



**UNIVERSIDAD CATÓLICA  
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO  
CARRERA DE INGENIERÍA EN TELECOMUNICACIONES

TEMA:

**Análisis de cobertura de una red de banda ancha móvil (LTE) para  
cantón Chone mediante software Atoll**

AUTOR:

Solórzano Yagual, Byron Ernesto

Trabajo de Titulación previo a la obtención del título de  
**INGENIERO EN TELECOMUNICACIONES**

TUTOR:

Philco Asqui, Luis Orlando

Guayaquil, Ecuador

7 de marzo del 2018



**UNIVERSIDAD CATÓLICA  
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO  
CARRERA DE INGENIERÍA EN TELECOMUNICACIONES

**CERTIFICACIÓN**

Certificamos que el presente trabajo fue realizado en su totalidad por el Sr.  
**Solórzano Yagual, Byron Ernesto** como requerimiento para la obtención  
del título de **INGENIERO EN TELECOMUNICACIONES**.

TUTOR

---

Philco Asqui, Luis Orlando

DIRECTOR DE CARRERA

---

Heras Sánchez, Miguel Armando

**Guayaquil, a los 7 días del mes de marzo del año 2018**



**UNIVERSIDAD CATÓLICA  
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO  
CARRERA DE INGENIERÍA EN TELECOMUNICACIONES

**DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD**

Yo, **Solórzano Yagual, Byron Ernesto**

**DECLARO QUE:**

El trabajo de titulación: “**Análisis de cobertura de una red de banda ancha móvil (LTE) para cantón Chone mediante software Atoll**”, previo a la obtención del Título de **Ingeniero en Telecomunicaciones**”, ha sido desarrollado respetando derechos intelectuales de terceros conforme las citas que constan en el documento, cuyas fuentes se incorporan en las referencias o bibliografías. Consecuentemente este trabajo es de mi total autoría.

En virtud de esta declaración, me responsabilizo del contenido, veracidad y alcance del Trabajo de Titulación referido.

**Guayaquil, a los 7 días del mes de marzo del año 2018**

**EL AUTOR:**

---

**SOLÓRZANO YAGUAL, BYRON ERNESTO**



**UNIVERSIDAD CATÓLICA  
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO  
CARRERA DE INGENIERÍA EN TELECOMUNICACIONES

**AUTORIZACIÓN**

Yo, **Solórzano Yagual, Byron Ernesto**

Autorizo a la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil, la publicación, en la biblioteca de la institución del Trabajo de Titulación: titulación “**Análisis de cobertura de una red de banda ancha móvil (LTE) para cantón Chone mediante software Atoll.**”, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi exclusiva responsabilidad y total autoría.

**Guayaquil, a los 7 días del mes de marzo del año 2018**

**EL AUTOR:**

---

**SOLÓRZANO YAGUAL, BYRON ERNESTO**

# REPORTE URKUND

The screenshot displays the URKUND web interface. At the top, the browser address bar shows the URL: <https://secure.orkund.com/view/35261694-734389-289614#q1bKLvayjibUMTSK1VEqzkzPyOzL7E7MS05VsjLQMzCwMDAyNzi0BglDS2NjU/NaAA==>. The interface includes a navigation menu with options like 'Aplicaciones', 'Bookmarks', and 'Otros marcadores'. The main content area is divided into two sections: 'Documento' and 'Lista de fuentes'. The 'Documento' section provides details such as the document name 'BYRON\_SOLORZANO\_FINAL.docx', the submission date '2018-02-23 00:33 (-05:00)', the sender 'orlandophilco07@gmail.com', the recipient 'orlando.philco.ucs@gmail.com', and the subject 'Fwd: Byron Solorzano Titulación'. A yellow highlight indicates that '1%' of the document's 30 pages consist of text from the listed sources. The 'Lista de fuentes' section contains a table with columns for 'Categoria' and 'Enlace/nombre de archivo', listing various URLs. Below the document details, the text of the document is displayed, including the university name 'UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL', the course 'TRABAJO DE TITULACION PREVIO A OBTENER EL TITULO DE INGENIERO EN TELECOMUNICACIONES', and the student's name 'BYRON ERNESTO SOLORZANO YAGUAL'. The bottom of the interface shows a taskbar with several open files and a 'Mostrar todo' button.

**Documento**  
Documento: [BYRON\\_SOLORZANO\\_FINAL.docx](#) (D35851382)  
Presentado: 2018-02-23 00:33 (-05:00)  
Presentado por: orlandophilco07@gmail.com  
Recibido: orlando.philco.ucs@gmail.com  
Mensaje: Fwd: Byron Solorzano Titulación [Mostrar el mensaje completo](#)  
1% de estas 30 páginas, se componen de texto presente en 2 fuentes.

Categoria	Enlace/nombre de archivo
	<a href="https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/14624/PFC_Cristina_Guina...">https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/14624/PFC_Cristina_Guina...</a>
	<a href="#">LTE.TESIS ya creo.pdf</a>
	<a href="http://www.arcotel.gob.ec/wp-content/uploads/2015/01/BOLETIN-ESTAD%3%8...">http://www.arcotel.gob.ec/wp-content/uploads/2015/01/BOLETIN-ESTAD%3%8...</a>
	<a href="https://www.xataka.com/moviles/que-es-lte">https://www.xataka.com/moviles/que-es-lte</a>

UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL FACULTAD DE EDUCACION TECNICA PARA EL DESARROLLO INGENIERIA EN TELECOMUNICACIONES

TRABAJO DE TITULACION PREVIO A OBTENER EL TITULO DE INGENIERO EN TELECOMUNICACIONES

"ANALISIS DE COBERTURA DE UNA RED DE BANDA ANCHA MOVIL (LTE) PARA CANTON CHONE MEDIANTE SOFTWARE ATOLL"

NOMBRE: BYRON ERNESTO SOLORZANO YAGUAL TUTOR: ING ORLANDO PHILCO GUAYAQUIL, MARZO 2018

UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL FACULTAD DE EDUCACION TECNICA PARA EL DESARROLLO INGENIERIA EN TELECOMUNICACIONES

CERTIFICACION

Certificamos que el presente trabajo fue realizado en su totalidad por Solorzano Yagual Byron

BYRON\_SOLORZ...docx | Urkund Report - T...pdf | Urkund Report - T...pdf | TESIS DIEGO STE...docx | Urkund Report - T...pdf | [Mostrar todo](#)

## **DEDICATORIA**

A mis padres Bairon Solórzano Solórzano y Mónica Yagual Vera.

A mis hermanos Kevin y Miguel Ángel Solórzano.

A mi Tía Larisa Yagual Vera.

A todos ellos que han estado siempre conmigo dedico todo mi esfuerzo.

**EL AUTOR**

**SOLORZANO YAGUAL, BYRON ERNESTO**

## **AGRADECIMIENTO**

Agradezco a Dios por permitirme seguir luchando por mis propósitos cada día de mi vida.

A mis padres, Bairon Solórzano y Mónica Yagual por ser mi apoyo y guía durante todos estos años.

A mi tía, Larisa Yagual que como madre y amiga me ha apoyado y aconsejado cuando lo he necesitado.

A todos mis profesores de la Facultad de Educación Técnica para el Desarrollo que han sido parte de mi formación como profesional, en especial al Ingeniero Orlando Philco por su ayuda para la elaboración del presente trabajo.

**EL AUTOR**

**SOLORZANO YAGUAL, BYRON ERNESTO**



**UNIVERSIDAD CATÓLICA  
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO  
CARRERA DE INGENIERÍA EN TELECOMUNICACIONES

**TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN**

f. \_\_\_\_\_

**M. Sc ROMERO PAZ, MANUEL DE JESUS**

DECANO

f. \_\_\_\_\_

**M. Sc PALACIOS MELÉNDEZ, EDWIN FERNANDO**

COORDINADOR DE ÁREA

f. \_\_\_\_\_

**M. Sc ROMERO ROSERO, CARLOS BOLÍVAR**

OPONENTE

## Índice general

Índice de Figuras .....	XII
Índice de Tablas .....	XIV
Resumen .....	XV
Abstract .....	XVI
<b>CAPÍTULO 1: GENERALIDADES DEL PROYECTO .....</b>	<b>17</b>
1.1. Introducción.....	17
1.2. Antecedentes .....	18
1.3. Planteamiento del problema .....	18
1.4. Justificación del problema .....	19
1.5. Objetivos .....	19
1.5.1. Objetivo general.....	19
1.5.2. Objetivos específicos .....	19
1.6. Hipótesis .....	20
1.7. Metodología de investigación .....	20
<b>CAPÍTULO 2: ESTADO DEL ARTE .....</b>	<b>21</b>
2.1. Banda ancha móvil.....	21
2.2. Conceptos básicos de la telefonía móvil.....	21
2.2.1. Celda .....	21
2.2.2. Estación base .....	23
2.3. Historia de las generaciones de las comunicaciones móviles.....	23
2.3.1. Primera Generación (1G).....	23
2.3.2. Segunda Generación (2G).....	23
2.3.3. Tercera Generación (3G).....	24
2.3.4. Cuarta Generación (4G) .....	25
2.4. Introducción a LTE .....	25
2.5. Características de LTE .....	26
2.6. Arquitectura de una red LTE .....	26
2.6.1. Equipo Usuario .....	27
2.6.2. Red de acceso.....	28
2.6.3. Red Troncal .....	29
2.7. Ancho de banda del canal .....	29
2.8. Bloques de recursos.....	30
2.9. Bandas de operación .....	31

2.10.	Capa física LTE.....	32
2.10.1.	Interfaz aérea enlace ascendente y descendente.....	32
2.10.2.	Técnicas de Duplexado FDD y TDD.....	34
2.10.3.	Estructura de la trama.....	35
2.10.4.	Señales y Canales Físicos.....	37
2.10.5.	Esquema de codificación y modulación.....	38
2.11.	Tecnología MIMO.....	39
2.12.	Redes Heterogéneas.....	41
2.13.	Interoperabilidad entre LTE con tecnologías 3GPP y otras redes.....	41
2.14.	Otras tecnologías.....	42
2.14.1.	WIMAX vs LTE.....	42
2.14.2.	LTE Advanced, LTE Y 4G.....	43
2.15.	Servicio móvil avanzado en el Ecuador.....	44
CAPÍTULO 3: PLANIFICACIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE RED LTE.....		47
3.1.	Dimensionamiento de la red.....	47
3.1.1.	Reconocimiento y caracterización del lugar de interés.....	47
3.1.2.	Ancho de banda y Bandas de Frecuencia.....	48
3.1.3.	Link Budget.....	49
3.1.3.1.	Margen de desvanecimiento.....	50
3.1.3.2.	Interferencias.....	51
3.1.3.3.	Pérdidas por Penetración de materiales.....	52
3.1.4.	Modelo de propagación.....	53
3.1.5.	Geometría de las Redes celulares.....	55
CAPÍTULO 4: SIMULACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS.....		58
4.1.	Introducción.....	58
4.2.	Atoll.....	58
4.3.	Global Mapper.....	58
4.4.	Establecimiento de parámetros de la red.....	59
4.5.	Establecimiento de nodos eNB.....	60
4.6.	Análisis de cobertura en parroquias urbanas.....	61
4.6.1.	Cobertura por nivel de señal.....	61
4.6.2.	Zonas Solapadas.....	63
4.6.3.	Análisis de señal efectiva.....	65
4.6.3.1.	Análisis de señal efectiva Enlace Descendente.....	65

4.6.3.2. Análisis de señal efectiva Enlace de Ascendente ....	67
4.6.4. Análisis por calidad de la señal.....	69
4.6.5. Análisis del área de servicio efectiva .....	72
4.6.6. Análisis del Throughput efectivo del canal .....	73
4.7. Análisis de cobertura en parroquias rurales .....	75
4.7.1. Análisis de cobertura por nivel de señal.....	75
4.8. Análisis comparativo de cobertura en áreas urbanas y rurales.....	77
CAPÍTULO 5: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	79
5.1. Conclusiones.....	79
5.2. Recomendaciones.....	80
Glosario .....	81
Referencias Bibliográficas .....	84
Anexo 1 .....	87
Anexo 2 .....	88

## Índice de Figuras

### Capítulo 2

Figura 2.1: Esquema general de una red celular .....	22
Figura 2.2: Clasificación de las células de acuerdo con el área de cobertura .....	22
Figura 2.3: Evolución de los sistemas móviles celulares.....	25
Figura 2.4: Arquitectura de una Red LTE.....	27
Figura 2.5: Equipo de usuario .....	28
Figura 2.6: Relación entre ranura símbolo y bloque de recursos .....	31
Figura 2.7: OFDM VS OFDMA.....	33
Figura 2.8: Representación de OFDMA y SC-FDMA .....	34
Figura 2.9: Método FDD y TDD .....	35
Figura 2.10: Estructura de trama tipo 1 .....	36
Figura 2.11: Estructura de trama tipo 2.....	36
Figura 2.12: Modulación y calidad de señal .....	39
Figura 2.13: Diversidad espacial MIMO 2x2.....	40
Figura 2.14: Multiplexación espacial .....	40
Figura 2.15: Redes Heterogéneas .....	41
Figura 2.16: Líneas activas por tipo de servicio .....	44
Figura 2.17: Líneas SMA por tecnología.....	45
Figura 2.18: Reporte comparativo de velocidades LTE por países .....	46
Figura 2.19: Disponibilidad y velocidad 4g.....	46

### Capítulo 3

Figura 3.1: Parroquia Urbanas Chone y Santa Rita .....	48
Figura 3.2: Link Budget en el enlace de Bajada.....	49
Figura 3.3: Link Budget en el enlace de subida .....	50
Figura 3.4: Desvanecimiento por obstáculos .....	50
Figura 3.5: Interferencias inter-celdas.....	52
Figura 3.6: Pérdidas por penetración de materiales.....	52
Figura 3.7: Geometría de las redes celulares .....	55
Figura 3.8: Selección de área de cobertura Urbana.....	56
Figura 3.9: Celdas Sectorizadas .....	57

## Capítulo 4

Figura 4.1: Datos Geográficos .....	59
Figura 4.2: Edición de plantilla de acuerdo parámetros escogidos.....	59
Figura 4.3: Configuración de parámetros de potencia y elección de banda de frecuencia .....	60
Figura 4.4: Sectorización y establecimiento de estaciones base en Atoll.....	61
Figura 4.5: Cobertura por nivel de señal .....	62
Figura 4.6: Histograma Mejor nivel de señal .....	62
Figura 4.7: Nivel de señal Estación Base Parque Sucre .....	63
Figura 4.8: Zonas Solapadas.....	64
Figura 4.9: Histograma de zona de solapamiento .....	64
Figura 4.10: Señal efectiva PDSCH .....	65
Figura 4.11: Histograma PDSCH .....	66
Figura 4.12: Relación PDSCH C/N .....	66
Figura 4.13: Histograma PDSCH C/N .....	67
Figura 4.14: Señal efectiva PUSCH & PUCCH .....	68
Figura 4.15: Histograma PUSCH & PUCCH .....	68
Figura 4.16: PUSCH & PUCCH C/N .....	69
Figura 4.17: Histograma PUSCH & PUCCH C/N .....	69
Figura 4.18: Establecimiento de características del usuario.....	70
Figura 4.19: Urbano Chone .....	70
Figura 4.20: Análisis de Calidad de la señal .....	71
Figura 4.21: Histograma de calidad de la señal .....	72
Figura 4.22: Análisis del área de servicio efectiva .....	73
Figura 4.23: Análisis del Throughput efectivo del canal .....	73
Figura 4.24: Análisis del Porcentaje de Throughput.....	74
Figura 4.25: Parroquia rural Canuto.....	75
Figura 4.26: Cobertura por nivel de señal .....	76
Figura 4.27: Histograma cobertura por nivel de señal.....	76

## Índice de Tablas

### Capítulo 2

Tabla 2.1: Entidades de una EPC.....	29
Tabla 2.2: Ancho de banda del canal.....	30
Tabla 2.3: Bandas de frecuencias para la tecnología LTE .....	32
Tabla 2.4: WIMAX vs LTE.....	42

### Capítulo 3

Tabla 3.1: Información básica del cantón Chone .....	47
Tabla 3.2: Desviación estándar de Shadowing y porcentajes de cobertura en la celda .....	51
Tabla 3.3: Link Budget.....	53

### Capítulo 4

Tabla 4.1: Localización de nodos eNB.....	60
Tabla 4.2: Resumen de resultados de la Red LTE Chone-Urbano.....	74
Tabla 4.3: Niveles de señal en Sector parque Sucre .....	77
Tabla 4.4: Niveles de señal en sector rural Canuto.....	77

## **Resumen**

El presente trabajo corresponde a un análisis de red de banda ancha móvil LTE para el cantón Chone ubicado en la provincia de Manabí. Para lo cual se realiza una simulación de un diseño de red LTE en algunas de las parroquias de cantón. El proyecto realizado consta de 5 capítulos con los que se busca obtener resultados precisos en base al estudio de las características y parámetros de las redes LTE para el servicio de banda ancha móvil. Se debe mencionar que el lugar escogido para realizar este estudio aún no cuenta con la tecnología LTE, por lo cual se propone un diseño para las zonas Urbanas formadas por las parroquias de Chone y Santa Rita con celdas de igual magnitud distribuidas en toda el área de interés. Las zonas rurales del cantón a diferencia de las urbanas presentan áreas pobladas muy pequeñas, por lo cual se considera la implementación de una macrocelda. El proyecto realizado consta de 5 capítulos con los que se busca caracterizar, simular y analizar una red LTE para el servicio de banda ancha móvil.

**PALABRAS CLAVES: FRECUENCIA, BW, NODOS, LTE, CELDAS, BS, ENB.**

## **Abstract**

The present work corresponds to an analysis of LTE mobile broadband network for the Chone canton located in the province of Manabí. For which a simulation of an LTE network design is carried out in some of the parishes of the canton. The project consists of 5 chapters with which it seeks to obtain accurate results based on the study of the characteristics and parameters of LTE networks for the mobile broadband service. It should be mentioned that the place chosen to carry out this study does not yet have LTE technology, so a design is proposed for the urban areas formed by the Chone and Santa Rita parishes with cells of the same size distributed throughout the area. interest. The rural areas of the canton, unlike the urban areas, have very small populated areas, which is why the implementation of a macrocell is considered. The project consists of 5 chapters with which it seeks to characterize, simulate and analyze an LTE network for mobile broadband service.

**KEYWORDS: FREQUENCY, BW, NODES, LTE, CELLS, BS, ENB**

## **CAPÍTULO 1: GENERALIDADES DEL PROYECTO**

### **1.1. Introducción**

Disponer de un teléfono inteligente hoy en día se ha convertido más en una necesidad que en un lujo. En el mercado existen teléfonos móviles de diferentes precios que siendo económicos cumplen con las características necesarias para ser catalogados como teléfonos inteligentes.

Es importante mencionar que la aparición de estos nuevos equipos en el mercado va más allá de un cambio estético en los teléfonos. La inteligencia que se les atribuye a estos equipos no es nada más que la consecuencia de la evolución de las redes móviles de telecomunicaciones que están en constante crecimiento dado el gran número de suscriptores que se suman a utilizar estos servicios. Permitiéndole al usuario aprovechar de una manera eficiente todas las funciones que le brinda su dispositivo móvil.

El servicio de banda ancha móvil se ha convertido en una herramienta muy útil para profesional o para entretenimiento, siendo este servicio más utilizado que el internet fijo que ofrecen otras compañías. En nuestro país se ofertan diferentes planes para este servicio que son adquiridos de acuerdo con las necesidades de cada usuario.

LTE es una tecnología de banda ancha que tienen como principal característica ser todo IP. Esto último hace referencia al envío de paquetes de datos a través de internet. Hablar de mejoras en el servicio de voz y datos gracias a la implementación de estas redes es una manera global si nos referimos a las mejoras que nos proporciona la aparición de nuevas redes, dado que estos dos servicios abarcan muchas cosas. Entre las principales podemos mencionar que nos proporciona internet a una mayor velocidad, baja latencia, etc.

La implementación de redes de cuarta generación cada vez va abriendo más paso, de manera que más personas puedan acceder a los beneficios antes mencionados. Para que esto se pueda llevar a cabo es necesario un

análisis de las redes en los lugares a los cuales se quiere llegar, teniendo en cuenta una serie factores como por ejemplo: cobertura, capacidad y calidad para un buen diseño.

En el Ecuador y en muchos otros países la tecnología 4G LTE se ha venido promocionando desde ya hace unos años, sin embargo, se ha hecho uso de una campaña de marketing engañosa en la que se ofrece un servicio que no cumple con todas las características necesarias para ser catalogado dentro de lo que determina el estándar.

El estudio de las características de estas redes es importante para poder mejorar el servicio por el que hoy en día pagamos los usuarios a las operadoras móviles.

## **1.2. Antecedentes**

En el Ecuador el servicio de telefonía LTE varía mucho con respecto a las velocidades y a la disponibilidad con la que cuenta en otros países. Actualmente se dispone de aplicaciones móviles como es el caso del GPS que hoy en día se le da gran utilidad, la contratación de servicios de taxi que da a los usuarios la facilidad de pagos con tarjetas de crédito y otras más de entretenimiento; las cuales requieren una gran demanda de datos a una gran velocidad.

En nuestro país contamos con tres operadoras que brindan este servicio a las ciudades más grandes del país y muchas otras ciudades aun no cuentan con las redes para ofertar el LTE o el servicio que se ofrece deja mucho que desear.

## **1.3. Planteamiento del problema**

La gran demanda de datos que existe en la actualidad a nivel mundial por parte de la generación actual de personas y las que vendrán es una de las razones por las cual las tecnologías han evolucionado, de manera que se pueda satisfacer dicha demanda y por ende proveer un mejor servicio. Una gran parte de la población ecuatoriana en la actualidad cuenta con un

Smartphone y Chone que se encuentra en la provincia de Manabí no es la excepción. Sin embargo, dicha ciudad aún no cuenta con una red LTE. Por consiguiente: ¿Cómo afecta la falta de una red LTE que proporcione el servicio de banda ancha móvil en los sectores urbanos y rurales del cantón Chone?

#### **1.4. Justificación del problema**

El uso que hoy en día se le da a un terminal móvil es muy variado. Este uso puede ir desde una persona que utiliza su correo u otra aplicación para el envío de información referente a su trabajo o una persona que crea contenido multimedia y utiliza las redes sociales como medio publicitario.

Desplegar redes que nos permitan alcanzar velocidades más rápidas en el país podría ser la base para que en un futuro se puedan ofertar otros tipos de servicios basados en IP. Un software para planificación de redes es una muy buena herramienta para el estudio del comportamiento del canal de radio. Su uso en estudios universitarios podría ayudar a los estudiantes a hacer un mejor análisis de los tipos de redes existentes.

#### **1.5. Objetivos**

##### **1.5.1. Objetivo general**

Analizar la cobertura de una red de banda Ancha móvil LTE mediante el software de planificación de redes Atoll, Globbal Mapper y Google Earth para ambientes urbanos y rurales del cantón Chone.

##### **1.5.2. Objetivos específicos**

1. Detallar los diferentes parámetros que caracterizan a las redes LTE y analizar su Arquitectura.
2. Analizar resultados obtenidos en simulaciones de nivel de señal y calidad de señal para una Red LTE para sectores urbanos del cantón Chone y mostrar sus principales fortalezas.
3. Analizar resultados obtenidos en simulaciones de nivel de señal para una Red LTE para el sector rural del cantón Chone.
4. Comparar los resultados obtenidos en las simulaciones por nivel de señal en los ambientes urbanos y rurales del cantón Chone.

## **1.6. Hipótesis**

Mediante el uso del software Atoll se realizará la simulación de un modelo de red para brindar cobertura en zonas urbanas y rurales del cantón Chone, donde podremos analizar y evaluar los resultados obtenidos y consecuentemente determinar si el modelo propuesto es funcional.

## **1.7. Metodología de investigación**

El presente trabajo considera una investigación de tipo descriptiva, analítica y empírica: Descriptiva por que se realiza una caracterización de una red LTE en base al estudio de parámetros que garantizan el funcionamiento de las mismas, posteriormente se ha considerado de tipo analítica, tomando en cuenta que se procede analizar y evaluar los resultados obtenidos en las simulaciones realizadas y finalmente se establece como empírica por qué se hace la utilización de un software que mediante una simulación de cobertura nos permite conocer el comportamiento de la señal en los entornos urbanos y rurales del cantón Chone.

## **CAPÍTULO 2: ESTADO DEL ARTE**

### **2.1. Banda ancha móvil**

El servicio de banda ancha móvil se describe como el acceso a internet de alta velocidad por medio de cualquier dispositivo que permitan al usuario desplazarse de un lugar a otro. Este servicio se ofrece a través de las redes de telefonía móvil (2G, 2,5G, 3G y 4G). Las cuales han evolucionado permitiendo a los dispositivos móviles utilizar otros servicios además de voz, como lo son datos, mensajes, entre otros.

El servicio de internet móvil de banda ancha se mide de acuerdo con la cantidad de datos transmitidos, ya sean en kilobytes (KB), megabytes (MB) o gigabytes (GB), y no a la velocidad de recepción (kilobits), como en las conexiones fijas. Saber las equivalencias de las diferentes unidades de medida utilizadas en internet móvil te permitirá conocer el tamaño de los archivos o la cantidad de datos incluidos en los diferentes planes que se ofrecen en el mercado. (Procuraduría Federal del Consumidor, 2011)

La gran demanda de la banda ancha móvil se encuentra relacionada con la aparición de nuevos celulares, tablets y demás dispositivos móviles, que hoy en día le permiten al usuario hacer uso de aplicaciones en cualquier lugar. Estas aplicaciones pueden ser: educativas, comunicativas, de entretenimiento, entre otras.

