



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**

**FACULTAD DE INFORMÁTICA Y ELECTRONICA**

**ESCUELA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA EN TELECOMUNICACIONES Y  
REDES**

**“MAPEO ELECTROMAGNÉTICO EN UN SECTOR DE RIOBAMBA  
EN LA BANDA DE FRECUENCIA DE 944 MHZ A 951MHZ,  
UTILIZANDO LA FAMILIA VIRTUAL, EL EQUIPO NARDA SRM-  
3000 Y UNA TESIS DE GRADO.”**

**TRABAJO DE TITULACIÓN: PROPUESTA TECNOLÓGICA**

**Para optar al Grado Académico de:**

**INGENIERO EN ELECTRÓNICA TELECOMUNICACIONES Y  
REDES**

**AUTOR: JORDAN SEBASTIAN HUILCA LOGROÑO**

**TUTOR: ING. PEDRO SEVERO INFANTE MOREIRA**

Riobamba – Ecuador

2017

©2017, Jordan Sebastián Huilca Logroño.

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo la cita bibliográfica del documento, siempre y cuando se reconozca el Derecho de Autor.

**ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE CHIMBORAZO**

**FACULTAD DE INFORMÁTICA Y ELECTRONICA**

**ESCUELA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA EN TELECOMUNICACIONES Y REDES**

El Tribunal del Trabajo de Titulación certifica que: La Propuesta Tecnológica: “**MAPEO ELECTROMAGNÉTICO EN UN SECTOR DE RIOBAMBA EN LA BANDA DE FRECUENCIA DE 944 MHZ A 951MHZ, UTILIZANDO LA FAMILIA VIRTUAL, EL EQUIPO NARDA SRM-3000 Y UNA TESIS DE GRADO**”, de responsabilidad del señor Jordan Sebastián Huilca Logroño, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal del Trabajo de Titulación, quedando autorizada su presentación.

**FIRMA**

**FECHA**

Ing. Washington Luna

**DECANO FIE**

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

Ing. Franklin Moreno

**DIRECTOR DE EIETR**

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

Ing. Pedro Infante

**DIRECTOR DE TRABAJO DE**

**TITULACIÓN**

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

Dr. Hugo Moreno PhD.

**MIEMBRO DEL TRIBUNAL**

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

Yo, Jordan Sebastian Huilca Logroño, soy responsable de las ideas, doctrinas y resultados expuestos en esta Tesis y el patrimonio intelectual del Trabajo de Titulación pertenece a la Escuela Superior Politécnica De Chimborazo.

---

JORDAN SEBASTIAN HUILCA LOGROÑO

## **DEDICATORIA**

El presente trabajo lo dedico con tomo mi amor y cariño de manera primordial a Dios, quien es el motor de mi vida, el dueño y señor de todo, el alfa y omega de toda la humanidad, ya que sin su ayuda, todo esto no hubiera sido ni siquiera imaginable, a mis padres Fernando y Lourdes, que me han apoyado desde mis primeros pasos, incentivándome a seguir siempre adelante y vencer cualquier obstáculo que se presente en la vida, a mis hermanos Fernando y Gabriela, que siempre han sido esa ayuda que necesito en todo momento, a mis demás familiares y amig@s, ya que cada uno apporto en mayor o menor proporción, ese impulso que necesité para culminar este tan anhelado sueño, por último quiero agradecer a Daniela, ya que a lo largo de mi vida estudiantil, ha sido quien ha estado conmigo y con quien eh compartido todos mis triunfos y fracasos a lo largo de mi vida estudiantil previa a la obtención de este sueño.

**Jordan Huilca**

## **AGRADECIMIENTO**

Agradezco infinitamente a Dios, ya que solo con su infinita misericordia y gracia se ha logrado terminar este trabajo de investigación, Él ha estado junto a mi desde mucho antes de que naciera.

Al Ing. Pedro Infante por su asesoramiento y guía para el presente trabajo de titulación, por su don de gente y su calidad humana, y por su preocupación y desinterés a lo largo de la realización de este sueño.

A la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, por darme la oportunidad de ser uno más de esta hermosa familia politécnica, por acogerme en sus aulas y con juntamente con el personal docente de la Facultad de Informática y Electrónica, impartir conocimientos y experiencias que quedaran grabadas en mi memoria para la posteridad.

Gracias a todas las demás personas que han aportado de cualquier manera en la realización de este trabajo de titulación.

**Jordan**

## TABLA DE CONTENIDO

ÍNDICE DE ABREVIATURAS.....	x
ÍNDICE DE TABLAS.....	xi
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xiii
ÍNDICE DE MAPAS .....	xv
RESUMEN.....	xvii
ABSTRACT .....	xvii
INTRODUCCIÓN .....	1
<b>CAPÍTULO I</b>	
<b>1. MARCO TEÓRICO .....</b>	<b>5</b>
<b>1.1 Radiaciones Electromagnéticas.....</b>	<b>5</b>
<i>1.1.1 Ondas Electromagnéticas.....</i>	<i>5</i>
<i>1.1.2 Espectro Electromagnético .....</i>	<i>6</i>
<i>1.1.3 Espectro Radioeléctrico.....</i>	<i>7</i>
<b>1.2 Tipos de Radiaciones.....</b>	<b>7</b>
<i>1.2.1 Radiación Ionizante .....</i>	<i>7</i>
<i>1.2.2 Radiación no Ionizante .....</i>	<i>8</i>
<i>1.2.3 Zonas de Radiación .....</i>	<i>9</i>
<i>1.2.3.1 Campo Cercano.....</i>	<i>9</i>
<i>1.2.3.2 Campo Lejano .....</i>	<i>9</i>
<b>1.3 Fuentes generadoras de radiación .....</b>	<b>10</b>
<i>1.3.1 Fuentes naturales de radiación .....</i>	<i>10</i>
<i>1.3.2 Fuentes artificiales de radiación .....</i>	<i>11</i>
<i>1.3.3 Servicios de telecomunicaciones en el Ecuador.....</i>	<i>11</i>
<i>1.3.4 Radiaciones generadas en la banda de frecuencias de 944-951 MHz. ....</i>	<i>12</i>
<b>1.4 Propagación de Ondas de Radiofrecuencia .....</b>	<b>12</b>
<i>1.4.1 Propagación Superficial.....</i>	<i>13</i>
<i>1.4.2 Propagación Troposférica.....</i>	<i>14</i>
<i>1.4.3 Propagación en la Ionósfera.....</i>	<i>14</i>
<i>1.4.4 Propagación por Línea de Vista .....</i>	<i>15</i>
<b>1.5 Mapeo Electromagnético .....</b>	<b>16</b>
<b>1.6 Niveles de exposición a las RNI.....</b>	<b>16</b>
<i>1.6.1 Zona de rebasamiento .....</i>	<i>17</i>

<b>1.6.2</b>	<b>Zona de exposición ocupacional</b> .....	17
<b>1.6.3</b>	<b>Zona de exposición poblacional</b> .....	18
<b>1.7</b>	<b>Señalización de las diferentes zonas de exposición</b> .....	18
<b>1.8</b>	<b>Límites de exposición a radiaciones electromagnéticas</b> .....	19
<b>1.8.1</b>	<b>Normativas ICNIRP</b> .....	20
1.8.1.1	Niveles máximos de exposición a RNI .....	20
1.8.1.2	Niveles referenciales de SAR.....	21
<b>1.8.2</b>	<b>Normativas UIT</b> .....	23
1.8.2.1	UIT-T K.52 .....	23
1.8.2.2	UIT-T K.61 .....	25
<b>1.8.3</b>	<b>Normativas ARCOTEL</b> .....	25
<b>2.</b>	<b>MARCO METODOLÓGICO</b> .....	26
<b>2.1</b>	<b>Equipamiento Físico Utilizado</b> .....	26
<b>2.1.1</b>	<b>NARDA SRM-3000</b> .....	26
<b>2.1.2</b>	<b>GPSmap® 60CSx Garmin</b> .....	28
<b>2.2</b>	<b>Software Utilizado</b> .....	29
<b>2.2.1</b>	<b>Virtual Family V2.0</b> .....	29
<b>2.2.2</b>	<b>Sim4Life V2.2</b> .....	31
<b>2.2.3</b>	<b>Software “Desarrollo de sistemas web basado en tecnologías GIS para el mapeo de campos electromagnéticos en la ciudad de Riobamba”</b> .....	32
<b>2.3</b>	<b>Procedimiento realizado para las Mediciones de RNI y Mapeo Electromagnético en un sector de Riobamba</b> .....	33
<b>3.</b>	<b>ANÁLISIS DE RESULTADOS</b> .....	35
<b>3.1</b>	<b>Ubicación de los nodos de medición en la zona céntrica de la ciudad de Riobamba</b> ...	35
<b>3.1.1</b>	<b>Ubicación de las antenas sobre el mapa de Riobamba</b> .....	36
<b>3.1.2</b>	<b>Mediciones de la Intensidad de Campo Eléctrico en los 46 nodos ubicados en un sector de la ciudad de Riobamba</b> .....	37
<b>3.2</b>	<b>Obtención de la SAR de los valores promedios de la Intensidad de Campo Eléctrico E utilizando el simulador Sim4Life</b> .....	84
<b>3.2.1</b>	<b>Obtención de la SAR para Cuerpo Entero</b> .....	84
<b>3.2.2</b>	<b>Obtención de la SAR en 10 gramos</b> .....	87
<b>3.3</b>	<b>Comparación de los valores de la SAR con las normas internacionales ICNIRP</b> .....	90
<b>3.4</b>	<b>Mapeo Electromagnético en un sector céntrico de la ciudad de Riobamba</b> .....	91
	<b>CONCLUSIONES</b> .....	105

<b>RECOMENDACIONES</b> .....	105
<b>BIBLIOGRAFÍA</b>	

## ÍNDICE DE ABREVIATURAS

<b>EM:</b>	Onda electromagnética
<b>E:</b>	Intensidad de Campo eléctrico
<b>H:</b>	Intensidad de Campo magnético
<b>S:</b>	Densidad de Potencia
<b>SAR:</b>	Tasa de absorción específica
<b>RF:</b>	Radiofrecuencia
<b>TEM:</b>	Ondas Electromagnéticas Transversales
<b>CEM:</b>	Campos electromagnéticos
<b>UIT:</b>	Unión Internacional de Telecomunicaciones
<b>ICNIRP:</b>	Comisión Internacional para la Protección contra las Radiaciones No Ionizantes
<b>ARCOTEL:</b>	Agencia de Regulación y Control de las Telecomunicaciones
<b>CONATEL:</b>	Comisión Nacional de Telecomunicaciones
<b>OMS:</b>	Organización Mundial de la Salud
<b>RNI:</b>	Radiaciones No Ionizantes
<b>LF:</b>	Low Frequency - Baja frecuencia
<b>HF:</b>	High Frequency- Alta frecuencia
<b>VHF:</b>	Very High Frequency
<b>UHF:</b>	Ultra High Frequency
<b>SHF:</b>	Super High Frequency
<b>EHF:</b>	Extremely high frequency
<b>UMTS:</b>	Sistema universal de telecomunicaciones móviles

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1-1:</b> Uso de la banda 942-960 MHZ en el Ecuador.....	12
<b>Tabla 2-1:</b> Normativa ICNIRP para exposición a RNI en zona ocupacional.....	20
<b>Tabla 3-1:</b> Normativa ICNIRP para exposición a RNI en zona poblacional.....	21
<b>Tabla 4-1:</b> Niveles de absorción específica de RNI según la frecuencia, ICNIRP.....	23
<b>Tabla 5-1:</b> Niveles de referencia según UIT-T K.52.....	24
<b>Tabla 1-2:</b> Características de los modelos de Virtual Family V2.0.....	30
<b>Tabla 1-3:</b> Valores máximos en los 18 puntos del nodo 1.....	36
<b>Tabla 2-3:</b> Valores promedios en los 18 puntos del nodo 1.....	37
<b>Tabla 3-3:</b> Valores de E máximos, mínimos, media y desviación estándar calculados en el nodo 1.....	38
<b>Tabla 4-3:</b> Valores máximos, mínimos, media y desviación estándar calculados en el nodo 2.....	38
<b>Tabla 5-3:</b> Valores máximos, mínimos, media y desviación estándar calculados en el nodo 3.....	39
<b>Tabla 6-3:</b> Valores máximos, mínimos, media y desviación estándar calculados en el nodo 4.....	40
<b>Tabla 7-3:</b> Valores máximos, mínimos, media y desviación estándar calculados en el nodo 5.....	41
<b>Tabla 8-3:</b> Valores máximos, mínimos, media y desviación estándar calculados en el nodo 6.....	42
<b>Tabla 9-3:</b> Valores máximos, mínimos, media y desviación estándar calculados en el nodo 7.....	43
<b>Tabla 10-3:</b> Valores máximos, mínimos, media y desviación estándar calculados en el nodo 8.....	44
<b>Tabla 11-3:</b> Valores máximos, mínimos, media y desviación estándar calculados en el nodo 9.....	45
<b>Tabla 12-3:</b> Valores máximos, mínimos, media y desviación estándar calculados en el nodo 10.....	46
<b>Tabla 13-3:</b> Valores máximos, mínimos, media y desviación estándar calculados en el nodo 11.....	47
<b>Tabla 14-3:</b> Valores máximos, mínimos, media y desviación estándar calculados en el nodo 12.....	48
<b>Tabla 15-3:</b> Valores máximos, mínimos, media y desviación estándar calculados en el nodo 13.....	49
<b>Tabla 16-3:</b> Valores máximos, mínimos, media y desviación estándar calculados en el nodo 14.....	50
<b>Tabla 17-3:</b> Valores máximos, mínimos, media y desviación estándar calculados en el nodo 15.....	51
<b>Tabla 18-3:</b> Valores máximos, mínimos, media y desviación estándar calculados en el nodo 16.....	52
<b>Tabla 19-3:</b> Valores máximos, mínimos, media y desviación estándar calculados en el nodo 17.....	53
<b>Tabla 20-3:</b> Valores máximos, mínimos, media y desviación estándar calculados en el nodo 18.....	54
<b>Tabla 21-3:</b> Valores máximos, mínimos, media y desviación estándar calculados en el nodo 19.....	55
<b>Tabla 22-3:</b> Valores máximos, mínimos, media y desviación estándar calculados en el nodo 20.....	56
<b>Tabla 23-3:</b> Valores máximos, mínimos, media y desviación estándar calculados en el nodo 21.....	57
<b>Tabla 24-3:</b> Valores máximos, mínimos, media y desviación estándar calculados en el nodo 22.....	58

<b>Tabla 25-3:</b> Valores máximos, mínimos, media y desviación estándar calculados en el nodo 23.....	59
<b>Tabla 26-3:</b> Valores máximos, mínimos, media y desviación estándar calculados en el nodo 24.....	60
<b>Tabla 27-3:</b> Valores máximos, mínimos, media y desviación estándar calculados en el nodo 25.....	61
<b>Tabla 28-3:</b> Valores máximos, mínimos, media y desviación estándar calculados en el nodo 26.....	62
<b>Tabla 29-3:</b> Valores máximos, mínimos, media y desviación estándar calculados en el nodo 27.....	63
<b>Tabla 30-3:</b> Valores máximos, mínimos, media y desviación estándar calculados en el nodo 28.....	64
<b>Tabla 31-3:</b> Valores máximos, mínimos, media y desviación estándar calculados en el nodo 29.....	65
<b>Tabla 32-3:</b> Valores máximos, mínimos, media y desviación estándar calculados en el nodo 30.....	66
<b>Tabla 33-3:</b> Valores máximos, mínimos, media y desviación estándar calculados en el nodo 31.....	67
<b>Tabla 34-3:</b> Valores máximos, mínimos, media y desviación estándar calculados en el nodo 32.....	68
<b>Tabla 35-3:</b> Valores máximos, mínimos, media y desviación estándar calculados en el nodo 33.....	69
<b>Tabla 36-3:</b> Valores máximos, mínimos, media y desviación estándar calculados en el nodo 34.....	70
<b>Tabla 37-3:</b> Valores máximos, mínimos, media y desviación estándar calculados en el nodo 35.....	71
<b>Tabla 38-3:</b> Valores máximos, mínimos, media y desviación estándar calculados en el nodo 36.....	72
<b>Tabla 39-3:</b> Valores máximos, mínimos, media y desviación estándar calculados en el nodo 37.....	73
<b>Tabla 40-3:</b> Valores máximos, mínimos, media y desviación estándar calculados en el nodo 38.....	74
<b>Tabla 41-3:</b> Valores máximos, mínimos, media y desviación estándar calculados en el nodo 39.....	75
<b>Tabla 42-3:</b> Valores máximos, mínimos, media y desviación estándar calculados en el nodo 40.....	76
<b>Tabla 43-3:</b> Valores máximos, mínimos, media y desviación estándar calculados en el nodo 41.....	77
<b>Tabla 44-3:</b> Valores máximos, mínimos, media y desviación estándar calculados en el nodo 42.....	78
<b>Tabla 45-3:</b> Valores máximos, mínimos, media y desviación estándar calculados en el nodo 43.....	79
<b>Tabla 46-3:</b> Valores máximos, mínimos, media y desviación estándar calculados en el nodo 44.....	80
<b>Tabla 47-3:</b> Valores máximos, mínimos, media y desviación estándar calculados en el nodo 45.....	81
<b>Tabla 48-3:</b> Valores máximos, mínimos, media y desviación estándar calculados en el nodo 46.....	82
<b>Tabla 49-3:</b> Valores Simulados de la SAR en Cuerpo Entero para los 46 puntos.....	83
<b>Tabla 50-3:</b> Valores de SAR sobre 10 gramos para los valores promedio de E MAX y E min.....	89
<b>Tabla 51-3:</b> Comparación de la SAR en cuerpo entero con los límites ICNIRP.....	89
<b>Tabla 52-3:</b> Comparación de la SAR a 10 gramos con los límites ICNIRP.....	90

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1-1:</b> Onda Electromagnética.....	5
<b>Figura 2-1:</b> Espectro Electromagnético.....	6
<b>Figura 3-1:</b> Distribución del Espectro Radioeléctrico.....	7
<b>Figura 4-1:</b> Zonas de radiación de campos electromagnéticos.....	10
<b>Figura 5-1:</b> Propagación Superficial.....	13
<b>Figura 6-1:</b> Propagación Troposférica.....	14
<b>Figura 7-1:</b> Propagación Ionosférica .....	15
<b>Figura 8-1:</b> Propagación Espacial.....	16
<b>Figura 9-1:</b> Zonas de exposición a RNI .....	17
<b>Figura 10-1:</b> Señalización visual de las diferentes zonas de exposición a RNI .....	18
<b>Figura 1-2:</b> Equipo NARDA SRM – 3000.....	26
<b>Figura 2-2:</b> GPS Garmin GPSmap® 60CSx.....	28
<b>Figura 3-2:</b> Modelos de Virtual Family V2.0: Duke, Ella, Billie, Thelonious.....	29
<b>Figura 4-2:</b> Puntos para la medición espacial en modelos Virtual Family.....	31
<b>Figura 5-2:</b> Logo del software Sim4Life .....	31
<b>Figura 1-3:</b> Herramienta Model del Software Sim4life.....	84
<b>Figura 2-3:</b> Herramienta Simulation del Software Sim4life.....	84
<b>Figura 3-3:</b> Inicio de la simulación en la herramienta Simulation del software Sim4Life.....	85
<b>Figura 4-3:</b> Ventana de Estadísticas en SIM4Life.....	86
<b>Figura 5-3:</b> Utilización de la herramienta Dosimetry en Sim4Life.....	87
<b>Figura 6-3:</b> Uso de la herramienta Viewer en Sim4Life.....	87
<b>Figura 7-3:</b> Punto de mayor concentración de SAR a 10 gramos de la cabeza.....	88
<b>Figura 8-3:</b> Punto de mayor concentración de SAR a 10 gramos de los brazos.....	88
<b>Figura 9-3:</b> Interfaz del Software de Mapeo Electromagnético.....	91
<b>Figura 10-3:</b> Capas del Software de Mapeo Electromagnético.....	91
<b>Figura 11-3:</b> Opciones de la Capas de Campo Eléctrico, Magnético y Densidad de Potencia.....	92
<b>Figura 12-3:</b> Sub apartados de valor puntual y de interpolación de la capa E, H, S y SAR.....	92
<b>Figura 13-3:</b> Valor de Intensidad de Campo Eléctrico Máximo del nodo 1.....	94
<b>Figura 14-3:</b> Valor de Intensidad de Campo Eléctrico Promedio del nodo 1.....	94
<b>Figura 15-3:</b> Valor de Desviación Estándar de Intensidad de Campo Eléctrico del nodo 1.....	95

<b>Figura 16-3:</b> Valor de Intensidad de Campo Magnético Máximo del nodo 1.....	95
<b>Figura 17-3:</b> Valor de Intensidad de Campo Magnético Promedio del nodo 1.....	95
<b>Figura 18-3:</b> Valor de Desviación Estándar de Intensidad de Campo Magnético del nodo 1.....	96
<b>Figura 19-3:</b> Valor de Densidad de Potencia Máximo del nodo 1.....	96
<b>Figura 20-3:</b> Valor de Densidad de Potencia Promedio del nodo 1.....	96
<b>Figura 21-3:</b> Valor de Desviación Estándar de Densidad de Potencia del nodo 1.....	97
<b>Figura 22-3:</b> Valor de la SAR Promedio del nodo 1.....	97
<b>Figura 23-3:</b> Valor numérico interpolado del punto elegido del mapa.....	103

