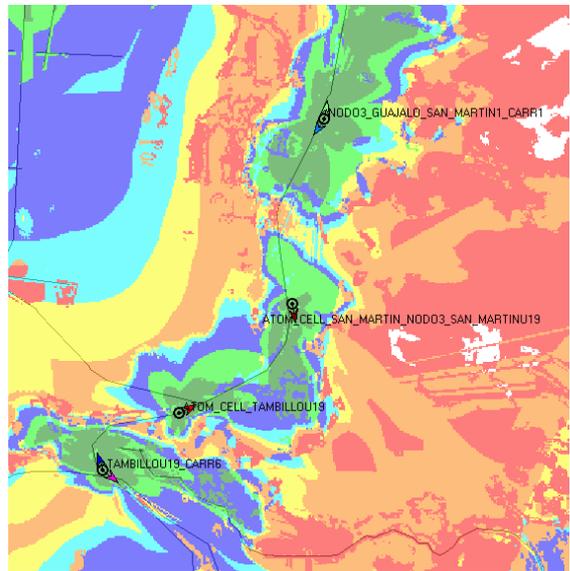


Figura 15. Predicciones subtramo Atom cell San Martin-Tambillo

La figura 16 muestra las predicciones en el software ATOLL con la configuración final de radio frecuencia del subtramo Tambillo donde se observa continuidad de cobertura en todo el trayecto

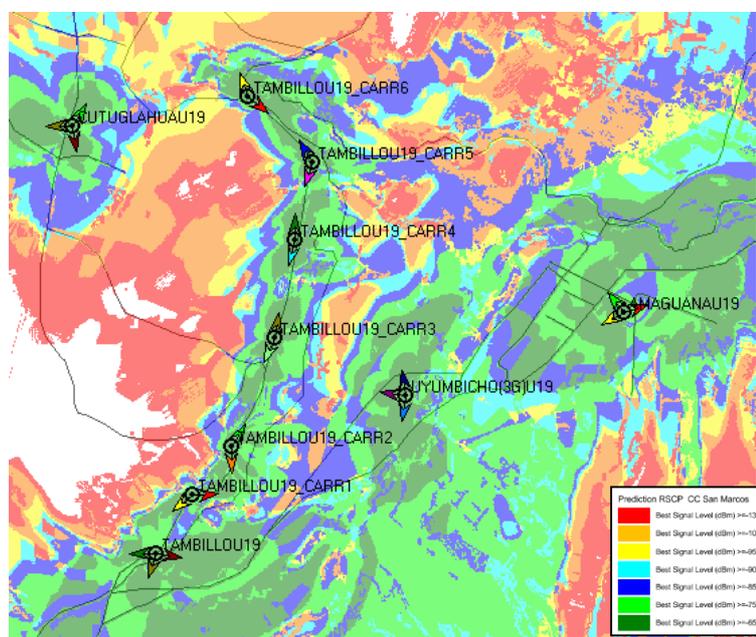


Figura 16. Predicciones subtramo Tambillo

En la tabla 2 se muestra la configuración final de radiofrecuencia de la solución de telefonía móvil desde el tramo de Nayón hasta Tambillo

Tabla 2. Configuración final de radio frecuencia de la solución de telefonía móvil

CellName	AntType	Azimuth	MechTilt	ElecTilt
ATOM_CELL_MONJAS_NUEVA_ORIENTALI	A19451803	210	0	0
ATOM_CELL_NODO3_SAN_MARTIN1	A19451803	350	0	0
ATOM_CELL_TAMBILLO1	A19451803	60	0	0
AUTOPISTA1	Yaggi	50	0	0
AUTOPISTA2	Yaggi	30	0	0
AUTOPISTA2	Yaggi	210	0	0
AUTOPISTA3	A19451803	5	0	0
AUTOPISTA3	Yaggi	195	-2	0
AUTOPISTA4	A19451803	30	0	0
AUTOPISTA4	A19451803	175	0	0
AUTOPISTA5	Yaggi	20	-2	0
AUTOPISTA5	Yaggi	190	0	0
CUMBAYAU1	A19451803	5	0	0
CUMBAYAU1	Yaggi	200	0	0
CUMBAYAU2	Yaggi	200	0	0

CUMBAYAU2	Yaggi	290	2	4
CUMBAYAU3	A19451803	105	0	0
CUMBAYAU3	A19451803	250	-2	0
CUMBAYAU4	A19451803	70	0	0
CUMBAYAU4	Yaggi	160	0	0
CUMBAYAU5	Yaggi	40	0	0
CUMBAYAU5	Yaggi	275	-3	0
CUMBAYAU6	A19451803	0	-7	0
CUMBAYAU6	Yaggi	220	-3	0
MONTE_OLIVO1	Yaggi	225	0	0
MONTE_OLIVO1	Yaggi	340	-3	0
MONTE_OLIVO2	Yaggi	240	0	0
MONTE_OLIVO2	Yaggi	75	2	0
MONTE_OLIVO3	Yaggi	30	-2	0
MONTE_OLIVO4	A19451803	35	-2	0
MONTE_OLIVO4	A19451803	220	-2	0
MONTE_OLIVO5	A19451803	40	-2	0
MONTE_OLIVO6	Yaggi	0	0	0
MONTE_OLIVO6	Yaggi	190	0	0
MONTE_OLIVO7	Yaggi	15	0	0
MONTE_OLIVO7	Yaggi	190	0	0
NAYON1	A19451803	0	0	0
NAYON1	A19451803	220	0	0
NAYON2	Yaggi	310	0	0
NAYON3	A19451803	280	-2	0
NAYON4	A19451803	330	-2	0
NAYON5	Yaggi	270	0	0
NAYON6	Yaggi	260	0	0
SAN_MARTIN1	A19451803	10	2	0
SAN_MARTIN1	A19451803	215	-3	0
SAN_MARTIN2	Yaggi	160	-4	0
SAN_MARTIN2	Yaggi	350	-2	0
SAN_MARTIN3	Yaggi	10	0	0
SAN_MARTIN3	Yaggi	190	-2	0
SAN_MARTIN4	A19451803	15	2	0
SAN_MARTIN4	Yaggi	185	0	0
SAN_MARTIN5	A19451803	175	-2	0
SAN_MARTIN5	A19451803	40	-4	0
SAN_MARTIN6	Yaggi	50	-4	0
SAN_MARTIN6	Yaggi	220	2	0
ILUMBISI1	Yaggi	5	0	0
ILUMBISI1	Yaggi	230	-4	0
ILUMBISI2	Yaggi	30	-1	0
ILUMBISI2	Yaggi	215	2	0
ILUMBISI3	Yaggi	170	2	0

ILUMBISI3	Yaggi	340	-1	0
ILUMBISI4	Yaggi	20	3	0
ILUMBISI4	Yaggi	160	-1	0
ILUMBISI5	Yaggi	25	3	0
ILUMBISI5	Yaggi	215	-1	0
ILUMBISI6	Yaggi	75	0	0
TAMBILLO1	Yaggi	85	0	0
TAMBILLO1	Yaggi	230	0	0
TAMBILLO2	A19451803	30	-6	0
TAMBILLO2	A19451803	180	2	0
TAMBILLO3	A19451803	10	0	0
TAMBILLO3	A19451803	205	0	0
TAMBILLO4	A19451803	0	-3	0
TAMBILLO4	A19451803	195	0	0
TAMBILLO5	A19451803	200	0	0
TAMBILLO5	A19451803	330	0	0
TAMBILLO6	Yaggi	130	-2	0
TAMBILLO6	Yaggi	340	3	0