### **2.2. Conceptos básicos de la telefonía móvil**

#### **2.2.1. Celda**

Un sistema celular consiste en una región o área geográfica dividida en distintas celdas o células como se muestra en la figura 2.1. Una celda o célula representa un área de cobertura establecida. Generalmente las celdas son representadas con hexágonos. Las estaciones base pueden ser situadas en

el centro de la celda o en la intersección de las celdas de manera que esta pueda dar servicio a una porción de cada una de ellas.

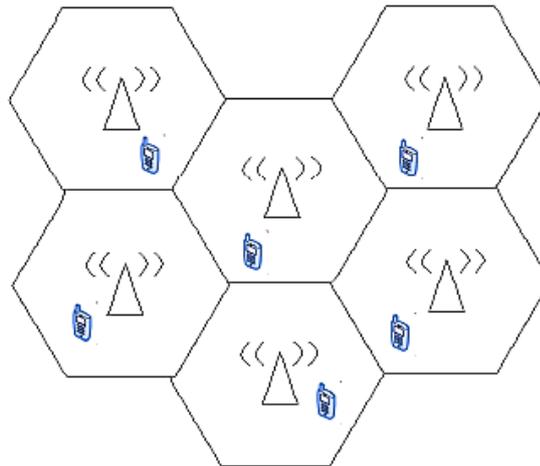


Figura 2.1: Esquema general de una red celular  
Fuente: (Salazar, 2014)

Las operadoras de telecomunicaciones tienen asignadas una cierta cantidad de bandas de frecuencia de tal manera que el espectro debe ser aprovechado de la mejor manera posible.

El tamaño de una celda varía con respecto a los diferentes criterios o normas de diseño y según su magnitud se las puede clasificar en: macrocelda, microcelda o picocelda como se puede observar en la figura 2.2. Al conjunto de celdas se las conoce como clúster, teniendo así un grupo de diferentes canales permitiendo tener una reutilización de frecuencia entre celdas que no sean adyacentes.

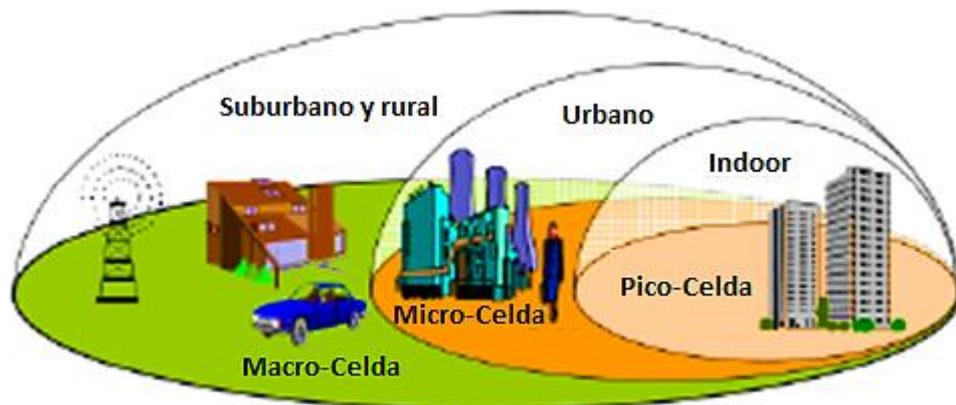


Figura 2.2: Clasificación de las células de acuerdo con el área de cobertura  
Fuente: (Wong, 2011)

### **2.2.2. Estación base**

Las Estaciones Base (BTS), conforma una infraestructura diseñada para comunicar a las estaciones móviles. La comunicación entre la radio base y la estación móvil se conoce como enlace de bajada y a la que se realiza entre el móvil y la estación base se conoce como enlace de subida. Las BTS pueden estar conformadas por una o más antenas brindando cobertura a diferentes sectores, dando lugar a lo que se conoce como celda anteriormente mencionadas.

### **2.3. Historia de las generaciones de las comunicaciones móviles**

El incremento exponencial en el número de usuarios móviles como causa de las necesidades de las personas ha dado lugar a la evolución de las tecnologías que permiten el funcionamiento de las comunicaciones inalámbricas. Estas evoluciones se han categorizado en generaciones tecnológicas.

#### **2.3.1. Primera Generación (1G)**

Aparece a inicios de los años 80, sus sistemas se caracterizaban por ser análogos y ofrecer solo el servicio de voz. Una llamada de voz era modulada a una alta frecuencia y transmitida entre dos torres de radio, para esto se utilizaba una técnica llamada FDMA (Frequency Division Multiple Access). Los dispositivos móviles eran de tamaños grandes y se tenía poca eficiencia espectral.

En la primera Generación se usaron diferentes estándares dependiendo la ubicación geográfica entre los más relevantes AMPS (Advance Mobile Phone System) desarrollado en Estados Unidos y TACS (Total Access Communication System) que era una versión europea.

#### **2.3.2. Segunda Generación (2G)**

Su aparición data a partir de 1991 basadas en el estándar GSM y la entrega de datos a una velocidad de 9,6Kbps. Las comunicaciones empiezan a ser digitales, lo que permitía una mejor eficiencia del espectro. En los sistemas de segunda generación pueden ser clasificadas por las técnicas de

múltiple acceso FDMA, TDMA (Time Division Multiple Access) y CDMA (Code Division Multiple Access).

Para lograr una mayor velocidad en la transmisión de datos, GSM desarrollo un servicio llamado GPRS (General Packet Radio Service) 2.5G y puede proveer velocidades de hasta 114 Kbps. Posteriormente la aparición de EDGE (Enhanced Data rates for Global Evolution) 2,75G que es una versión extendida de GSM que permite alcanzar transmisiones más claras y rápidas de datos e información. La generación 2.5G se puede definir como el inicio de los servicios multimedia y streaming en los teléfonos móviles.

### **2.3.3. Tercera Generación (3G)**

Esta generación está basada en las normas de la ITU (International Telecommunication Union) de acuerdo con las especificaciones de la IMT-2000. Entre las tecnologías más importantes esta la UMTS (Universal Mobile Telecommunication System) que permite el roaming global, es decir el acceso a internet desde cualquier parte donde se disponga de cobertura de red.

Entre las características más importan de los avances tecnológicos presentados en esta generación están: la facilidad de desarrollo de entornos multimedia para la transmisión de video e imágenes en tiempo real, fomentando la aparición de nuevas aplicaciones y servicios tales como video conferencias, monitoreo de video o comercio electrónico. En esta generación se reemplaza TDMA por WCDMA. (Bermeo, 2014)

La tecnología HSPA es considerado como la fusión de dos protocolos de tecnología móvil, HSDPA (High Speed Downlink Packet Access) y HSUPA (High Speed Uplink Packet Access). De acuerdo con 3GPP, la siguiente etapa de esta tecnología es HSPA+ y se considera el paso previo a la generación 4G. (Meza & Santin, 2014)

### 2.3.4. Cuarta Generación (4G)

4G es el nombre con el que se conoce a las redes de cuarta generación. Su característica principal es ser todo IP. Es considerada como un conjunto de tecnologías y estándares de tal manera que se tenga un alto rendimiento de la red a un menor costo. En comparación con las tecnologías anteriores 4G busca mejorar la experiencia del usuario integrando las tecnologías ya existentes.

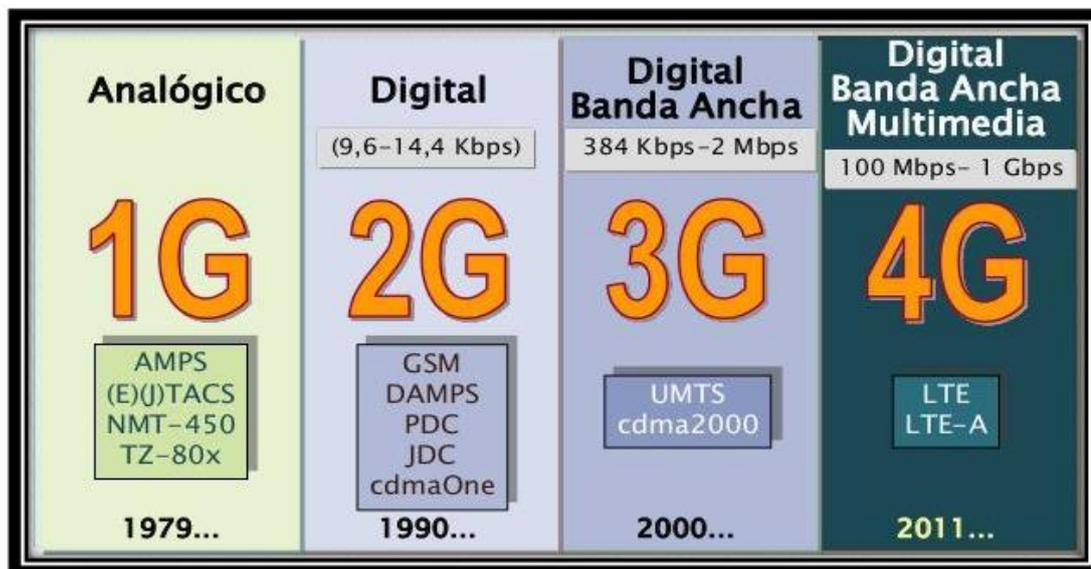


Figura 2.3: Evolución de los sistemas móviles celulares  
Fuente: (Medioroz & Rendon, 2014)

En la figura 2.3 se muestra la evolución de los sistemas celular donde se especifica las tecnologías involucradas para cada generación y las velocidades que las caracterizan. La cuarta generación garantiza velocidades de hasta 1Gbps.

### 2.4. Introducción a LTE

LTE (Long Term Evolution) es un estándar de comunicaciones móviles desarrolladas por el organismo 3GPP (3rd Generation Partnership Project) y fue desarrollada a partir de HSPA. Ha evolucionado desde sus predecesores, como GSM, GPRS, EDGE, WCDMA, HSPA, para alcanzar velocidades de datos elevadas, baja latencia con una arquitectura de red totalmente IP en lugar de un modelo de conmutación de circuitos como en tecnologías anteriores.

La aparición de estas redes dio lugar a la aparición de las especificaciones EPC y la forma de acceso de radio EUTRAN. Están orientadas a datos y basadas en una arquitectura por conmutación de paquetes.

## **2.5. Características de LTE**

Las especificaciones o requerimientos para el estándar LTE han sido desarrolladas por 3GPP (3rd Generation Partnership Project) las cuales fueron publicadas en Release 8, con mejoras menores a las publicadas en el Release 6 en el año 2005. En los cuales se especifican lo siguiente: (Salazar, 2014)

- Tasa de datos pico de 100Mbps (downlink) y de 50Mbps (uplink).
- Mejor eficiencia espectral en comparación a tecnologías anteriores, esto se debe que utiliza modulación 64 QAM entre otras técnicas que la complementan como es el caso de MIMO.
- Latencia de red de acceso de radio inferior a 10 ms
- Ancho de banda escalable hasta los 20 MHz.
- LTE puede operar junto con tecnologías anteriores.

Como otros objetivos importantes del estándar LTE podemos indicar: reducción de costos, mejora de los servicios e integración con estándares abiertos (PLT, Gln entre otros); sumado a la necesidad de los clientes por probar aquellas potencialidades tecnológicas. (Bermeo, 2014)

## **2.6. Arquitectura de una red LTE**

En la figura 2.4 se muestra un sistema dividido en cuatro elementos: UE (Equipo móvil), la red de Acceso denominada E-UTRAN (Evolved UMTS Terrestrial Radio Access Network), la red troncal EPC (Evolved Packet Core) y el dominio de servicios.

A diferencias de las tecnologías anteriores en las que se utilizan dos redes de núcleos simultáneas para voz y datos, la arquitectura de una red LTE

al ser todo IP se presenta de una forma más simplificada y la implementación de interfaz aire red de radio y núcleo.

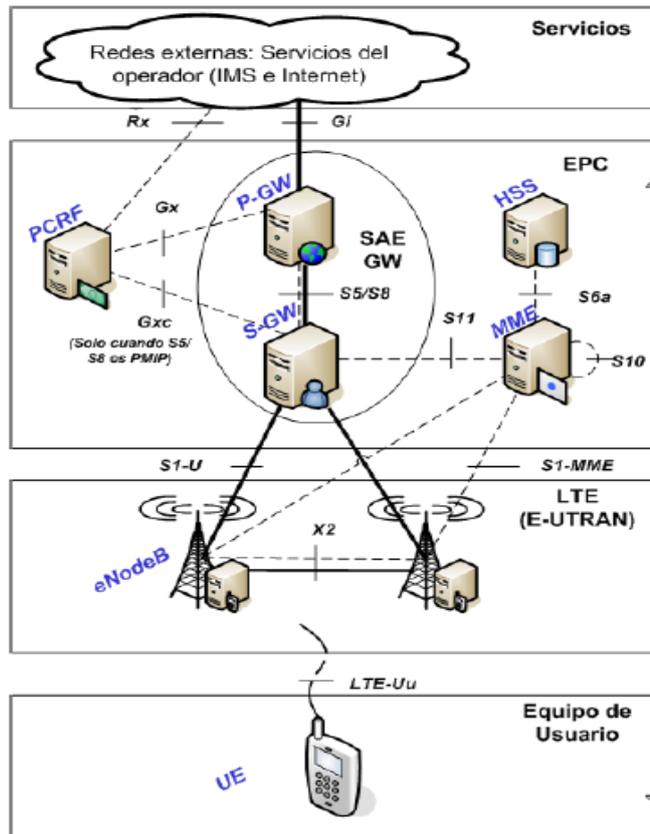


Figura 2.4: Arquitectura de una Red LTE  
Fuente: (Bermeo, 2014)

### 2.6.1. Equipo Usuario

El equipo de usuario (UE) es el equipo que nos permite tener acceso a la red. Este equipo está conformado de 3 partes:

- Terminal Móvil (MT)
- Equipo Terminal (TE)
- Tarjeta Sim (UICC)

La arquitectura para un equipo terminal presentada en la figura 2.5 es igual a la que utiliza GSM y UMTS. El terminal Móvil y el equipo terminal se encargan de las funciones de comunicación y UICC que también es conocido como SIM card se encarga de identificar al usuario en la red y de proveer funciones de seguridad, como por ejemplo encriptar la información.

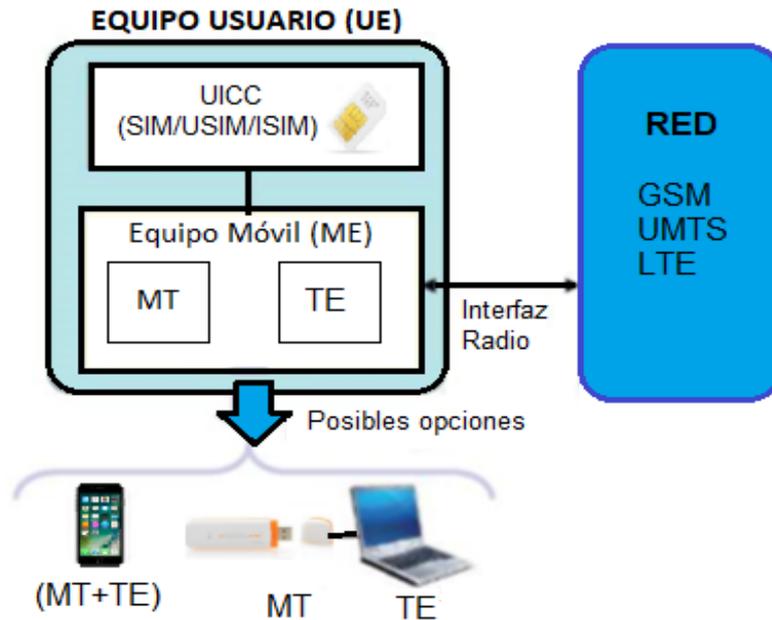


Figura 2.5: Equipo de usuario  
 Fuente: (Manosalvas & Santamaria, 2012)  
 Elaborado por: Autor

### 2.6.2. Red de acceso

E-UTRAN es el nombre con el que se conoce a la Red de acceso para la tecnología LTE. Es la encargada de comunicarse con los dispositivos móviles que quieran acceder a la red. En la figura 2.4 se puede observar los eNodeB (Nodos evolucionados) o estación base que forman la red de acceso y a su se distinguen tres tipos de interfaces diferentes de acuerdo con la conexión establecida.

La interfaz Uu o interfaz aire basada en OFDMA en DL y SC-FDMA en UL permite transferir información desde el eNB hasta el UE por medio del canal de radio, esta información ayuda a los terminales aprender sobre la red y ser capaces de acceder y registrarse. El proceso de transferencia de paquetes entre el eNB y el UE se lo conoce como Radio Bearer (RB). (Logroño, 2014)

La comunicación entre eNBs se realiza por medio de la interfaz X2, permitiendo administración de la movilidad de los usuarios, configuración y medición de parámetros de la señal de radio para la toma de decisiones y

determinación de la nueva celda en el proceso de handover. Mientras que la S1 permite la comunicación de los eNBs hacia la EPC. (Logroño, 2014)

### 2.6.3. Red Troncal

EPC es el nombre que recibe la red troncal en LTE. En la Figura 2.4 mostrada anteriormente, se presentó la estructura de una Red troncal en LTE. EPC se encargará de integrar redes y de la autenticación, las funciones asignadas no se relacionan con la interfaz de radio. Las entidades EPC se muestran a continuación en la tabla 2.1.

Tabla 2.1: Entidades de una EPC

MME (Mobility Management Equipment)	Se conecta con el terminal móvil por medio del eNodeB. Funciona tanto en el plano de control y en el establecimiento de sesiones. Realiza funciones de señalización y autenticación del usuario.
S-GW (Serving Gateway)	Es el Punto de comunicación entre la E-UTRAN y las EPC. Almacena información de movilidad local cuando un usuario transita entre varios eNodeB.
HSS (Home Subscriber Server)	Base de datos de usuarios suscritos a la red.
P-GW (PDN Gateway)	Punto de conexión con redes externas y asignación de una dirección IP al equipo usuario.
PCRF	Autorización de QoS y facturación basada en flujo de datos

Fuente: (Wong, 2011)

### 2.7. Ancho de banda del canal

LTE opera con anchos de banda flexibles que comprenden desde (1.4 MHz hasta 20 MHz), donde la elección del mismo dependerá de las

velocidades a las que se quiera alcanzar y determinara los requisitos para la cobertura. El ancho de banda del canal está asociado a un número de bloque de recursos existente definidos en la tabla 2.2. LTE soporta las técnicas FDD y TDD, las cuales funcionan en cualquiera de los anchos de banda antes mencionados.

En el downlink se posee una subportadora nula ubicada en el centro, que no lleva información, lo cual significa que esta tendrá 15 KHz adicionales con respecto a las de uplink. El total del ancho de banda ocupada por las subportadoras es menor al del ancho de banda del canal, esto es para proveer lo restante como banda de guarda. (Salazar, 2014)

Tabla 2.2: Ancho de banda del canal

ANCHO DE BANDA (MHz)	1,4	3	5	10	15	20
NRB	6	15	25	50	75	100

Fuente: (Anritsu Company, 2009)

En la tabla 2.2 se puede apreciar que para diferentes anchos de banda se tiene un diferente número de bloque de recursos. Los cuales son utilizados para aprovechar el ancho de banda de una manera más eficiente.

## 2.8. Bloques de recursos

Hace referencia a la división en plano tiempo – frecuencia se divide en una unidad mínima de asignación de recursos. En la figura 2.6 se presenta un Bloque de recursos (RB), el cual puede estar formado por 6 o 7 símbolos en el dominio del tiempo y 12 subportadoras en el dominio de la frecuencia. En LTE las soportadoras presentan un espaciamiento de 15KHz. El Ancho de banda en LTE es proporcional al número de bloques de recursos utilizados, de manera que se si el ancho de banda aumenta los bloques de recursos lo harán de igual manera. El ancho de banda máximo ocupado es el producto del número de recursos de bloque por 180 KHz. (Anritsu Company, 2009)

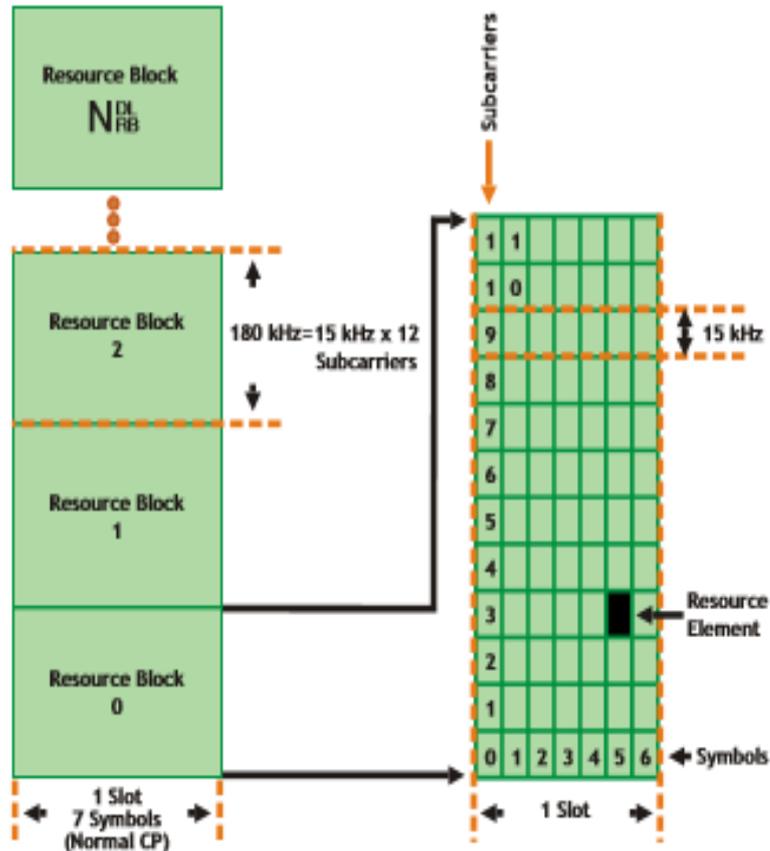


Figura 2.6: Relación entre ranura símbolo y bloque de recursos  
Fuente: (Anritsu Company, 2009)

El prefijo cíclico corresponde a una banda guardada que se encarga de crear una copia de la información hasta el final de cada símbolo de esta manera se evitan interferencias.

## 2.9. Bandas de operación

Las bandas de operaciones consisten en intervalos de frecuencias asignados para las comunicaciones radioeléctricas. En la Tabla 2.3 se encuentran las diferentes bandas de frecuencia para la tecnología LTE para enlaces de subida y bajada. Como se puede ver a continuación se admite las técnicas TDD y FDD.

El uso de estas diferentes bandas de Frecuencia está regulado dependiendo de cada país. En el Ecuador la institución que se encarga del control y regulación de las mismas se llama Arcotel.

Tabla 2.3: Bandas de frecuencias para la tecnología LTE

<b>BANDA</b>	<b>RANGO ENLACE ASCENDENTE (MHz)</b>	<b>RANGO ENLACE DESCENDENTE (MHz)</b>	<b>MODULO DUPLEX</b>
1	1920-1980	2110-2170	FDD
2	1850-1910	1930-1990	FDD
3	1710-1785	1805-1880	FDD
4	1710-1755	2110-2155	FDD
5	824-849	869-894	FDD
6	830-840	875-885	FDD
7	2500-2570	2620-2690	FDD
8	880-915	925-960	FDD
9	1749.9-1784.9	1844.9-1879.9	FDD
10	1710-1770	2110-2170	FDD
11	1427.9-1452.9	1475.9-1500.9	FDD
12	698-716	728-746	FDD
13	777-787	746-756	FDD
14	788-798	758-768	FDD
17	704-716	734-746	FDD
18	815-830	869-875	FDD
19	830-845	875-890	FDD
20	832-862	791-821	FDD
21	1447.9-1462.9	1495.9-1510.9	FDD
33	1900-1920		FDD
34	2010-2025		FDD
35	1850-1910		TDD
36	1930-1990		TDD
37	1910-1930		TDD
38	2570-2620		TDD
39	1880-1920		TDD
40	2300-2400		TDD
41	2496-2690		TDD

Fuente: (Logroño, 2014)

## 2.10. Capa física LTE

### 2.10.1. Interfaz aérea enlace ascendente y descendente

Existen algunas maneras de transmitir sobre una banda de frecuencia y compartir recursos entre dispositivos, en el caso de LTE las técnicas de acceso múltiple utilizadas son OFDMA (Acceso múltiple por división de frecuencia ortogonal) y SC-FDMA (Acceso múltiple por división de frecuencia de portadora única). Estas tecnologías están basadas en OFDM (Multiplexación por división de frecuencia ortogonal) envía datos en dos

dimensiones que son tiempo y Frecuencia (Subportadoras). En OFDM consiste dividir el ancho de banda de la portadora en pequeñas subportadoras espaciadas 15Khz y moduladas cada una de manera individual.