## ÍNDICE DE MAPAS

<b>Mapa 1-3:</b> Ubicación de los 46 nodos de medición en la ciudad de Riobamba.....	34
<b>Mapa 2-3:</b> Ubicación de las antenas celulares y de radio en la ciudad de Riobamba.....	35
<b>Mapa 3-3:</b> Ubicación del nodo 1 en un sector del mapa de la ciudad de Riobamba.....	37
<b>Mapa 4-3:</b> Ubicación del nodo 2 en un sector del mapa de la ciudad de Riobamba.....	38
<b>Mapa 5-3:</b> Ubicación del nodo 3 en un sector del mapa de la ciudad de Riobamba.....	39
<b>Mapa 6-3:</b> Ubicación del nodo 4 en un sector del mapa de la ciudad de Riobamba.....	40
<b>Mapa 7-3:</b> Ubicación del nodo 5 en un sector del mapa de la ciudad de Riobamba.....	41
<b>Mapa 8-3:</b> Ubicación del nodo 6 en un sector del mapa de la ciudad de Riobamba.....	42
<b>Mapa 9-3:</b> Ubicación del nodo 7 en un sector del mapa de la ciudad de Riobamba.....	43
<b>Mapa 10-3:</b> Ubicación del nodo 8 en un sector del mapa de la ciudad de Riobamba.....	44
<b>Mapa 11-3:</b> Ubicación del nodo 9 en un sector del mapa de la ciudad de Riobamba.....	45
<b>Mapa 12-3:</b> Ubicación del nodo 10 en un sector del mapa de la ciudad de Riobamba.....	46
<b>Mapa 13-3:</b> Ubicación del nodo 11 en un sector del mapa de la ciudad de Riobamba.....	47
<b>Mapa 14-3:</b> Ubicación del nodo 12 en un sector del mapa de la ciudad de Riobamba.....	48
<b>Mapa 15-3:</b> Ubicación del nodo 13 en un sector del mapa de la ciudad de Riobamba.....	49
<b>Mapa 16-3:</b> Ubicación del nodo 14 en un sector del mapa de la ciudad de Riobamba.....	50
<b>Mapa 17-3:</b> Ubicación del nodo 15 en un sector del mapa de la ciudad de Riobamba.....	51
<b>Mapa 18-3:</b> Ubicación del nodo 16 en un sector del mapa de la ciudad de Riobamba.....	52
<b>Mapa 19-3:</b> Ubicación del nodo 17 en un sector del mapa de la ciudad de Riobamba.....	53
<b>Mapa 20-3:</b> Ubicación del nodo 18 en un sector del mapa de la ciudad de Riobamba.....	54
<b>Mapa 21-3:</b> Ubicación del nodo 19 en un sector del mapa de la ciudad de Riobamba.....	55
<b>Mapa 22-3:</b> Ubicación del nodo 20 en un sector del mapa de la ciudad de Riobamba.....	56
<b>Mapa 23-3:</b> Ubicación del nodo 21 en un sector del mapa de la ciudad de Riobamba.....	57
<b>Mapa 24-3:</b> Ubicación del nodo 22 en un sector del mapa de la ciudad de Riobamba.....	58
<b>Mapa 25-3:</b> Ubicación del nodo 23 en un sector del mapa de la ciudad de Riobamba.....	59
<b>Mapa 26-3:</b> Ubicación del nodo 24 en un sector del mapa de la ciudad de Riobamba.....	60
<b>Mapa 27-3:</b> Ubicación del nodo 25 en un sector del mapa de la ciudad de Riobamba.....	61
<b>Mapa 28-3:</b> Ubicación del nodo 26 en un sector del mapa de la ciudad de Riobamba.....	62
<b>Mapa 29-3:</b> Ubicación del nodo 27 en un sector del mapa de la ciudad de Riobamba.....	63
<b>Mapa 30-3:</b> Ubicación del nodo 28 en un sector del mapa de la ciudad de Riobamba.....	64
<b>Mapa 31-3:</b> Ubicación del nodo 29 en un sector del mapa de la ciudad de Riobamba.....	65
<b>Mapa 32-3:</b> Ubicación del nodo 30 en un sector del mapa de la ciudad de Riobamba.....	66

<b>Mapa 33-3:</b> Ubicación del nodo 31 en un sector del mapa de la ciudad de Riobamba.....	67
<b>Mapa 34-3:</b> Ubicación del nodo 32 en un sector del mapa de la ciudad de Riobamba.....	68
<b>Mapa 35-3:</b> Ubicación del nodo 33 en un sector del mapa de la ciudad de Riobamba.....	69
<b>Mapa 36-3:</b> Ubicación del nodo 34 en un sector del mapa de la ciudad de Riobamba.....	70
<b>Mapa 37-3:</b> Ubicación del nodo 35 en un sector del mapa de la ciudad de Riobamba.....	71
<b>Mapa 38-3:</b> Ubicación del nodo 36 en un sector del mapa de la ciudad de Riobamba.....	72
<b>Mapa 39-3:</b> Ubicación del nodo 37 en un sector del mapa de la ciudad de Riobamba.....	73
<b>Mapa 40-3:</b> Ubicación del nodo 38 en un sector del mapa de la ciudad de Riobamba.....	74
<b>Mapa 41-3:</b> Ubicación del nodo 39 en un sector del mapa de la ciudad de Riobamba.....	75
<b>Mapa 42-3:</b> Ubicación del nodo 40 en un sector del mapa de la ciudad de Riobamba.....	76
<b>Mapa 43-3:</b> Ubicación del nodo 41 en un sector del mapa de la ciudad de Riobamba.....	77
<b>Mapa 44-3:</b> Ubicación del nodo 42 en un sector del mapa de la ciudad de Riobamba.....	78
<b>Mapa 45-3:</b> Ubicación del nodo 43 en un sector del mapa de la ciudad de Riobamba.....	79
<b>Mapa 46-3:</b> Ubicación del nodo 44 en un sector del mapa de la ciudad de Riobamba.....	80
<b>Mapa 47-3:</b> Ubicación del nodo 45 en un sector del mapa de la ciudad de Riobamba.....	81
<b>Mapa 48-3:</b> Ubicación del nodo 46 en un sector del mapa de la ciudad de Riobamba.....	82
<b>Mapa 49-3:</b> Nodos de medición junto con la capa Riobamba Lines.....	92
<b>Mapa 50-3:</b> Nodos de medición junto con la capa Riobamba_Mapa.....	93
<b>Mapa 51-3:</b> Nodos de medición junto con la capa Google Streets.....	93
<b>Mapa 52-3:</b> Mapa de Interpolación de Intensidad de Campo Eléctrico Máximo del nodo 1.....	98
<b>Mapa 53-3:</b> Mapa de Interpolación de Intensidad de Campo Eléctrico Promedio del nodo 1.....	98
<b>Mapa 54-3:</b> Mapa de Interpolación de Desviación Estándar de Intensidad de Campo Eléctrico del nodo 1.....	99
<b>Mapa 55-3:</b> Mapa de Interpolación de Intensidad de Campo Magnético Máximo del nodo 1.....	99
<b>Mapa 56-3:</b> Mapa de Interpolación de Intensidad de Campo Magnético Promedio del nodo 1.....	100
<b>Mapa 57-3:</b> Mapa de Interpolación de Desviación Estándar de Intensidad de Campo Magnético del nodo 1.....	100
<b>Mapa 58-3:</b> Mapa de Interpolación de Densidad de Potencia Máximo del nodo 1.....	101
<b>Mapa 59-3:</b> Mapa de Interpolación de Densidad de Potencia Promedio del nodo 1.....	101
<b>Mapa 60-3:</b> Mapa de Interpolación de Desviación Estándar de Densidad de Potencia del nodo 1 ..	102
<b>Mapa 61-3:</b> Mapa de Interpolación de la SAR promedio del nodo 1.....	102
<b>Mapa 62-3:</b> Mapa de Interpolación de Intensidad de Campo Eléctrico Máximo con el punto elegido.....	103

## RESUMEN

Se realizó el mapeo electromagnético utilizando la banda de frecuencias de 945 a 951 MHz en un sector de la ciudad de Riobamba dividido en 46 nodos de medición. Se recolectaron mediciones espaciales de radiaciones electromagnéticas utilizando el equipo NARDA SRM-3000 y un soporte de madera que simula el modelo de la Familia Virtual, Duke. Con estos datos se procedió a determinar los valores máximos, mínimos, promedios y desviación estándar para cada nodo de medición. Mediante el uso del software Sim4Life se determinaron los valores de la tasa de absorción específica (SAR) para cuerpo entero y para 10 gramos con el fin de poder comparar dichos valores con las recomendaciones de la Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT) K.52 y K.61, que se basan en las normativas de la ICNIRP, y las vigentes en nuestro país reguladas por la ARCOTEL. Luego de recolectar, procesar y analizar los datos, éstos fueron ingresados en un software de mapeo electromagnético basado en sistemas de información geográfica (GIS), que permite visualizar de una manera muy efectiva el mapa de la ciudad de Riobamba junto con todos los nodos de medición y con los valores recogidos de las mediciones espaciales y de la SAR en cada uno de ellos, además de un mapa de colores indicando la incidencia de radiaciones electromagnéticas en la zona de medición, pudiendo visualizar qué lugares son los que presentan mayor o menor concentración de emisiones electromagnéticas y qué valor numérico poseen. Se determinó que los valores de la SAR obtenidos de los 46 nodos de medición no sobrepasan los límites establecidos de las normativas antes mencionadas. Se recomienda que las mediciones espaciales se realicen de acuerdo con los parámetros que establecen las entidades reguladoras y que se realice el mismo procedimiento aplicado a distintas zonas de la ciudad de Riobamba.

**Palabras claves:** <TECNOLOGÍA Y CIENCIAS DE LA INGENIERÍA>, <TELECOMUNICACIONES>, <MAPEO ELECTROMAGNÉTICO>, <NARDA SRM - 3000 (HARDWARE)>, <INTENSIDAD DE CAMPO ELÉCTRICO>, <TASA DE ABSORCIÓN ESPECÍFICA>, <UNIÓN INTERNACIONAL DE TELECOMUNICACIONES (UIT)>.

## ABSTRACT

An electromagnetic mapping was performed using the frequency band 945 to 951MHz in a sector of Riobamba city. It was divided into 46 measurement nodes. Space measurements of electromagnetic radiation were collected using the NARDA SRM-3000 equipment and a wooden stand that simulates the Duke Virtual Family model. With these data, the maximum, minimum, average and standard deviation values were determined for each measurement node. The use of the Sim4Life software helped to determine the values of the specific absorption rate (SAR) for whole body and for 10 grams in order to be able to compare those values with the recommended values of the International Telecommunication Union (ITU) K.52 and K.61, which are based on the regulations of ICNIRP, and all those currently values of our country which are regulated by ARCOTEL. After collecting, processing and analyzing the data, these data were entered into an electromagnetic mapping software based on geographic information systems (GIS), which allows to visualize in a very effective way the map of Riobamba city with all the nodes of measurement and with the collected values of the spatial measurements and of the SAR in each of them, also a color map indicating the incidence of electromagnetic radiation in the zone of measurement, in this way being able to visualize which places are the ones that have more or less concentration of electromagnetic emissions and what numerical value they possess. It was determined that the SAR values obtained from the 46 measurement nodes do not exceed the established limits of the aforementioned regulations. It is recommended that the space measurements be performed according to the parameters established by the regulatory entities and that the same procedure applied to different areas of Riobamba city.

**Keywords:** <ENGINEERING TECHNOLOGY AND SCIENCES>, <TELECOMMUNICATIONS>, <ELECTROMAGNETIC MAPPING>, <NARDA SRM-3000 (HARDWARE)>, <ELECTRICAL FIELD INTENSITY>, <SPECIFIC ABSORPTION RATE>, <INTERNATIONAL TELECOMMUNICATION UNION (ITU)>.

## INTRODUCCIÓN

Las tecnologías de telecomunicaciones, hoy por hoy se han convertido en una necesidad palpable en la vida de toda la humanidad, tanto es así que podemos ver avances tecnológicos en este ámbito, prácticamente todos los días, como es el caso de comunicaciones inalámbricas, específicamente de las comunicaciones móviles, que día a día nos siguen sorprendiendo con sus adelantos tecnológicos.

Ya no genera asombro ver como las compañías que prestan servicios de telecomunicaciones o similares, poco a poco van poblando ciudades enteras con antenas, estaciones móviles, radio bases, etc., a todas las ciudades de nuestro Ecuador, e inclusive intentan resolver la problemática de la comunicación en sectores rurales, es por eso el aumento masivo de estos diversos aparatos tecnológicos que se está experimentando en estos precisos momentos.

Debido a que todas estas tecnologías van en aumento, no es de extrañarse que varios organismos internacionales establezcan normativas y límites para la exposición a las radiaciones electromagnéticas producidas por estas tecnologías. Organismos como la Comisión Internacional sobre Protección Frente a Radiaciones No Ionizantes ICNIRP o la Unión Internacional de Telecomunicaciones UIT, y localmente hablando, la Agencia de Regulación y Control de las Telecomunicaciones ARCOTEL, han presentado reglamentaciones fijas sobre los niveles de radiación máximos a los que se debería trabajar, y más importante que eso, niveles a los que una persona promedio puede vivir sin ningún riesgo.

Es por eso que en el presente documento se realiza un estudio de los campos electromagnéticos producidos por antenas transmisoras de datos, radio, televisión, estaciones base celulares, que viajan a través de la ciudad de Riobamba, muy concretamente en la zona céntrica de la misma, producidas en la banda de frecuencias de 944 a 951 MHZ.

Se medirá los campos electromagnéticos a lo largo de 5 manzanas transversales por 10 longitudinales del centro de la ciudad empleando el dispositivo NARDA SRM-3000, el cual permite medir dichos campos con un análisis temporal y espacial en la banda de frecuencias a estudiar y empleando el modelamiento de Virtual Family 2.0, utilizando un soporte de madera simulando el modelo "DUKE".

Para el análisis consiguiente se utiliza el software Sim4Life, el cual conjuntamente con los datos obtenidos, servirá para analizar la SAR sobre el cuerpo entero y sobre 10 gramos en tronco, cabeza y

extremidades, y se utilizará también el software “Desarrollo de sistemas web basado en tecnologías GIS para el mapeo de campos electromagnéticos en la ciudad de Riobamba”, desarrollado mediante una tesis de grado por los señores Alex Quingatuña y Santiago Nogales, para encontrar los valores de los campos electromagnéticos en cualquier punto de la zona de estudio y compararlos con las normativas UIT-T K 52 y UIT-T K 61, las cuales son empleadas por la ARCOTEL y se encuentran vigentes en nuestro país.

## **ANTECEDENTES**

En la antigüedad, y con la invención de la transmisión de datos ya sea por cable o por el medio físico, se crearon a la par diversos problemas con respecto al espectro electromagnético, más concretamente a la parte que se utiliza hoy en día para las telecomunicaciones, el espectro radioeléctrico. Además, surgió la problemática de regular diversos aspectos y características de esta comunicación. Debido a que si bien es cierto que los aparatos que envían o reciben señales electromagnéticas tienen un medidor de potencia o de radiación, no será nunca esa señal igual a la que se está propagando o recibiendo, depende de la precisión del equipo con el cual se realiza la medición.

En la ciudad de Riobamba no se han realizado mediciones del campo eléctrico en cada esquina de las manzanas, razón por la cual no existen mapeos electromagnéticos que permitan determinar la intensidad del campo eléctrico.

## **JUSTIFICACION**

En el presente trabajo de titulación se realizarán mediciones de los campos eléctricos generados por diversas fuentes de radiación electromagnética en el rango de frecuencias de 944 MHz a 951MHz mediante el uso del equipo NARDA SRM-3000 y un soporte de madera que simule a la familia virtual, para realizar las mediciones espaciales utilizando el modelo de “Duke” de la familia virtual, y con los valores de campo eléctrico máximo y promedio medidos, realizar un mapeo electromagnético completo de las radiaciones de un sector céntrico de la ciudad de Riobamba, determinando los valores máximos, media, mínimos, desviación estándar, densidad de potencia, campo magnético. Con estos datos se visualizará en la pantalla utilizando el software desarrollado en una tesis de grado de los señores Alex Quingatuña y Santiago Nogales de la Escuela de Sistemas. Con las mediciones de los campos electromagnéticos obtenidas en el rango de frecuencias de 944 MHz a 951MHz en un sector céntrico de la ciudad de Riobamba, y además tomando en cuenta los

valores máximos, medios, mínimos, la desviación estándar, densidad de potencia e intensidad campo magnético de dichas mediciones, se procederá a realizar un mapeo electromagnético con los datos obtenidos anteriormente y utilizando el software “Desarrollo de sistemas web basado en tecnologías GIS para el mapeo de campos electromagnéticos en la ciudad de Riobamba”, el cual se aplicará en una tesis de investigación del Doctorado en Ciencias Técnicas de la Universidad de Oriente de Santiago de Cuba, que está desarrollando el Ingeniero Pedro Infante y será publicado mediante un artículo a una revista indexada relacionada con el tema.

## **FORMULACIÓN DEL PROBLEMA**

¿Cómo realizar un mapeo electromagnético para la ciudad de Riobamba en la banda de frecuencia de 944 MHz a 951MHz, utilizando la familia virtual y el equipo NARDA SRM-3000?

## **SISTEMATIZACIÓN DEL PROBLEMA**

¿Cómo realizar las mediciones espaciales del campo eléctrico de la ciudad de Riobamba en cada esquina de las manzanas?

¿Cómo determinar los valores: “máximo, mínimo, media y desviación estándar de cada uno de los valores medidos del máximo y la media”?

¿Cómo determinar la SAR promediada sobre el cuerpo entero y sobre 10 gramos en tronco, cabeza y extremidades utilizando el software simulador Sim4Life?

¿Cómo interpretar los resultados obtenidos de la SAR al compararlos con las normas internacionales de la ICNIRP y la UIT?

¿Cómo influyen las tecnologías GIS para el mapeo de campos electromagnéticos en la ciudad de Riobamba”?

## **OBJETIVOS**

### **OBJETIVO GENERAL**

Realizar el mapeo electromagnético en un sector de Riobamba en la banda de frecuencia de 944 MHz a 951MHz, utilizando la familia virtual, el equipo NARDA SRM-3000 y una tesis de grado.

## **OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

1. Realizar las mediciones espaciales del campo eléctrico en la banda de frecuencias de 944 MHz a 951 MHz en un sector de la ciudad de Riobamba en cada esquina de las manzanas (5 manzanas transversales por 10 manzanas longitudinales), para obtener los valores máximo y media utilizando un soporte de madera simulando a Duke de la familia virtual y el equipo NARDA SRM-3000.
2. Determinar los valores máximo, mínimo, media y desviación estándar de cada uno de los valores medidos del máximo y la media.
3. Determinar la SAR promediada sobre el cuerpo entero y sobre 10 gramos en tronco, cabeza y extremidades utilizando el software simulador Sim4Life.
4. Analizar los resultados obtenidos de la SAR para compararlos con las normas internacionales de la ICNIRP y la UIT.
5. Realizar el mapeo electromagnético en un sector de la ciudad de Riobamba utilizando el software “Desarrollo de sistemas web basado en tecnologías GIS para el mapeo de campos electromagnéticos en la ciudad de Riobamba”, desarrollado mediante una tesis de grado por los señores Alex Quingatuña y Santiago Nogales.

# CAPÍTULO I

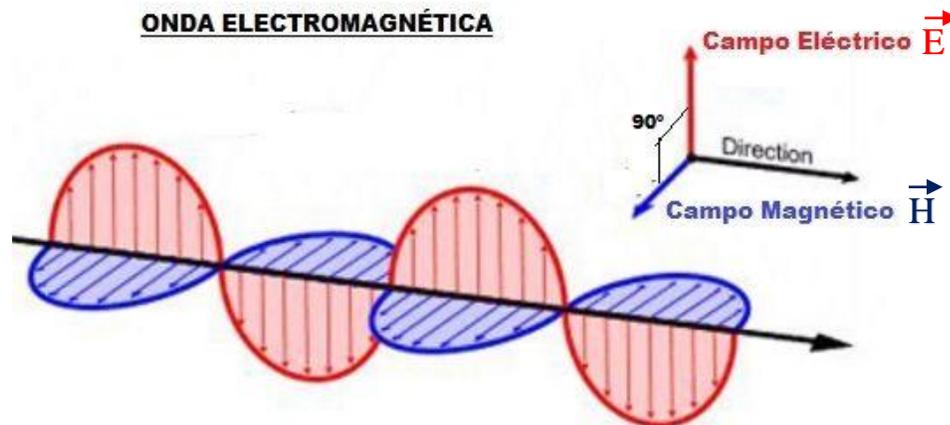
## 1. MARCO TEÓRICO

### 1.1 Radiaciones Electromagnéticas

#### 1.1.1 Ondas Electromagnéticas

Una onda electromagnética (EM) se produce por la aceleración de una carga eléctrica. En un conductor, la corriente y el voltaje siempre se acompañan por un campo eléctrico ( $E$ ) y un campo magnético ( $H$ ) en la región vecina del espacio. La Figura. 1-1 muestra las relaciones espaciales entre los campos  $E$  y  $H$  de una onda electromagnética.

Se puede ver que los campos  $E$  y  $H$  son perpendiculares (en ángulo de  $90^\circ$ ) entre sí en todos los puntos. Esto se llama cuadratura espacial. Las ondas electromagnéticas que viajan por una línea de transmisión, de la fuente a la carga, se llaman ondas incidentes, y las que regresan de la carga a la fuente se llaman ondas reflejadas (Tomasi, 2003: p.310-311).



**Figura 1-1** Onda Electromagnética

Fuente: <http://www.areatecnologia.com/imagenes/onda-electromagnetica.jpg>

La idea principal es que, si se hace oscilar cargas eléctricas entre los extremos de una antena, el campo eléctrico  $\vec{E}$  en las proximidades se altera bruscamente. Este campo eléctrico variable genera a su vez, en virtud de las leyes de Maxwell, un campo magnético  $\vec{H}$ , variable. En conclusión, se generan ondas

sinusoidales de campo eléctrico y magnético perpendiculares entre sí, tal como se muestra en la Figura 1-1. (Antón, pp.2)

### 1.1.2 Espectro Electromagnético

La distribución del espectro electromagnético se muestra en la Figura. 2-1. Se puede ver que ese espectro de frecuencias va desde las subsónicas (unos cuantos hertz) hasta los rayos cósmicos ( $10^{22}$  Hz). El espectro de frecuencias luminosas se puede dividir en tres bandas generales:

1. Infrarrojo: banda de longitudes de onda de luz demasiado grandes para que las vea el ojo humano.
2. Visible: banda de longitudes de onda de luz a las que responde el ojo humano.
3. Ultravioleta: banda de longitudes de onda de luz que son demasiado cortas para que las vea el ojo humano.

Cuando se manejan ondas electromagnéticas de mayor frecuencia, como las luminosas, se acostumbra usar unidades de longitud de onda y no de frecuencia. La longitud de onda depende de la frecuencia de la onda y de la velocidad de la luz. La relación matemática correspondiente se muestra en la ecuación 1: (Tomasi, 2003. p.425).

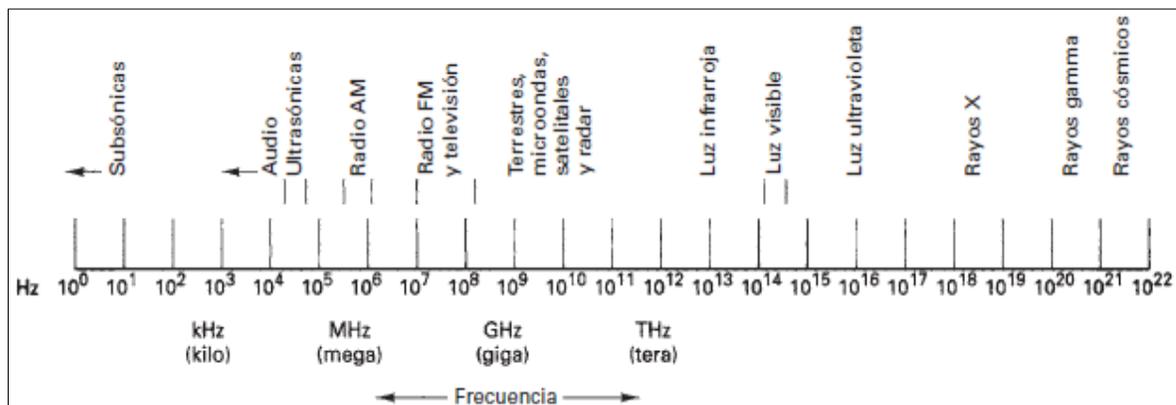
$$\lambda = c/f \quad (1)$$

en donde:

$\lambda$  = longitud de onda (metros)

c = velocidad de la luz (metros por segundo)

f = frecuencia (hertz).

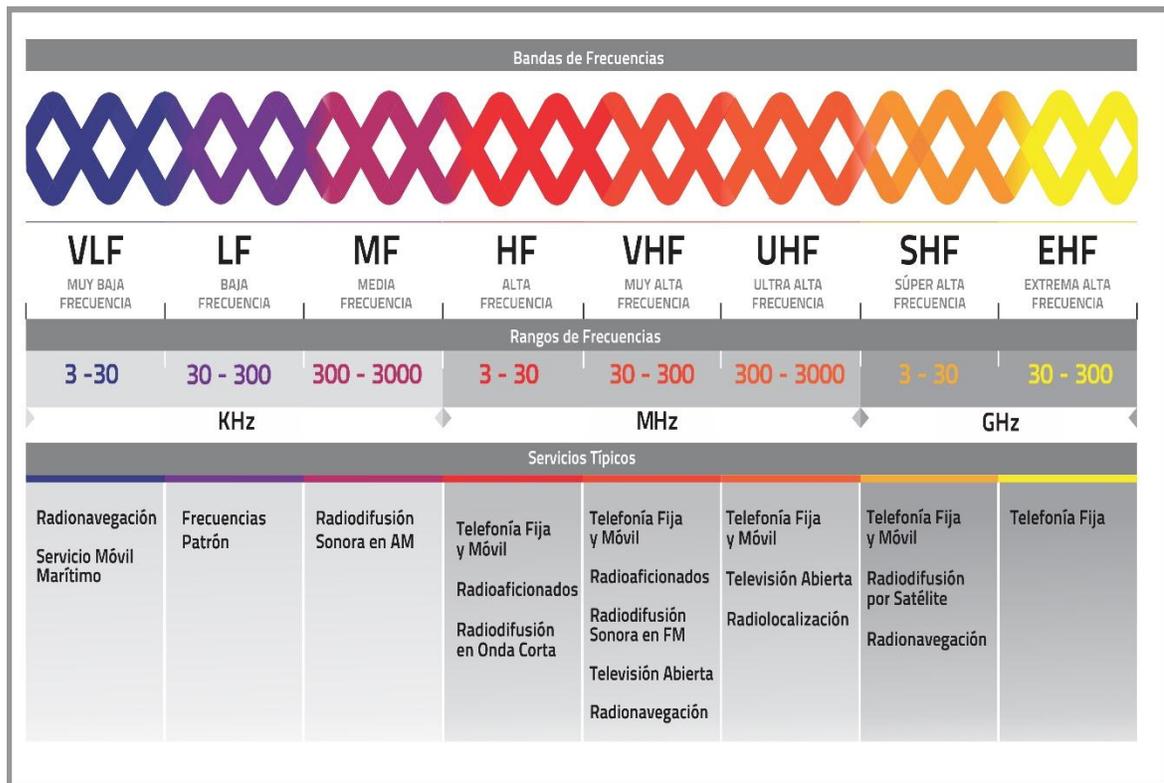


**Figura 2-1:** Espectro Electromagnético

Fuente: Tomasi, 2003: p.425

### 1.1.3 Espectro Radioeléctrico

El espectro radioeléctrico o de ondas de radio, tomando como referencia los conceptos habituales que posee, se le denomina como una pequeña porción del Espectro Electromagnético, la cual se utiliza para las comunicaciones basadas en radiofrecuencia o también denominadas RF. La porción que ocupa del Espectro Electromagnético comprende desde los 3 KHz equivalentes a una longitud de onda de 100 Km, hasta los 300 GHz equivalentes a una longitud de onda de 1µm. La figura 3-1 ilustra las bandas establecidas y disponibles en el espectro radioeléctrico. (Knoll, 2010, p.70)



**Figura 3-1:** Distribución del Espectro Radioeléctrico

Fuente: <http://www.conatel.gob.ve/wp-content/uploads/2014/10/Bandas-de-Frecuencias-Final.jpg>

## 1.2 Tipos de Radiaciones

### 1.2.1 Radiación Ionizante

La radiación ionizante es aquella que tiene la capacidad de desplazar un electrón de un átomo de manera que puede alterar la estructura electrónica de la materia y por tanto sus propiedades. En los tejidos vivos la ionización produce cambios químicos, conocidos como efectos biológicos de la

radiación, las cuales producen daños en las estructuras químicas de las células particularmente ADN (Ácido desoxirribonucleico).

El ADN contiene toda la información de la célula y sus funciones como el crecimiento la proliferación o reproducción y la diferenciación. Las lesiones que la radiación ionizante produce en el ADN son muy diversas e incluyen la alteración de la reproducción de las células. Si el ADN es alterado toda la información contenida se transmite a las células hijas de manera que puede afectar tejidos u órganos completos.

Los daños causados por la radiación ionizante pueden ser dos: efecto determinista y efecto estocástico. El efecto determinista es un daño letal y causa la muerte de un número elevado de células de un tejido u órgano, y es causado por dosis elevadas de radiación, mientras que el efecto estocástico es un daño subletal y produce mutación en unas pocas células, y generalmente es producido por dosis de radiación en bajas cantidades. El principal efecto estocástico es el cáncer en el cual las células mutan con daños en el ADN y se reproducen en el organismo. (Real, 2014, pp 2-17)

En resumen, la radiación puede afectar el funcionamiento de órganos y tejidos y producir efectos agudos como enrojecimiento de la piel, caída de cabello y quemaduras por la radiación, pero todo dependerá de la dosis de radiación ionizante absorbida. Por tanto, si la dosis de radiación es baja, el riesgo es menor, por lo que hay la probabilidad que se reparen los daños. Sin embargo, existen riesgos de efectos a largo plazo como el cáncer, que puede tardar años o décadas en aparecer. (OMS, 2016, pp 1)

### ***1.2.2 Radiación no Ionizante***

El término "no-ionizante" hace referencia al hecho de que este tipo de radiación no es capaz de remover electrones o romper enlaces químicos. La radiación electromagnética de radiofrecuencias es una radiación no ionizante. (CONATEL, 2005, pp 9)

Las radiaciones no ionizantes pese a no tener la capacidad de alterar la materia, en muchas ocasiones puede tener la energía suficiente para producir efectos térmicos de calentamiento como los producidos en los microondas, en donde la radiación emitida es capaz de hacer vibrar las moléculas de agua elevando su temperatura considerablemente. Este efecto también puede producirse en los tejidos vivos tanto superficiales como profundos. (ISPCH, pp 1)

### ***1.2.3 Zonas de Radiación***

#### **1.2.3.1 Campo Cercano**

Zona próxima a la antena en la que los campos tanto eléctricos como magnéticos experimentan variaciones y no están correlacionados entre sí, lo que hace que los cálculos de propagación dentro de esta zona, por ello puede interpretarse como la ausencia de radiación de energía teniendo solamente campos, conociéndose a este fenómeno como inducción, que es la situación en la que los campos tanto eléctricos como magnéticos pueden existir por separado, la zona de radiación en campo cercano diferirá según la longitud de onda de la señal irradiada por la antena, y se delimita por una distancia  $D \leq 3\lambda$ , como se puede ver en la Figura 4-1. (Knoll, 2010, p.70)

En la región de campo cercano según la (ICNIRP, 1998: p.3) los máximos y mínimos de los campos E y H no se producen en los mismos puntos a lo largo de la dirección en la que se propagan como ocurre en el campo lejano. En la región de campo cercano, la estructura del campo electromagnético es no homogénea y hay muchas variaciones en la impedancia de la onda plana de  $377\Omega$ , es decir puede ocurrir que haya campos eléctricos puros en algunas regiones y campos magnéticos puros en otras regiones.

#### **1.2.3.2 Campo Lejano**

Zona alejada de la antena en la que los campos actúan o tienen el comportamiento de una onda Transverso Electro Magnético (TEM), en esta zona los campos propagan o radian energía y por ello se llaman campos de radiación, es decir los campos estarán bien formados y estarán correlacionados entre sí, la zona de campo lejano será considerada a partir de una distancia  $D > 3\lambda$ , tal y como se parecía en la figura 4-1. (Knoll, 2010, p.71)

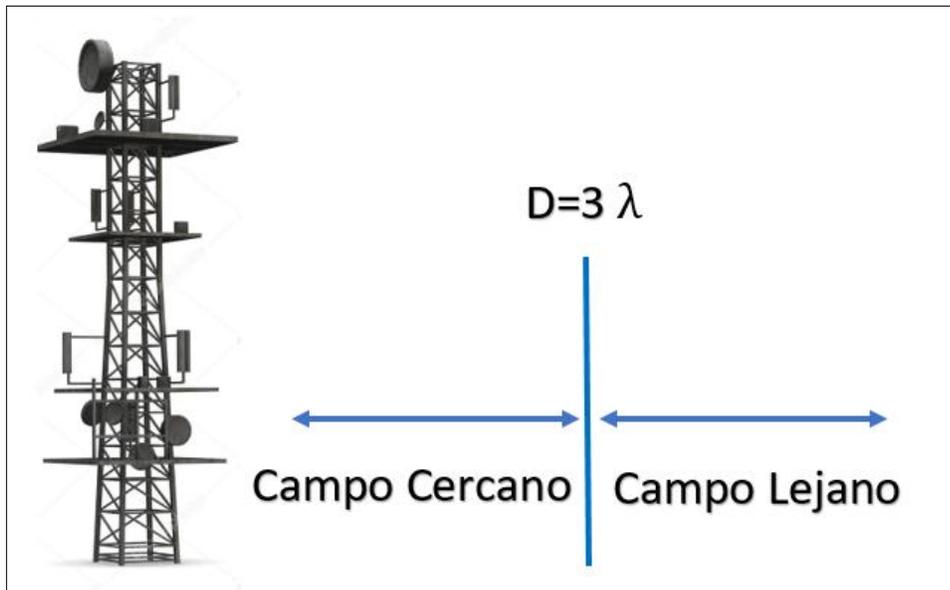
En esta región según la (ICNIRP, 1998: p.3) se considera el modelo de onda plana como una aproximación de la propagación del campo electromagnético. Las características que tiene la onda plana son:

- Los frentes de onda poseen una geometría plana.
- Los vectores E, H y la dirección en que se propagan son perpendiculares entre sí.

- La fase de los campos E y H son similares, y el cociente de las amplitudes E/H es constante a través del espacio. La relación que se indica en la ecuación 2 es la impedancia característica del espacio libre.
- La densidad de potencia S, se refiere a la potencia por unidad de área normal a la dirección en que se propaga, se relaciona con los campos eléctricos y magnéticos como se muestra en la ecuación 3.

$$\frac{E}{H} = 377\Omega \quad (2)$$

$$S = EH = \frac{E^2}{377} = H^2(377) \quad (3)$$



**Figura 4-1:** Zonas de radiación de campos electromagnéticos  
Realizado por: Huilca, J. 2017

### 1.3 Fuentes generadoras de radiación

#### 1.3.1 Fuentes naturales de radiación

Se denomina radiación natural, a toda radiación electromagnética que existe alrededor de toda la naturaleza y que no cuenta con la intervención del ser humano para su generación. Su descubrimiento se produjo en el año de 1896 por el físico francés Henri Becquerel.

Las radiaciones naturales pueden provenir por dos motivos: los componentes y materiales que emiten dicha radiación que existen en la Tierra desde el momento de su formación o también llamados primigenios, y también por todo material que sea radiactivo y que se generó por la interacción de rayos cósmicos con materiales de la Tierra que anteriormente en su composición no eran radiactivos, también llamados cosmogénicos. Su rango de frecuencias oscila entre 0 y 30 Hz con un E máximo de 150 V/m.

### ***1.3.2 Fuentes artificiales de radiación***

En la actualidad se cuenta con una amplia gama de dispositivos y servicios de comunicación que utilizan como medio de propagación el espacio libre, dentro de las que encontramos electrodomésticos, antenas y sistemas de alta potencia, que aportan con la generación de radiaciones no ionizantes al ambiente, siendo las ondas producidas en antenas de radiodifusión, televisión y estaciones base de sistemas celulares aquellas que presentan un mayor índice de absorción por parte de los seres humanos.

La Organización Mundial de la Salud OMS indica que estas ondas no generan afección alguna en los seres que están expuestos a las mismas se debe considerar que estas tienden a sumarse, y de darse este caso generan un efecto de calentamiento de los cuerpos. (Posar, 2010, p.109)

### ***1.3.3 Servicios de telecomunicaciones en el Ecuador***

Existen en el Ecuador una gran variedad de servicios de comunicación que utilizan al espectro radioeléctrico como medio de propagación al aire, lo que los convierte en fuentes generadoras de Radiación No Ionizante (RNI), siendo los servicios de radio de Frecuencia Modulada FM, televisión y telefonía móvil celular.

Dentro del presente la porción del espectro de frecuencia analizado estará comprendido desde 76 MHz hasta 2.6 GHz ya que contiene a estos tres servicios, las distribuciones de las diferentes bandas de frecuencias en el Ecuador se encuentran en el Plan Nacional de frecuencias definido por la ARCOTEL, de forma conjunta con la CONATEL. (CONATEL, 2012, p.19)

### 1.3.4 Radiaciones generadas en la banda de frecuencias de 944-951 MHz.

En este rango de frecuencias abarca diversas radiaciones muy útiles para la navegación, así también como para la telefonía móvil y fija, para diversidad de comunicaciones aficionadas y para radiodifusión sonora. Cabe recalcar que la utilización de este rango de frecuencias y su uso dependerá del país en donde se encuentre.

También este rango de frecuencias es utilizado para las comunicaciones móviles, muy concretamente para servicios celulares, estas frecuencias serán utilizadas dependiendo de la asignación de una frecuencia por el país hacia los proveedores de servicios, se las usarán básicamente para conectar llamadas entre abonados, servicios de internet, entre otros. Actualmente en el Ecuador este rango de frecuencias se lo utiliza para los fines que se detallan en la tabla 1-1.

**Tabla 2-1:** Uso de la banda 942-960 MHz en el Ecuador

<b>REGIÓN 2</b>	<b>ECUADOR</b>	
BANDA MHZ	BANDA MHZ	RANGO MHZ Nota EQA(resumen): Servicio (Sistema/Uso)
<b>942 – 960</b> FIJO MÓVIL MOD 5.317A	<b>942 – 960</b> FIJO MÓVIL MOD 5.317A	<b>942 – 951; 956-960</b> EQA.45: FIJO (enlaces radioeléctricos radiodifusión sonora) <b>951-956</b> EQA.50: FIJO

**Fuente:** ARCOTEL, 2012, Plan Nacional de Frecuencias de la República del Ecuador.

## 1.4 Propagación de Ondas de Radiofrecuencia

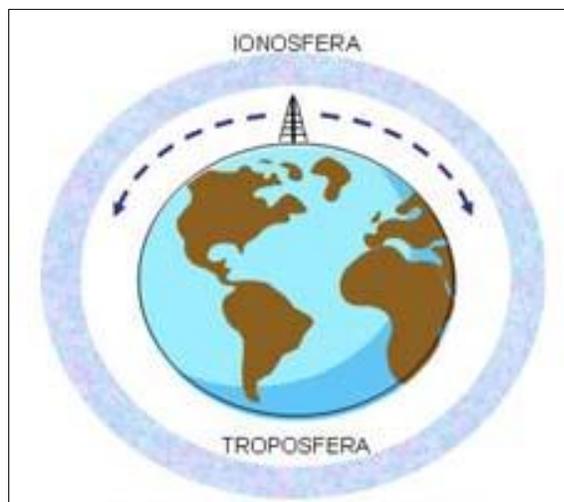
Las ondas de radiofrecuencia, y en general las ondas electromagnéticas, pueden ser propagadas en nuestro planeta a través del espacio libre, a una velocidad de  $3 \times 10^8$  m/s la cual corresponde a la velocidad en la que la luz viaja, aunque debido a las características de nuestro planeta y nuestra atmósfera, normalmente se generan pérdidas en las ondas transmitidas a medida que viajan de un lugar a otro.

Las ondas pueden propagarse tanto dentro como fuera de la atmósfera de nuestro planeta, y en el momento en que las ondas se propagan dentro de nuestra atmósfera, toman el nombre de ondas

terrestres; para la propagación de las ondas de radiofrecuencia se utilizan bandas de frecuencia las cuales corresponden a tipos distintos de transmisión.

Las ondas de radio frecuencia pueden producirse de diversas formas dependiendo de las características propias de la onda siendo el principal factor la frecuencia que varía según el servicio que propaga, además el tipo de propagación se verá afectada por características propias del ambiente, como la hora y el clima. (Posar, 2010, p.283)

#### ***1.4.1 Propagación Superficial***



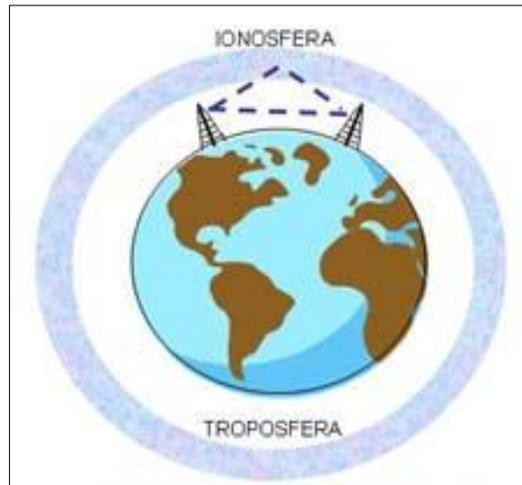
**Figura 5-1:** Propagación Superficial

Fuente: <http://www.eveliux.com/mx/curso/tipos-de-propagaci.html>

En este tipo de la propagación las ondas de radio frecuencia se transportan por la atmosfera baja o espacio comprendido entre la atmosfera y la tierra, a frecuencia de orden bajo siguiendo la curvatura de la tierra, logrando alcanzar grandes distancias que dependerán de la potencia con la que la señal sea transmitida (Figura 5-1). (Posar, 2010, p.283)

El sistema con el cual se enviarán ondas superficiales debe diseñarse sabiendo que el receptor debe poseer una relación señal a ruido mínima que pueda garantizar el óptimo funcionamiento de dicho sistema, y en este campo se debe tomar en cuenta los fenómenos adicionales que pueden suscitar en la transmisión, tales como son la refracción, reflexión, dispersión, entre muchos otros que generan un problema a la hora de transmitir.

### 1.4.2 Propagación Troposférica



**Figura 6-1:** Propagación Troposférica

Fuente: <http://www.eveliux.com/mx/curso/tipos-de-propagaci.html>

En este caso se presenta irradiación de una señal, misma que se llevará a cabo utilizando un determinado ángulo de radiación que permita alcanzar niveles superiores de la troposfera, mediante lo cual se logrará que la onda sea reflejada hacia la tierra específicamente en el lugar en donde se localizará el receptor.

Es decir, utiliza un modelo de reflexión de ondas en las capas superiores de la atmosfera por lo que esta variara dependiendo las condiciones climáticas y la hora del día (Figura 6-1). (Posar, 2010, p.284)

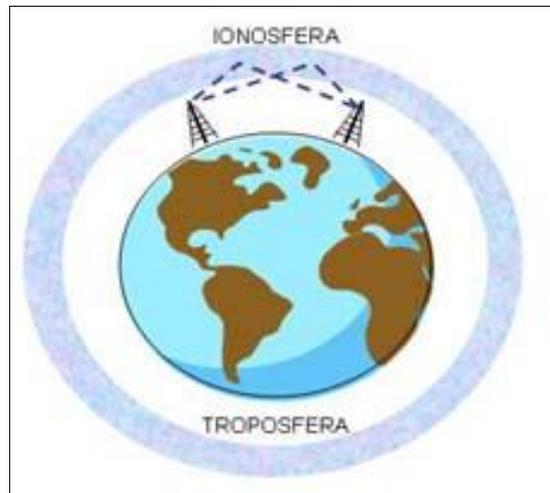
La difusión por medio de la tropósfera es muy importante en la propagación de las bandas Ultra Alta Frecuencia UHF y Muy Alta Frecuencia VHF, debido a que la diversidad es aproximadamente igual a la longitud de onda, lo que da como resultado que la atenuación atmosférica sea prácticamente despreciable. Puede alcanzar distancias en el orden de los kilómetros, pero como desventaja se tiene que sufre de desvanecimientos gracias a las variaciones de las condiciones atmosféricas; pero este problema se puede llegar a solucionar con un aumento en la potencia de transmisión, pero no es aplicable para todos los casos.