OFDMA es utilizada para el enlace de bajada. OFDMA utiliza a OFDM para dividir las portadoras del ancho de banda de frecuencia en subportadoras como se observa en la figura 2.7 y luego modula cada subportadora (QPSK, 16QAM o 64QAM). Esta técnica asigna a cada usuario el ancho de banda necesario para su transmisión. (Anritsu Company, 2009)

Entre las ventajas que proporciona OFDMA resaltan las siguientes: mejores velocidades de transmisión y manejo de banda debido a la asignación de subportadoras a los usuarios, una menor inter simbólica y mayor robustez frente a la propagación de multitrayecto. (Logroño, 2014)

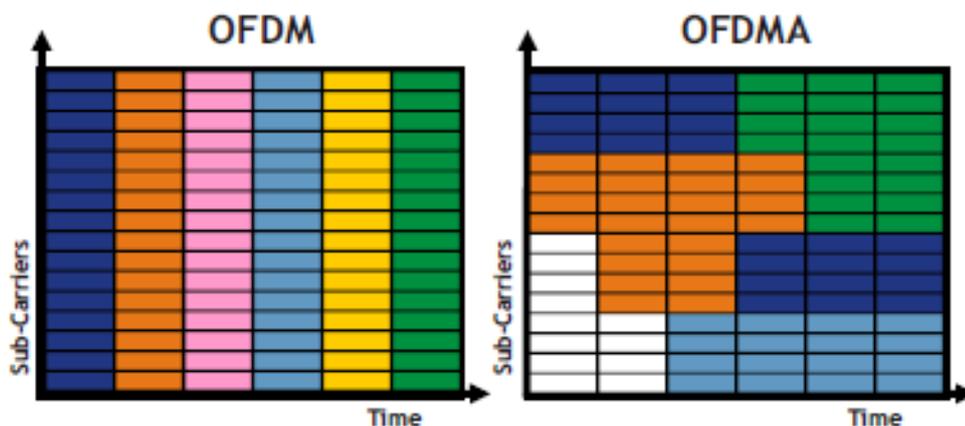


Figura 2.7: OFDM VS OFDMA  
Fuente: (Anritsu Company, 2009)

SC-FDMA es utilizada en el enlace de ascendente. SC-FDMA tiene una menor relación PAPR (Peak-to-Average Power Ratio) que OFDMA, lo cual permite un ahorro de batería en los dispositivos móviles. Esta técnica transmite información en varias sub portadora a diferencia de OFDMA que transmite información en cada sub portadora. Como se puede observar en la figura 2.8 (Anritsu Company, 2009)

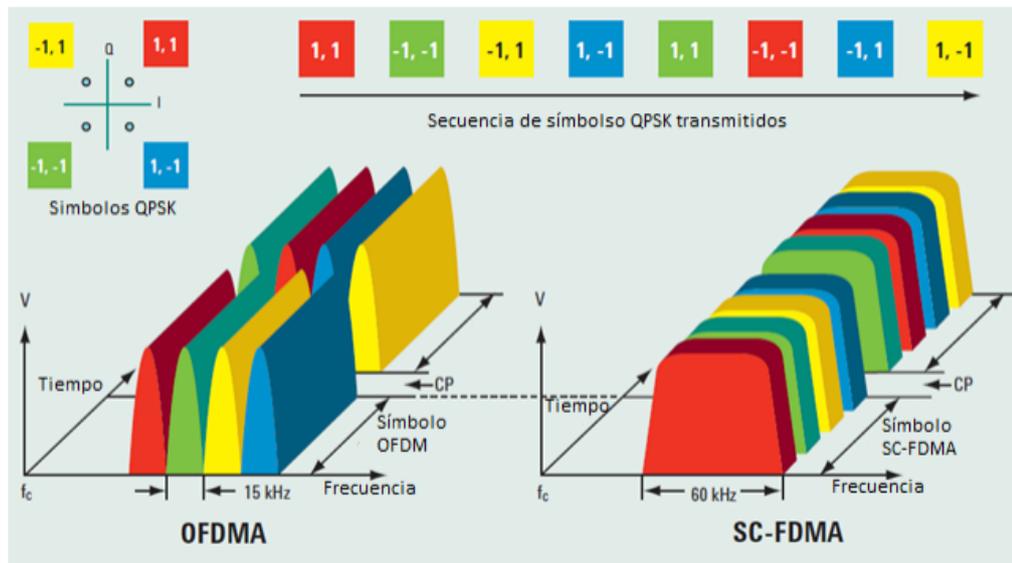


Figura 2.8: Representación de OFDMA y SC-FDMA  
Fuente: (Gómez, 2013)

### 2.10.2. Técnicas de Duplexado FDD y TDD

Duplexado es el proceso de dividir en dos caminos un canal de comunicación esta división puede ser: Half dúplex cuando la comunicación es en un solo sentido o Full dúplex cuando la comunicación es en ambos sentidos, esto quiere decir las dos partes pueden interactuar libremente.

FDD (Frequency Division Duplex): es un método para establecer una comunicación Full dúplex dos diferentes portadoras de frecuencia para transmitir en el enlace de subida y recibir en el enlace de bajada. Ambos canales están separados por una frecuencia establecida llamada “banda guarda” cuya función es evitar la interferencia entre el enlace de subida y el enlace de bajada, tal como se muestra en la figura 2.9.

TDD (Time Division Duplex): El enlace de subida y el enlace de bajada se da en la misma frecuencia utilizando intervalos de tiempo sincronizados. Entre los intervalos de tiempo existe un periodo de guarda de tal manera que la señal transmitida por la estación base pueda llegar al usuario antes que este empiece a transmitir, tal como se muestra en la figura 2.9.

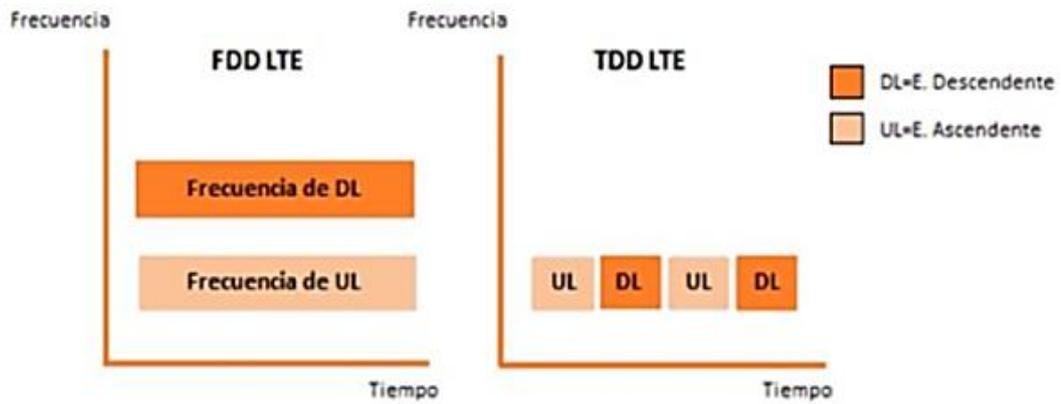


Figura 2.9: Método FDD y TDD  
Fuente: (Bermeo, 2014)

La elección de cualquiera de las dos técnicas recae sobre las operadoras móviles, indiferente de los teléfonos móviles modernos teniendo en cuenta que LTE es compatible con cualquiera de los dos.

FDD es el más usado, teniendo en cuenta que presenta mejores características en cuanto a latencia, eficiencia espectral y hace uso de un perdió de guarda más corto. TDD por el contrario presenta menores costos con respecto a equipos y es un poco más complejo en lo que respecta a la capa MAC.

### 2.10.3. Estructura de la trama

En la estructura LTE se distinguen dos tipos de tramas dependiendo el modo de duplexion:

El tipo de trama 1(FDD) se utiliza en enlaces half dúplex y full dúplex. Como se puede observar en la figura 2.10 una trama de 10ms, la cual a su vez se divide en 10 subtramas divididas en 2 slots de tiempo con una duración de 0.5ms. Los usuarios se ubican en determinadas subportadoras, siguiendo la estructura de un bloque de recursos físicos (PRB), por un intervalo de tiempo preestablecido que se determina de forma dinámica por el gestor de recursos radio (scheduler). La mínima granularidad temporal en la asignación de recursos es de 1 ms, es decir una subtrama. (Gómez, 2013)

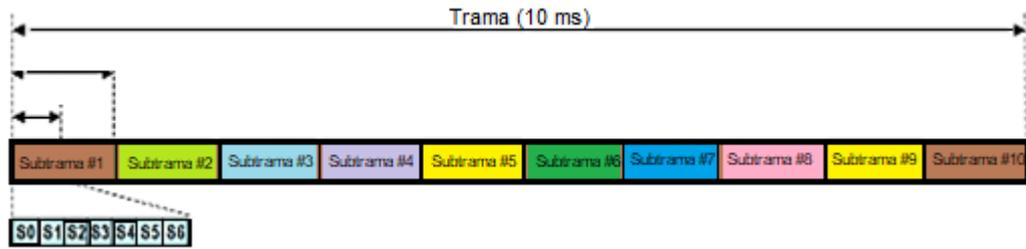


Figura 2.10: Estructura de trama tipo 1  
Fuente: (Gómez, 2013)

En el tipo de trama 2 (TDD) mostrado en la figura 2.11, el eje temporal se divide en tramas de 10 ms. Cada trama a su vez está compuesta por 10 subtramas, cada una de duración 1 ms. Es una estructura de trama mucho más flexible que la FDD en tanto que contiene subtramas de transmisión tanto para el enlace descendente (DL) como ascendente (UL) así como subtramas especiales que contienen los símbolos piloto de los enlaces ascendente y descendente y periodos de guarda entre transmisión y recepción. Esta subtrama especial aparece para facilitar la transición entre los enlaces descendente y ascendente por razones de sincronización, aunque el sistema esté correctamente sincronizado temporalmente, en lo que respecta al enlace ascendente sus transmisiones siempre pueden sufrir de una pequeña incertidumbre temporal que obliga a mantener un mínimo tiempo de guarda. (Gómez, 2013)

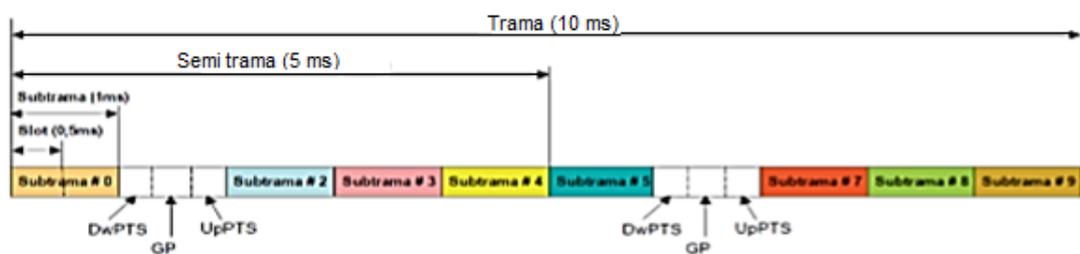


Figura 2.11: Estructura de trama tipo 2  
Fuente: (Gómez, 2013)

En la figura 2.11 se muestran 3 campos: DwPTS para una señal de sincronización primaria, UpPTS para la transmisión de un preámbulo corto de acceso aleatorio y GP que es un periodo de guarda.

#### 2.10.4. Señales y Canales Físicos

Las señales físicas son utilizadas en el enlace descendente para la demodulación de las señales OFDMA. Las Señales de referencia tienen la función de medir la calidad del enlace y búsqueda de celda y las Señales de sincronización cumplen funciones de sincronización temporal, existen de dos tipos:

- P-SCH (Primary SCH) que permite la sincronización temporal a nivel de subtrama, mediante procedimientos de correlación entre la señal recibida y una secuencia de referencia almacenada en el receptor. (Comes, Alvarez, Ferre, Perez, & Sallent, 2010)
- S-SCH (Secondary SCH) que posibilita la sincronización temporal a nivel de trama, utilizando la misma metodología de correlación temporal. (Comes, Alvarez, Ferre, Perez, & Sallent, 2010)

La función de los canales físicos es permitir el tráfico en los canales ascendentes y descendentes. En LTE se existen canales de tráfico y canales de control. Los canales de tráfico utilizados en el enlace descendente son:

- PDSCH (Physical Downlink Shared Channel): Es el canal físico principal que lleva los datos del Usuario, y mensajes de señalización. Al no ser un canal dedicado, este es asignado solo al usuario que necesite recibir información. Utiliza las modulaciones QPSK, 16 QAM y 64 QAM. (Logroño, 2014)
- PMCH (Physical Multicast Channel): Maneja un perfil cíclico extendido por lo que el usuario móvil recibe información de múltiples eNBs. (Comes, Alvarez, Ferre, Perez, & Sallent, 2010)

Los canales de control utilizados en el enlace descendente son:

- PBCH (Physical Broadcast Channel): Transporta información básica de la red y señalización de control. Usa modulación QPSK. (Wong, 2011)
- PDCCH (Physical Downlink Control Channel): Transporta información de control a los Equipo usuario. (Logroño, 2014)

- PCFICH (Physical Control Format Indicator Channel): Informa al Equipo usuario el número de símbolos utilizados para transmitir. (Comes, Alvarez, Ferre, Perez, & Sallent, 2010)
- PHICH (Physical Hybrid ARQ Indicator Channel): Envió de mensajes de confirmación de la recepción de mensajes y luego recibe el mensaje.

Para la comunicación desde el equipo usuario hasta el eNBs se realiza mediante el PUSCH (Physical Uplink Shared Channel), que se emplea para transmitir información del usuario a equipos usuario y de control que proviene de las capas superiores. (Logroño, 2014)

Los canales de control utilizados en el enlace ascendente son:

- PUCCH (Physical Uplink Control Channel) es un canal de control utilizado para realizar peticiones de recursos, y para transmitir información sobre la calidad del canal (CQI). (Logroño, 2014)
- PRACH (Physical Random Access Channel): Lleva la información de preámbulo del acceso aleatorio, que consiste en las longitudes del CP y de la secuencia. Estos preámbulos son generados por las secuencias de Zadoff-Chu que reducen el PAPR y el BER. (Wong, 2011)

#### **2.10.5. Esquema de codificación y modulación**

La modulación consiste en un proceso para preparar la señal para ser transmitida. En LTE tenemos presentes 3 tipos diferentes de modulación: QPSK (2 bits por símbolo), 16 QAM (4 bits por símbolo) y 64 QAM (6 bits por símbolo) y esta técnica depende de la calidad del enlace. El esquema de modulación empleado depende de la distancia a la estación base y de las condiciones climáticas. Modulaciones más complejas son necesarias cuando el equipo usuario se encuentra a una mayor distancia de la estación base y con malas condiciones en medio donde viaja la señal, como se puede ver en la figura 2.12.

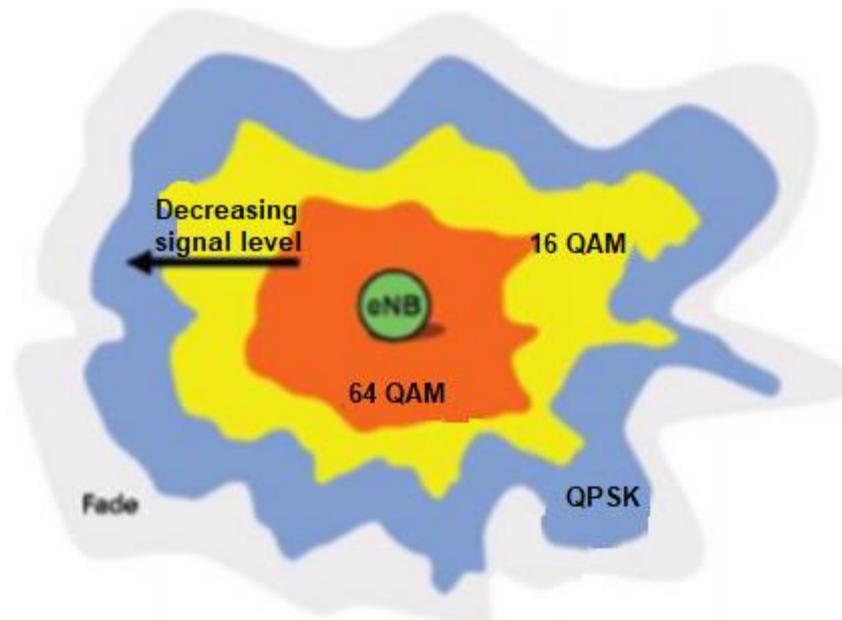


Figura 2.12: Modulación y calidad de señal  
Fuente: (Logroño, 2014)

AMC (Adaptive Modulation and Coding) es una técnica usada para seleccionar la mejor modulación y codificación en las transmisiones. El equipo usuario evalúa las condiciones del enlace y envía un parámetro Channel Quality Indicator (CQI) al Scheduler en el eNB de tal manera que cumpla el parámetro BLER del 10% y el eNB le indica al equipo usuario que modulación debe utilizar. (Logroño, 2014)

### 2.11. Tecnología MIMO

MIMO es una tecnología que se basa en el concepto de la diversidad espacial, que consiste en el uso de antenas separadas y ubicadas en diferentes posiciones para tomar ventaja de las diferentes rutas de radio existentes para evitar obstáculos en el medio. MIMO utiliza el multicamino, creando así una transmisión multidimensional. La tecnología MIMO comprende diferentes técnicas de transmisión para su funcionamiento:

La diversidad espacial proporcionar mayor robustez a los enlaces de radio, aprovechando los enlaces adicionales que normalmente producirían interferencia. La diversidad espacial se consigue aumentando el número de antenas en transmisión, recepción o en ambos lados, para combatir el desvanecimiento. En la diversidad espacial, la Ganancia de diversidad está

definida por: Número de antenas transmisoras = Número de antenas receptoras.

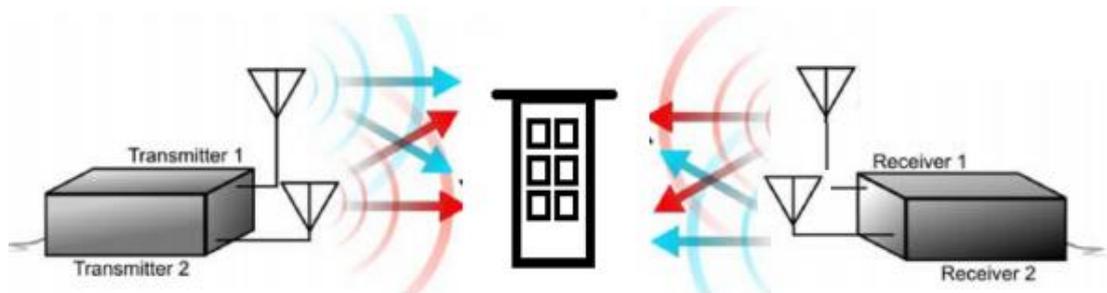


Figura 2.13: Diversidad espacial MIMO 2x2

Fuente: (Anguís, 2008)

Elaborado por: Autor

En la Figura 2.13 se expone una configuración MIMO 2x2 en la cual se aumentó el número de antenas en el transmisor y el receptor. Teniendo así una mayor oportunidad para una entrega de datos adecuada.

La multiplexación espacial proporciona un aumento en la tasa de datos. Esta técnica permite utilizar de una manera eficiente la capacidad del enlace y la eficiencia espectral. Para el uso de esta técnica también es necesario el uso de múltiples antenas. En el que cada antena envía información independiente, aumentando la velocidad de transmisión. El receptor se encarga de ordenar la información, como se muestra en la figura 2.14.

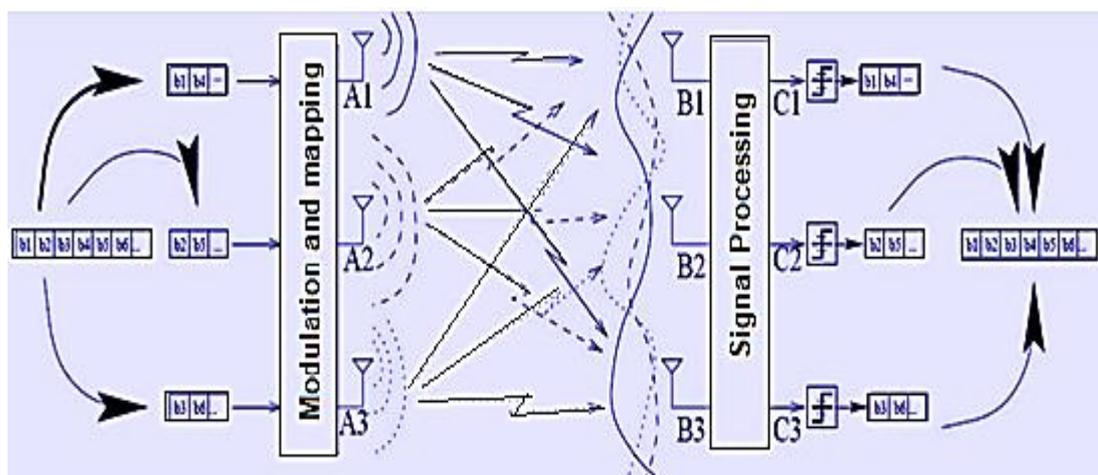


Figura 2.14: Multiplexación espacial

Fuente: (Anguís, 2008)

Si la dispersión de datos no fuese lo suficientemente buena, se crean subcanales asignados en el mismo ancho de banda. De tal manera que la ganancia de multiplexación no requiere de costos adicional de ancho de banda o de potencia.

## 2.12. Redes Heterogéneas

El crecimiento exponencial acerca del uso de las redes móviles es una de las razones por las cuales se busca llegar cada vez a más lugares. Esta es la razón por lo cual se hace uso de nuevas tecnologías y topologías en redes.

Una manera eficiente de mejorar la cobertura es con el uso de redes Heterogéneas, las cuales consiste en que las macro estaciones trabajen en conjunto con pico estaciones como se puede apreciar en la figura 2.15. Las pico estaciones utilizan potencias más bajas eliminando agujeros donde la cobertura no es muy buena. El uso de redes heterogéneas permite un mejor desempeño dado que las pico estaciones bases pueden asistir a las macro estaciones en el enlace ascendente o descendente.

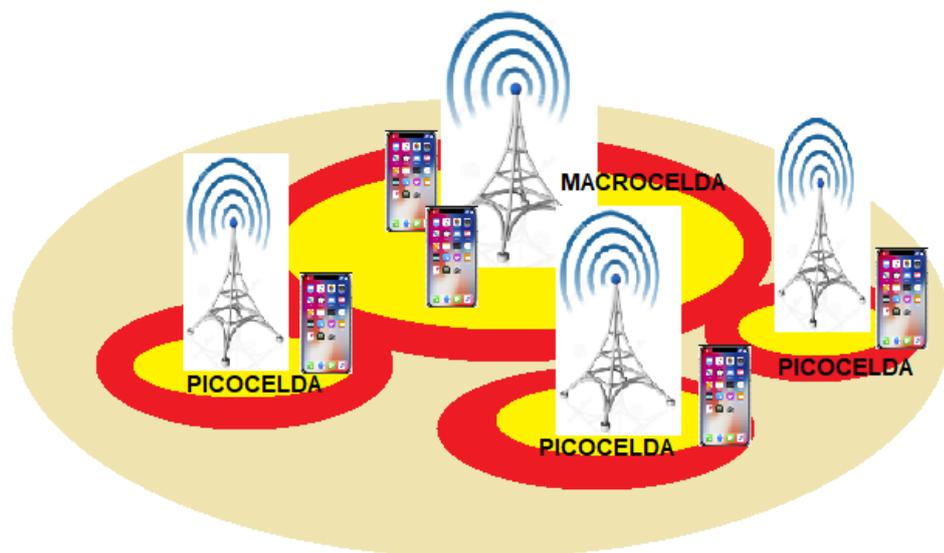


Figura 2.15: Redes Heterogéneas  
Elaborado por: Autor

## 2.13. Interoperabilidad entre LTE con tecnologías 3GPP y otras redes

Una de las características importantes que se ha mencionado anteriormente y por la cual destaca la tecnología LTE, que puede operar con

otras tecnologías. Esto se debe a que el EPC ha sido diseñado para trabajar con otras redes incluso aquellas que no están estandarizadas por 3GPP.

Las redes de telecomunicaciones deben garantizar la calidad del servicio a sus usuarios. La interoperabilidad es necesaria para fomentar una migración final para complementar la red misma. Se puede presentar de las siguientes:

- LTE no ofrezca cobertura en algún área determinada las redes 2G y 3G pueden seguir ofreciendo los servicios de la operadora.
- LTE puede también ser ofrecido como un servicio únicamente de banda ancha móvil y no al servicio de voz, las redes 2G y 3G pueden usarse en conjunto con LTE sin afectar su funcionamiento complementado el servicio antes mencionado.

## 2.14. Otras tecnologías

### 2.14.1. WIMAX vs LTE

WIMAX es el acrónimo para World Wide Interoperability for Microsoft Access y es el nuevo estándar tecnológico IEEE 802.16. Es una tecnología de microondas de radio para internet inalámbrico para proveer servicios a una alta tasa de datos con gran cobertura en áreas determinadas.

WIMAX es una tecnología cuya arquitectura es basada en el protocolo IP y puede operar con otras redes. Se puede utilizar en bandas licenciadas, lo que abarata su costo de implementación.

Tabla 2.4: WIMAX vs LTE

	<b>WIMAX</b>	<b>LTE</b>
<b>VELOCIDADES</b>	75 Mbps	≈ 100 Mbps
<b>COBERTURA</b>	50 Km	100 Km
<b>LATENCIA</b>	50 ms	10 ms
<b>MODULACION</b>	QPSK, 16QAM, 64QAM, 256QAM	QPSK, 16QAM, 64QAM
<b>TECNICA DE ACCESO MULTIPLE</b>	OFDMA	OFDMA/SC-FDMA

Fuente: (Salazar, 2014)

Elaborado por: Autor

En la tabla 2.4 se muestran las fortalezas y debilidades de las redes WIMAX y las redes LTE. Las principales diferencias y semejanzas que presentan son las siguientes:

- LTE presenta mayores velocidades que la tecnología WIMAX.
- WIMAX es una tecnología que puede ser aplicada para distancias más cortas que LTE.
- Las redes WIMAX a diferencia utiliza OFDMA para ambos enlaces.
- Ambas tecnologías proporcionan técnicas que garantizan conexiones seguras.

#### **2.14.2. LTE Advanced, LTE Y 4G**

LTE Advanced es una tecnología que se considera como la siguiente etapa de las redes LTE. Esta tecnología es también conocida como la verdadera tecnología 4G.