### 1.4.3 Propagación en la Ionósfera

Tipo de propagación utilizado para el desplazamiento de señales que trabajan a frecuencias mucho más altas, en la que la antena transmisora irradiara la señal hacia la ionosfera (Figura 7-1), en donde las ondas son reflejadas hacia la superficie terrestre, en este caso, la velocidad de propagación de la

onda una vez que se ha reflejado en la ionosfera dependerá de la hora del día y el nivel de ionización que tiene esta capa atmosférica. (Posar, 2010, p.284)

En este tipo de propagación las transmisiones se realizan en frecuencia muy altas, por lo general en el orden de los GHz, y estas altas frecuencias son enviadas y tienen como destino a la ionosfera, en donde son reflejadas y regresan de nueva cuenta a la superficie de la Tierra, éste fenómeno sucede gracias las diferentes densidades que poseen la ionósfera y la tropósfera, en donde las ondas de radio cambian su dirección y aumentan su velocidad, lo que provoca que su dirección se curve y regrese a la Tierra. Esta transmisión puede abarcar grandes cantidades de distancia utilizando potencias relativamente bajas.



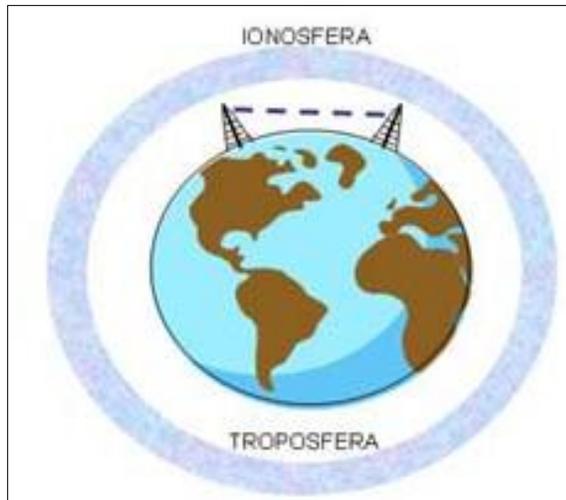
**Figura 7-1:** Propagación Ionosférica

Fuente: <http://www.eveliux.com/mx/curso/tipos-de-propagaci.html>

#### ***1.4.4 Propagación por Línea de Vista***

Tipo de propagación que se produce al apuntar directamente la antena transmisora hacia la receptora contando con una llamada línea de vista entre antenas (Figura 8-1). (Posar, 2010, p.285)

Este tipo de propagación es muy compleja debido a las condiciones físicas de la Tierra, ya que hay mucha probabilidad de que existan desvanecimientos, refracciones, difracciones, o que la línea de vista no sea la adecuada, por lo que es necesario realizar un estudio previo para el correcto funcionamiento del sistema de comunicaciones que se desee implementar.



**Figura 8-1:** Propagación Espacial

Fuente: <http://www.eveliux.com/mx/curso/tipos-de-propagaci.html>

### 1.5 Mapeo Electromagnético

El Mapeo Electromagnético es una técnica aplicada a la medición de radiaciones electromagnéticas, que es utilizada básicamente para dar a conocer de una forma gráfica los niveles de radiación electromagnética de cualquier tipo a la que se somete a diario una región, provincia, ciudad, o urbanización determinada.

Consiste en trazar el mapa de un sector específico de un pueblo, ciudad, país, etc., para seguidamente recoger información con instrumentos de medición capaces de recoger los datos necesarios, realizando mediciones espaciales en los puntos previamente establecidos en el mapa, para después unificarlos y analizarlos en conjunto.

Posteriormente y una vez recopilada toda la información, se crea un mapa con la incidencia de las radiaciones electromagnéticas estudiadas con el fin de visualizar un porcentaje o valor numérico en cada una de las partes del mapa. Se puede realizar un software que visualice dichos valores, dividir al mapeo por frecuencias, y emplear modelos matemáticos y estadísticos para conocer los valores promedios en todos los lugares del mapa.

### 1.6 Niveles de exposición a las RNI

Los niveles de exposición se determinarán según la distancia a la que se encuentra un observador de la estación de Radio Frecuencia definiendo así zonas: poblacional, ocupacional y de rebasamiento o

también llamada de conformidad (Figura 9-1). Cada una de estas zonas presenta niveles de referencia establecidos por la Comisión Internacional sobre Protección Frente a Radiaciones No Ionizantes ICNIRP como mecanismo de protección contra la incidencia de las ondas electromagnéticas de radio frecuencia. (Vecchia, 2009, p.58)



**Figura 9-1:** Zonas de exposición a RNI  
Realizado Por: Huilca, J. 2017

### ***1.6.1 Zona de rebasamiento***

La zona de rebasamiento es aquella en la cual los niveles de radiación electromagnética tienen valores muy por encima de los niveles máximos establecidos para las zonas poblacional y ocupacional, en esta zona la exposición a radiación puede causar efectos dañinos en la salud del observador, por lo que se deberán obligatoriamente tomar medidas preventivas contra la radiación. (Figura 9-1) (Vecchia, 2009, p.60)

### ***1.6.2 Zona de exposición ocupacional***

A esta zona también se la conoce como zona de exposición controlada debido a que los sujetos expuestos están conscientes de la exposición a la que son sometidos y pueden ejercer control sobre el nivel de la misma, y además tomar precauciones ante dicha exposición, en esta zona los niveles de radiación se encuentran sobre los valores límite establecidos para la exposición poblacional, pero bajo los niveles de exposición ocupacional. (Figura 9-1) (Vecchia, 2009, p.61)

### 1.6.3 Zona de exposición poblacional

A esta zona se la conoce como zona de exposición no controlada y abarca la zona a partir de la cual está asentado el público en general, mismo que no tiene conocimiento del nivel de radiación al que está siendo expuesto y por lo tanto no puede tomar ningún tipo de medida preventiva ante esta radiación, esta zona también se llama zona de conformidad debido a que los niveles de radiación estarán bajo los límites tanto poblacional como ocupacional. (Figura 9-1) (Vecchia, 2009, p.62)

### 1.7 Señalización de las diferentes zonas de exposición



**Figura 10-1:** Señalización visual de las diferentes zonas de exposición a RNI

Fuente: [http://www.paritarios.cl/especial\\_letreros\\_tarjetas\\_seguridad.htm](http://www.paritarios.cl/especial_letreros_tarjetas_seguridad.htm)

Para determinar las diferentes zonas de exposición se realizan mediciones tanto de potencia como de niveles de intensidad de campo eléctrico irradiado por las diferentes radio bases, y como es evidente la población en general no podrá disponer del equipamiento necesario para conocer el nivel de radiación a la que se encuentra expuesto, es por eso que se deberán señalizar adecuadamente los límites de las zonas de exposición con una señalización luminosa y de preferencia sonora que advierta a la población sobre los niveles de RNI usando indicadores visuales. (Vecchia, 2009, p.62)

Como es posible visualizar en la figura 10-1, existen tres variantes de señalizaciones, la primera de ellas sirve como advertencia de la existencia de Radiaciones No Ionizantes en zonas en donde puede penetrar la población en general, pero que consta de niveles superiores a los establecidos para las

zonas de exposición poblacional. Las dos siguientes señalizaciones fungen como advertencias hacia el inicio o proximidad de una zona en la cual los niveles de RNI son superiores a los máximos permitidos para una zona de exposición ocupacional, con lo cual se advierte un riesgo inminente para la salud de los seres vivos, para lo cual se utilizan colores llamativos como el rojo dando énfasis en la advertencia.

Los carteles, letreros, o cualquier tipo de señalización, será un requisito fundamental a la hora de implantar una antena o cualquier otro aparato transmisor de radio comunicaciones, asimismo, el tamaño de dichas señalizaciones deberá ser lo suficientemente grande y claro como para alertar a la ciudadanía de los riesgos que conlleva penetrar en estas zonas de radiación controlada. (Cárdenas, 2015: p.16-17)

### **1.8 Límites de exposición a radiaciones electromagnéticas**

Existen diferentes normas que ayudan a especificar los niveles máximos de exposición a RNI a las que puede un ser humano estar sometido, normas que han sido definidas por diversos grupos de expertos de OMS, IEEE y principalmente de la ICNIRP, y han sido definidos con la única finalidad de mantener un ambiente seguro considerando que estas radiaciones como se indicó anteriormente pueden ser mucho más perjudiciales bajo ciertas condiciones ya sea del entorno o del individuo sometido a los diversos campos electromagnéticos de servicios inalámbricos comunes como Radiodifusión, televisión o servicios de telefonía móvil celular. (Vecchia, 2009, p.62)

Por tales razones es que se han realizado tablas con límites referenciales de radiación, tanto para los niveles de absorción específicos de radiación en las personas, como para la exposición a radiaciones electromagnéticas generadas por fuentes de todo tipo.

Las normativas han sido creadas en función de varios estudios y evaluaciones, en donde se tomaron en consideración cualquier tipo de efecto biológico que puede producirse por la exposición a las radiaciones y además que puedan generar algún tipo de afección a la salud; han sido de mucha utilidad para la OMS los resultados expuestos en estas investigaciones, que con este mismo fin la organización creado ciertos límites para la exposición a las CEM, con los cuales se garantiza aparentemente que no sufriría daño alguno la salud de una cierta población. (Cárdenas, 2015: p.18)

### 1.8.1 Normativas ICNIRP

#### 1.8.1.1 Niveles máximos de exposición a RNI

Para la creación de las tablas de exposición a las CEM, los estudios han sido basados únicamente en los efectos inmediatos que se obtienen frente a las exposiciones de las personas a las cuales se les somete a ciertas cantidades de RNI, dentro de los que se estiman los incrementos de temperatura producidos en los tejidos que han sido expuestos tanto en forma poblacional como ocupacional, dejando así de lado los efectos o afecciones a la salud producidos por exposiciones a largo plazo debido a que los valores medidos se encuentran por debajo de los límites máximos que han sido planteado tanto por la ICNIRP como por los científicos de la IEEE, es decir, en general las normativas se analizan sin considerar un tiempo promedio de exposición. La tabla 5-1 plasma los niveles máximos que se pueden alcanzar en la zona ocupacional, mientras que en la tabla 6-1 se muestran los niveles, pero en este caso para la zona poblacional. (ICNIRP, 2011, p.19).

**Tabla 2-1:** Normativa ICNIRP para exposición a RNI en zona ocupacional

Rango de Frecuencias (MHz)	Intensidad de Campo Eléctrico (V/m)	Intensidad de Campo Magnético (A/m)	Densidad de Potencia ( $W/m^2$ )
0 - 1 Hz	–	$1.63 \times 10^5$	–
1 – 8 Hz	20000	$1.63 \times 10^5 / f^2$	–
8 – 25 Hz	20000	$2 \times 10^4 / f$	–
0.025 – 0.82 kHz	$500 / f$	$20 f^{0.5}$	–
0.82 – 65 kHz	610	24.4	–
0.065 – 1 MHz	610	$1.6 / f$	–
1 – 10 MHz	$610 / f$	$1.6 / f$	–
10 – 400 MHz	61	0.16	10
400 – 2000 MHz	$3 f^{0.5}$	$0.008 f^{0.5}$	$f / 40$
2 – 300 GHz	137	0.36	50

Fuente: ICNIRP, 2013, Normativa de exposición a RNI

**Tabla 3-1:** Normativa ICNIRP para exposición a RNI en zona poblacional

<b>Rango de Frecuencias (MHz)</b>	<b>Intensidad de Campo Eléctrico (V/m)</b>	<b>Intensidad de Campo Magnético (A/m)</b>	<b>Densidad de Potencia (<math>W/m^2</math>)</b>
0 - 1 Hz	–	$3,2 \times 10^4$	–
1 – 8 Hz	10,000	$3,2 \times 10^4/f^2$	–
8 – 25 Hz	10,000	$4,000/f$	–
0.025 – 0.8 kHz	$250/f$	$4/f$	–
0.8 – 3 kHz	$250/f$	5	–
3 – 150 kHz	87	5	–
0.15 – 1 MHz	87	$0.73/f$	–
1 – 10 MHz	$87f^{0.5}$	$0.73/f$	–
10 – 400 MHz	28	0.073	2
400 – 2000 MHz	$1.375 f^{0.5}$	$0.0037f^{0.5}$	$f / 200$
2 – 300 GHz	61	0.16	10

Fuente: ICNIRP, 2013, Normativa de exposición a RNI

#### 1.8.1.2 Niveles referenciales de SAR

Si bien es cierto la dosimetría se encuentra ampliamente analizada en el caso de seres que se ven expuestos a radiaciones ionizantes y no tanto para CEM que son considerados de poca importancia ya que por su longitud de onda no son capaces de realizar cambios o ionización en la materia sobre la cual actúan, sin embargo el considerar la SAR como una medida importante en el campo de la dosimetría no se constituye como una idea fuera de lugar, ya que esta brinda una medida del nivel de absorción de energía causado por dichos CEM, que puede manifestarse en el cuerpo expuesto a dicha radiación como calor, pudiendo así afectar al sistema biológico en formas diversas debido al simple y ordinario efecto de calentamiento de los cuerpos, sumado a esto el hecho que la SAR se manifiesta como una función directa tanto de los campos incidentes, principalmente la frecuencia de los mismos, y además como una función de las características del ser que está sometido a este tipo de RNI, como su edad o su estatura. En otras palabras, puede asumirse que la elevación de la temperatura corporal

será un parámetro estrechamente ligado con la SAR que dicho cuerpo presenta, o en cualquier caso podrá ser el promedio de todo el cuerpo, cuando la duración de la exposición sea superior a lapso de 6 minutos que es definido como la constante temporal térmica del cuerpo humano, entendiéndose así que en exposiciones extremas en alguna parte del cuerpo, podría producirse una lesión térmica del tejido que estará ligado directamente al efecto del calentamiento causado por la exposición a CEM que se encuentra en el ambiente ya sea este ocupacional o poblacional. (ICNIRP, 2011, 21)

Como es lógico todos los equipos que trabajan con el espectro radioeléctrico como medio de propagación deberán ser normados y sometidos a controles rutinarios para de este modo asegurar que los niveles de radiación que estos emiten están dentro de los que se mostraron anteriormente y que además la tasa de absorción específica que se produce a partir de los CEM generados por dichos dispositivos están dentro de los parámetros adecuados, es así que, por ejemplo, el organismo de control de telecomunicaciones Estadounidense FCC utiliza las normativas establecidas por la IEEE para determinar los niveles referenciales de la SAR tanto en zona ocupacional como en zona poblacional, considerando la exposición a RNI de servicios que se encuentran en un rango que va desde los 100 kHz hasta los 6 GHz.

Es así que para la exposición ocupacional o controlada se establece que la tasa de absorción promedio será de 0.4 W/Kg máximo considerando el análisis en todo el cuerpo y aún la SAR pico promedio no superior a 8W/Kg sobre cualquier gramo de tejido, estableciendo excepciones para manos, muñecas, pies y tobillos en los que se establece un máximo de 20 W/Kg por cada 10 gramos de tejido. En lo referente a la exposición poblacional se establece según la IEEE en promedio se puede alcanzar una SAR máxima de 0.08 W/Kg para el cuerpo entero, y un valor de SAR pico promedio máximo de 1.6 W/Kg por cada gramo de tejido o 4W/Kg por cada 10 gramos de tejido, siendo este último valor considerado para manos, muñecas, pies y tobillos. (Tabla 7-1) (ICNIRP, 2011, 25)

Es necesario tener en cuenta que la presente normativa ha sido desarrollada sin tomar en consideración la exposición prolongada a este tipo de radiaciones, ya que tanto la ICNIRP como la IEEE determinan que los datos obtenidos son suficientes para determinar los niveles máximos de exposición a CEM que van de la mano con los efectos inmediatos producidos en la salud como el calentamiento de tejidos. Esta normativa muestra la relación existente entre los niveles de densidad de corriente y los valores de SAR principalmente para determinar por un lado la absorción en la cabeza y por otro un valor promedio de SAR para todo el cuerpo sin especificar características como masa, estatura o edad del sujeto sometido a RNI. (ICNIRP, 2011, 29).

**Tabla 4-1:** Niveles de absorción específica de RNI según la frecuencia, ICNIRP

Características de la Exposición	Rango de Frecuencias	Densidad de Corriente para cabeza y tronco ( $mA/m^2$ ) (rms)	SAR promedio en todo el cuerpo (W/kg)	SAR localizado cabeza y tronco (W/kg)	SAR localizado (extremidades) (W/kg)
<b>Exposición Ocupacional</b>	hasta 1 Hz	40	—	—	—
	1-4 Hz	40/f	—	—	—
	4 Hz – 1 KHz	10	—	—	—
	1 – 100 KHz	f/100	—	—	—
	1000 KHz - 10 MHz	f/100	0,4	10	20
	10 MHz – 10 GHz	—	0,4	10	20
<b>Exposición Poblacional</b>	hasta 1 Hz	8	—	—	—
	1-4 Hz	8/f	—	—	—
	4 Hz – 1 KHz	2	—	—	—
	1 – 100 KHz	f/500	—	—	—
	1000 KHz - 10 MHz	f/500	0,08	2	4
	10 MHz – 10 GHz	—	0,08	2	4

Fuente: <http://www.icnirp.org/cms/upload/publications/ICNIRPemfgdlesp.pdf>, p.26

## 1.8.2 Normativas UIT

### 1.8.2.1 UIT-T K.52

La Recomendación dada por la Unión Internacional de Telecomunicaciones UIT-T K.52 (Tabla 8-1) vigente es la aprobada el 29 de agosto de 2014 en su versión 3.0 la cual tiene como objetivo ayudar en la orientación sobre el cumplimiento de los límites de exposición de las personas a los campos electromagnéticos (CEM), siendo estos generados por instalaciones de telecomunicaciones y teléfonos móviles u otros dispositivos que emitan radiación electromagnética. La Recomendación UIT-T K.52 presenta una guía general, un método de cálculo y un procedimiento de evaluación de las instalaciones de telecomunicaciones, basado en los límites establecidos por la ICNIRP, la que proporciona ayuda a los usuarios para determinar el cumplimiento en las instalaciones de telecomunicaciones, en función de los criterios de accesibilidad, propiedades de la antena y potencia del transmisor. Esta recomendación se aplica a la exposición debida a los teléfonos móviles u otros

dispositivos radiantes, que funcionan en la gama de frecuencias de 300 MHz a 3 GHz. (Unión Internacional de Telecomunicaciones, 2015, p.3-8)

**Tabla 5-1:** Niveles de referencia según UIT-T K.52

Tipo de Exposición	Gama de Frecuencias	Intensidad de Campo Eléctrico (V/m)	Intensidad de Campo Magnético (A/m)	Densidad de Potencia de onda plana equivalente $S_{eq}(W/m)^2$
<b>Ocupacional</b>	Hasta 1 Hz	--	$2 \times 10^5$	--
	1 – 8 Hz	20000	$2 \times 10^5 / f^2$	--
	8 – 25 Hz	20000	$2 \times 10^4 / f$	--
	0,025 – 0,82 kHz	$500 / f$	$20 / f$	--
	0,82 – 65 kHz	610	24,4	--
	0,625 – 1 MHz	610	$1,6 / f$	--
	1 – 10 MHz	$610 / f$	$1,6 / f$	--
	10 – 400 MHz	61	0,16	10
	4000 – 2000 MHz	$3f^{1/2}$	$0,008 f^{1/2}$	$f/40$
	2 – 300 GHz	137	0,36	50
<b>Poblacional</b>	Hasta 1 Hz	--	$2 \times 10^4$	--
	1 – 8 Hz	10000	$2 \times 10^4 / f^2$	--
	8 – 25 Hz	10000	$5000 / f$	--
	0,025 – 0,8 kHz	$250 / f$	$4 / f$	--
	0,8 – 3 kHz	$250 / f$	5	--
	3 – 150 kHz	87	5	--
	0,15 – 1 MHz	87	$0,73 / f$	--
	1 – 10 MHz	$87 f^{1/2}$	$0,73 / f$	--
	10 – 400 MHz	28	0,073	2
	4000 – 2000 MHz	$1,375 f^{1/2}$	$0,0037 f^{1/2}$	$f/200$
2 – 300 GHz	61	0,16	10	

NOTA 1 -  $f$  es la indicada en la columna gama de frecuencias

NOTA 2 – Para frecuencias entre 100 kHz y 10 GHz, el tiempo de promediación es de 6 minutos

NOTA 3 – Para frecuencias hasta 100 kHz, los valores de cresta pueden obtenerse multiplicando el valor eficaz por  $\sqrt{2} = (1,414)$ . Para impulsos de duración  $t_p$ , la frecuencias equivalente aplicable debe calcularse como  $f = 1/(2t_p)$ .

NOTA 4 – Entre 100 kHz y 10 MHz, los valores de cresta de las intensidades de campo se obtienen por interpolación desde 1,5 veces la cresta a 100 MHz hasta 32 veces la cresta a 10 MHz. Para valores que sobrepases 10 MHz, se sugiere que la densidad de potencia de onda plana equivalente de cresta, promediada a lo largo de la anchura del impulso, no sobrepase 1000 veces el límite  $S_{eq}$ , o que la intensidad de campo no sobrepase los niveles de exposición de intensidad de campo indicados en el cuadro.

NOTA 5 – Para frecuencias superiores a 10 GHz, el tiempo de promediación es de  $68/f^{1,05}$  minutos (f en GHz).

Fuente: <https://www.itu.int/rec/T-REC-K.52-201612-I/es>, Año 2016, p.22

### 1.8.2.2 UIT-T K.61

En la mencionada recomendación ITU-T K.61 lo que se desea es ayudar de alguna manera a los operadores de servicios de telecomunicaciones para que dichos operadores estén en la capacidad de verificar el cumplimiento en cuestión a los Campos Electromagnéticos CEM, para este cometido, las normativas son expuestas y promulgadas por el organismo a cargo en cada nación, para el caso específico de Ecuador, la ARCOTEL se acoge a la recomendación ITU-T K.52 que se menciona anteriormente.