LTE Advanced puede alcanzar velocidades de descarga de datos de hasta 3 gigabits por segundo y tasas de carga de hasta 1,5 Gb/s. Esta tecnología también incluye nuevos protocolos de transmisión y nuevos esquemas de múltiples antenas, aparte de mejorar el rendimiento en el borde de las células. Obteniendo así una mayor capacidad de red, conexiones más consistentes y datos más económicos.

El ITU-R estableció estándares para la conectividad 4G en marzo de 2008, en la cual se describieron una serie de requerimientos para poder encajar en el perfil de la tecnología 4G. Entre los principales requerimientos se establecía velocidades de 100 megabits por segundo, y para usos más estacionarios, al menos 1 gigabit por segundo. LTE se denominó la tecnología 4G independientemente de si cumplía con los requisitos que se habían establecido para la tecnología 4G, siendo una técnica de márketing reclamar la conectividad de próxima generación sin tener que llegar primero al número requerido.

## 2.15. Servicio móvil avanzado en el Ecuador

En la figura 2.16 se muestran los porcentajes de líneas activas por tipo de servicio donde según la fuente consultada, la mayor cantidad de líneas correspondía a líneas exclusivamente para servicio de voz, sin embargo, para el mes de abril del 2017 la mayor cantidad de líneas del Servicio Móvil Avanzado corresponden a líneas de voz y datos, cambio que se encuentra influenciado por el uso de teléfonos inteligentes (Smartphone) conectados a la red. (Arcotel, 2017)



Figura 2.16: Líneas activas por tipo de servicio  
Fuente: (Arcotel, 2017)

La figura 2.17 se puede observar la variación que ha tenido el uso de las diferentes tecnologías con el pasar de los años, presentando la tecnología 2G un decrecimiento desde el año 2014, que coincide justamente con el despunte del crecimiento de la tecnología 4G. Así mismo, se observa un crecimiento constante en líneas activas de tecnología 3G en donde se incluyen las tecnologías UMTS y HSPA+. (Arcotel, 2017)

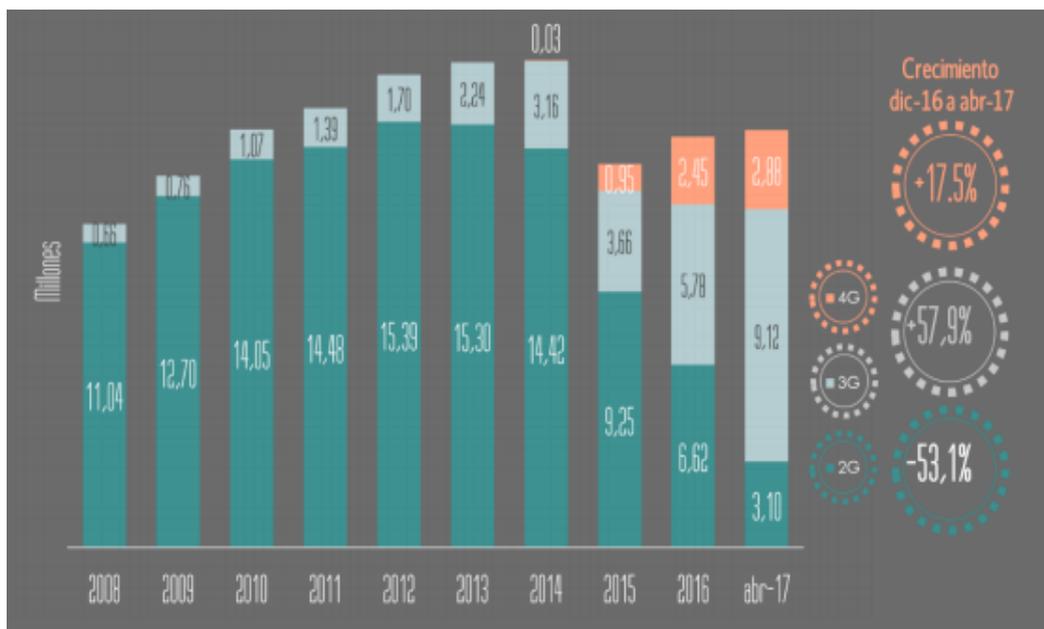


Figura 2.17: Líneas SMA por tecnología

Fuente: (Arcotel, 2017)

Según el portal web OpenSignal presentado en noviembre del 2016, Ecuador es el país en Latinoamérica en ofrecer la mayor velocidad de navegación 4G LTE. Dicho informe establece que el país cuenta con una velocidad promedio de descarga de 25 Megabytes por segundo (Mbps), una cifra importante, teniendo en cuenta que Singapur, primero en el ranking, tiene una velocidad de 45 Mbps. Ver figura 2.18 (MINTEL, 2016)

Es importante indicar que a diferencia de Ecuador que empezó con la implementación de la tecnología a finales del 2013, los países ubicados en los primeros puestos tienen desplegadas sus redes por más tiempo.

Es importante tener en cuenta que las velocidades varían dependiendo varios factores: El espectro que se dedique a las redes LTE, el tráfico de la red, la construcción de las redes. De manera que, en condiciones con baja carga, donde pocos usuarios se encuentran en la cobertura de una celda se obtienen velocidades más altas.

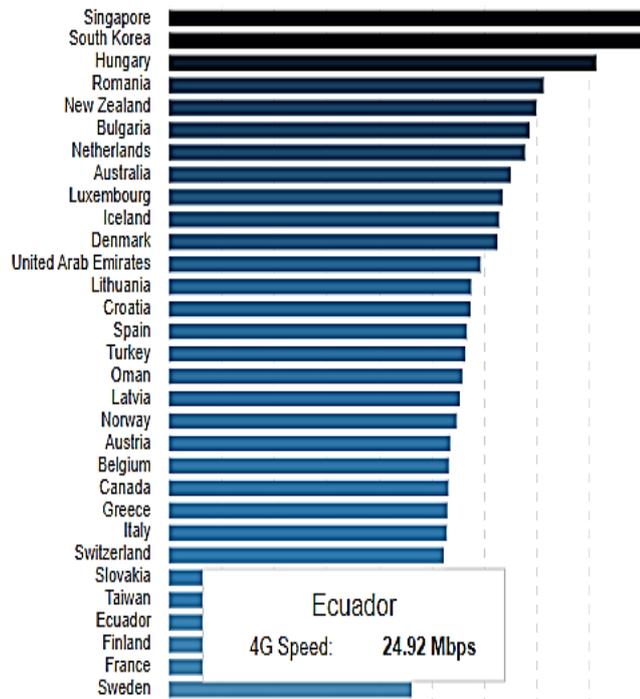


Figura 2.18: Reporte comparativo de velocidades LTE por países  
Fuente: (Opensignal, 2016)

La figura 2.19 muestra el análisis realizado por OpenSignal en cuanto a disponibilidad y velocidad. La Disponibilidad consiste en la medición del tiempo que un usuario tiene acceso a una red en particular, en el cual se sitúa a México en primer lugar en Latinoamérica. En el reporte presentado en la figura 2.19 indica que los países pueden tener redes altamente accesibles, pero sus velocidades pueden presentar limitaciones de capacidad. Mientras que países que presentan limitaciones en cuanto a disponibilidad, pueden presentar velocidades consideradas como rápidas debido a cargas ligeras en la red.

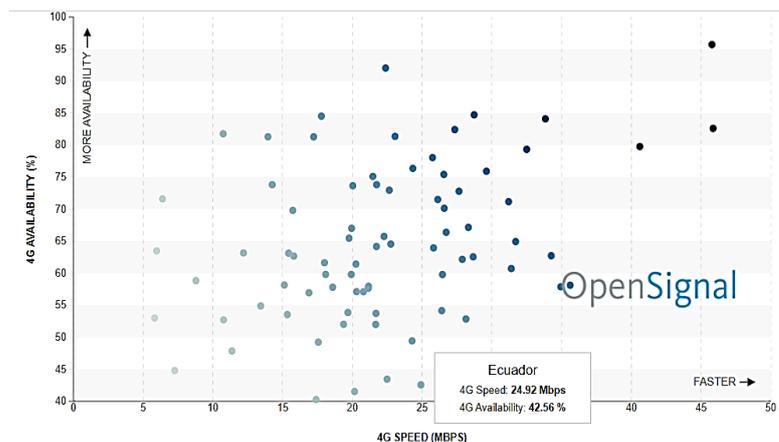


Figura 2.19: Disponibilidad y velocidad 4g  
Fuente: (Opensignal, 2016)

### CAPÍTULO 3: PLANIFICACIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE RED LTE

El capítulo 3 consiste en el análisis de los diferentes parámetros que caracterizan a las redes LTE en diferentes ambientes, los cuales nos van a permitir realizar una simulación en los ambientes urbanos y rurales del cantón Chone para su posterior análisis.

#### 3.1. Dimensionamiento de la red

##### 3.1.1. Reconocimiento y caracterización del lugar de interés

El cantón Chone se encuentra ubicado en la provincia de Manabí. El cantón limita al norte con pedernales y la provincia de Esmeraldas, al sur los cantones Pichincha, Bolívar y Tosagua, al este con la provincia de Esmeraldas y los cantones El Carmen y Flavio Alfaro; y al oeste con los cantones San Vicente, Sucre y Jama. Se incluye mapa del Cantón en el Anexo 1.

Tabla 3.1: Información básica del cantón Chone

<b>Cabecera cantonal</b>	Chone
<b>Fecha de cantonización</b>	24 de julio de 1894
<b>Población</b>	126 491 Hab.
<b>Parroquias urbanas:</b>	Chone Santa Rita
<b>Parroquias rurales:</b>	Canuto Ricaurte Eloy Alfaro Boyacá Convento San Antonio Chibunga

Fuente: (CADS, 2012)

La tabla 3.1 muestra la información básica del cantón, donde se indica una Población de 126.491 habitantes de los cuales el de los cuales 52.810 (42%) reside en el área urbana y 73.681 (58%) reside en el área rural, de acuerdo con el censo realizado en el 2010. (GAD Municipal del Cantón Chone, 2014)

La disponibilidad de infraestructura educación y salud; son el principal motivo por el cual la cabecera cantonal Chone es un lugar recurrente para los pobladores del cantón. Las simulaciones por nivel y calidad de señal, se realizaron en las parroquias urbanas Chone y Santa Rita que comprenden un área de 17  $km^2$ . En el área urbana donde se procedió a realizar las simulaciones antes mencionadas, se encuentran la extensión de la Universidad técnica de Manabí, El Hotel Atahualpa y supermercados como TIA y AKI. Además de presentar atractivos turísticos como el Humedal la Segua, El estuario del rio Chone y el cerro Guayas.



Figura 3.1: Parroquia Urbanas Chone y Santa Rita  
Elaborado por: Autor

### 3.1.2. Ancho de banda y Bandas de Frecuencia

En el Ecuador existen actualmente 3 empresas de telefonía móvil que prestan el servicio LTE. CNT fue pionera en la prestación del servicio antes mencionado en el país utilizando las bandas AWS 1700/2100 MHz, al igual que la banda APT en 700 MHz. A partir del 2015 se le asigna CONECEL S.A. (CLARO) la banda AWS 1700/2100 MHz y a OTECEL S.A. la banda 1900 MHz las cuales destinaron para la instalación de sus redes. Para el presente proyecto se ha optado por la utilización de la banda 4 utilizada por CONECEL S.A.

El ancho de banda es un factor cuya importancia determinara la velocidad máxima alcanzable. LTE dispone de anchos de banda que van desde 1,5 a 20 MHz. Para el presente proyecto se asume un ancho de banda de 10MHz, tomando en cuenta que sector urbano del cantón no presenta la misma cantidad de usuarios que las ciudades grandes del país donde las redes ya han sido desplegadas.

Los anchos de banda de 15 y 20 MHz presentan mejores resultados, pero no se consideran económicamente viables, tomando en cuenta que el despliegue de la red para el cantón Chone se presenta en una etapa inicial. Un mayor ancho de banda representa un mayor costo a las operadoras y por consiguiente a los usuarios, por lo que se debe esperar que se presente una mayor demanda del servicio.

### 3.1.3. Link Budget

Corresponde a un análisis de las ganancias y pérdidas que caracterizan la señal que se transmite a través del medio de transmisión y así conocer el desempeño de nuestra red. El análisis es diferente para el enlace ascendente y descendente.

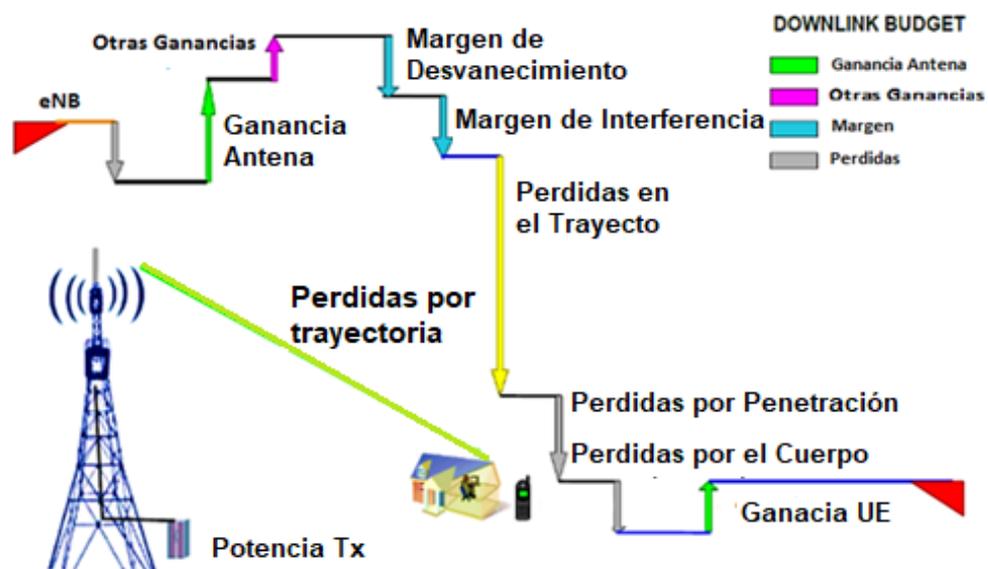


Figura 3.2: Link Budget en el enlace de Bajada  
Fuente: (Alvarez, 2014)

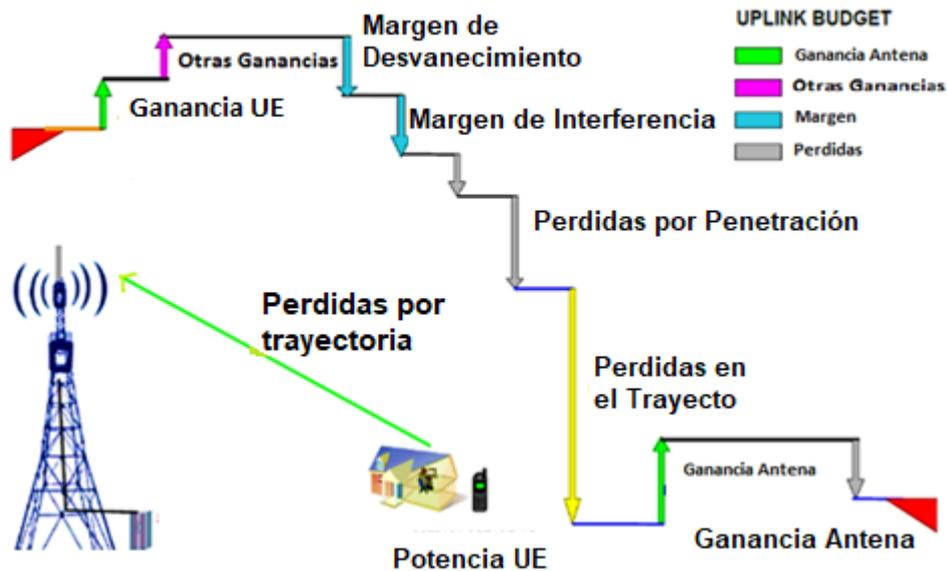


Figura 3.3: Link Budget en el enlace de subida  
Fuente: (Alvarez, 2014)

Las figuras 3.2 y 3.3 muestran los análisis realizados para ambos enlaces. En ellas se representan las ganancias con flechas apuntando para arriba, las cuales representan los valores positivos y las pérdidas están representadas con flechas para abajo. Los valores asumidos para pérdidas y ganancias varían con respecto al entorno y bandas de frecuencia escogido.

### 3.1.3.1. Margen de desvanecimiento

Se producen por obstáculos que se encuentran en el camino que recorre la señal desde la UE hasta el eNB. El Margen de Shadowing o desvanecimiento se obtiene a en base al porcentaje de cobertura y la desviación Estándar de Shawoding.



Figura 3.4: Desvanecimiento por obstáculos  
Elaborado por: Autor

La probabilidad de cobertura es un valor establecido por los operadores móviles que varía de acuerdo con el entorno al cual está sirviendo la estación base. Para efectos de diseño se especifica una probabilidad de cobertura del 95% para sectores Urbanos, el porcentaje establecido corresponde a 8dB de desviación estándar de Shadowing, como se puede ver en la tabla 3.2.

Tabla 3.2: Desviación estándar de Shadowing y porcentajes de cobertura en la celda

Desviación Estándar de Shadowing	Probabilidad de cobertura de área Celular	Probabilidad de cobertura en el borde Celular	Margen de Shadowing sin ganancia HO	Velocidad UE
9 dB	95%	87.7%	11.7 dB	3 Km/h
				50 Km/h
				120 Km/h
	90%	77.7%	7.7 dB	3 Km/h
				50 Km/h
				120 Km/h
8 dB	95%	86.2%	8.7 dB	3 Km/h
				50 Km/h
				120 Km/h
	90%	75.1%	5.4 dB	3 Km/h
				50 Km/h
				120 Km/h
7 dB	95%	84.9%	7.2 dB	3 Km/h
				50 Km/h
				120 Km/h
	90%	73.3%	4.3 dB	3 Km/h
				50 Km/h
				120 Km/h
6 dB	95%	83.9%	5.9 dB	3 Km/h
				50 Km/h
				120 Km/h
	90%	70.9%	3.3 dB	3 Km/h
				50 Km/h
				120 Km/h

Fuente: (Meza & Santin, 2014)

### 3.1.3.2. Interferencias

Se define como interferencia como cualquier factor afecta a la señal transmitida. En LTE existe interferencia intercelular que se produce para

transmisiones realizadas por distintas eNBs a un Equipo usuario. Para combatir este tipo de interferencia LTE gestiona recursos de radio mediante coordinación de interferencia intercelular.

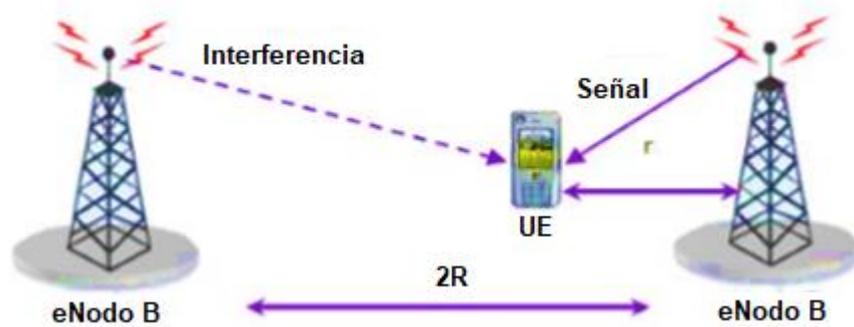


Figura 3.5: Interferencias inter-celdas  
Fuente: (Logroño, 2014)

Para mejorar la interferencia ICI se crea el método llamado Coordinación de la interferencia entre celdas (ICIC- Inter-Cell Interference Coordination), la ICIC evita la transmisión a los UE que se encuentran en el borde de la celda, realizando un intercambio de información entre las celdas sobre las subportadoras que se pueden utilizar y evitar las interferencias. (Logroño, 2014)

### 3.1.3.3. Pérdidas por Penetración de materiales

Este tipo de pérdidas se producen por materiales de paredes, puertas, ventanas en edificaciones. Se consideran diferentes valores dependiendo el tipo de sector.



Figura 3.6: Pérdidas por penetración de materiales  
Elaborado por: Autor

En la tabla 3.3 se presenta un análisis de link Budget en el cual se ha tomado como referencia requerimientos solicitados por operadoras móviles para el despliegue de una red LTE.

Tabla 3.3: Link Budget

<b>LTE LINK BUDGET</b>	<b>UPLINK</b>	<b>DOWNLINK</b>
Escenario	Urbano	
Tecnología	LTE FDD	
Ancho de Banda (MHz)	10	
<b>TRANSMISION</b>		
Potencia de transmision (dBm)	23	46
Ganancia de la Antena (dB)	0	18
Perdida por cable (dB)	0	0
Perdida por cuerpo (dB)	0	0
<b>RECEPCION</b>		
SINR (dB)	-2.39	-3.42
Ruido (dB)	2.3	7
Sensibilidad del receptor (dB)	-132.33	-128.66
Ganancia de la Antena (dB)	0	0
Margen de intererencia (dB)	2	3.41
<b>PERDIDAS POR TRAYECTO Y RADIO DE LA CELDA</b>		
Perdidas por penetración (dB)	15	16
Desvanecimiento por sombra (dB)	8	8
Probabilidad de area de cobertura	95%	95%
Modelo de propagación	Cost Hata	
Altura de la antena (m)	25	1.5
Frecuencia (MHz)	1710	2110
Radio de la Celda (Km)	0.500	

Fuente: (Alvarez, 2014)

### 3.1.4. Modelo de propagación

El modelo de propagación consiste en fórmulas matemática que mediante los diferentes parámetros escogidos para nuestra red nos ayuda a analizar el comportamiento de la onda radioeléctrica. Existen varios modelos que son muy útiles en el diseño de redes. El uso de cualquiera de estos modelos varía de acuerdo con los parámetros a utilizar.

El modelo escogido para el análisis de la red es el modelo Cost Hata dado que las que se acopla a las características de la banda escogida. Este modelo se utiliza para frecuencias que van desde 800 MHz hasta los 2 GHz. Para frecuencias mayores a los 2,5 GHz es necesario utilizar un factor de

corrección. Se puede utilizar para áreas de cobertura de 0.02-50 Km y para antenas con alturas de 4-50 m.

La ecuación para este modelo se expresa como:

$$L = 46,3 + 33,9 \log(f) - 13,82 \log(hb) - ahm + (44,9 - 6,55 \log(hb)) \log(d) + cm$$

Donde:

$L =$  *Perdidas por trayectoria*

$f =$  *Frecuencia*

$hb =$  *Altura antena*

$d =$  *distancia entre tranmisor y receptor*

$cm =$  *su valor es 0 y 3 en centros metropolitanas*

$ahm =$  *Representa un valor de correccion de la altura de la antena del movil*

Para ciudades pequeñas y medianas:

$$ahm = (1,1 \log(1710) - 0,7)1,5 - (1,6 \log(1710) - 0,8)$$

Para ciudades Grandes:

$$ahm = 8,29(\log(1,54 hre))^2 - 1,1 \text{ dB} \quad f < 300 \text{ MHz}$$

$$ahm = 3,2(\log(11,75 hre))^2 - 4,97 \text{ dB} \quad f > 300 \text{ MHz}$$

### Calculo Uplink

$$L = 46,3 + 33,9 \log(1710) - 13,82 \log(25) - ahm + (44,9 - 6,55 \log(25))\log(0,9) + 0$$

$$ahm = (1,1 \log(f) - 0,7)hr - (1,6 \log(f) - 0,8)$$

$$ahm = (1,1 \log(1710) - 0,7)1,5 - (1,6 \log(1710) - 0,8)$$

$$ahm = -0,09$$

$$L = 46,3 + 33,9 \log(1710) - 13,82 \log(25) - (-0,09) + (44,9 - 6,55 \log(25))\log(0,9)$$

$$+ 0$$

$$L = 46,3 + 109,60 - 19,31 + 0,09 + (44,9 - 9,15)\log(0,9)$$

$$L = 46,3 + 109,60 - 19,31 + 0,09 + (44,9 - 9,15)\log(0,9)$$

$$L = 136,59 + (35,75)\log(0,9)$$

$$L = 134,95 \text{ dB}$$

### Calculo Downlink

$$L = 46,3 + 33,9 \log(2110) - 13,82 \log(25) - ahm + (44,9 - 6,55 \log(25))\log(0,9) + 0$$

$$ahm = (1,1 \log(f) - 0,7)hr - (1,6 \log(f) - 0,8)$$

$$ahm = (1,1 \log(1710) - 0,7)1,5 - (1,6 \log(1710) - 0,8)$$

$$ahm = -0,09$$

$$\begin{aligned}
L &= 46,3 + 33,9 \log(2110) - 13,82 \log(25) - (-0,09) + (44,9 - 6,55 \log(25)) \log(0,9) \\
&\quad + 0 \\
L &= 46,3 + 112,69 - 19,31 + 0,09 + (44,9 - 9,15) \log(0,9) \\
L &= 46,3 + 112,69 - 19,31 + 0,09 + (44,9 - 9,15) \log(0,9) \\
L &= 139,77 + (35,75) \log(0,9) \\
L &= 138,13 \text{ dB}
\end{aligned}$$

### 3.1.5. Geometría de las Redes celulares

Comprende el análisis de la reutilización de frecuencia y la división celular para caracterizar el diseño de la red, como se puede apreciar en la figura 3.7. La reutilización de frecuencia es un aspecto importante al momento de diseñar tomando en cuenta que el espectro radioeléctrico es un recurso limitado y debe ser aprovechado correctamente. Para garantizar un nivel de interferencia adecuado la reutilización de frecuencia permite el uso de la misma frecuencia en una zona geográfica diferente no adyacente.

La división celular facilita el establecimiento de radio bases haciendo uso de tres polígonos diferentes: el cuadrado, el triángulo y el Hexágono; siendo este último el más utilizado. En la división celular se pueden establecer celdas omnidireccionales o sectorizadas. En las celdas omnidireccionales la estación base se sitúa en el centro de la celda. En las celdas sectorizadas la estación base se ubica en la intersección de 3 celdas proporcionando mayor cobertura y se puede disponer de un mayor número de equipos por emplazamiento.

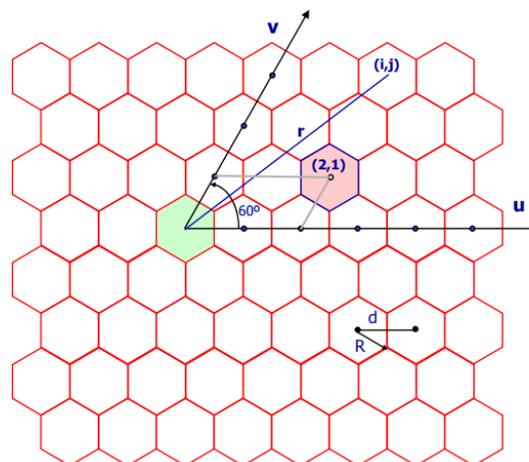


Figura 3.7: Geometría de las redes celulares  
Fuente: (Guachan & Cajias, 2014)

“R” hace referencia al radio de la célula.

“d” distancia entre los centros de las celdas adyacentes (Nodos consecutivos).

Definida por:

$$d = R \times \sqrt{3}$$

El área escogida que se muestra en la figura 3.8 presenta un área de 17 km<sup>2</sup> corresponde al área urbana donde se procederá a realizar la simulación de la red para su posterior análisis. El radio de hexagonal para el cálculo de área de las células es de 500 metros, de manera que se pueda garantizar la calidad del servicio.

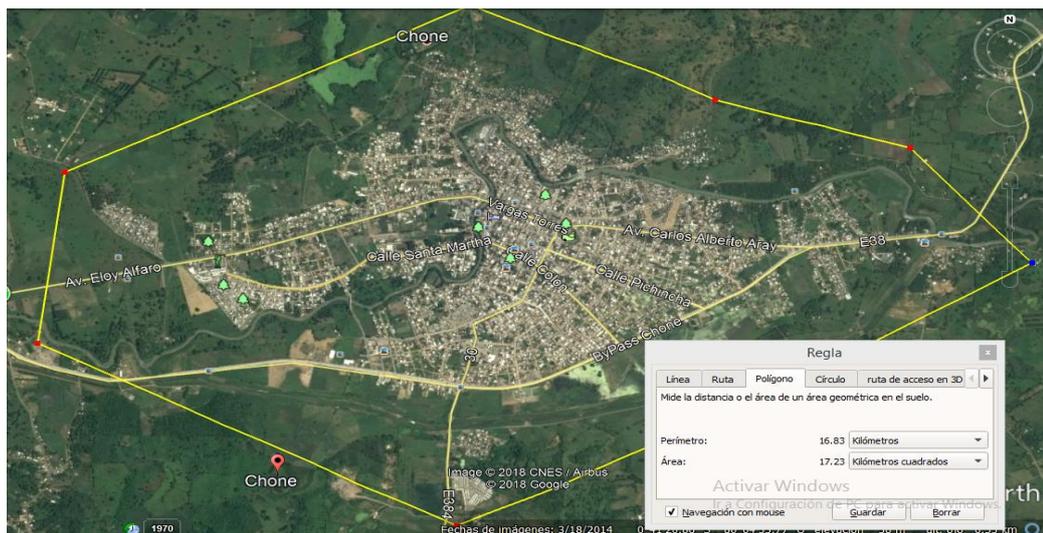


Figura 3.8: Selección de área de cobertura Urbana

Elaborado por: Autor

$$Ac = \frac{3 \times R^2 \times \sqrt{3}}{2}$$

$$Ac = \frac{3 \times (0,500)^2 \times \sqrt{3}}{2}$$

$$Ac = 0,65 \text{ km}^2$$

$$N \text{ Celdas} = \frac{\text{AREA TOTAL}}{\text{AREA CELDA}}$$

$$N \text{ Celdas} = \frac{17,23 \text{ km}^2}{0,65 \text{ km}^2}$$

$$N \text{ Celdas} = 27$$

Para la simulacion a realizarse se ha optado por la utilización de celdas sectorizadas una vez analizadas las ventajas que ofrecen. Al grupo de tres celdas se lo conoce como sector lo que constituye una nueva celda en la que se dispone de una BTS, como se puede apreciar en la figura 3.9

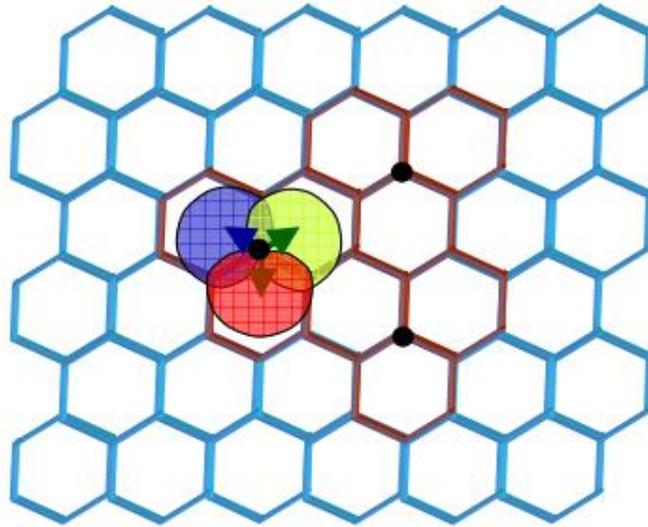


Figura 3.9: Celdas Sectorizadas  
Fuente: (Murillo, 2008)

## **CAPÍTULO 4: SIMULACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS**

### **4.1. Introducción**

Para realizar la simulación y análisis de cobertura del presente trabajo se optó por utilizar Atoll, junto con programas como Global Mapper para obtener información del relieve de la zona de estudio y Google Earth para presentación de los resultados obtenidos.

### **4.2. Atoll**

Atoll es un software para planificación y optimización radio que permite a los operadores de comunicaciones móviles realizar el diseño y planificación de sus redes y estudiar el comportamiento de las mismas para optimizarlas de la mejor manera posible. A partir del año 2008 ATOLL cuenta con un módulo LTE, el primero en el mercado, que permite implementar con detalle y precisión las características de una red E-UTRAN. Con la versión 3.1.0 ATOLL ofrece además la posibilidad de crear redes avanzadas de múltiples tecnologías (p. ej. GSM/UMTS/LTE, CDMA2000/LTE) ideal para aquellos operadores que necesitan migrar sus redes hacia LTE. (Iglesias, 2016)

Atoll ofrece al usuario la posibilidad de hacer diferentes tipos de predicciones para su posterior análisis. Los tipos de predicciones ofrece a los diseñadores de redes están clasificados en dos grupos: por el nivel de señal y por calidad de la señal. Las predicciones por nivel de señal son independientes de la carga de la red.

### **4.3. Global Mapper**

El uso de Global Mapper en conjunto con la página Earth Explorer permitió conocer datos de la zona WGS 184 17 Sur donde está ubicada la zona de análisis. La figura 4.1 muestra el mapa de la zona donde se procederá a realizar el estudio. Esta información corresponde a datos con respecto a la elevación del suelo. El color azul es utilizado para el nivel más bajo de elevación correspondiente al nivel del mar.

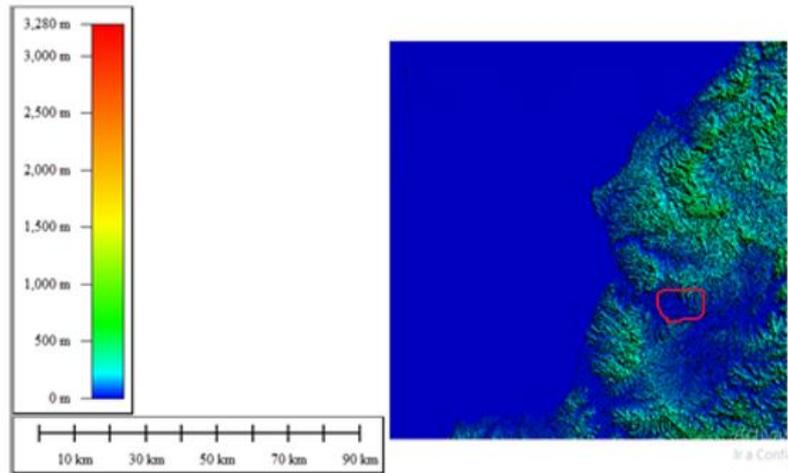


Figura 4.1: Datos Geográficos  
Elaborado por: Autor

#### 4.4. Establecimiento de parámetros de la red

Las figuras 4.2 y 4.3 corresponden al ingreso de la información para el establecimiento de las radio bases o nodos eNB. Los parámetros de la red han sido escogidos de acuerdo con las características de la zona de estudio según el análisis realizado en el capítulo 3 y usando como referencias valores utilizados por operadores móviles como requerimiento para el diseño de una red LTE mostrados en la tabla 3.3.

The screenshot shows a software configuration window for an LTE transmitter. The 'LTE' tab is selected. The configuration includes:

- Name:** Chone 10MHz - FDD - Urban (3 sectors)
- Sectors:** 3
- Hexagon radius:** 500 m
- Transmitter type:** Intra-network (Server and Interferer)
- Antennas:**
  - 1st sector mechanical azimuth: 0°
  - Electrical azimuth: 0°
  - Height/ground: 25 m
  - Mechanical downtilt: 0°
  - Electrical downtilt: 4°
  - Additional electrical downtilt: 0°
- Main antenna:** Model: 65deg 18dBi 4T1R 2100MHz
- Smart antenna:** Equipment: (empty)
- Number of antenna ports:** Transmission: 2, Reception: 2
- Path loss matrices:**
  - Main propagation model: Cost-Hata
  - Extended propagation model: (none)
  - Main radius: 7,000 m
  - Extended radius: m
  - Main resolution: 100 m
  - Extended resolution: m
- Comments:** (empty text area)

Figura 4.2: Edición de plantilla de acuerdo parámetros escogidos  
Elaborado por: Autor

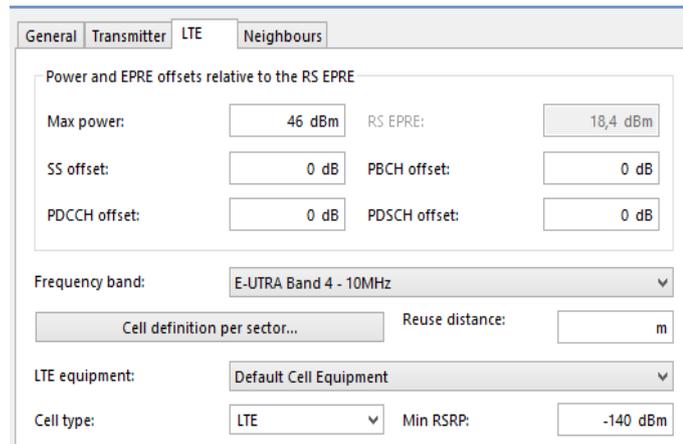


Figura 4.3: Configuración de parámetros de potencia y elección de banda de frecuencia

Elaborado por: Autor

Una vez asignados los datos se pueden establecer las radio bases de forma manual o automática, respetando el tamaño de las celdas establecidos.

#### 4.5. Establecimiento de nodos eNB

La ubicación de las radio bases se presenta en la tabla 4.1. Se ha tenido en consideración una distancia considerable entre las radio bases que permita la reutilización de frecuencias.

Tabla 4.1: Localización de nodos eNB

SECTOR	LATITUD	LONGITUD
Via Boyaca	0°41'49.63"S	80° 7'7.79"O
Via Colorado	0°41'24.41"S	80° 6'25.63"O
Cdla. de los Choferes	0°42'13.76"S	80° 6'25.41"O
Parque Sucre	0°41'49.14"S	80° 5'43.01"O
El Vergel	0°41'0.13"S	80° 5'43.77"O
By Pass Chone	0°42'37.49"S	80° 5'43.55"O
Santa Rita	0°41'25.15"S	80° 5'1.57"O
Cdla. Vargas Paso	0°42'14.14"S	80° 5'1.39"O
El Bejuco	0°41'49.73"S	80° 4'19.56"O

Elaborado por: Autor

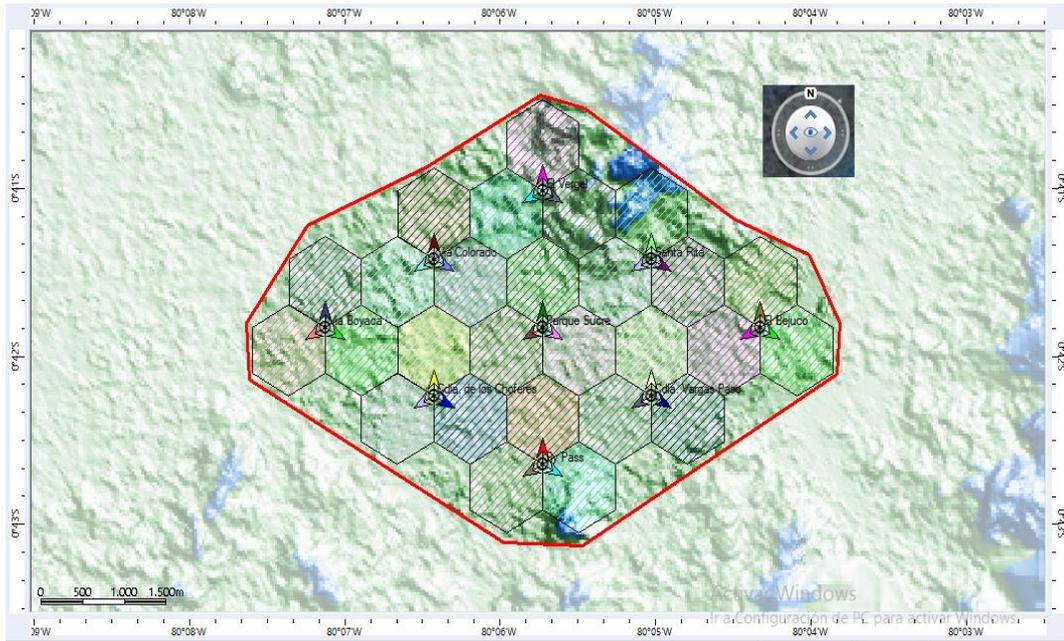


Figura 4.4: Sectorización y establecimiento de estaciones base en Atoll  
Elaborado por: Autor

En la figura 4.4 se muestra el despliegue de las celdas, cuya ubicación se detalla en la tabla 4.1. Los tamaños de todas las celdas son proporcionales, aunque en la práctica los tamaños pueden variar de manera que se puedan resultados diferente formando así una red Heterogénea.

#### 4.6. Análisis de cobertura en parroquias urbanas

##### 4.6.1. Cobertura por nivel de señal

Permite conocer los alcances de nuestra señal sin tener en cuenta al transmisor al que pertenece. Este tipo de predicción es independientemente de la carga de la red.

En el plano presentado en la figura 4.5 se muestran varias tonalidades de colores, que cambian en función a la distancia del transmisor. Los diferentes colores mostrados corresponden a un nivel de señal que se encuentra indicado en la leyenda presentada en la misma figura. Donde el rojo representa el mejor nivel y el azul oscuro el nivel más bajo.

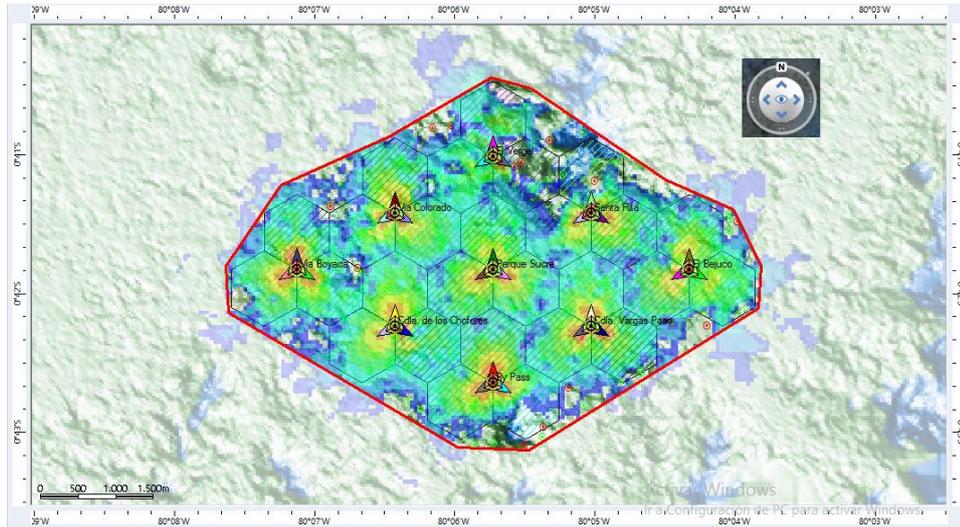


Figura 4.5: Cobertura por nivel de señal  
Elaborado por: Autor

Las predicciones de cobertura por niveles de señal deben cumplir con el mínimo del 95% del área de cobertura con niveles iguales o mayores a -100dBm, esto determina y asegura un buen diseño de la red LTE. (Logroño, 2014)

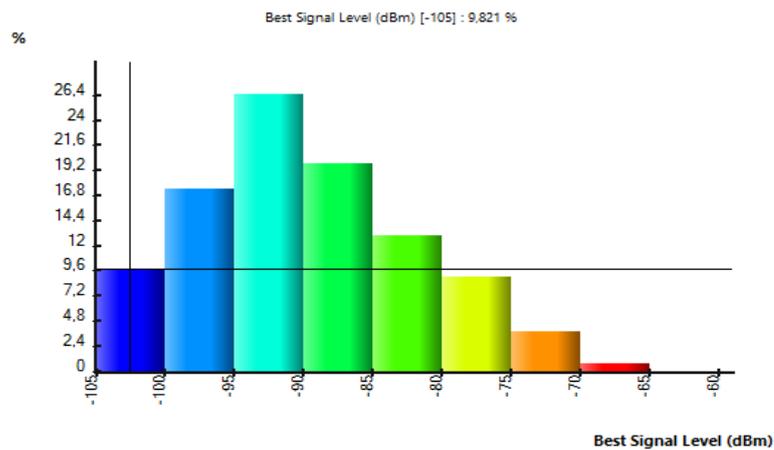


Figura 4.6: Histograma Mejor nivel de señal  
Elaborado por: Autor

En la figura 4.5 se puede observar que existen áreas donde la potencia de señal es un poco limitada. Dichas áreas se encuentran representadas con un color azul oscuro y corresponden a niveles de señal menores a -100dbm. De acuerdo con la figura 4.6 que corresponde al histograma presentado anteriormente estas áreas representan el 9,8% (barra azul) del área de estudio con niveles de señal desde (-100 hasta -105 dBm). En aquellas áreas

se puede mejorar la señal mediante la implementación de nuevas radio bases como pico celdas o small cells.

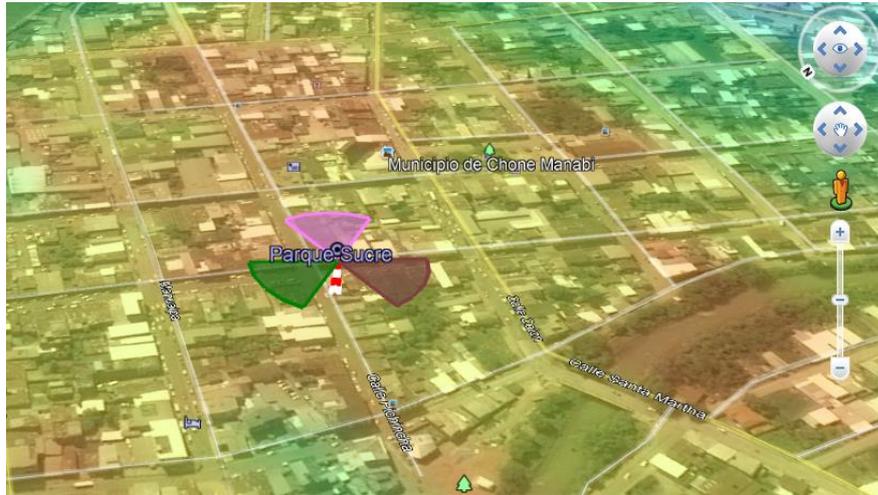


Figura 4.7: Nivel de señal Estación Base Parque Sucre  
Elaborado por: Autor

La figura 4.7 muestra una zona comercial de gran importancia del sector, donde se presentan los colores rojo y amarillo que de acuerdo con la figura 4.6 representan niveles de señal muy buenos garantizando así un buen servicio. Los resultados correspondientes al nivel de señal de las parroquias Urbanas exportados a Google Earth se incluyen en el Anexo 2.

#### 4.6.2. Zonas Solapadas

Este tipo de predicción es utilizado para calcular zonas donde existe cobertura de dos o más transmisores. La figura 4.8 muestra una predicción de zonas solapadas. Esta predicción se basa en el uso de colores para indicar las zonas donde más de dos transmisores proporcionan señales. Entre más rojizo sea el color se tendrá presencia de más transmisores mientras que cuanto más azulada sea se tendrá el efecto contrario. Este parámetro permite estimar las interferencias en la zona de estudio. Para esta predicción se ha establecido un umbral de solapamiento de -4dB.

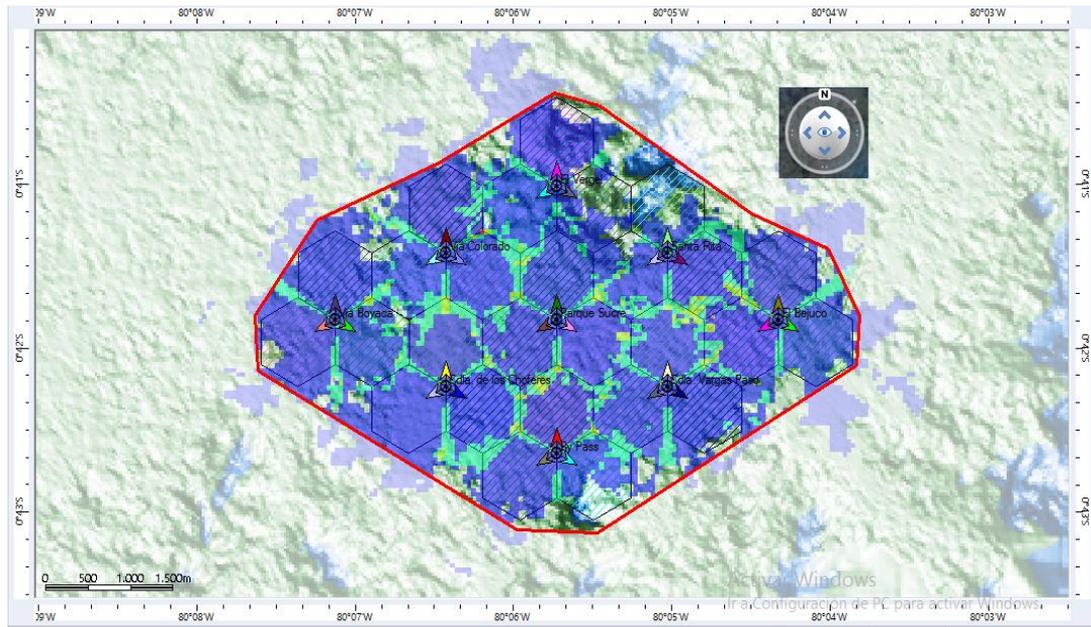


Figura 4.8: Zonas Solapadas

Elaborado por: Autor

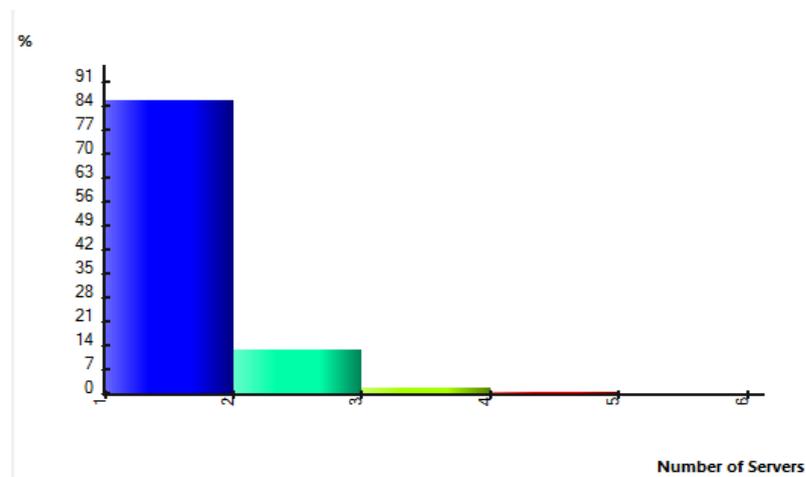


Figura 4.9: Histograma de zona de solapamiento

Elaborado por: Autor

Para un umbral de solapamiento entre sectores de hasta  $-5\text{dB}$ , se establecen las siguientes condiciones: (AT&T Mobility team, 2010)

- El porcentaje de las áreas de con 4 o más servidores debe menor al 2%
- El porcentaje de las áreas de con 2 o 3 debe menor al 30%

En la figura 4.9 se observa el histograma de las zonas de solapamiento donde se muestra que el 85% de las zonas (barra azul), presenta señales de hasta dos transmisores y el 2% (barras verde y roja), presenta señales de tres

o más transmisores. Lo que representa condiciones óptimas para el funcionamiento de la red.

#### 4.6.3. Analisis de señal efectiva

En esta sección del presente trabajo se realizó un análisis de señal efectiva en los canales físicos PDSCH (enlace descendente) y PUSCH & PUCCH (enlace ascendente).