Cabe mencionar también que en la recomendación ITU-T K.61 se expone procedimientos, herramientas y métodos, los cuales se pueden utilizar con el fin de obtener una constante evaluación en el cumplimiento de las normas de exposición para radiofrecuencias, las cuales se pueden llevar a cabo por medio de la medición de la intensidad de los campos electromagnéticos, pero sólo cuando para su medición se utilicen equipos e instrumentos debidamente y anteriormente calibrados y la medida se exprese de la manera correcta.

La consideración técnica utilizada para esta recomendación es el “Tiempo Promedio”, el cual bajo la referencia ICNIRP menciona que la recolección de la medición de campo debe ser a lo largo de un periodo de 6 minutos para frecuencias por debajo de 10 GHz y durante un período de  $68 / f^{1.05}$  minutos para frecuencias superiores a 10 GHz (donde  $f$  es la frecuencia en GHz) (Unión Internacional de Telecomunicaciones, 2015, pp.2-5).

### ***1.8.3 Normativas ARCOTEL***

Mediante la resolución 01-01-CONATEL-2005 el Consejo Nacional de Telecomunicaciones CONATEL, en el capítulo 3, del régimen de protección y los límites máximos de exposición en el artículo 5 cuyo título es: “Límites Máximos de Exposición por Estación Radioeléctrica Fija”, se establece los límites máximos para la exposición a las emisiones de RNI generadas por el uso de las frecuencias del Espectro Radioeléctrico del Ecuador, en concordancia con los valores establecidos en la Recomendación UIT -T K.52 de la UIT.

## CAPITULO II

### 2. MARCO METODOLÓGICO

#### 2.1 Equipamiento Físico Utilizado

En la actualidad en la que vivimos, es mucho más eficiente realizar mediciones de campos electromagnéticos, gracias a que la tecnología con la que gozamos es muy variada, de buena calidad y además precisa. Atrás quedaron los días en los que las mediciones duraban meses y semanas enteras, hoy con tan solo un par de minutos ya es posible conocer un parámetro determinado que deseemos, al igual que es mucho más fácil poder comprobar si se están respetando los parámetros predispuestos por las organizaciones de cada país para proteger la salud de la ciudadanía

##### 2.1.1 NARDA SRM-3000

El equipo NARDA SRM-3000 (Figura 1-2) es un dispositivo de medición de frecuencia selectiva utilizado para la evaluación de los valores de campos electromagnéticos de alta frecuencia, este dispositivo permite la selectividad entre distintos servicios de telecomunicaciones dentro del espectro comprendido de 100 kHz a 3 GHz además de la determinación de las escalas de medición según las normativas disponibles, sumado a otras características adicionales que lo hacen muy útil para este tipo de trabajos especializados (Narda STS, 2013, p.5)



**Figura 1-2:** Equipo NARDA SRM – 3000

**Fuente:** [https://abm-website-assets.s3.amazonaws.com/wirelessdesignmag.com/s3fs-public/legacyimages/0401/wd41ta\\_a.jpg](https://abm-website-assets.s3.amazonaws.com/wirelessdesignmag.com/s3fs-public/legacyimages/0401/wd41ta_a.jpg)

El NARDA SRM-3000 es un dispositivo que cumple como una solución a la medición selectiva de microondas y de radio frecuencia, con medidas isotrópicas y de eje simple, es excelente para la detección de antenas y cables. Gracias a su portabilidad, se lo puede llevar a cualquier sitio para realizar mediciones, cuenta con una batería externa recargable de larga duración que permite varias horas de trabajo ininterrumpido, aunque también se lo puede utilizar conectado a una fuente de electricidad fija.

El dispositivo tiene como función primordial el evaluar campos electromagnéticos, además de permitir selectividad entre los servicios y frecuencias disponibles que puede recibir, se adapta a varias escalas de medición tomando como referencia las normas y leyes vigentes a nivel mundial. Permite realizar mediciones de intensidades de campos eléctrico y magnético, así también como la densidad de potencia, lo que lo hace el aliado idóneo para recopilar la información requerida en la banda de 944 – 951 MHz

El NARDA SRM-3000 posee modos de operación cada uno especializado de manera diferente, los cuales se han diseñado con el fin de lograr obtener resultados inmediatos en función de una selección dinámica de frecuencias, cada uno de ellos con características diferentes que permitirán al usuario obtener mediciones tanto de campos electromagnéticos como niveles de potencia en diferentes unidades además de otras medidas, siendo la principal función del equipo la medición de intensidad de campos electromagnéticos para analizar el cumplimiento de los límites de exposición. (Narda STS, 2013, p.8)

Basado en este primer modo de operación, puede usarse el modo Evaluación de seguridad que muestra una visión general de la intensidad de campo parcial que aporta cada uno de los servicios que se fijaron en el ancho de banda a evaluarse, permitiendo la visualización de los resultados en términos de V/m, A/m, mW/cm<sup>2</sup>. (Narda STS, 2013, p.14)

Además de esto, el equipo NARDA SRM-3000 puede realizar una serie de análisis en el dominio del tiempo (ver Figura 4-2) por medio de la medición de los valores de intensidad de campo electromagnético, el cual funciona al definir una frecuencia central que puede ser manipulada por el usuario y un ancho de banda determinado, lo que permite la obtención de valores pico y eficaces. (Narda STS, 2013, p.14)

### 2.1.2 GPSmap® 60CSx Garmin



**Figura 2-2** GPS Garmin GPSmap® 60CSx

**Fuente:** <https://static.garmincdn.com/es/products/010-00422-01/g/cf-1g.jpg>

El Garmin 60CSx (Figura 2-2) es un dispositivo del tipo portátil que funciona como un sistema de posicionamiento global; creado y comercializado por la empresa Norteamericana Garmin, permite conocer la ubicación, altura sobre el nivel del mar, presión atmosférica en cualquier parte del mundo mediante la triangulación de señales de satélites artificiales que orbitan el planeta.

Entre sus principales herramientas, se encuentra una brújula electrónica, capaz de determinar el rumbo y la dirección, incluso si el usuario se encuentra de pie y estático. Posee altímetro barométrico para proporcionar diversos datos acerca de la pendiente con una gran precisión, pero su uso más cotidiano es como receptor de Sistema de Posicionamiento Global GPS de alta sensibilidad, el cual puede funcionar incluso en selvas y bosques muy densos.

Posee una gran pantalla tipo TFT a color de 3.8 x 5.6 cm, con una resolución de 160 x 240 pixeles, lo cual hace más fácil su visibilidad en las mañanas como en las noches; cuenta con una tarjeta micro SD de 64mb además de memoria interna, con las cuales se puede grabar y almacenar la cartografía que el usuario desee. Se puede comprar tarjetas micro SD pregrabadas con mapas de MapSource, para visualizarlos en el dispositivo sin la necesidad de un computador.

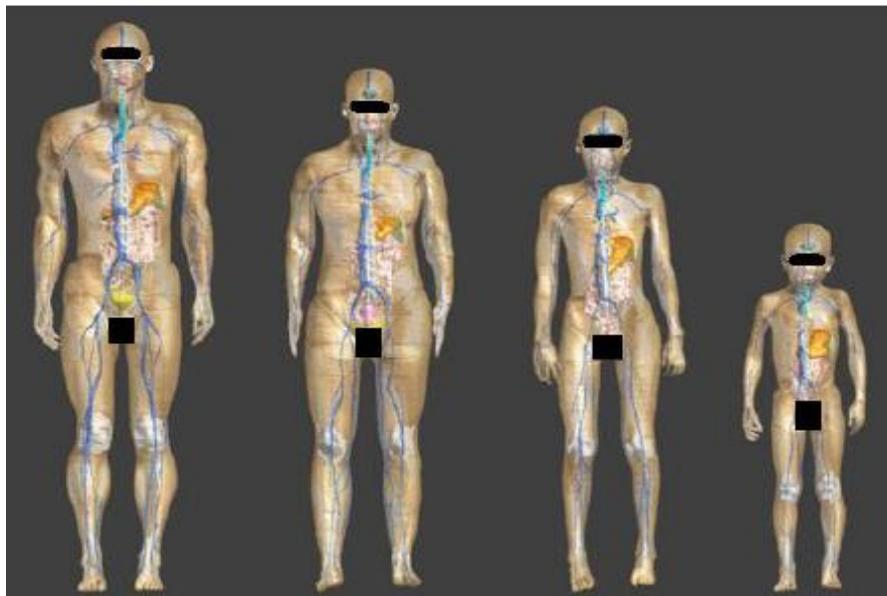
El revestimiento externo del dispositivo es muy resistente, tanto que su carcasa cuenta con certificación IPX7, lo cual certifica que el equipo es resistente a caídas al suelo o al agua sin que se vea afectado su funcionamiento, su ranura SD también es resistente al agua. Posee puerto USB tipo mini B para cargar mapas y rutas del ordenador al dispositivo. Además, también tiene la capacidad de presentar un mapa base atlántico que puede ser ampliable.

## 2.2 Software Utilizado

En el presente trabajo, la presencia del software adecuado fue fundamental, tanto para el mapeo electromagnético como para la simulación, a continuación, se detallan los programas informáticos utilizados:

### 2.2.1 *Virtual Family V2.0*

Virtual Family en su versión V2.0 es una serie de varios archivos de tipo CAD que fueron desarrollados por la fundación IT'IS que se encuentra en Zúrich Suiza, y que tienen como objetivo principal el mejoramiento de la calidad de vida de todos los seres humanos, para lograr este cometido, realizan una gran cantidad de estudios en las ramas del campo biomédico, así como la exposición térmica y electromagnética. (IT'IS Foundation, 2015)



**Figura 3-2** Modelos de Virtual Family V2.0: Duke, Ella, Billie, Thelonious.  
Fuente: ITIS Foundation, 2015, <http://www.itis.ethz.ch/virtual-population/vpopulation-cvip-vip/vip2/>

Específicamente la Familia Virtual en su versión 2.0 (Figura 3-2) se conforma de un conjunto de cuatro archivos de Diseño Asistido por Computadora CAD bien estructurados, creados para simular la apariencia de seres humanos tales como: un hombre promedio en el caso de Duke, una mujer promedio en el caso de Ella, y de un joven y un niño en el caso de Billie y Thelonius respectivamente, lo cuales fueron optimizados para el modelamiento biofísico y biomédico, buscando el objetivo primordial de crear y realizar evaluaciones para la salud de los seres humanos, buscando así asemejarse lo más posible a la realidad, de qué es lo que pasaría si algún proyecto se llegase a ejecutar con determinados parámetros.

Cada uno de los modelos de Virtual Family en su versión 2.0 tiene el fin de simular el cuerpo de un ser humano cualquiera, el cual está conformado por un promedio de 300 órganos y tejidos que se han representado en 22 grupos que poseen una gran resolución en el modelamiento tipo CAD. Con estos modelos se logrará conocer las características y propiedades eléctricas específicas de una manera individualizada para cada uno de estos grupos, encontrando como primordiales los parámetros de permitividad y conductividad eléctrica, y se diferencia posteriormente a cada modelo con características únicas como son género, estatura, edad y peso tal y como se puede apreciar en la Tabla 1-2. (IT'IS Foundation, 2015)

**Tabla 1-2:** Características de los modelos de Virtual Family V2.0

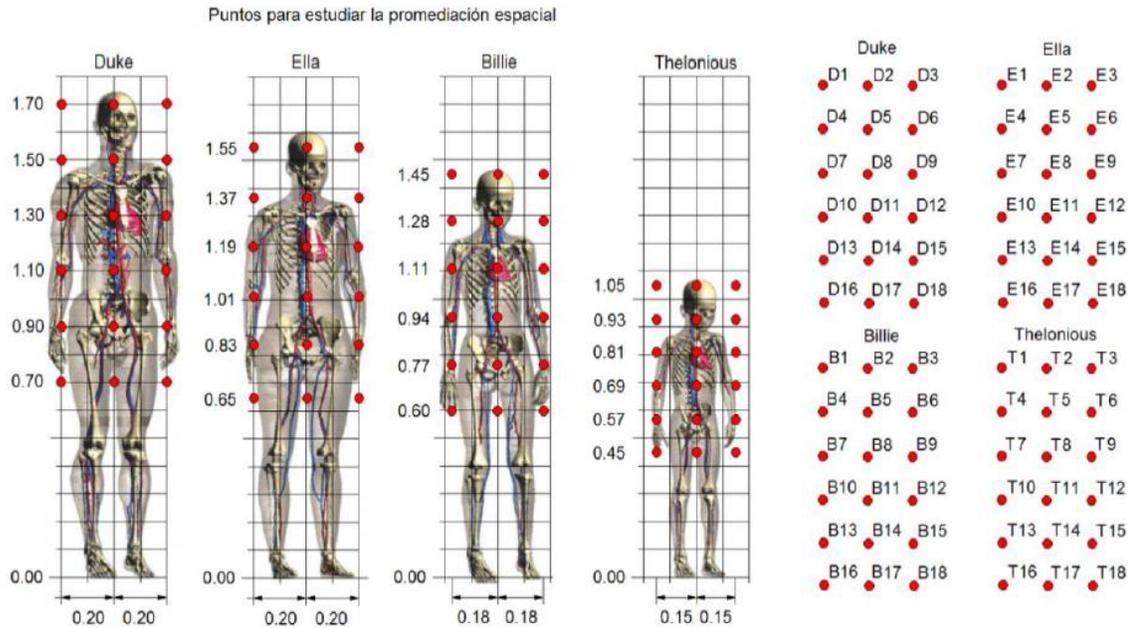
Nombre	Genero	Edad	Altura (m)	Peso (Kg)	BMI [kg/m <sup>2</sup> ]
Duke	Masculino	34	1.77	70.3	22.4
Ella	Femenino	26	1.63	57.3	21.5
Billie	Femenino	11	1.49	34.0	15.4
Thelonious	Masculino	6	1.15	18.6	14.1

**Fuente:** IT'IS Foundation, 2015, <http://www.itis.ethz.ch/virtual-population/vpopulation-cvip-vip/vip2/>

Con el uso de los modelos de Virtual Family, se puede entonces medir por ejemplo la intensidad de campo eléctrico considerando las condiciones espaciales en cada uno de los modelos, y así se podrá evaluar tanto la intensidad de campo eléctrico mediante el uso de un equipo de medición, como la Tasa de Absorción Específica utilizando un software de simulación. (IT'IS Foundation)

Para dichas mediciones se deben considerar, los puntos críticos de interés que poseen los modelos de Virtual Family, los cuales se han dividido en 18 desarrollados por la tesis de doctorado del Ingeniero Pedro Infante, y que están ubicados a lo largo de la estructura humana de los modelos en posiciones

y alturas diferentes con referencia al nivel del suelo tal y como se muestra en la Figura 4-2 en donde se puede apreciar los valores de las alturas ya definidas en cada uno de los modelos de Virtual Family v2.0.



**Figura 4-2** Puntos para la medición espacial en modelos Virtual family  
**Fuente:** IT<sup>2</sup>IS Foundation, 2015, <http://www.itis.ethz.ch/virtual-population/virtual-population-cvip-vip/vip2/>

### 2.2.2 Sim4Life V2.2

Sim4Life (Figura 5-2) es una revolucionaria y avanzada plataforma software de simulación, que es capaz de combinar diferentes modelos humanos que se pueden ser computables y programables, creándolos en base a parámetros dados por el mismo software, para posteriormente utilizarlos con los más poderosos solucionadores físicos y con los modelos de tejidos más avanzados que se puedan utilizar para el análisis directo de diversos fenómenos biológicos reales térmicos y electromagnéticos que fueren producidos en entornos anatómicos y biológicos realistas. (Zúrich Medtech, 2015)



**Figura 5-2** Logo del software Sim4Life  
**Fuente:** <https://www.zurichmedtech.com/assets/images/sim4life/s4lv2slogoc.png>

### ***2.2.3 Software de Mapeo Electromagnético***

El software informático fue desarrollado de manera inicial en una tesis de grado como parte del proyecto de investigación denominado SIV.30, el cual posteriormente fue modificado para brindar mejores resultados visuales y numéricos, así como la incorporación de un método de interpolación para obtener el valor numérico de las radiaciones electromagnéticas en las zonas en donde no se realizaron mediciones. El proyecto SIV.30 actualmente sigue en desarrollo y es base de la tesis doctoral del Ingeniero Pedro Infante.

El software está creado con tecnología de sistemas de información geográfica (GIS), y se dividen en diversas capas que se pueden dividir en: capas geográficas y capas de medición. Dentro de las capas geográficas se encuentran: el mapa completo de la ciudad de Riobamba, las líneas dibujadas de la ciudad, el mapa de Riobamba con los nombres de sus calles, avenidas y puntos de interés.

En las capas de medición se encuentran: la capa E y sus mediciones espaciales en los 46 nodos, la capa H y sus mediciones, la capa S y sus mediciones, la capa SAR y sus mediciones y las capas con mapas de colores para cada una de las capas de medición en donde se reflejan los valores de las radiaciones electromagnéticas

Para las capas con los mapas de colores se utilizó un método de interpolación, con el fin de que el mapa de colores abarque completamente toda la zona de medición, dicha interpolación se la empleó en cada capa de medición para obtener así los resultados de todas las variables posibles. La interpolación se denomina “Inverse Distance Wighting” IDW, también conocido como “peso por distancias inversas”, la cual se basa en ponderar el valor de acuerdo a la distancia del valor inicial, es decir, a medida que se aleja del punto de referencia la ponderación va disminuyendo y es muy utilizada en aplicaciones cartográficas. Debido a que presenta un error medio, error absoluto medio y distancia euclidiana más baja que si se utilizara el método Spline o el método Kringing, ambos también para interpolación.

### **2.3 Procedimiento realizado para las Mediciones de RNI y Mapeo Electromagnético en un sector de Riobamba**

Para realizar las Mediciones espaciales de RNI y el Mapeo Electromagnético del presente trabajo de titulación y así poder obtener los valores deseados, evitando conseguir datos errados, se ha seguido el siguiente protocolo como referencia:

1. Ubicar el lugar de la ciudad de Riobamba el cual servirá para las mediciones espaciales de RNI.
2. Establecer los límites terrenales para las mediciones, en este caso se tomó 10 cuadras longitudinales por 5 cuadras transversales.
3. Asignar el lugar de ubicación del dispositivo NARDA SRM-3000 dentro la zona céntrica de la Ciudad.
4. En el instante en donde todos los puntos de referencia sean asignados, se identificará y ubicará en el mapa los lugares y posiciones exactas.
5. Para evitar acoplamientos capacitivos, los nodos tendrán que ubicarse a mínimo 20cm de algún objeto.
6. El equipo NARDA SRM-3000 fue colocado en un soporte de madera que simula el cuerpo de Duke de la Familia Virtual, el cual simula a una persona promedio de 1,70m de altura.
7. Al encender el equipo NARDA SRM-3000 se debe previamente establecer todos sus valores en “cero”, para que no existan errores con alguna medición realizada anteriormente.
8. Cada punto del modelo Duke (18 puntos en total), será medido cada 6 minutos, y se procederá a medir los valores máximos y promedio de la Intensidad de Campo Eléctrico E.
9. En el momento de culminación de las mediciones, se utilizará el equipo Garmin GPS para obtener el punto exacto en donde se realizaron las mediciones.
10. Una vez obtenidas todas las mediciones, se procede a descargar la información que se encuentra en el equipo NARDA SRM-3000 en Microsoft Excel, utilizando el software propio del equipo.
11. Con los datos de Excel se procede a encontrar los valores: máximos, mínimos, media y desviación estándar para cada punto de medición, utilizando este mismo software.
12. Con los datos obtenidos de Intensidad de Campo Eléctrico E se procede a realizar simulaciones con el modelo Duke en el software Sim4Life para determinar la SAR y compararlos con las normativas vigentes.

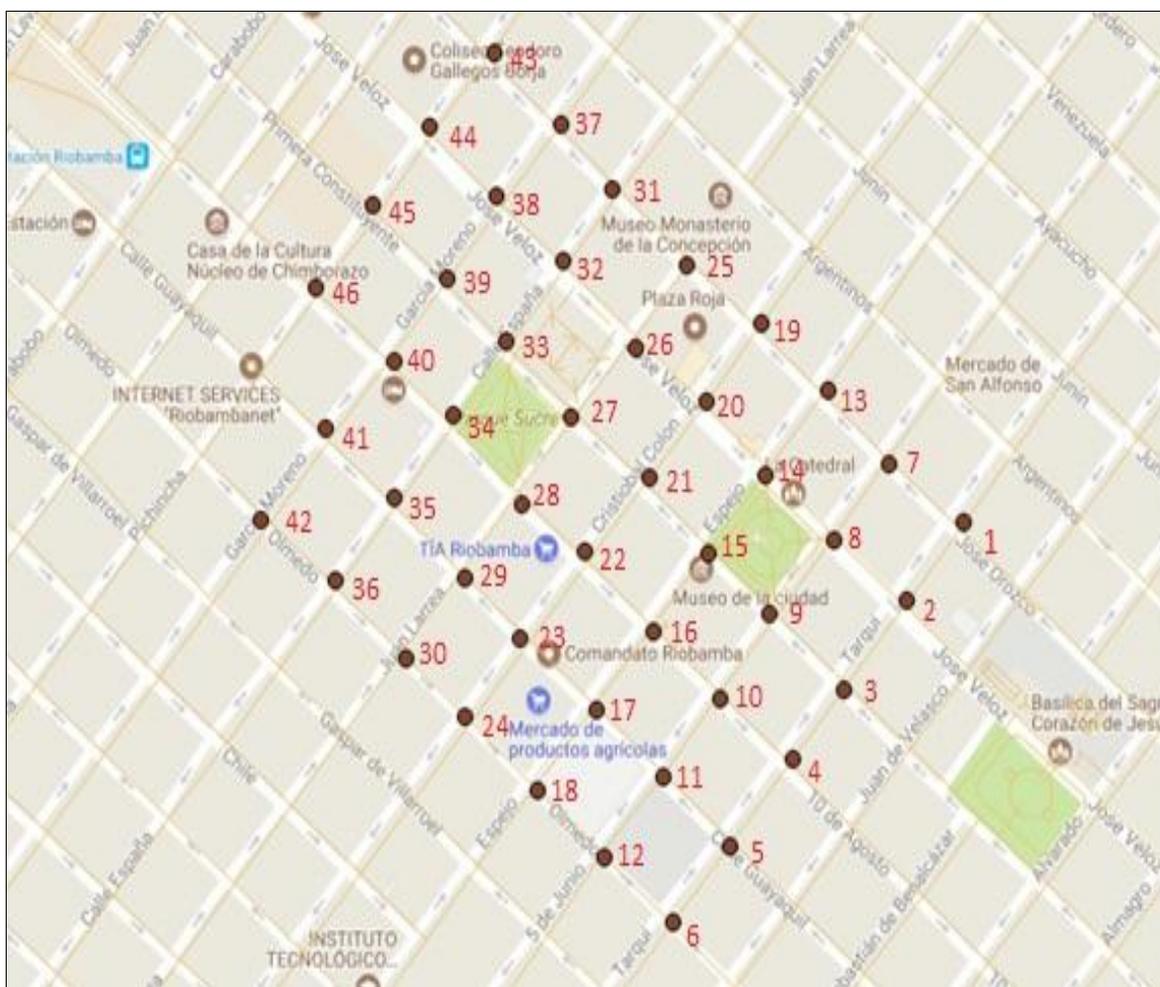
13. Los datos de los literales 11 y 12, se procede a ingresar en la base de datos del software de Mapeo Electromagnético, para poder visualizar los resultados finales.