##### 4.6.3.1. Análisis de señal efectiva Enlace Descendente

El canal por analizar es el PDSCH dado que es el que lleva la información del usuario y señalización. Este análisis muestra la cantidad de potencia de la señal transmitida. De acuerdo con la figura 4.10 podemos notar que los tonalidades que resaltan son el verde y el amarillo en las partes que rodean al transmisor.

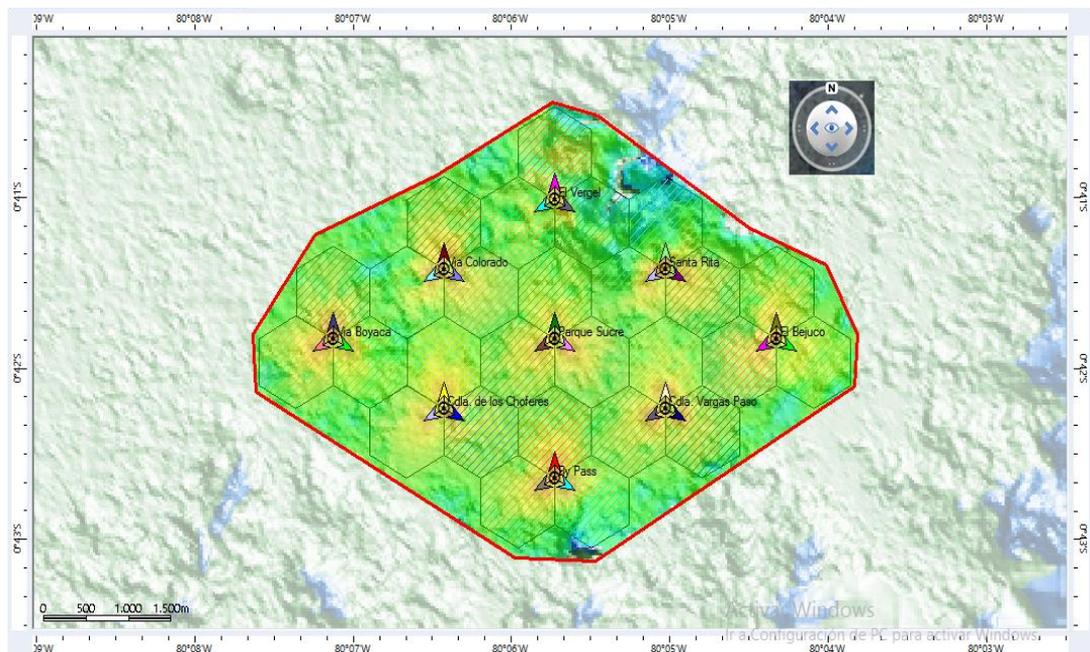


Figura 4.10: Señal efectiva PDSCH

Elaborado por: Autor

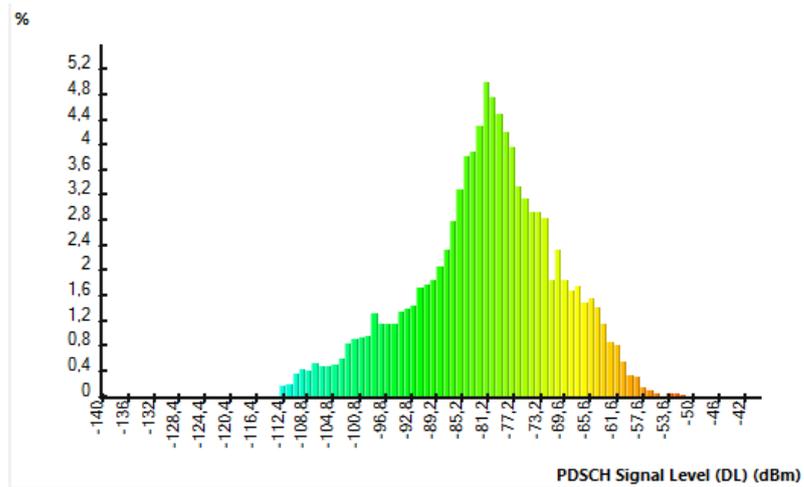


Figura 4.11: Histograma PDSCH  
Elaborado por: Autor

Al analizar la figura 4.11 se puede observar que las tonalidades verdes y amarillas mencionadas anteriormente corresponden a niveles de potencia mayores a -100 dBm, los niveles de potencia de los goza la simulación realizada representan resultados favorables para un óptimo funcionamiento.

A continuación se realizó una predicción para el análisis de la relación portadora ruido (C/N) del canal PDSCH. Este valor hace referencia a la relación de la información vs el ruido. Este valor tiende a ser más alto a menores distancias de la estación base.

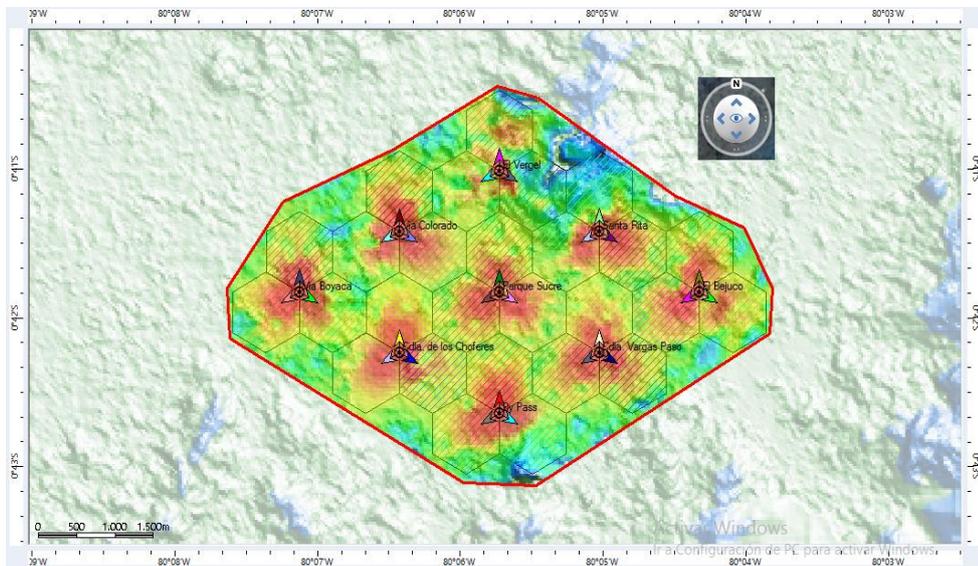


Figura 4.12: Relación PDSCH C/N  
Elaborado por: Autor

La figura 4.12 se basa en el mismo patrón de colores que se ha presentado anteriormente, en donde se puede observar que los colores verde, amarillo y rojo predominan en el área de interés.

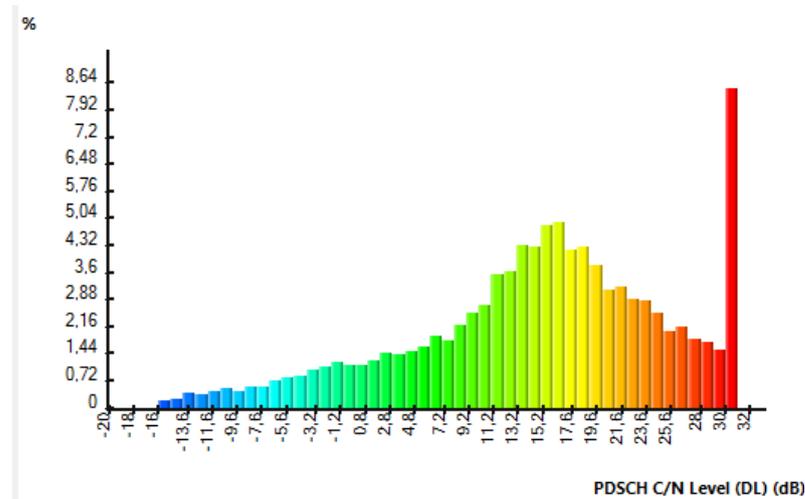


Figura 4.13: Histograma PDSCH C/N  
Elaborado por: Autor

Al realizar un análisis en conjunto con el Histograma que corresponde a la figura 4.13 podemos notar que los colores antes mencionados corresponden a niveles C/N mayores a 10dB (barras verdes – amarillo y rojo) lo que significa que se recibe mayor señal PDSCH que de ruido.

#### 4.6.3.2. Análisis de señal efectiva Enlace de Ascendente

A continuación, se procederá a analizar los canales del enlace ascendente de la misma manera que se realizó para el enlace descendente. Para las figuras 4.14 y 4.15 se proceden a realizar el mismo análisis que se realizó anteriormente, con respecto a la cantidad de potencia de la señal transmitida. Donde de igual manera se podrá constatar que las zonas que se encuentran más cercanas al trasmisor presentan los mejores niveles de potencia.

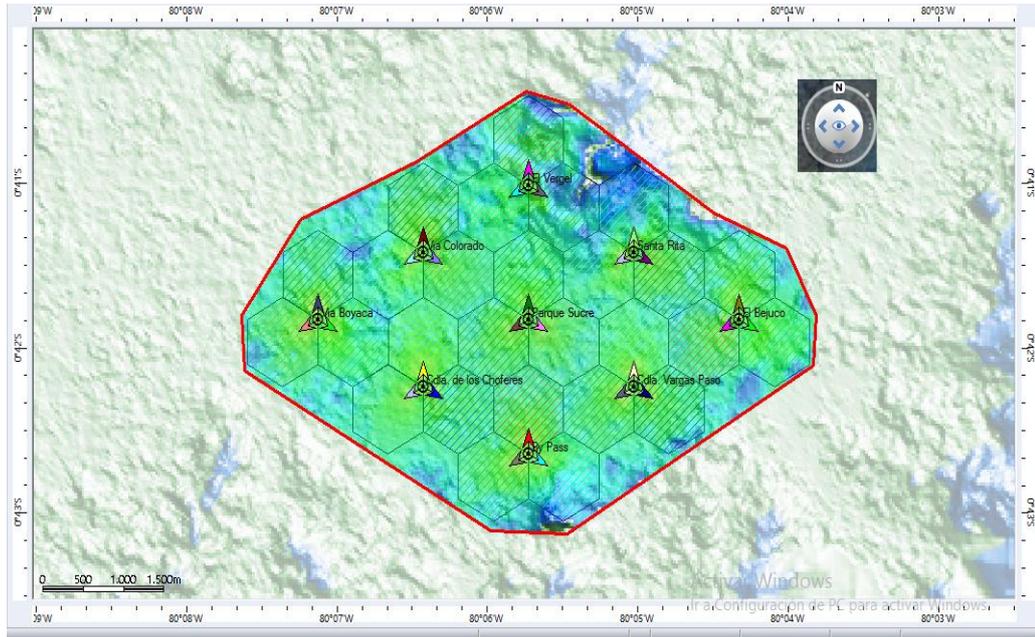


Figura 4.14: Señal efectiva PUSCH & PUCCH  
Elaborado por: Autor

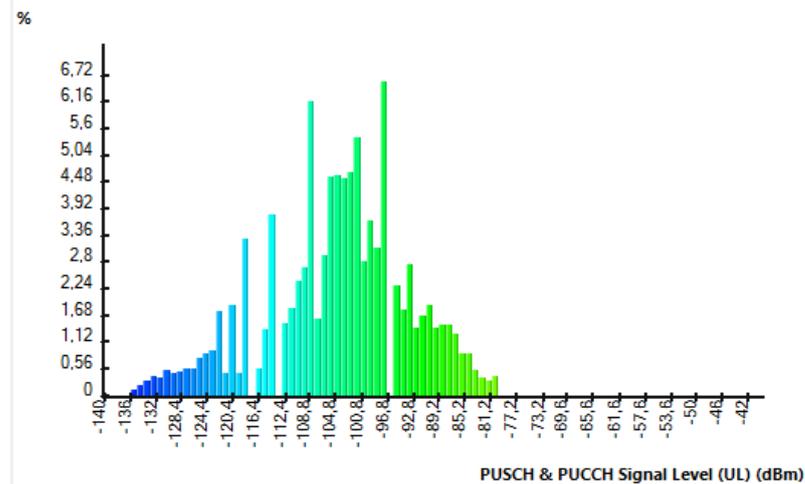


Figura 4.15: Histograma PUSCH & PUCCH  
Elaborado por: Autor

Como se puede observar en la figura 4.15 existen zonas en mayor porcentaje donde se dispone de una potencia de hasta de -110 dBm (Barras verdes). Sin embargo, se puede apreciar que también existen zonas en menor cantidad que disponen potencias entre -110 y -140 dBm (barras con tonalidad celeste y azul) donde no se recibiría el servicio esperado. Estas zonas se encuentran más distantes a las estaciones base.

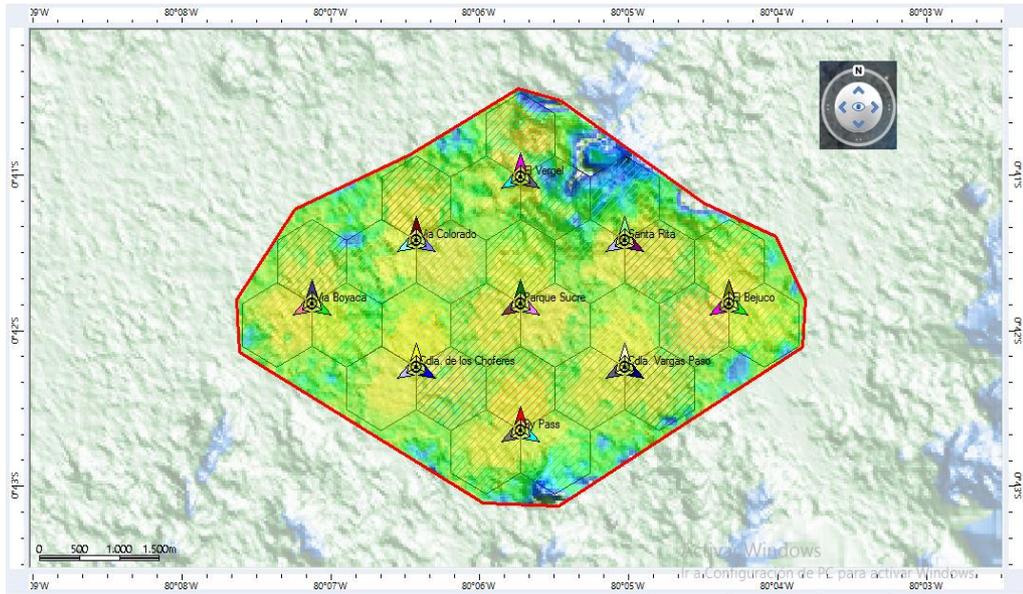


Figura 4.16: PUSCH & PUCCH C/N  
Elaborado por: Autor

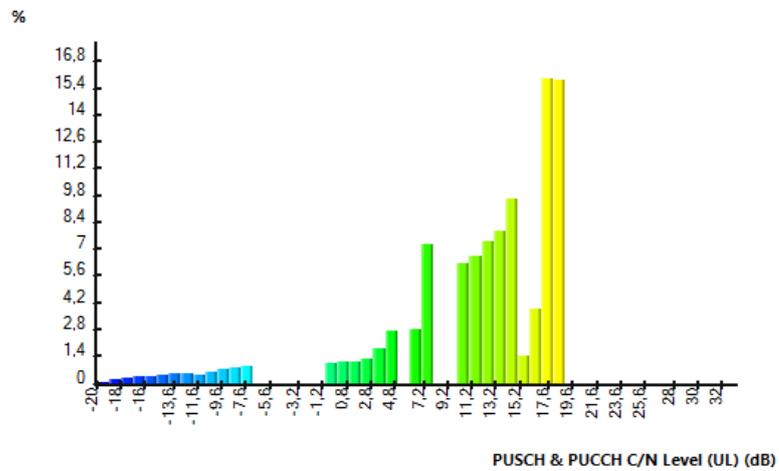


Figura 4.17: Histograma PUSCH & PUCCH C/N  
Elaborado por: Autor

Al realizar un análisis a las figuras 4.16 y 4.17 que correspondiente a los canales PUSCH & PUCCH podemos concluir que presenta resultados favorables dado que la relación C/N presenta desde 10 dB hasta aproximadamente 19 dB (barras con tonalidades verde – amarillo) para la gran mayoría del sector que se está analizando.

#### 4.6.4. Análisis por calidad de la señal

Para los análisis que comprenden calidad de señal es necesaria la creación de un mapa de tráfico permitan crear la capacidad y el funcionamiento de la red. Para el presente análisis se ha optado por

establecer un tráfico de carga de 400 Hab/Km<sup>2</sup> basados en lo que Atoll establece para zonas urbanas y se procedió a crear un perfil llamado Urbano Chone donde se establecieron características de movilidad y se le asignó el servicio de Banda Ancha móvil. Las características de usuario son asignadas en la figura 4.18.

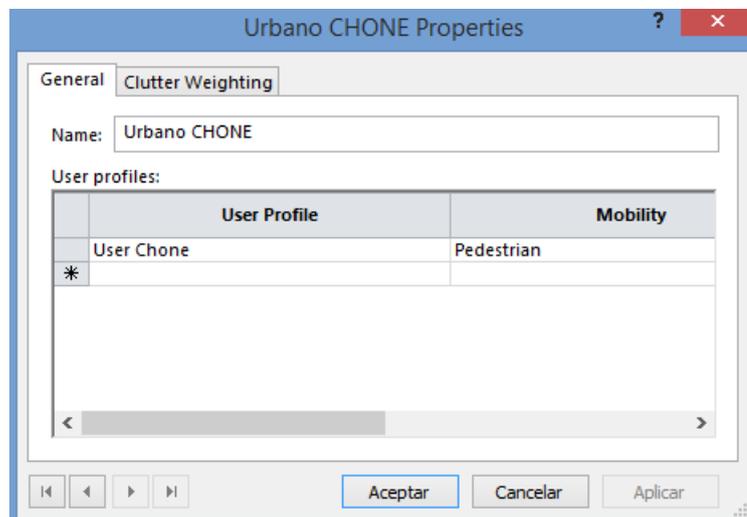


Figura 4.18: Establecimiento de características del usuario  
Elaborado por: Autor

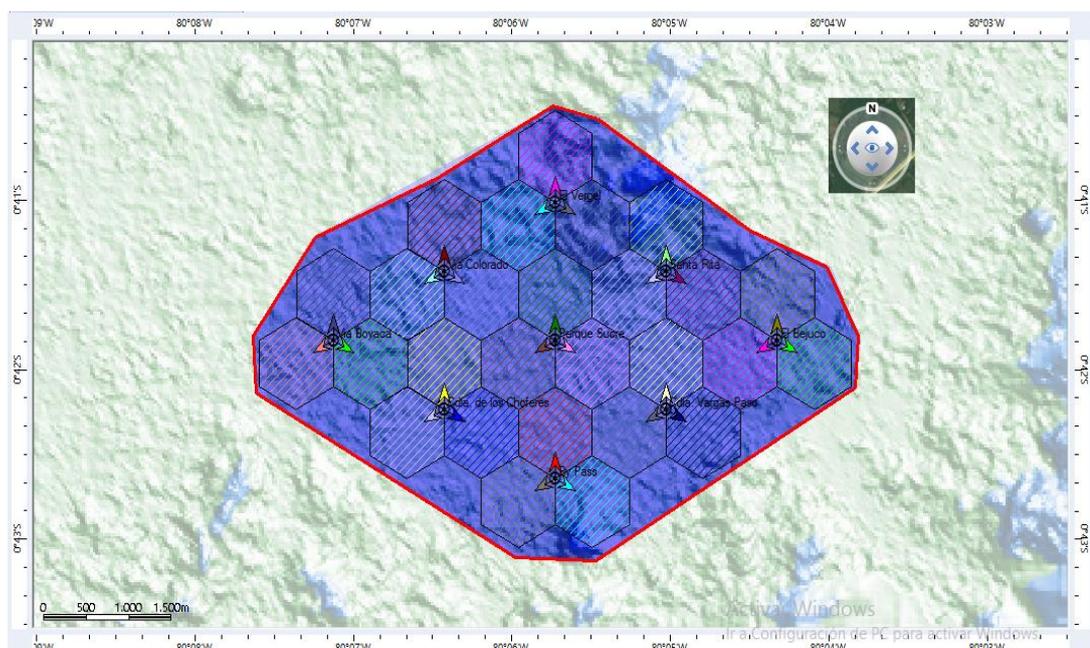


Figura 4.19: Urbano Chone  
Elaborado por: Autor

Para los posteriores análisis se hizo uso de una herramienta de Atoll conocida como Automatic Allocation la cual permitió la asignación de adyacencias para que el programa realice un reconocimiento de las celdas vecinas y se realizó el establecimiento de frecuencias, como se puede observar en la figura 4.19. El color azul presentado en la figura corresponde a la asignación de usuarios en un entorno urbano.

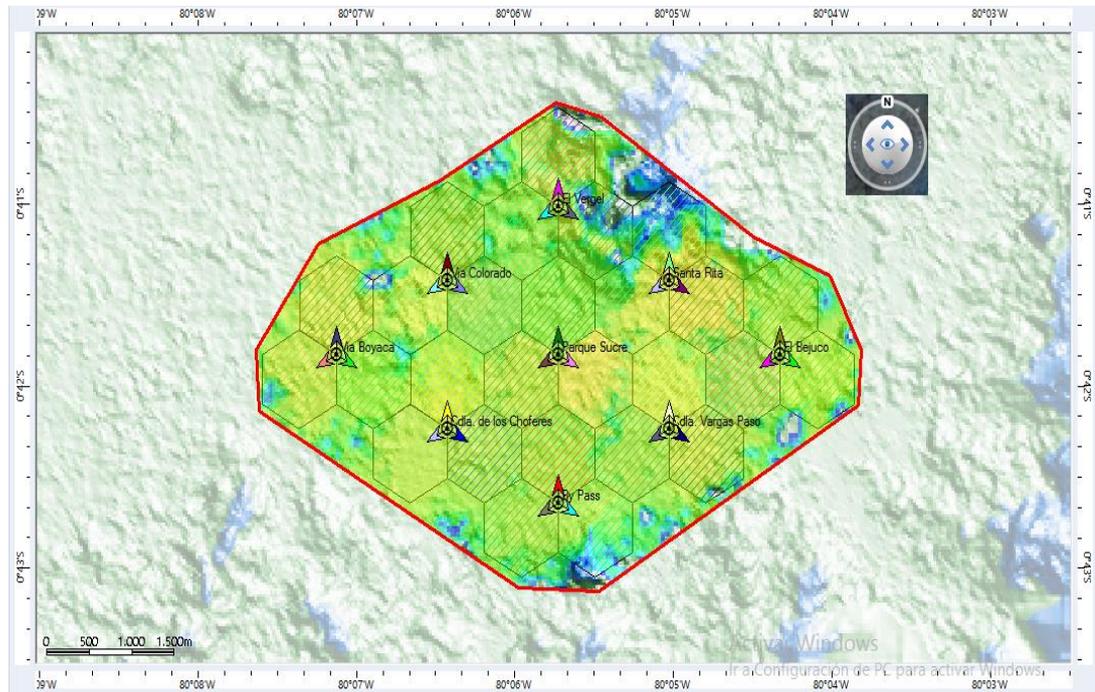


Figura 4.20: Análisis de Calidad de la señal  
Elaborado por: Autor

La figura 4.20 comprende el análisis del parámetro RSRQ (Reference signal received Quality) realizado con el 100% de la carga, el cual mide la calidad de la señal. En la figura mostrada predominan las tonalidades verde y amarillo en la mayoría de los sectores mientras que el color azul se muestra en una menor proporción en los alrededores del área de interés.

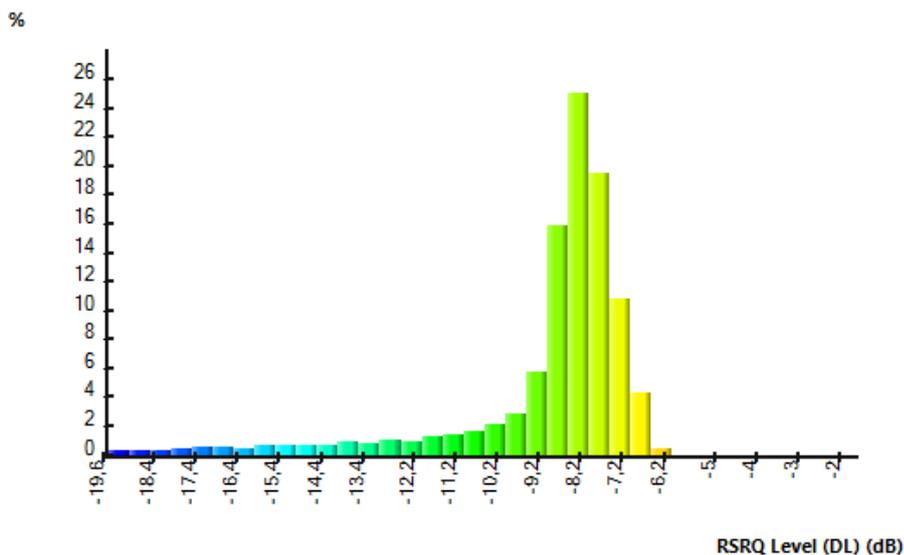


Figura 4.21: Histograma de calidad de la señal  
Elaborado por: Autor

El rango en el cual se presenta esta señal va de entre -19dB y -3dB según el histograma mostrado en la figura 4.21. Este análisis al igual que los anteriores utiliza los mismos patrones de colores, donde la calidad de la señal presenta una disminución a medida que el equipo usuario se aleja de la estación base. Los valores más altos hacen referencia a una mejor calidad de señal. La figura 4.21 indica que para la mayoría de las zonas se cuenta una calidad de señal entre 9 y 6 dB (barras verdes – amarillo), teniendo en cuenta que al 100% de la carga se deben tener valores de hasta -15 dB. (Logroño, 2014)

#### 4.6.5. Análisis del área de servicio efectiva

La figura 4.22 hace referencia al análisis del área de servicio efectiva. Para esta predicción el programa hace uso de un único color para indicar los lugares donde se tiene acceso a la tecnología LTE. En la figura 4.22 se puede observar que con respecto al área de interés se dispone de acceso a la tecnología en las zonas más importantes de las parroquias urbanas. Las zonas que no disponen de acceso en este caso principalmente corresponden a sectores montañosos donde el servicio no es tan requerido.

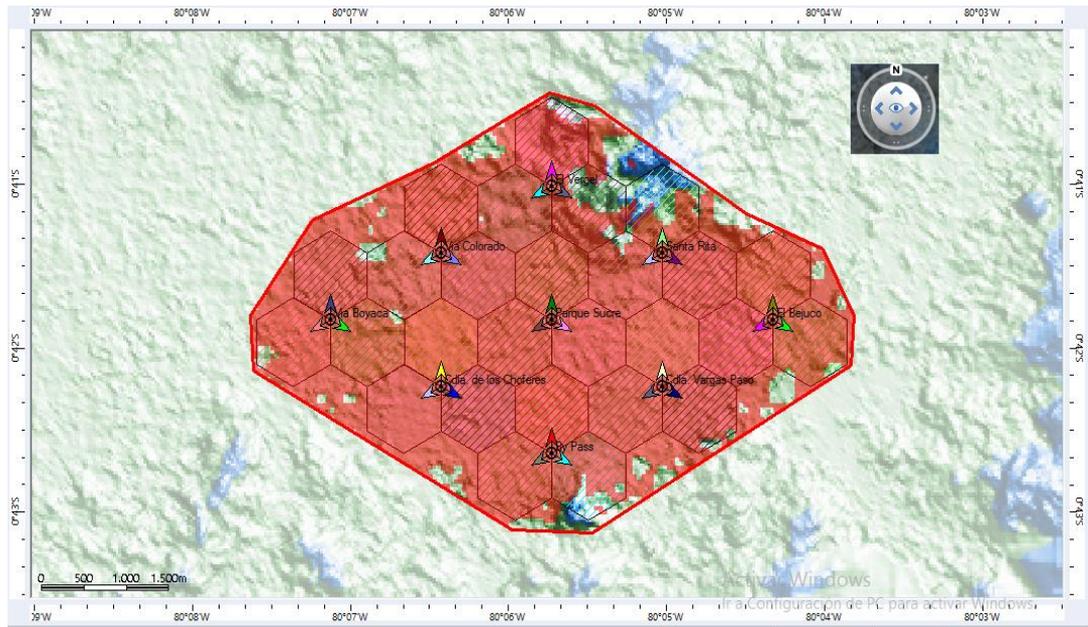


Figura 4.22: Análisis del área de servicio efectiva

Elaborado por: Autor

#### 4.6.6. Análisis del Throughput efectivo del canal

El presente análisis nos permite analizar y conocer las velocidades de transmisión que están siendo entregadas en la red. En la figura 4.23 presenta la zona de estudios con diferentes colores.

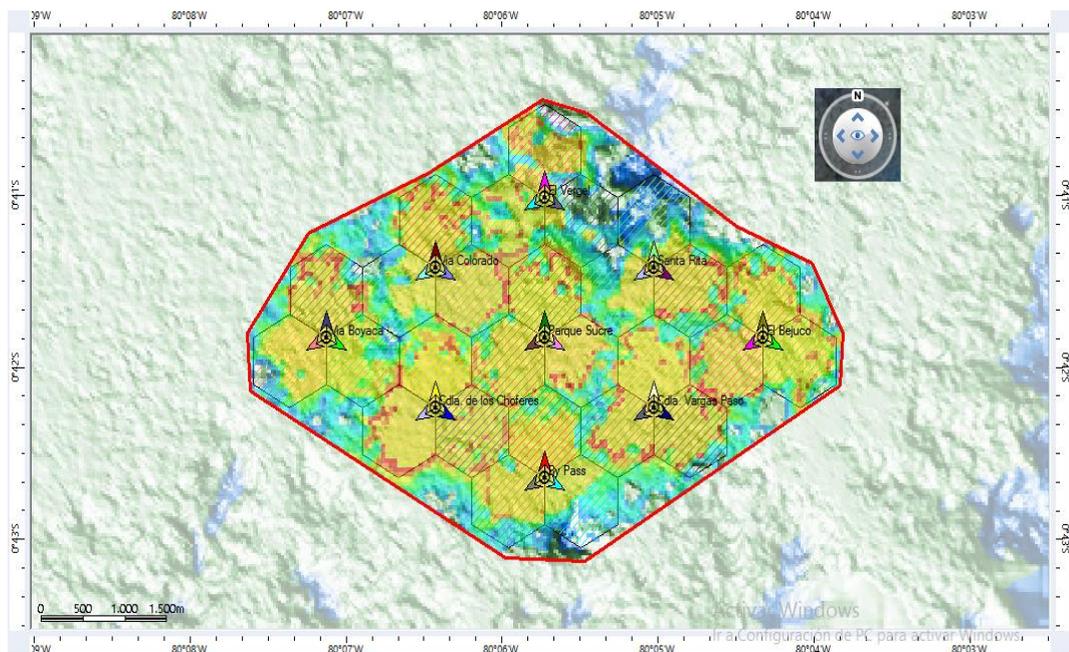


Figura 4.23: Análisis del Throughput efectivo del canal

Elaborado por: Autor

Las diferentes tonalidades se asocian a las velocidades de transmisión proporcionadas en función a la distancia y carga de la red. Los colores que se presentan mayor porcentaje son: el color amarillo que representa velocidades de aproximadamente 35Mbps y el azul velocidades de 12 Mbps.

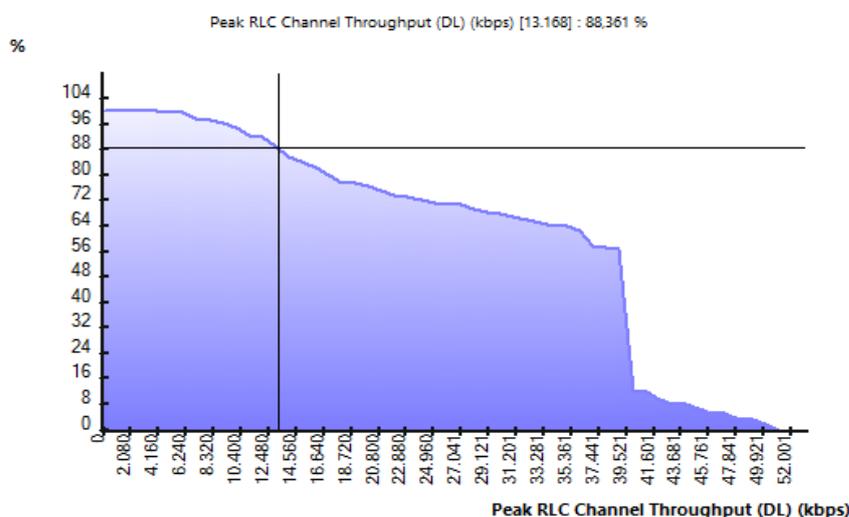


Figura 4.24: Análisis del Porcentaje de Throughput

Elaborado por: Autor

La figura 4.24 muestra los porcentajes de las áreas cubiertas en cada pixel del mapa y las velocidades de descarga. En la figura se puede ver que el modelo que se está analizando entrega aproximadamente 13 Mbps al 88% (tonalidad celeste) presentada en la figura 4.23. Los resultados exportados a Google Earth para simulación por Throughput se adjuntan en el anexo 2.

Tabla 4.2: Resumen de resultados de la Red LTE Chone-Urbano

Simulaciones	Resultados	% Área cubierta
Cobertura por nivel de señal	-100dbm	90%
Zonas solapadas	1 - 2 Servidores	85%
Señal efectiva Enlace Descendente	-95 dBm	87%
Señal efectiva Enlace de Ascendente	-110 dBm	75%
Throughput efectivo del canal	13 Mbps	88%

Elaborado por: Autor

La tabla 4.2 muestra los resultados más relevantes de las simulaciones realizadas, con los cuales se estima un buen funcionamiento de la red. Los resultados fueron obtenidos tomando en cuenta el análisis link Budget mostrado en el capítulo 3.

#### 4.7. Análisis de cobertura en parroquias rurales

La figura 4.25 corresponde a la parroquia Canuto, en la cual se procedió a realizar una simulación de cobertura por nivel de señal para efectuar un análisis en ambientes rurales.

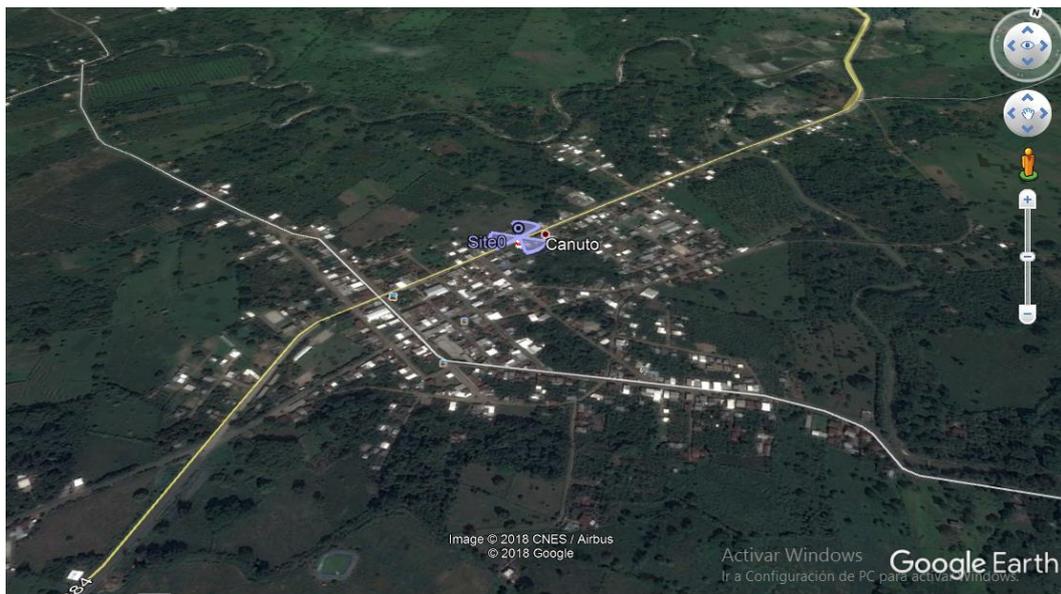


Figura 4.25: Parroquia rural Canuto  
Elaborado por: Autor

Para efectos de diseño de la red se ha tomado en consideración la banda IV que corresponde a las frecuencias 1700/2100 MHz con un ancho de banda de 10 MHz y modelo Cost Hata. Se ha establecido una celda con un radio de 2 Km, calificando, así como macro celda.

##### 4.7.1. Análisis de cobertura por nivel de señal

En la figura 4.26 corresponde a la cobertura por nivel de señal al igual que en el análisis realizado para las parroquias urbanas podemos ver que en un mayor porcentaje presenta niveles de señal mayores a -100 dBm.

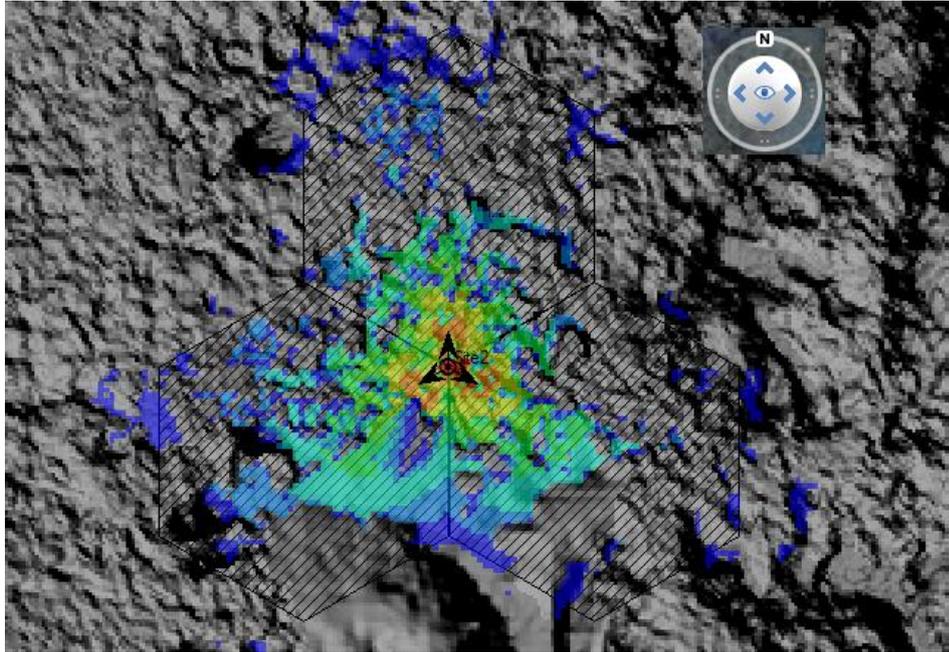


Figura 4.26: Cobertura por nivel de señal  
Elaborado por: Autor

Como se puede observar en la figura 4.26 los niveles señal menores a -100 dBm (azul oscuro), se presentan en los lugares mas distantes a la radio base. Es importante destacar para la presente simulacion la importancia de la ubicación de la radio base, teniendo en cuenta que las zonas donde ubica la población muestran buenos niveles de señal (rojo, amarillo y verde). Se incluyen resultados para simulación de cobertura por nivel de señal para el sector rural en el anexo 2.

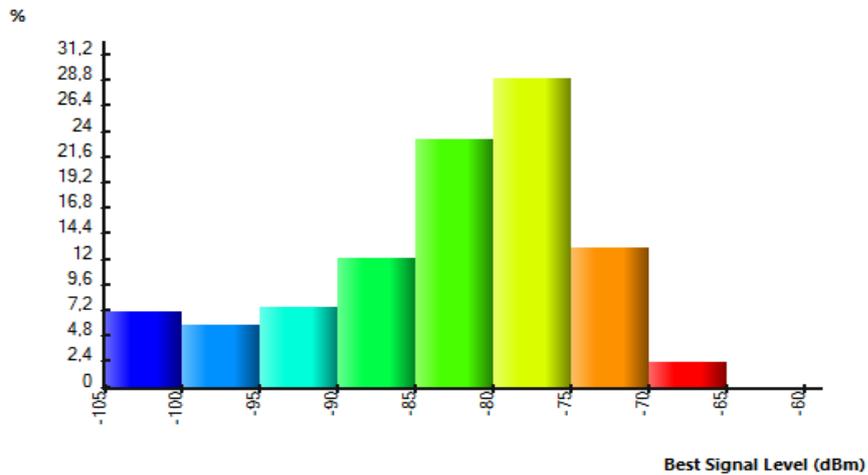


Figura 4.27: Histograma cobertura por nivel de señal  
Elaborado por: Autor

De acuerdo con el histograma mostrado en la figura 4.27 existen zonas donde el servicio podría verse comprometido, las cuales representan un 7% (barra azul) de las zonas en donde existe señal.

#### 4.8. Analisis comparativo de cobertura en areas urbanas y rurales

Para el presente análisis se tomó en consideración el sector sucre de las predicciones por cobertura de señal realizada para las zonas urbanas y la realizada en las zonas rurales del cantón.

Las tablas 4.3 y 4.4 corresponden a reportes generados por Atoll. En ellas se muestra la superficie y el porcentaje de área cubierta que corresponde por la señal.

Tabla 4.3: Niveles de señal en Sector parque Sucre

Name	Surface (km <sup>2</sup> )	% of Covered Area
<b>Coverage by Signal Level (DL): SITE_NAME=Parque Sucre</b>	<b>6,87</b>	<b>100</b>
Best Signal Level (dBm) >=-70	0,047	0,684
Best Signal Level (dBm) >=-75	0,298	4,338
Best Signal Level (dBm) >=-80	0,6	8,734
Best Signal Level (dBm) >=-85	1,067	15,531
Best Signal Level (dBm) >=-90	1,708	24,862
Best Signal Level (dBm) >=-95	3,065	44,614
Best Signal Level (dBm) >=-100	4,683	68,166
Best Signal Level (dBm) >=-105	6,87	100

Elaborado por: Autor

Tabla 4.4: Niveles de señal en sector rural Canuto

Name	Surface (km <sup>2</sup> )	% of Covered Area
<b>Coverage by Signal Level (DL): SITE_NAME=Site2</b>	<b>7,208</b>	<b>100</b>
Best Signal Level (dBm) >=-70	0,035	0,486
Best Signal Level (dBm) >=-75	0,23	3,191
Best Signal Level (dBm) >=-80	0,685	9,503
Best Signal Level (dBm) >=-85	1,22	16,926
Best Signal Level (dBm) >=-90	2,003	27,789
Best Signal Level (dBm) >=-95	3,37	46,754
Best Signal Level (dBm) >=-100	4,77	66,176
Best Signal Level (dBm) >=-105	7,208	100

Elaborado por: Autor

De acuerdo con los resultados obtenidos en el sector rural, se puede observar que a diferencia del sector urbano se logra conseguir una mayor área de cobertura. En el sector rural se ubicó la antena en un lugar estratégico de

manera que se disponga de los mejores niveles de señal en los lugares donde se encuentran situados los posibles subscriptores del servicio.

Las macroceldas tienen el propósito de cubrir grandes distancias independientemente de los niveles de señal que se estén entregando. Para lo que es necesario el uso de antenas de gran tamaño como se puede ver en la simulación del sector rural, donde se estableció un tamaño de 40 metros.

En los sectores Urbanos por otra parte, se hizo uso de áreas más pequeñas que garanticen de los mejores niveles de señal en el mayor número de lugares posibles. En las simulaciones realizadas al principio del capítulo se tuvo como principal objetivo satisfacer la gran demanda de servicio, esto debido a la existencia de un gran número de subscriptores en la región.

## **CAPÍTULO 5: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

### **5.1. Conclusiones**

A partir del trabajo realizado se ha logrado establecer los parámetros adecuados para las simulaciones realizadas. Considerando el tipo ambiente (urbano o rural), bandas de frecuencias, ancho de banda y tipo de movilidad que tienen gran importancia en el análisis de Link Budget que a su vez nos permite establecer el área de las celdas.

En las simulaciones realizadas en los sectores urbanos, se considera que los resultados obtenidos son óptimos para el servicio de banda ancha móvil. Consiguiendo niveles de señal apropiados, principalmente en los más sectores recorridos y velocidades apropiadas en el 90% del área de interés.

Para la simulación realizada en las zonas rurales se consideró a la parroquia de Canuto, tomando en cuenta que es la más antigua del cantón y que presenta un posible mayor número de abonados. Los resultados obtenidos muestran los mejores niveles de señal para la zona donde se concentra la población, además de niveles de señal que garantizan los servicios en los alrededores del área principal.

A partir de las simulaciones realizadas en los sectores urbanos y rurales, se concluye que la potencia y la altura de la antena son factores determinantes en el alcance de la señal y que las celdas de menor tamaño dan prioridad a los usuarios establecidos en sectores estratégicos.

## **5.2. Recomendaciones**

Hay que tomar en cuenta que aunque el despliegue de este tipo de redes representa una inversión económica para las compañías de telefonía celular, se debe seguir trabajando en el despliegue de las mismas tanto en sectores rurales como urbanos. Permitiendo así que exista una igualdad en cuanto al acceso a las tecnologías y que en el Ecuador se pueda llegar a ofertar nuevos servicios como VoIP.

Aunque las simulaciones realizadas muestran resultados favorables para el funcionamiento, se puede optimizar el funcionamiento mediante cambios físicos. Estos pueden incluir orientación de la antena o implementando celdas de menor tamaño respetando el límite de interferencias.

Para el acceso a la tecnología que se analizó en el presente trabajo es importante saber que además del despliegue de las redes se debe disponer de un teléfono con acceso a dicha tecnología. Se debe conocer que el modelo comercial de los teléfonos es diferente del modelo técnico. Esta diferencia radica en el uso de bandas de frecuencias distintas con respecto al país donde se adquiera el equipo, por lo que se recomienda informarse sobre la homologación celular.

Se recomienda a instituciones tanto educativas como empresariales dedicadas al servicio de telefonía móvil incentivar al aprendizaje de herramientas como Atoll, que permite proyectar y evaluar redes inalámbricas permitiéndonos conocer de manera empírica el comportamiento de las mismas.

## **Glosario**

1G: Primera Generación.

2G: Segunda Generación.

3G: Tercera Generación.

4G: Cuarta Generación.

16-QAM (16-Quadrature Amplitude Modulation): Modulación de amplitud por cuadratura 16.

64-QAM (64-Quadrature Amplitude Modulation): Modulación de amplitud por cuadratura 64.

256-QAM (256-Quadrature Amplitude Modulation): Modulación de amplitud por cuadratura 256.

AMPS (Advanced Mobile Phone Systems): Sistema avanzado de teléfonos móviles.

AWS (Advanced Wireless Services): servicios inalámbricos avanzados

BTS (base station transceiver): estación base transceptora.

CDMA (Code Division Multiple Access): Acceso múltiple por división de código.

EDGE (Enhanced Data for GSM Evolution): Datos Mejorados para la Evolución de GSM

eNB (evolved NodeB): NodeB evolucionado.

EPC (Evolved Packet Core): Núcleo de Paquetes Evolucionados.

TE: Equipo terminal

FDD (Full Division Duplex): Duplexación por División de Frecuencia.

FFT (Fast Fourier Transform): Transformada Rápida de Fourier.

GB: Gigabyte

GPRS (General Packet Radio Service): Servicio General de Paquetes de Radio.

GSM (Global System for Mobile Communications): Sistema Global para Comunicaciones Móviles.

HSDPA (High Speed Downlink Packet Access): Acceso por Paquetes de Enlace Descendente de Alta Velocidad.

HSPA (High Speed Packet Access): Acceso por Paquetes de Alta Velocidad.

HSPA+ (High Speed Packet Access Plus): Acceso por Paquetes de Enlace Descendente de Alta Velocidad.

HSUPA (High Speed Uplink Packet Access): Acceso por Paquetes de Enlace Ascendente de Alta Velocidad.

ITU (International Telecommunication Union): Unión Internacional de Telecomunicaciones.

IP (Internet Protocol): Protocolo de internet.

LTE (Long Term Evolution): Evolución a Largo Plazo

LTE-Advanced (Long Term Evolution Advanced): Evolución a Largo Plazo Avanzadas.

Link Budget: Presupuesto de enlace

MB: Megabytes

MIMO (Multiple Input Multiple Outputs): Múltiples Entradas Múltiples Salidas.

MT: Terminal móvil

OFDMA (Orthogonal Frequency Division Multiple Access): Acceso Múltiple por División de Frecuencia Ortogonal.

PAPR (Peak Average Power Ratio): Relación Promedio Pico-Potencia.

PDCCCH (Physical Downlink Control Channel): Canal de Control Físico de Enlace Descendente.

PDN (Packet Data Network): Paquete de Datos de Red.

PDSCH (Physical Downlink Shared Channel): Canal compartido de enlace descendente físico.

PUCCH (Physical Uplink Control Channel): Canal de Control Físico de Enlace Ascendente.

PUSCH (Physical Uplink Shared Channel): Canal compartido de enlace ascendente físico.

QoS (Quality of Service): Calidad de Servicio.

QPSK (Quadrature Phase Shift Keying): Modulación por Desplazamiento de Fase en Cuadraturas.

RB (Resource Block): Bloque de Recurso.

SAE (System Architecture Evolution): Arquitectura de Sistema Evolucionado.

SC-FDMA (Single Carrier Frequency Division Multiple Access): Acceso Múltiple por División de Frecuencia por Portadora Simple.

SG (Service Gateway): Pasarela de Servicios.

SMA: Servicio Móvil Avanzado

SNR (Signal-Noise Ratio): Relación Señal a Ruido.

TACS (Total Access Communication System): Sistema de Comunicación de Acceso Total.

TCP (Transmission Control Protocol): Protocolo de Control de Transmisión.

TDD (Time Division Duplex): Duplexación por División de Tiempo.

TDMA (Time Division Multiple Access): Acceso Múltiple por División de Tiempo.

TS (Time Slot): Ranura de Tiempo.

UE (User Equipment): Equipo de Usuario.

UICC (Universal interated circuit Card): tarjeta SIM

UMTS (Universal Mobile Telecommunication System): Sistema Móvil Universal de Telecomunicaciones.

UTRAN (Universal Terrestrial Radio Access Network): Red de Acceso Universal Terrestre por Radio

VoIP (Voice over Internet Protocol): Voz sobre Protocolo de Internet.

WCDMA (Wideband Code Division Multiple Access): Acceso Múltiple por División de Códigos de Banda Ancha.

WIMAX (Worldwide Interoperability for Microwave Access): Interoperabilidad Mundial para Acceso por Microondas.