## CAPÍTULO III

### 3. ANÁLISIS DE RESULTADOS

#### 3.1 Ubicación de los nodos de medición en la zona céntrica de la ciudad de Riobamba

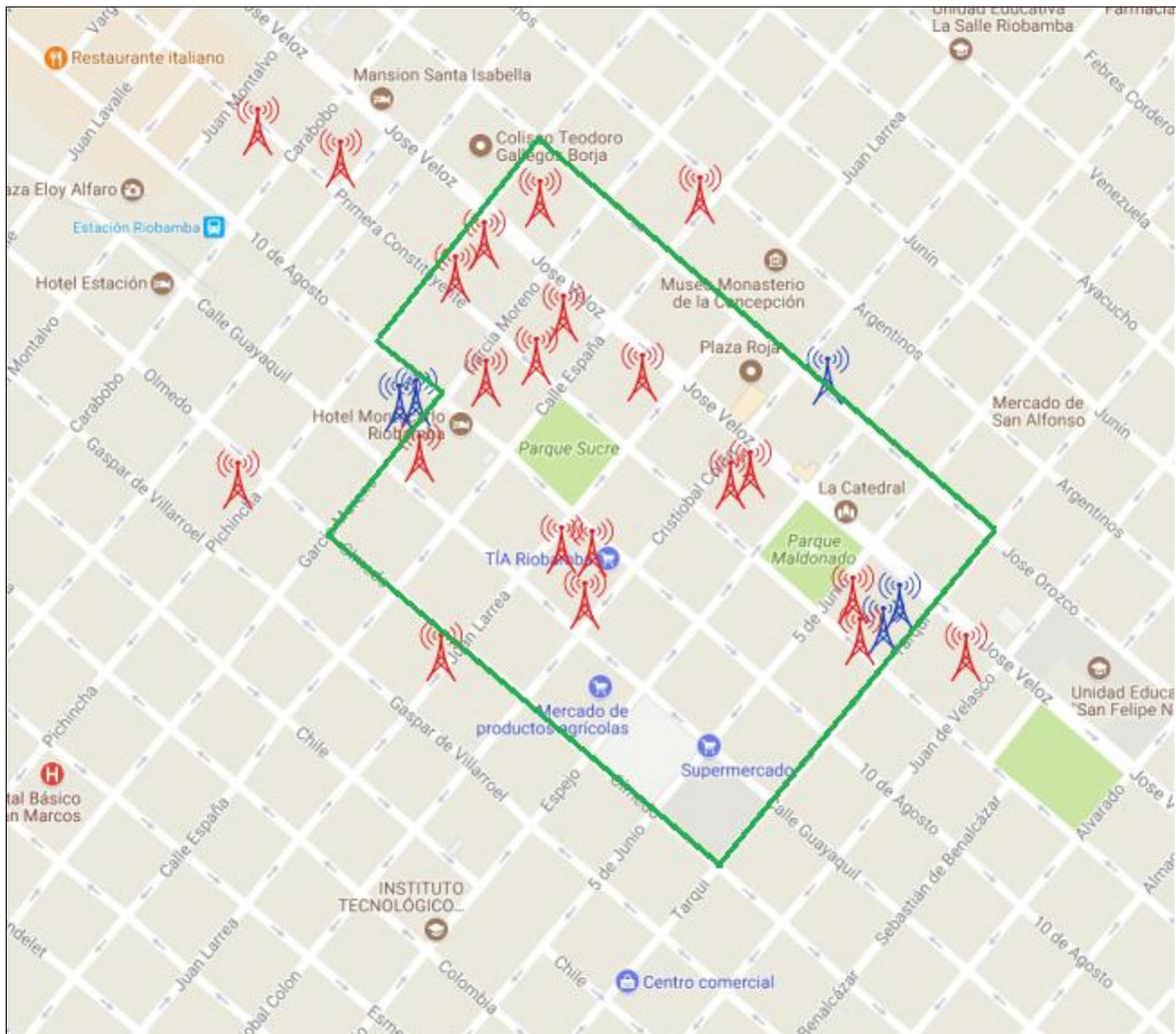
Previo a realizar las mediciones espaciales en la ciudad de Riobamba, se han ubicado los 46 nodos en el mapa de la zona céntrica de la ciudad abarcando 10 cuadras longitudinales por 5 cuadras transversales, los puntos rojos en cada esquina de las calles representan a los nodos de medición que se tomaron, tal y como se muestra en el mapa 1-3.



**Mapa 2-3:** Ubicación de los 46 nodos de medición en la ciudad de Riobamba  
Realizado por: Huilca, J. 2017

### 3.1.1 Ubicación de las antenas sobre el mapa de Riobamba

De la misma manera que con los nodos de medición, se efectuó la localización en el mapa de las antenas que se encuentran en la zona céntrica de la ciudad de Riobamba, abarcando la misma zona de medición y sus alrededores, se ha diferenciado las antenas de radio con color rojo y las antenas celulares con color azul, de igual manera, se resalta con líneas de color verde toda la zona de medición, tal y como se aprecia en el mapa 2-3.



**Mapa 2-3:** Ubicación de las antenas celulares y de radio en la ciudad de Riobamba  
Realizado por: Huilca, J. 2017

### 3.1.2 Mediciones de la Intensidad de Campo Eléctrico en los 46 nodos ubicados en un sector de la ciudad de Riobamba

Las mediciones en los 46 nodos ubicados en la ciudad de Riobamba se realizaron en la zona de campo lejano, por lo cual y dadas las características de ondas planas que presenta esta zona de radiación; se midió la Intensidad de Campo Eléctrico E con el equipo NARDA SRM-3000, y con este valor se puede obtener la intensidad de Campo Magnético H y la Densidad de Potencia S a través de las ecuaciones 2 y 3.

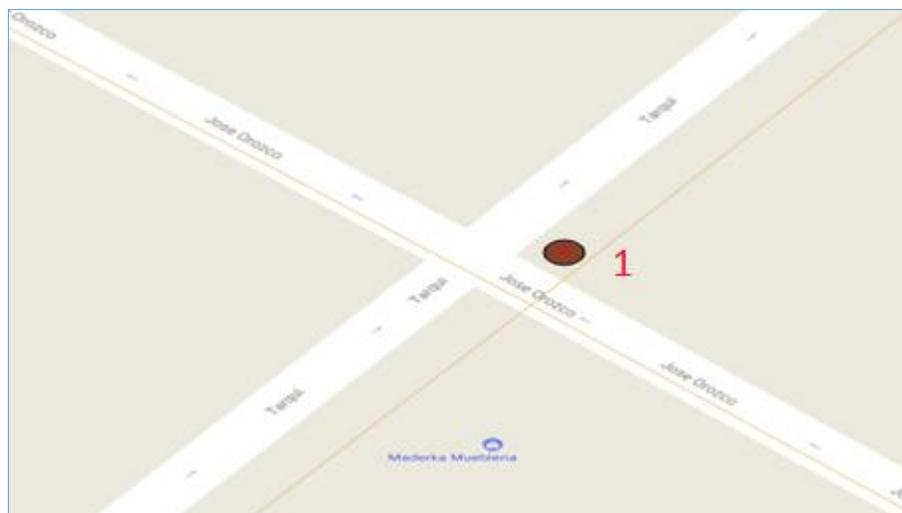
Posteriormente se procedió a calcular los valores máximos, mínimos, media y desviación estándar, por medio de las fórmulas que posee Microsoft Excel, estos datos servirán para simulaciones posteriores. A continuación, se detallan los 46 nodos con sus respectivos valores:

#### NODO 1

DIRECCIÓN NODO 1: Tarqui y José Orozco				
Punto	Rango de frecuencias (MHz)	Máximo		
		E (V/m)	H(A/m) H = E/377	S (W/m2) S=E×H
D1	944 - 951	0,006614	1,7544E-05	1,1603E-07
D2	944 - 951	0,0067776	1,7978E-05	1,2185E-07
D3	944 - 951	0,007465	1,9801E-05	1,4781E-07
D4	944 - 951	0,0059667	1,5827E-05	9,4434E-08
D5	944 - 951	0,007842	2,0801E-05	1,6312E-07
D6	944 - 951	0,007842	2,0801E-05	1,6312E-07
D7	944 - 951	0,0059202	1,5703E-05	9,2968E-08
D8	944 - 951	0,0060411	1,6024E-05	9,6803E-08
D9	944 - 951	0,0071915	1,9076E-05	1,3718E-07
D10	944 - 951	0,0061587	1,6336E-05	1,0061E-07
D11	944 - 951	0,0061587	1,6336E-05	1,0061E-07
D12	944 - 951	0,0062633	1,6614E-05	1,0406E-07
D13	944 - 951	0,0061613	1,6343E-05	1,0069E-07
D14	944 - 951	0,0062953	1,6698E-05	1,0512E-07
D15	944 - 951	0,0062953	1,6698E-05	1,0512E-07
D16	944 - 951	0,0057299	1,5199E-05	8,7087E-08
D17	944 - 951	0,0062037	1,6455E-05	1,0208E-07
D18	944 - 951	0,0063643	1,6881E-05	1,0744E-07

**Tabla 1-3:** Valores máximos en los 18 puntos del nodo 1

Realizado por: Huilca, J. 2017



**Mapa 3-3:** Ubicación del nodo 1 en un sector del mapa de la ciudad de Riobamba  
 Realizado por: Huilca, J. 2017

**Tabla 2-3:** Valores promedios en los 18 puntos del nodo 1

DIRECCIÓN NODO 1: Tarqui y José Orozco				
Punto	Rango de frecuencias (MHz)	Promedio		
		E (V/m)	H(A/m) H = E/377	S (W/m2) S=ExH
D1	944 - 951	0,0061399	1,6286E-05	9,9996E-08
D2	944 - 951	0,005782	1,5337E-05	8,8678E-08
D3	944 - 951	0,0060451	1,6035E-05	9,6932E-08
D4	944 - 951	0,0048778	1,2938E-05	6,3111E-08
D5	944 - 951	0,0050893	1,3499E-05	6,8703E-08
D6	944 - 951	0,0057542	1,5263E-05	8,7827E-08
D7	944 - 951	0,0049907	1,3238E-05	6,6067E-08
D8	944 - 951	0,0052103	1,382E-05	7,2009E-08
D9	944 - 951	0,0056619	1,5018E-05	8,5032E-08
D10	944 - 951	0,005103	1,3536E-05	6,9073E-08
D11	944 - 951	0,0050865	1,3492E-05	6,8627E-08
D12	944 - 951	0,005083	1,3483E-05	6,8533E-08
D13	944 - 951	0,0051752	1,3727E-05	7,1042E-08
D14	944 - 951	0,00538	1,4271E-05	7,6776E-08
D15	944 - 951	0,005361	1,422E-05	7,6234E-08
D16	944 - 951	0,0049171	1,3043E-05	6,4132E-08
D17	944 - 951	0,0052372	1,3892E-05	7,2754E-08
D18	944 - 951	0,0052532	1,3934E-05	7,3199E-08

Realizado por: Huilca, J. 2017

De las tablas 1-3 y 2-3 obtenemos los valores máximos, mínimos, medios y desviación estándar de la Intensidad de Campo Eléctrico, cuyos valores se muestran en la tabla 3-3.

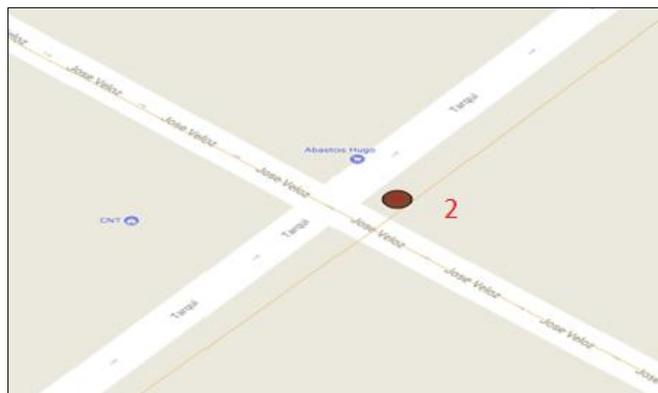
**Tabla 3-3:** Valores de E máximos, mínimos, media y desviación estándar calculados en el nodo 1

MÁXIMO (V/m)		PROMEDIO (V/m)	
E MAXIMO	0,007842	E MAXIMO	0,0061399
E MINIMO	0,0057299	E MINIMO	0,0048778
E MEDIA	0,006516144	E MEDIA	0,005341522
E DESV. EST.	0,000646922	E DESV. EST.	0,000378499

Realizado por: Huilca, J. 2017

El proceso detallado anteriormente, se realiza en todos los 46 nodos, teniendo como resultado los siguientes valores máximos, mínimos y de desviación estándar para cada uno de ellos:

### NODO 2



**Mapa 4-3:** Ubicación del nodo 2 en un sector del mapa de la ciudad de Riobamba

Realizado por: Huilca, J. 2017

**Tabla 4-3:** Valores máximos, mínimos, media y desviación estándar calculados en el nodo 2

MÁXIMO (V/m)		PROMEDIO (V/m)	
E MAXIMO	0,0073959	E MAXIMO	0,0062629
E MINIMO	0,006501	E MINIMO	0,0051299
E MEDIA	0,00692415	E MEDIA	0,00558856
E DESV. EST.	0,00028162	E DESV. EST.	0,00034307

Realizado por: Huilca, J. 2017

### NODO 3



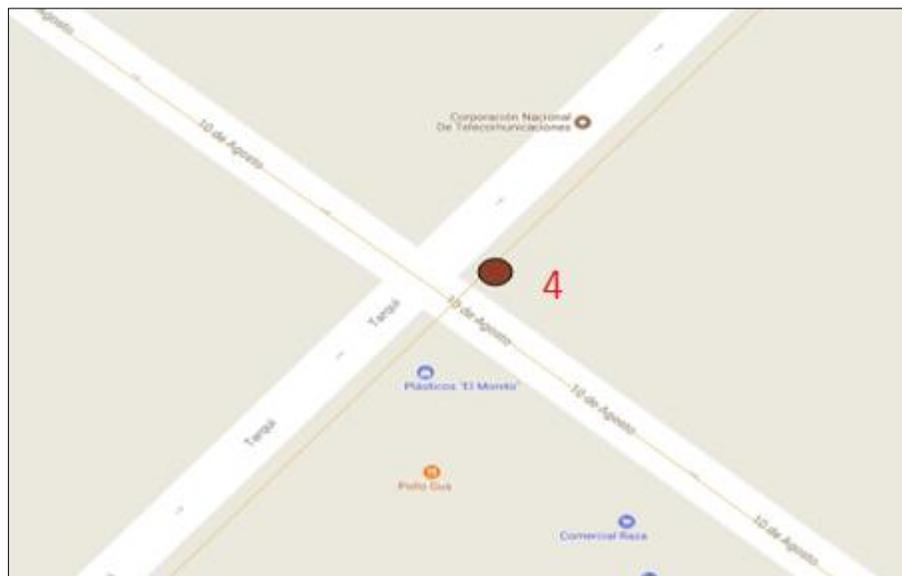
**Mapa 5-3:** Ubicación del nodo 3 en un sector del mapa de la ciudad de Riobamba  
Realizado por: Huilca, J. 2017

**Tabla 5-3:** Valores máximos, mínimos, media y desviación estándar calculados en el nodo 3

<b>MÁXIMO (V/m)</b>	
<b>E MAXIMO</b>	0,012461
<b>E MINIMO</b>	0,010801
<b>E MEDIA</b>	0,011416944
<b>E DESV. EST.</b>	0,000590981
<b>PROMEDIO (V/m)</b>	
<b>E MAXIMO</b>	0,010918
<b>E MINIMO</b>	0,006669
<b>E MEDIA</b>	0,008402517
<b>E DESV. EST.</b>	0,001276975

Realizado por: Huilca, J. 2017

## NODO 4



**Mapa 6-3:** Ubicación del nodo 4 en un sector del mapa de la ciudad de Riobamba  
**Realizado por:** Huilca, J. 2017

**Tabla 6-3:** Valores máximos, mínimos, media y desviación estándar calculados en el nodo 4

<b>MÁXIMO (V/m)</b>	
<b>E MAXIMO</b>	0,097465001
<b>E MINIMO</b>	0,053459
<b>E MEDIA</b>	0,068253
<b>E DESV. EST.</b>	0,011753578
<b>PROMEDIO (V/m)</b>	
<b>E MAXIMO</b>	0,092864998
<b>E MINIMO</b>	0,03331
<b>E MEDIA</b>	0,052390944
<b>E DESV. EST.</b>	0,013993082

**Realizado por:** Huilca, J. 2017

## NODO 5



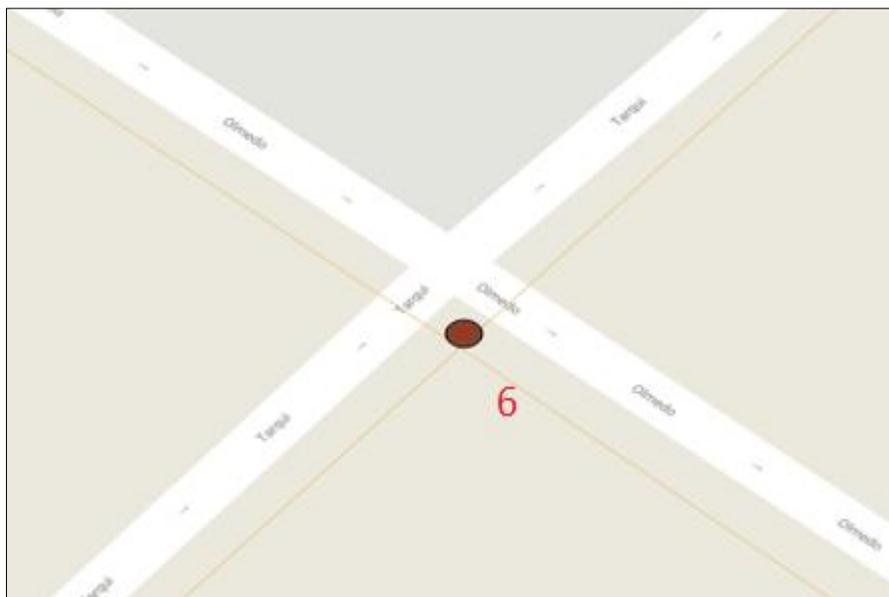
**Mapa 7-3:** Ubicación del nodo 5 en un sector del mapa de la ciudad de Riobamba  
**Realizado por:** Huilca, J. 2017

**Tabla 7-3:** Valores máximos, mínimos, media y desviación estándar calculados en el nodo 5

<b>MÁXIMO (V/m)</b>	
<b>E MAXIMO</b>	0,023062
<b>E MINIMO</b>	0,014709
<b>E MEDIA</b>	0,020192278
<b>E DESV. EST.</b>	0,002869013
<b>PROMEDIO (V/m)</b>	
<b>E MAXIMO</b>	0,021335
<b>E MINIMO</b>	0,011166
<b>E MEDIA</b>	0,0154415
<b>E DESV. EST.</b>	0,002789009

**Realizado por:** Huilca, J. 2017

## NODO 6



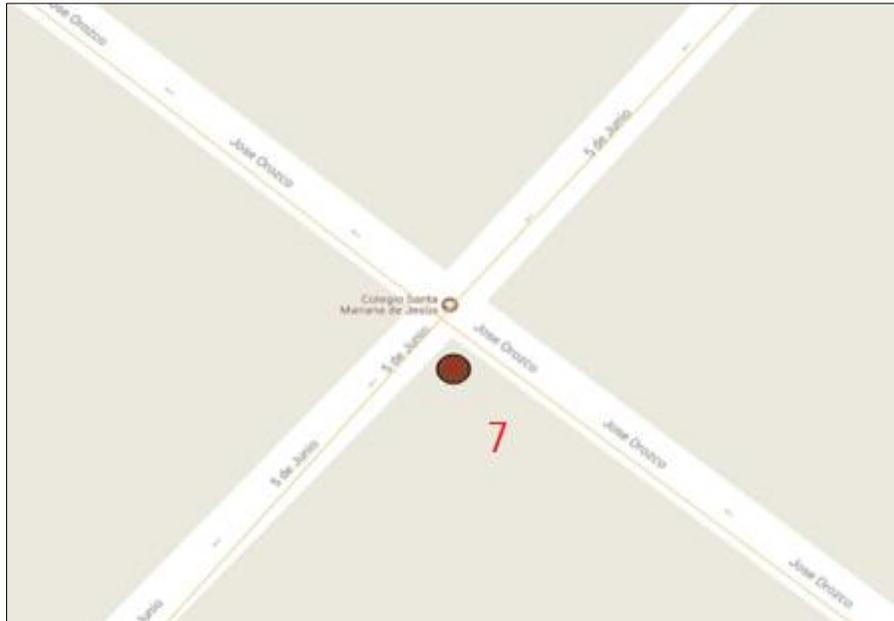
**Mapa 8-3:** Ubicación del nodo 6 en un sector del mapa de la ciudad de Riobamba  
Realizado por: Huilca, J. 2017