## Referencias Bibliográficas

- Alvarez, D. (2014). Diseño de una red 4G (Long Term Evolution) en el clúster 2 de la ciudad de Quito para el operador CNT EP. Ibarra. Obtenido de <http://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/3771>
- Anguís, J. J. (2008). Redes de area local inalambrica: Diseño de la Wlan de Wheelers Lane Technology college. Sevilla. Obtenido de <http://bibing.us.es/proyectos/abreproy/11579>
- Anritsu Company. (2009). LTE Resource Guide. Obtenido de [http://web.cecs.pdx.edu/~fli/class/LTE\\_Reource\\_Guide.pdf](http://web.cecs.pdx.edu/~fli/class/LTE_Reource_Guide.pdf)
- Arcotel. (2017). Boletin-Estadístico-Unificado. Obtenido de <http://www.arcotel.gob.ec/wp-content/uploads/2015/01/BOLETIN-ESTAD%C3%8DSTICO-UNIFICADO-JUNIO-2017v3.pdf>
- AT&T Mobility team. (2010). LTE RF Network Design Guidelines. AT&T. Obtenido de [http://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:be6M1VXFRIkJ:nashvillelibrary.dyndns.org:823/YourFreeLibrary/\\_lte/\\_Best%2520Comprehensive%2520Technical%2520Docs/LTE-RF-Network-Design-Guidelines-at-T.pdf+&cd=1&hl=es-419&ct=clnk&gl=ec](http://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:be6M1VXFRIkJ:nashvillelibrary.dyndns.org:823/YourFreeLibrary/_lte/_Best%2520Comprehensive%2520Technical%2520Docs/LTE-RF-Network-Design-Guidelines-at-T.pdf+&cd=1&hl=es-419&ct=clnk&gl=ec)
- Bermeo, S. A. (2014). 4G /LTE Avanzado para banda ancha móvil. Cuenca. Obtenido de <http://dspace.ucacue.edu.ec/bitstream/reducacue/6141/1/TESIS.pdf>
- CADS. (2012). Análisis de Vulnerabilidades a Nivel Municipal “Perfil Territorial con Enfoque en Gestión de Riesgos del Cantón Chone”. Chone. Obtenido de <http://studylib.es/doc/5555342/perfil-territorial-chone>
- Comes, R. A., Alvarez, F. B., Ferre, R. F., Perez, J., & Sallent, O. (2010). LTE: Las nuevas tendencias en comunicaciones móviles. España:

Fundación Vodafone. Obtenido de [http://www.fundacionvodafone.es/sites/default/files/libro\\_lte.pdf](http://www.fundacionvodafone.es/sites/default/files/libro_lte.pdf)

GAD Municipal del Cantón Chone. (2014). Plan de desarrollo y ordenamiento de Canton Chone. Chone. Obtenido de [http://app.sni.gob.ec/sni-link/sni/PORTAL\\_SNI/data\\_sigad\\_plus/sigadplusdiagnostico/1360000470001\\_GAD\\_CHONE\\_DIAGN%C3%93STICO\\_PRELIMINAR\\_15-11-2014.pdf](http://app.sni.gob.ec/sni-link/sni/PORTAL_SNI/data_sigad_plus/sigadplusdiagnostico/1360000470001_GAD_CHONE_DIAGN%C3%93STICO_PRELIMINAR_15-11-2014.pdf)

Gómez, P. R. (2013). Diseño de una red de cuarta generación LTE (Long Term Evolution) para obtener la actualización tecnológica de telefonía móvil e internet de la CNT E.P. provincia de Santa Elena. La Libertad. Obtenido de <http://repositorio.upse.edu.ec/handle/46000/1571>

Guachan, V., & Cajias, P. (2014). Estudio de factibilidad y diseño de una red LTE (Long Term Evolution) en la zona norte de Quito Ecuador. Quito. Obtenido de <https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/9166>

Iglesias, L. C. (2016). Planificación y optimización de una red LTE con la herramienta Atoll. Barcelona. Obtenido de <https://upcommons.upc.edu/handle/2117/83015>

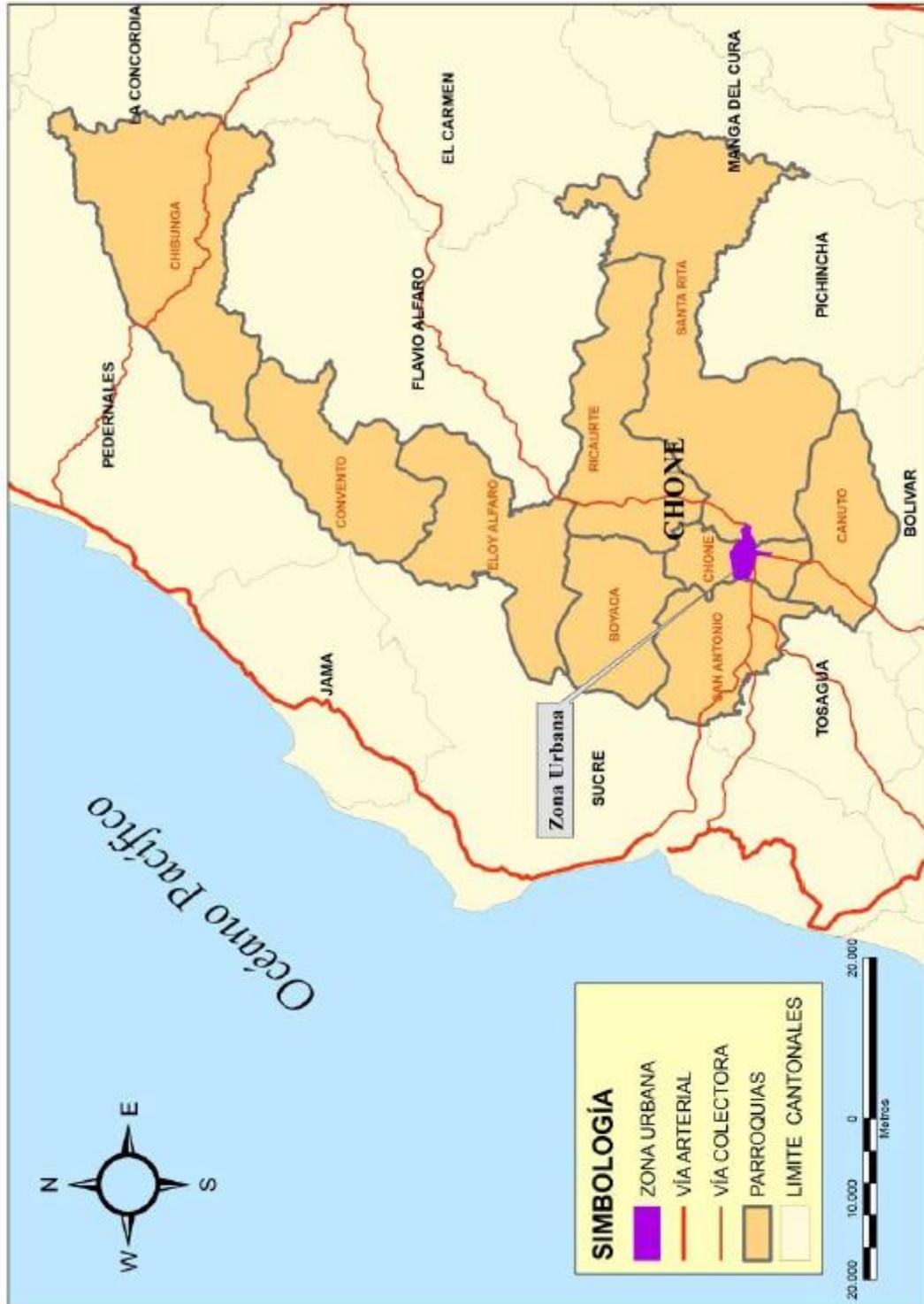
Logroño, C. K. (2014). Diseño de una red LTE para la parroquia de Ñaquito utilizando la herramienta Atoll. Quito. Obtenido de [https://likedoc.org/the-philosophy-of-money.html?utm\\_source=uisrael-ec-eldt-378-242-211](https://likedoc.org/the-philosophy-of-money.html?utm_source=uisrael-ec-eldt-378-242-211)

Manosalvas, H. V., & Santamaria, A. L. (2012). Estudio diseño y simulacion de una red LTE (Long Term Evolution) para telefonía móvil en los valles de Tumbaco y los Chillos utilizando software predictivo. Sangolqui. Obtenido de <http://www.bibliotecasdelecuador.com/Record/ir-:21000-5547>

- Medioroz, F., & Rendon, A. (2014). Sistema de conmutacion telefonia movil celular. Popayan. Obtenido de <https://es.slideshare.net/fernandomendioroz/telefona-mvil-celular-0-a-4g-lteadvanced>
- Meza, H. R., & Santin, L. F. (2014). Estudio y diseño de una celda base de acceso inalambrico con tecnologia 4G LTE para el sector Ñaquio de la ciudad de Quito. Quito. Obtenido de <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/7387>
- MINTEL. (2016). Ministerio de las telecomunicaciones y de la sociedad de la informacion. Obtenido de <https://www.telecomunicaciones.gob.ec/ecuador-cuenta-con-la-mayor-velocidad-de-internet-4g-lte-en-america-latina/>
- Murillo, J. J. (2008). Sistema de Radio Comunicaciones Moviles. Sevilla. Obtenido de <http://personal.us.es/murillo/docente/radio/documentos/tema9.pdf>
- Opensignal. (Noviembre de 2016). The state of LTE. Obtenido de <https://opensignal.com/reports/2016/11/state-of-lte>
- Procuraduría Federal del Consumidor. (04 de August de 2011). Internet Movil de Banda Ancha "El mundo a la mano". Mexico. Obtenido de <http://red.ilce.edu.mx/sitios/tabletas/familia/Internetmovildebanda.pdf>
- Salazar, A. A. (2014). Análisis y simulación de una red celular de cuarta generación Long Term Evolution (LTE). Guayaquil. Obtenido de <http://www.bibliotecasdelecuador.com/Record/ir-:3317-1809/Details>
- Wong, C. (2011). Análisis y diseño de una red 3GPP LTE en el departamento de Cusco. Lima. Obtenido de <http://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/handle/123456789/937>

## Anexo 1

Figura A1: Límites y división parroquial del cantón Chone  
Fuente: (GAD Municipal del Cantón Chone, 2014)



## Anexo 2

Figura A2.1: Análisis de cobertura por nivel de Señal sector Urbano (Chone y Santa Rita)  
Elaborado por: Autor

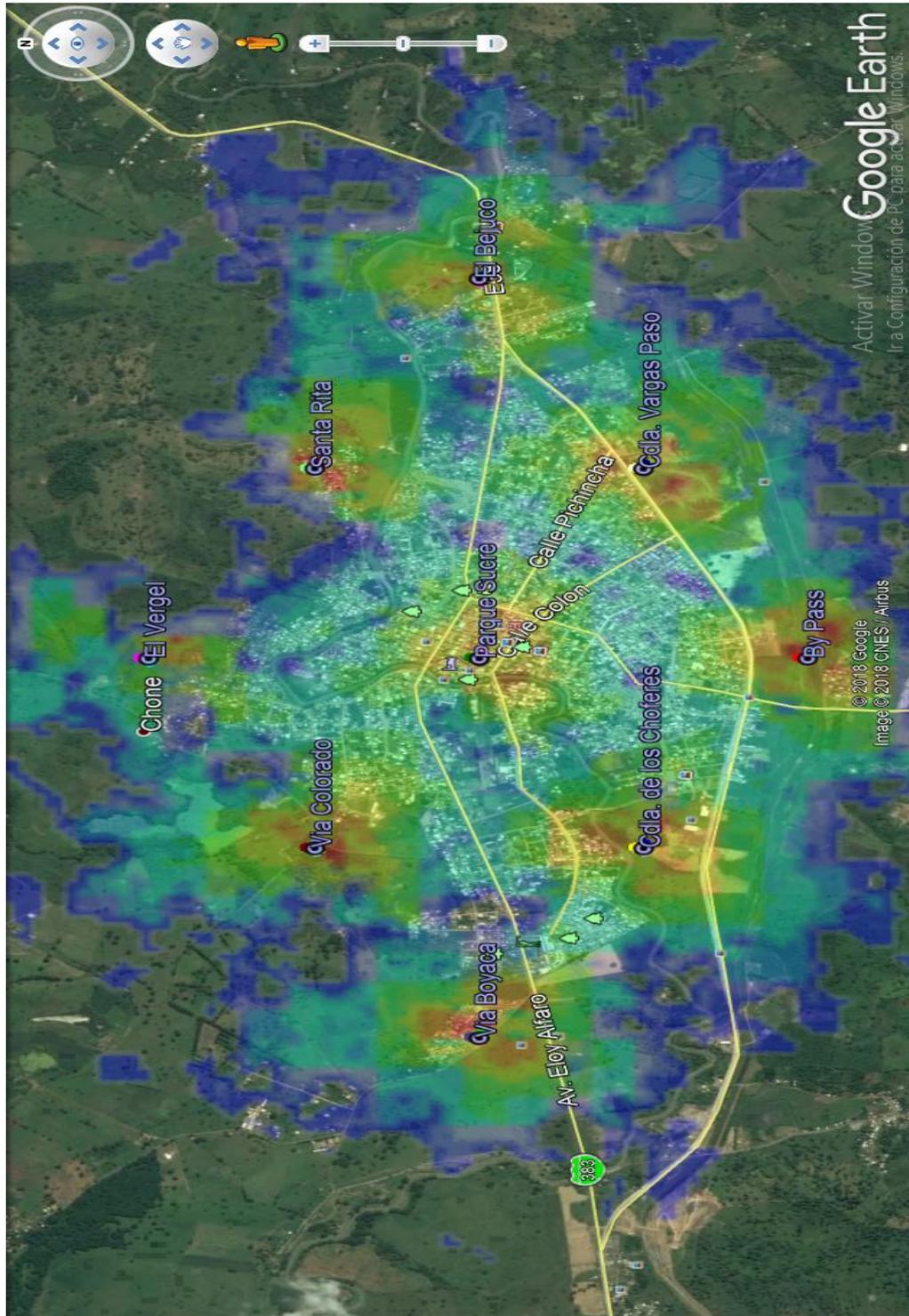


Figura A2.2: Análisis de cobertura por nivel de Señal sector Urbano (Chone y Santa Rita)  
Elaborado por: Autor

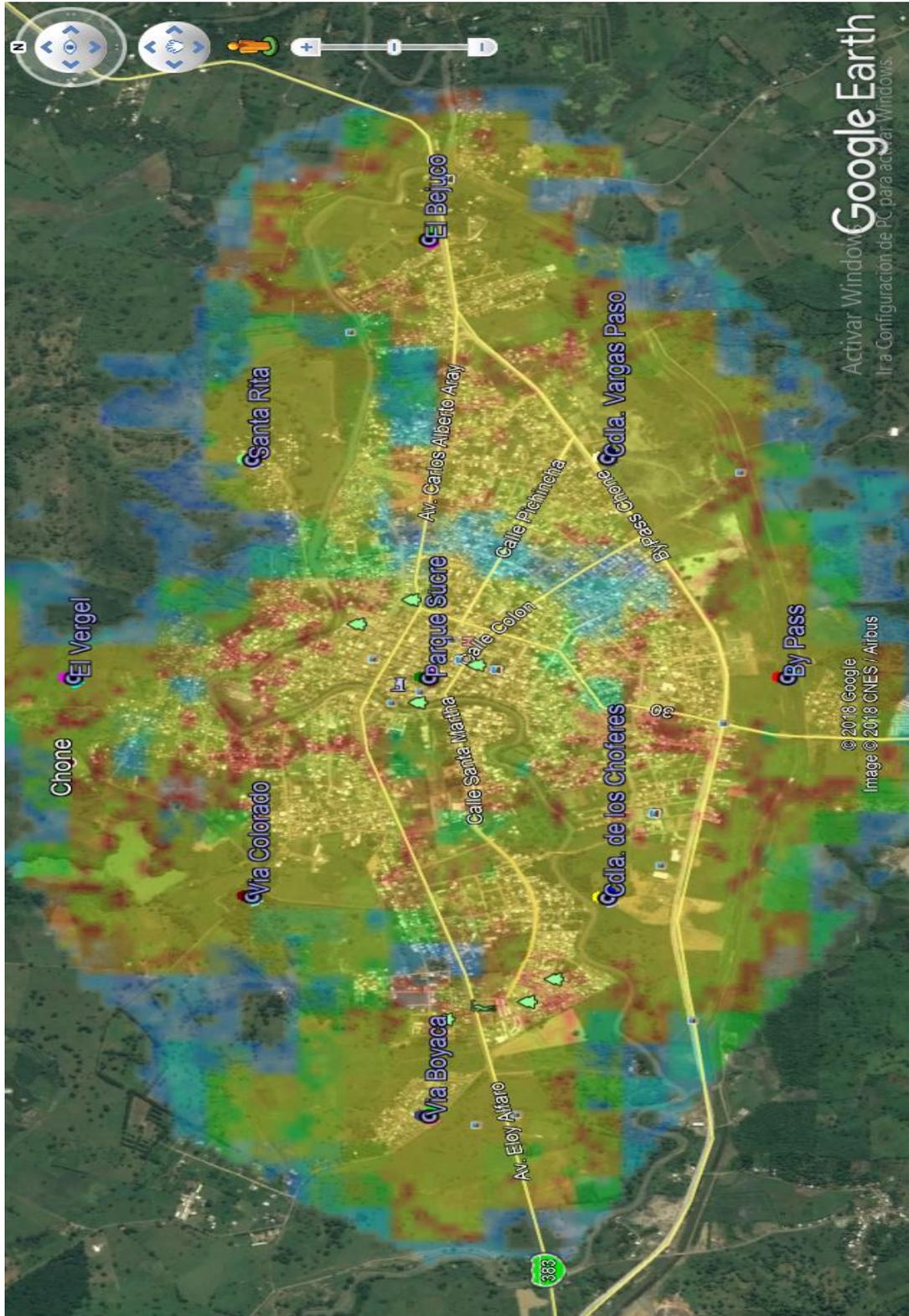
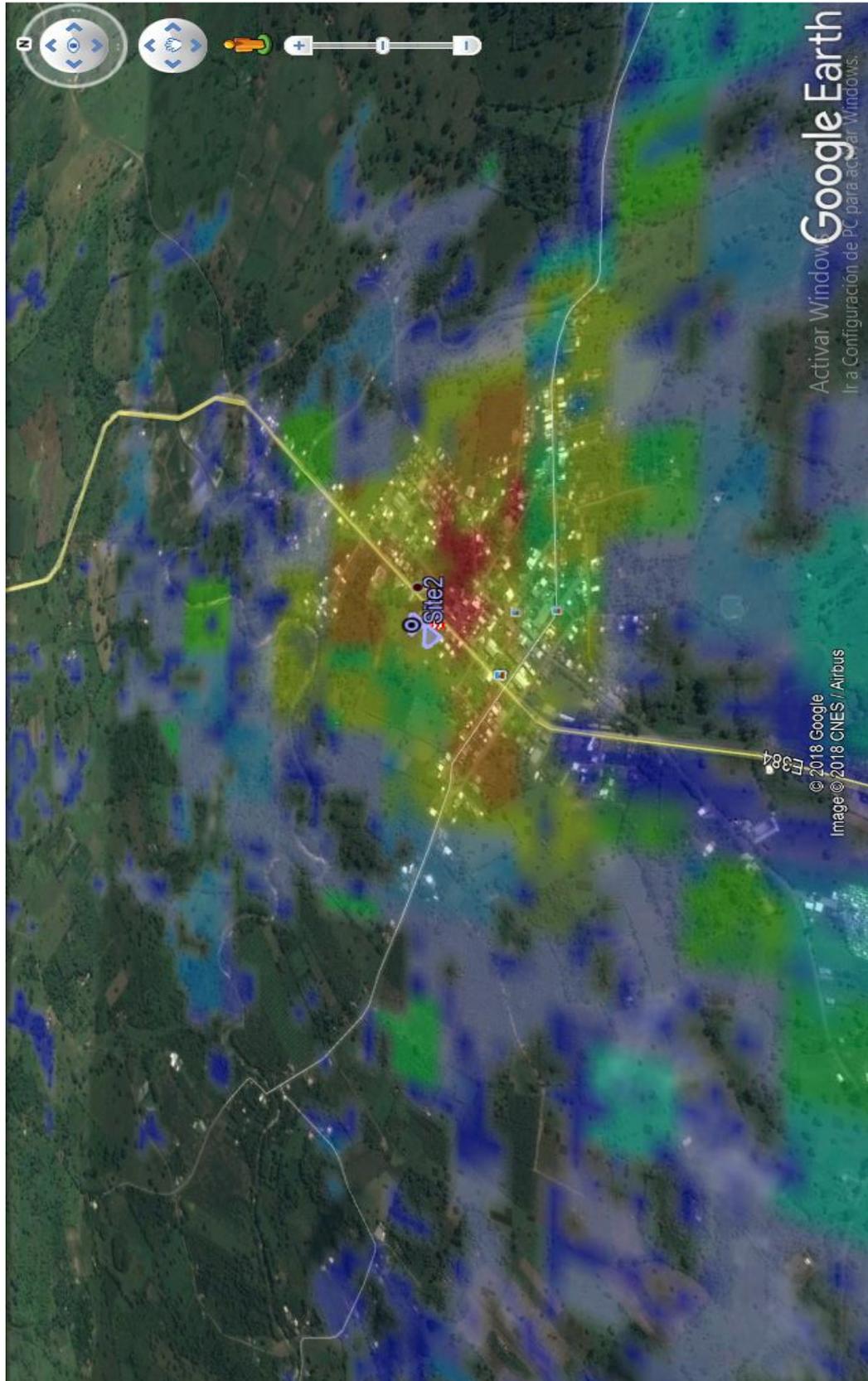


Figura A2.3: Análisis de cobertura por nivel de Señal sector Rural (Canuto)  
Elaborado por: Autor





## DECLARACIÓN Y AUTORIZACIÓN

Yo, **Solórzano Yagual Byron Ernesto**, con C.C: # 0952291292 autor del trabajo de titulación: **Análisis de cobertura de una red de banda ancha móvil (LTE) para cantón Chone mediante software Atoll** previo a la obtención del título de **INGENIERO EN TELECOMUNICACIONES** en la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil.

1.- Declaro tener pleno conocimiento de la obligación que tienen las instituciones de educación superior, de conformidad con el Artículo 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior, de entregar a la SENESCYT en formato digital una copia del referido trabajo de titulación para que sea integrado al Sistema Nacional de Información de la Educación Superior del Ecuador para su difusión pública respetando los derechos de autor.

2.- Autorizo a la SENESCYT a tener una copia del referido trabajo de titulación, con el propósito de generar un repositorio que democratice la información, respetando las políticas de propiedad intelectual vigentes.

Guayaquil, marzo del 2018

f. \_\_\_\_\_

Nombre: **Solórzano Yagual Byron Ernesto**

C.C: 0952291292



## **REPOSITORIO NACIONAL EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA**

### **FICHA DE REGISTRO DE TESIS/TRABAJO DE TITULACIÓN**

<b>TÍTULO Y SUBTÍTULO:</b>	<b>Análisis de cobertura de una red de banda ancha móvil (LTE) para cantón Chone mediante software Atoll</b>		
<b>AUTOR(ES)</b>	Solórzano Yagual, Byron Ernesto		
<b>REVISOR(ES)/TUTOR(ES)</b>	M. Sc. Philco Asqui, Luis Orlando		
<b>INSTITUCIÓN:</b>	Universidad Católica de Santiago de Guayaquil		
<b>FACULTAD:</b>	Facultad de educación técnica para el Desarrollo		
<b>CARRERA:</b>	Ingeniería en Telecomunicaciones		
<b>TITULO OBTENIDO:</b>	Ingeniero en Telecomunicaciones		
<b>FECHA DE PUBLICACIÓN:</b>	7 de marzo del 2018	<b>No. DE PÁGINAS:</b>	90
<b>ÁREAS TEMÁTICAS:</b>	Comunicaciones móviles, Transmisiones, Fundamentos de comunicación		
<b>PALABRAS CLAVES/ KEYWORDS:</b>	FREQUENCY, BW, NODES, LTE, CELLS, BS, ENB		
<b>RESUMEN/ABSTRACT (150-250 palabras):</b>	<p>El presente trabajo corresponde a un análisis de red de banda ancha móvil LTE para el cantón Chone ubicado en la provincia de Manabí. Para lo cual se realiza una simulación de un diseño de red LTE en algunas de las parroquias de cantón. El proyecto realizado consta de 5 capítulos con los que se busca obtener resultados precisos en base al estudio de las características y parámetros de las redes LTE para el servicio de banda ancha móvil. Se debe mencionar que el lugar escogido para realizar este estudio aún no cuenta con la tecnología LTE, por lo cual se propone un diseño para las zonas Urbanas formadas por las parroquias de Chone y Santa Rita con celdas de igual magnitud distribuidas en toda el área de interés. Las zonas rurales del cantón a diferencia de las urbanas presentan áreas pobladas muy pequeñas, por lo cual se considera la implementación de una macrocelda. El proyecto realizado consta de 5 capítulos con los que se busca caracterizar, simular y analizar una red LTE para el servicio de banda ancha móvil.</p>		
<b>ADJUNTO PDF:</b>	<input checked="" type="checkbox"/> SI	<input type="checkbox"/> NO	
<b>CONTACTO CON AUTOR/ES:</b>	<b>Teléfono:</b> +593-4-6013895 / +593-9-1122459	E-mail: <a href="mailto:byrons_93@hotmail.com">byrons_93@hotmail.com</a>	
<b>CONTACTO CON LA INSTITUCIÓN: COORDINADOR DEL PROCESO DE UTE</b>	<b>Nombre:</b> Palacios Meléndez, Edwin Fernando		
	<b>Teléfono:</b> +593-9-68366762		
	<b>E-mail:</b> <a href="mailto:edwin.palacios@cu.ucsg.edu.ec">edwin.palacios@cu.ucsg.edu.ec</a>		

#### **SECCIÓN PARA USO DE BIBLIOTECA**

<b>Nº. DE REGISTRO (en base a datos):</b>	
<b>Nº. DE CLASIFICACIÓN:</b>	
<b>DIRECCIÓN URL (tesis en la web):</b>	