**Tabla 8-3:** Valores máximos, mínimos, media y desviación estándar calculados en el nodo 6

<b>MÁXIMO (V/m)</b>	
<b>E MAXIMO</b>	0,010136
<b>E MINIMO</b>	0,0064739
<b>E MEDIA</b>	0,007712583
<b>E DESV. EST.</b>	0,001074499
<b>PROMEDIO (V/m)</b>	
<b>E MAXIMO</b>	0,007725
<b>E MINIMO</b>	0,005338
<b>E MEDIA</b>	0,006378094
<b>E DESV. EST.</b>	0,00062087

Realizado por: Huilca, J. 2017

## NODO 7



**Mapa 9-3:** Ubicación del nodo 7 en un sector del mapa de la ciudad de Riobamba  
**Realizado por:** Huilca, J. 2017

**Tabla 9-3:** Valores máximos, mínimos, media y desviación estándar calculados en el nodo 7

<b>MÁXIMO (V/m)</b>	
<b>E MAXIMO</b>	0,0079977
<b>E MINIMO</b>	0,0056568
<b>E MEDIA</b>	0,006182711
<b>E DESV. EST.</b>	0,000841516
<b>PROMEDIO (V/m)</b>	
<b>E MAXIMO</b>	0,0053582
<b>E MINIMO</b>	0,0048004
<b>E MEDIA</b>	0,004982039
<b>E DESV. EST.</b>	0,000142975

**Realizado por:** Huilca, J. 2017

## NODO 8



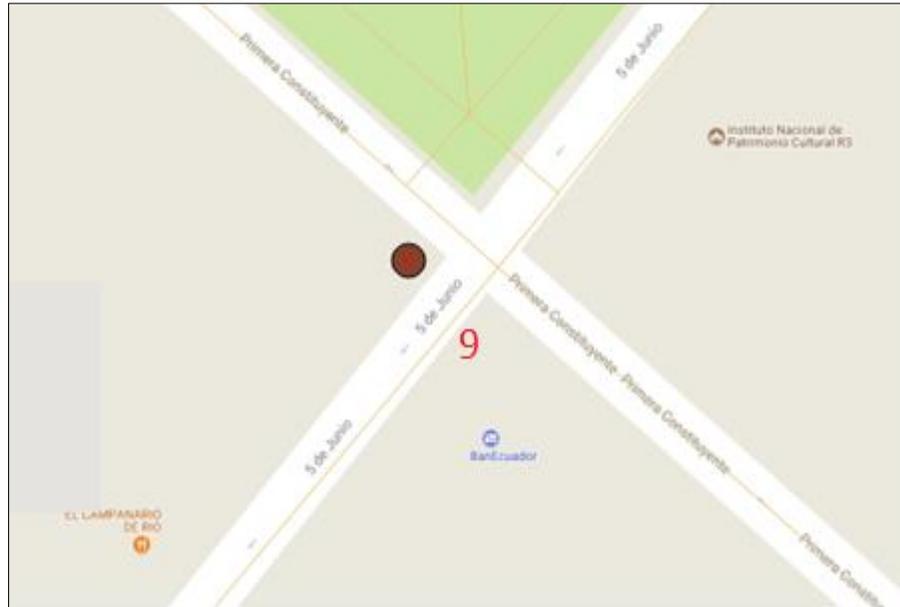
**Mapa 10-3:** Ubicación del nodo 8 en un sector del mapa de la ciudad de Riobamba  
Realizado por: Huilca, J. 2017

**Tabla 10-3:** Valores máximos, mínimos, media y desviación estándar calculados en el nodo 8

<b>MÁXIMO (V/m)</b>	
<b>E MAXIMO</b>	0,0059351
<b>E MINIMO</b>	0,0053781
<b>E MEDIA</b>	0,005678967
<b>E DESV. EST.</b>	0,00017366
<b>PROMEDIO (V/m)</b>	
<b>E MAXIMO</b>	0,0051485
<b>E MINIMO</b>	0,0046123
<b>E MEDIA</b>	0,004867272
<b>E DESV. EST.</b>	0,000149302

Realizado por: Huilca, J. 2017

## NODO 9



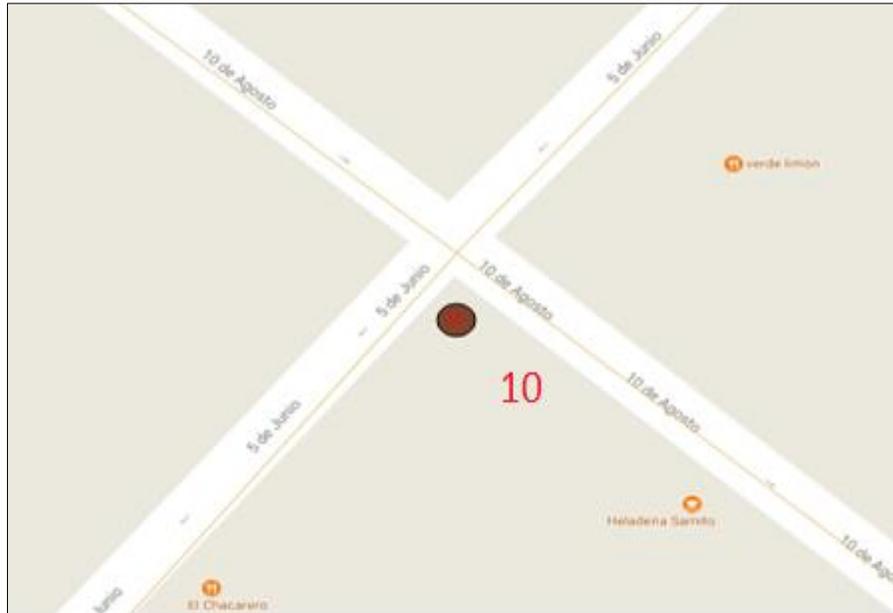
**Mapa 11-3:** Ubicación del nodo 9 en un sector del mapa de la ciudad de Riobamba  
**Realizado por:** Huilca, J. 2017

**Tabla 11-3:** Valores máximos, mínimos, media y desviación estándar calculados en el nodo 9

<b>MÁXIMO (V/m)</b>	
<b>E MAXIMO</b>	0,0073996
<b>E MINIMO</b>	0,0054726
<b>E MEDIA</b>	0,005950144
<b>E DESV. EST.</b>	0,000555493
<b>PROMEDIO (V/m)</b>	
<b>E MAXIMO</b>	0,012802
<b>E MINIMO</b>	0,0051543
<b>E MEDIA</b>	0,005796222
<b>E DESV. EST.</b>	0,001754516

**Realizado por:** Huilca, J. 2017

## NODO 10



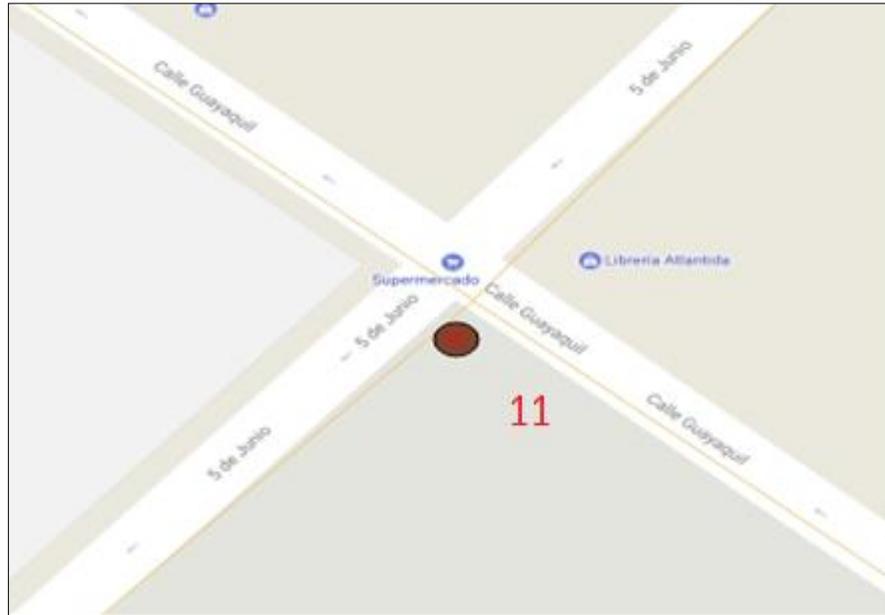
**Mapa 12-3:** Ubicación del nodo 10 en un sector del mapa de la ciudad de Riobamba  
Realizado por: Huilca, J. 2017

**Tabla 12-3:** Valores máximos, mínimos, media y desviación estándar calculados en el nodo 10

<b>MÁXIMO (V/m)</b>	
<b>E MAXIMO</b>	0,0070766
<b>E MINIMO</b>	0,0052556
<b>E MEDIA</b>	0,0058815
<b>E DESV. EST.</b>	0,000422845
<b>PROMEDIO (V/m)</b>	
<b>E MAXIMO</b>	0,012677
<b>E MINIMO</b>	0,0049624
<b>E MEDIA</b>	0,006189806
<b>E DESV. EST.</b>	0,002373135

Realizado por: Huilca, J. 2017

## NODO 11



**Mapa 13-3:** Ubicación del nodo 11 en un sector del mapa de la ciudad de Riobamba  
Realizado por: Huilca, J. 2017

**Tabla 13-3:** Valores máximos, mínimos, media y desviación estándar calculados en el nodo 11

<b>MÁXIMO (V/m)</b>	
<b>E MAXIMO</b>	0,0057376
<b>E MINIMO</b>	0,00489
<b>E MEDIA</b>	0,005289289
<b>E DESV. EST.</b>	0,000246742
<b>PROMEDIO (V/m)</b>	
<b>E MAXIMO</b>	0,0063179
<b>E MINIMO</b>	0,0053243
<b>E MEDIA</b>	0,005817706
<b>E DESV. EST.</b>	0,00031367

Realizado por: Huilca, J. 2017

## NODO 12



**Mapa 14-3:** Ubicación del nodo 12 en un sector del mapa de la ciudad de Riobamba  
Realizado por: Huilca, J. 2017

**Tabla 14-3:** Valores máximos, mínimos, media y desviación estándar calculados en el nodo 12

<b>MÁXIMO (V/m)</b>	
E MAXIMO	0,0056198
E MINIMO	0,0052121
E MEDIA	0,005418617
E DESV. EST.	0,000109872
<b>PROMEDIO (V/m)</b>	
<b>E MAXIMO</b>	0,0052277
<b>E MINIMO</b>	0,0049061
<b>E MEDIA</b>	0,00504335
<b>E DESV. EST.</b>	9,44957E-05

Realizado por: Huilca, J. 2017

### NODO 13



**Mapa 15-3:** Ubicación del nodo 13 en un sector del mapa de la ciudad de Riobamba  
Realizado por: Huilca, J. 2017

**Tabla 15-3:** Valores máximos, mínimos, media y desviación estándar calculados en el nodo 13

<b>MÁXIMO (V/m)</b>	
<b>E MAXIMO</b>	0,01059
<b>E MINIMO</b>	0,0054862
<b>E MEDIA</b>	0,005903944
<b>E DESV. EST.</b>	0,001173271
<b>PROMEDIO (V/m)</b>	
<b>E MAXIMO</b>	0,0050163
<b>E MINIMO</b>	0,0046478
<b>E MEDIA</b>	0,004847539
<b>E DESV. EST.</b>	0,000102302

Realizado por: Huilca, J. 2017

## NODO 14



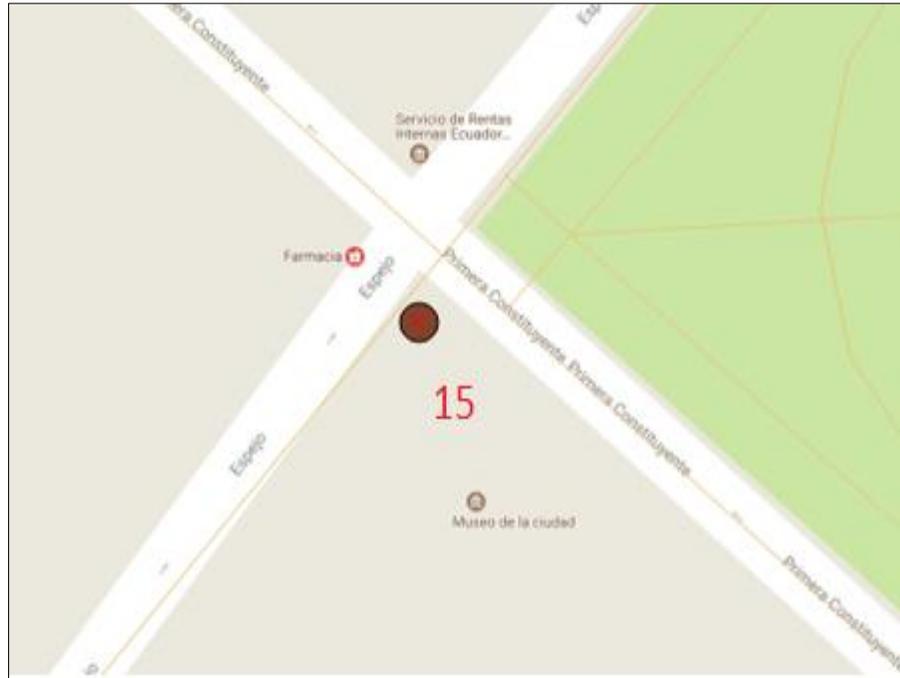
**Mapa 16-3:** Ubicación del nodo 14 en un sector del mapa de la ciudad de Riobamba  
Realizado por: Huilca, J. 2017

**Tabla 16-3:** Valores máximos, mínimos, media y desviación estándar calculados en el nodo 14

<b>MÁXIMO (V/m)</b>	
<b>E MAXIMO</b>	0,0063211
<b>E MINIMO</b>	0,0055762
<b>E MEDIA</b>	0,005951
<b>E DESV. EST.</b>	0,000213351
<b>PROMEDIO (V/m)</b>	
<b>E MAXIMO</b>	0,0057321
<b>E MINIMO</b>	0,00485
<b>E MEDIA</b>	0,005092894
<b>E DESV. EST.</b>	0,000191215

Realizado por: Huilca, J. 2017

## NODO 15



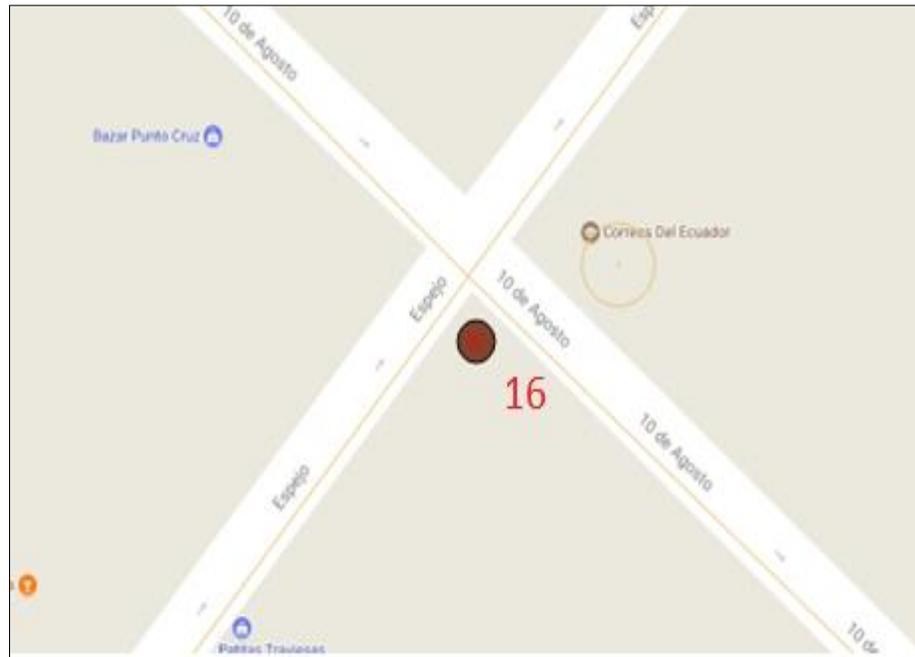
**Mapa 17-3:** Ubicación del nodo 15 en un sector del mapa de la ciudad de Riobamba  
**Realizado por:** Huilca, J. 2017

**Tabla 17-3:** Valores máximos, mínimos, media y desviación estándar calculados en el nodo 15

<b>MÁXIMO (V/m)</b>	
<b>E MAXIMO</b>	0,0096765
<b>E MINIMO</b>	0,0055301
<b>E MEDIA</b>	0,006168472
<b>E DESV. EST.</b>	0,001164841
<b>PROMEDIO (V/m)</b>	
<b>E MAXIMO</b>	0,0051306
<b>E MINIMO</b>	0,0047474
<b>E MEDIA</b>	0,004943944
<b>E DESV. EST.</b>	0,000106135

**Realizado por:** Huilca, J. 2017

## NODO 16



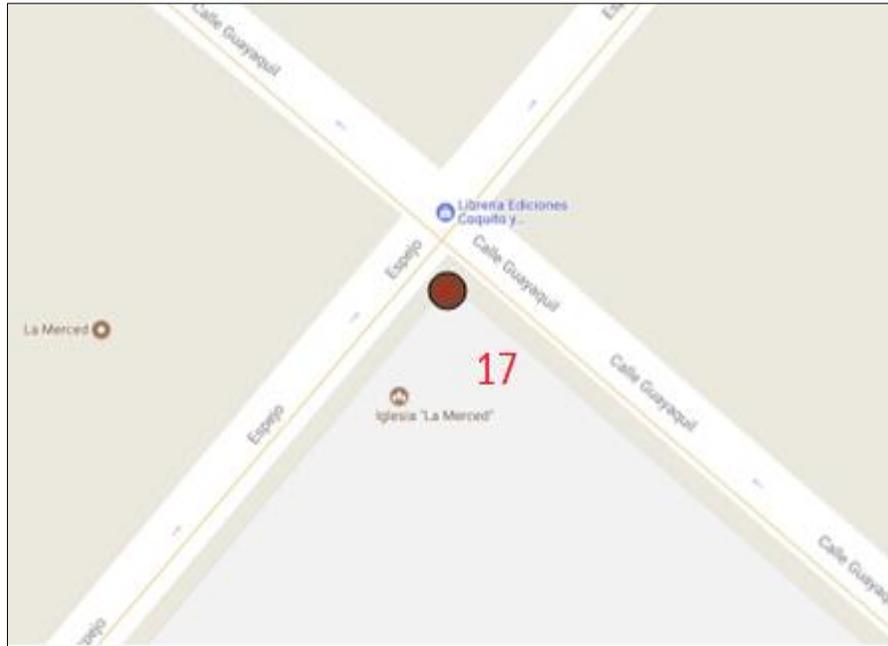
**Mapa 18-3:** Ubicación del nodo 16 en un sector del mapa de la ciudad de Riobamba  
Realizado por: Huilca, J. 2017

**Tabla 18-3:** Valores máximos, mínimos, media y desviación estándar calculados en el nodo 16

<b>MÁXIMO (V/m)</b>	
<b>E MAXIMO</b>	0,007311
<b>E MINIMO</b>	0,0058236
<b>E MEDIA</b>	0,006352656
<b>E DESV. EST.</b>	0,000382672
<b>PROMEDIO (V/m)</b>	
<b>E MAXIMO</b>	0,0055097
<b>E MINIMO</b>	0,0047604
<b>E MEDIA</b>	0,005199722
<b>E DESV. EST.</b>	0,000222556

Realizado por: Huilca, J. 2017

## NODO 17



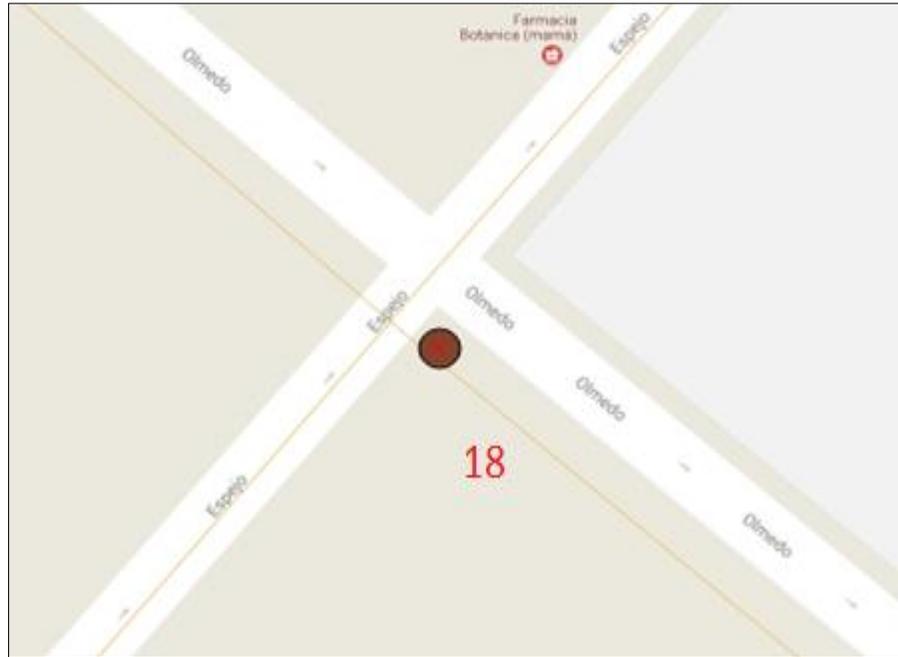
**Mapa 19-3:** Ubicación del nodo 17 en un sector del mapa de la ciudad de Riobamba  
Realizado por: Huilca, J. 2017

**Tabla 19-3:** Valores máximos, mínimos, media y desviación estándar calculados en el nodo 17

<b>MÁXIMO (V/m)</b>	
<b>E MAXIMO</b>	0,0096651
<b>E MINIMO</b>	0,0058158
<b>E MEDIA</b>	0,006606383
<b>E DESV. EST.</b>	0,000876422
<b>PROMEDIO (V/m)</b>	
<b>E MAXIMO</b>	0,0057705
<b>E MINIMO</b>	0,0048591
<b>E MEDIA</b>	0,005243106
<b>E DESV. EST.</b>	0,000260402

Realizado por: Huilca, J. 2017

## NODO 18



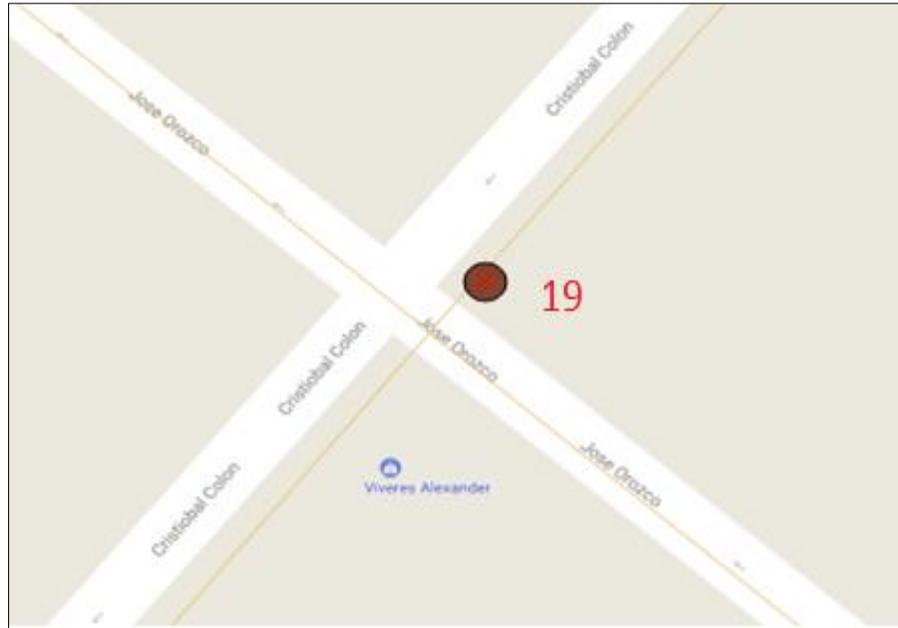
**Mapa 20-3:** Ubicación del nodo 18 en un sector del mapa de la ciudad de Riobamba  
Realizado por: Huilca, J. 2017

**Tabla 20-3:** Valores máximos, mínimos, media y desviación estándar calculados en el nodo 18

<b>MÁXIMO (V/m)</b>	
<b>E MAXIMO</b>	0,0091755
<b>E MINIMO</b>	0,0061137
<b>E MEDIA</b>	0,007756628
<b>E DESV. EST.</b>	0,000830139
<b>PROMEDIO (V/m)</b>	
<b>E MAXIMO</b>	0,0069339
<b>E MINIMO</b>	0,00518
<b>E MEDIA</b>	0,005951222
<b>E DESV. EST.</b>	0,000547443

Realizado por: Huilca, J. 2017

## NODO 19



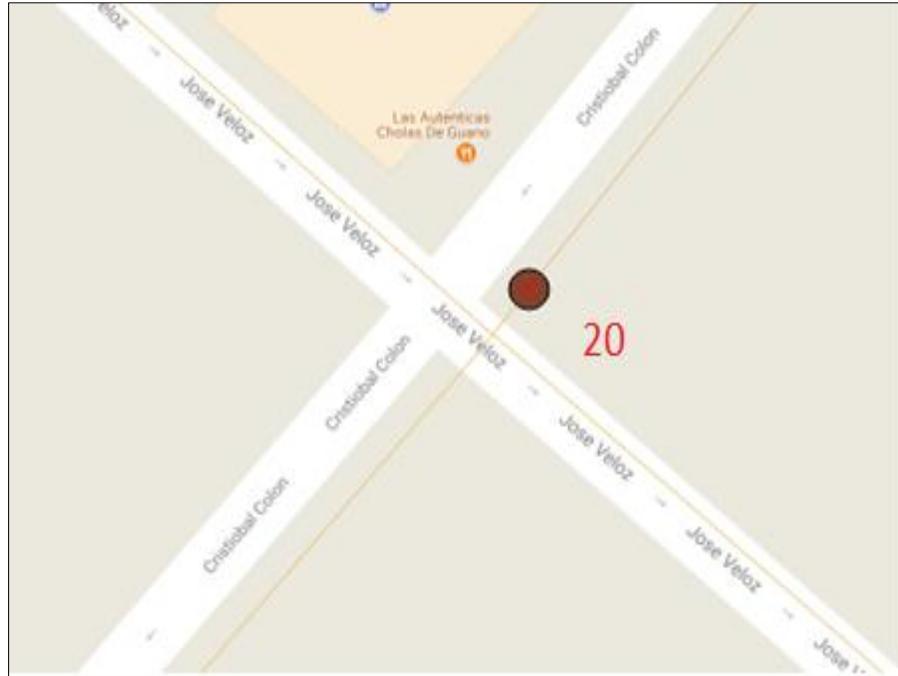
**Mapa 21-3:** Ubicación del nodo 19 en un sector del mapa de la ciudad de Riobamba  
Realizado por: Huilca, J. 2017

**Tabla 21-3:** Valores máximos, mínimos, media y desviación estándar calculados en el nodo 19

<b>MÁXIMO (V/m)</b>	
<b>E MAXIMO</b>	0,0063811
<b>E MINIMO</b>	0,0055534
<b>E MEDIA</b>	0,005869156
<b>E DESV. EST.</b>	0,000261317
<b>PROMEDIO (V/m)</b>	
<b>E MAXIMO</b>	0,0052838
<b>E MINIMO</b>	0,0046807
<b>E MEDIA</b>	0,005019978
<b>E DESV. EST.</b>	0,000180949

Realizado por: Huilca, J. 2017

## NODO 20



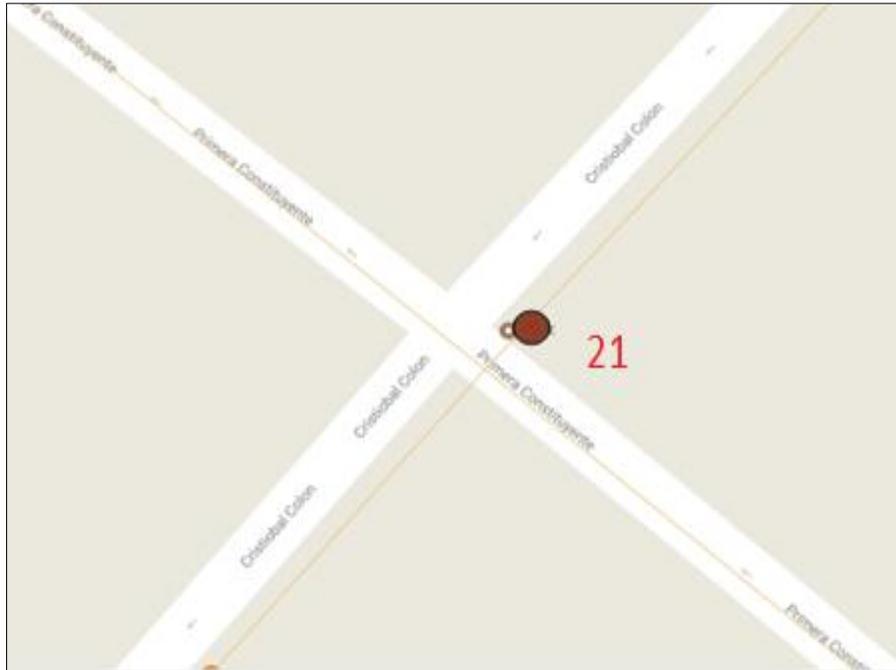
**Mapa 22-3:** Ubicación del nodo 20 en un sector del mapa de la ciudad de Riobamba  
Realizado por: Huilca, J. 2017

**Tabla 22-3:** Valores máximos, mínimos, media y desviación estándar calculados en el nodo 20

<b>MÁXIMO (V/m)</b>	
<b>E MAXIMO</b>	0,0066814
<b>E MINIMO</b>	0,0057071
<b>E MEDIA</b>	0,006021411
<b>E DESV. EST.</b>	0,000235361
<b>PROMEDIO (V/m)</b>	
<b>E MAXIMO</b>	0,0055042
<b>E MINIMO</b>	0,004846
<b>E MEDIA</b>	0,005103922
<b>E DESV. EST.</b>	0,000227072

Realizado por: Huilca, J. 2017

## NODO 21



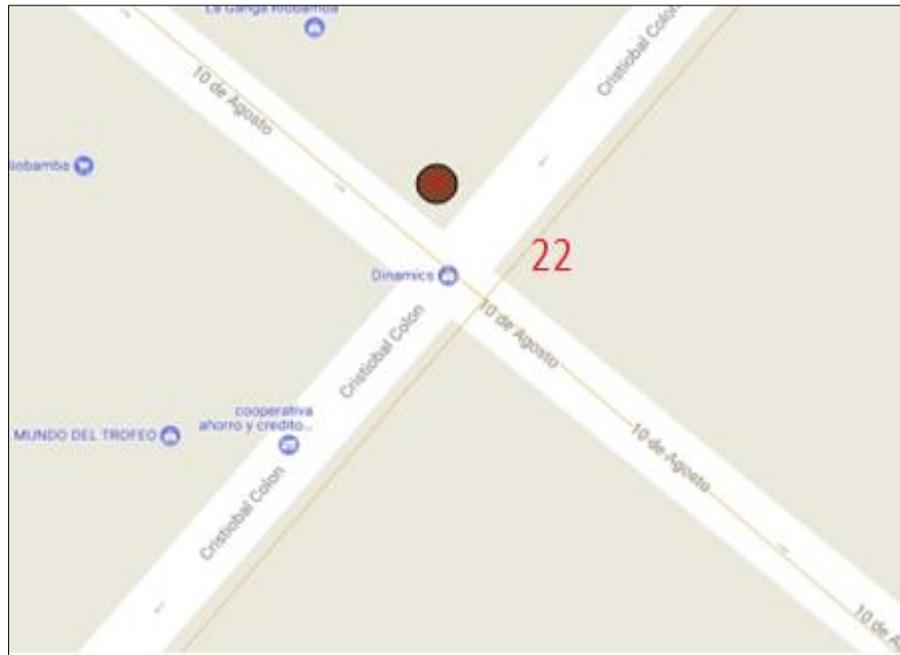
**Mapa 23-3:** Ubicación del nodo 21 en un sector del mapa de la ciudad de Riobamba  
**Realizado por:** Huilca, J. 2017

**Tabla 23-3:** Valores máximos, mínimos, media y desviación estándar calculados en el nodo 21

<b>MÁXIMO (V/m)</b>	
<b>E MAXIMO</b>	0,0063182
<b>E MINIMO</b>	0,005006
<b>E MEDIA</b>	0,005604511
<b>E DESV. EST.</b>	0,000281267
<b>PROMEDIO (V/m)</b>	
<b>E MAXIMO</b>	0,0050859
<b>E MINIMO</b>	0,0044922
<b>E MEDIA</b>	0,004892633
<b>E DESV. EST.</b>	0,000178747

**Realizado por:** Huilca, J. 2017

## NODO 22



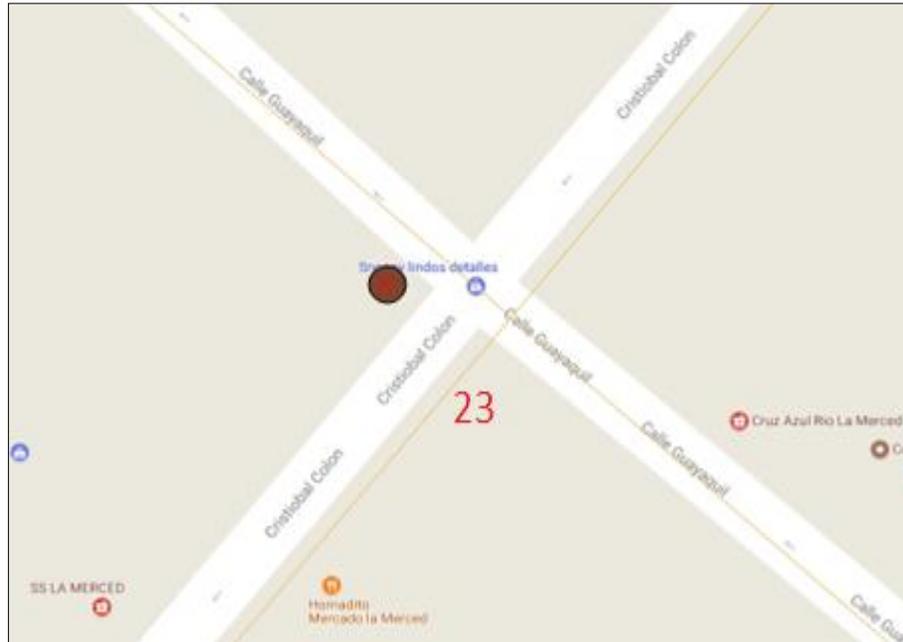
**Mapa 24-3:** Ubicación del nodo 22 en un sector del mapa de la ciudad de Riobamba  
**Realizado por:** Huilca, J. 2017

**Tabla 24-3:** Valores máximos, mínimos, media y desviación estándar calculados en el nodo 22

<b>MÁXIMO (V/m)</b>	
<b>E MAXIMO</b>	0,0061127
<b>E MINIMO</b>	0,0055449
<b>E MEDIA</b>	0,005829017
<b>E DESV. EST.</b>	0,000146961
<b>PROMEDIO (V/m)</b>	
<b>E MAXIMO</b>	0,0052005
<b>E MINIMO</b>	0,0048151
<b>E MEDIA</b>	0,004987172
<b>E DESV. EST.</b>	0,00010119

**Realizado por:** Huilca, J. 2017

## NODO 23



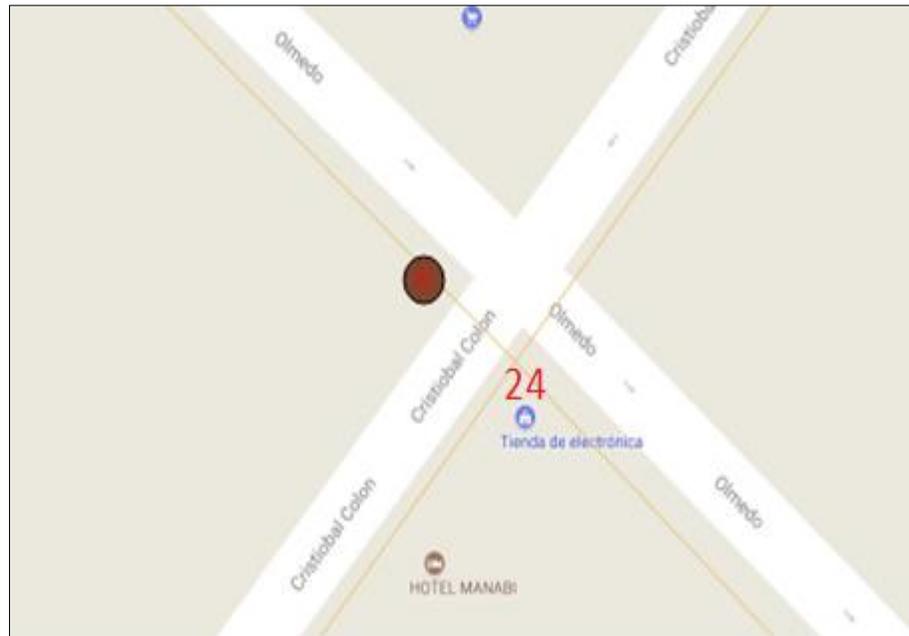
**Mapa 25-3:** Ubicación del nodo 23 en un sector del mapa de la ciudad de Riobamba  
Realizado por: Huilca, J. 2017

**Tabla 25-3:** Valores máximos, mínimos, media y desviación estándar calculados en el nodo 23

<b>MÁXIMO (V/m)</b>	
<b>E MAXIMO</b>	0,013679
<b>E MINIMO</b>	0,0077414
<b>E MEDIA</b>	0,0100631
<b>E DESV. EST.</b>	0,001721626
<b>PROMEDIO (V/m)</b>	
<b>E MAXIMO</b>	0,0097872
<b>E MINIMO</b>	0,005922
<b>E MEDIA</b>	0,007021772
<b>E DESV. EST.</b>	0,001074145

Realizado por: Huilca, J. 2017

## NODO 24



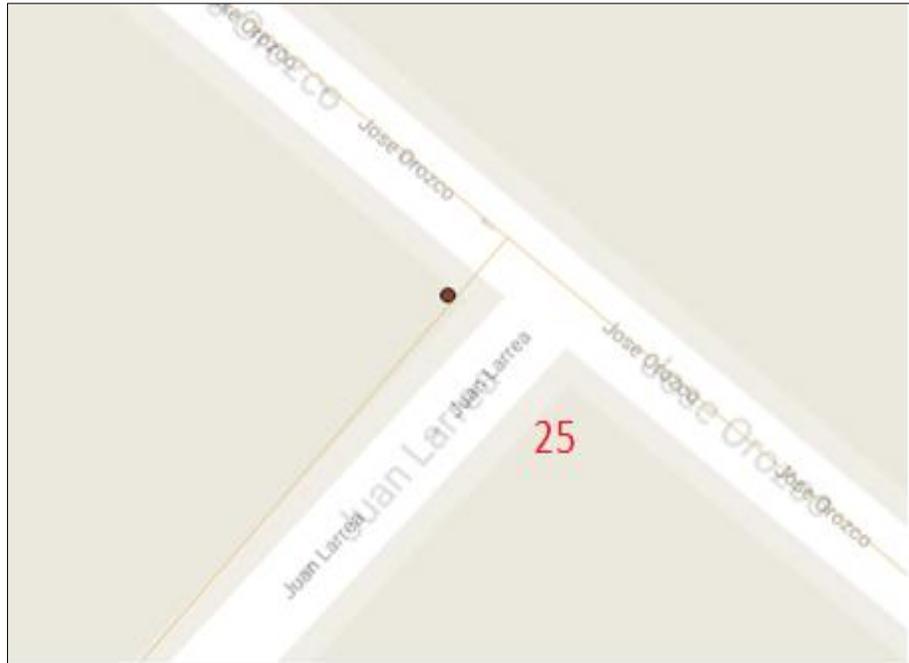
**Mapa 26-3:** Ubicación del nodo 24 en un sector del mapa de la ciudad de Riobamba  
**Realizado por:** Huilca, J. 2017

**Tabla 26-3:** Valores máximos, mínimos, media y desviación estándar calculados en el nodo 24

<b>MÁXIMO (V/m)</b>	
<b>E MAXIMO</b>	0,012015
<b>E MINIMO</b>	0,0033469
<b>E MEDIA</b>	0,005612617
<b>E DESV. EST.</b>	0,001866899
<b>PROMEDIO (V/m)</b>	
<b>E MAXIMO</b>	0,0052843
<b>E MINIMO</b>	0,0027092
<b>E MEDIA</b>	0,004347267
<b>E DESV. EST.</b>	0,000947669

**Realizado por:** Huilca, J. 2017

## NODO 25



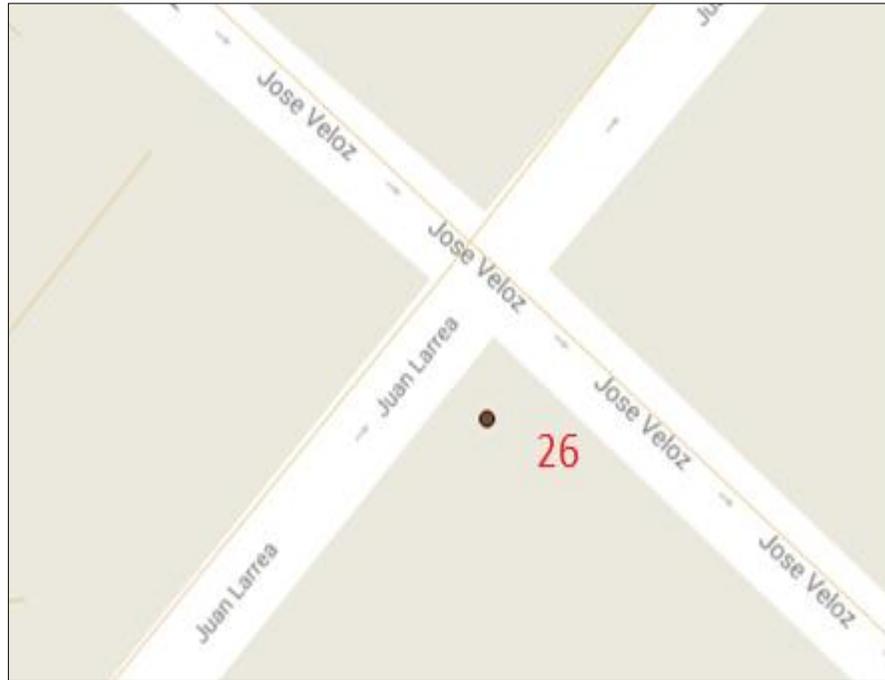
**Mapa 27-3:** Ubicación del nodo 25 en un sector del mapa de la ciudad de Riobamba  
Realizado por: Huilca, J. 2017

**Tabla 27-3:** Valores máximos, mínimos, media y desviación estándar calculados en el nodo 25

<b>MÁXIMO (V/m)</b>	
<b>E MAXIMO</b>	0,0080237
<b>E MINIMO</b>	0,0054004
<b>E MEDIA</b>	0,005845006
<b>E DESV. EST.</b>	0,000712207
<b>PROMEDIO (V/m)</b>	
<b>E MAXIMO</b>	0,0054409
<b>E MINIMO</b>	0,0046812
<b>E MEDIA</b>	0,004914678
<b>E DESV. EST.</b>	0,000170975

Realizado por: Huilca, J. 2017

## NODO 26



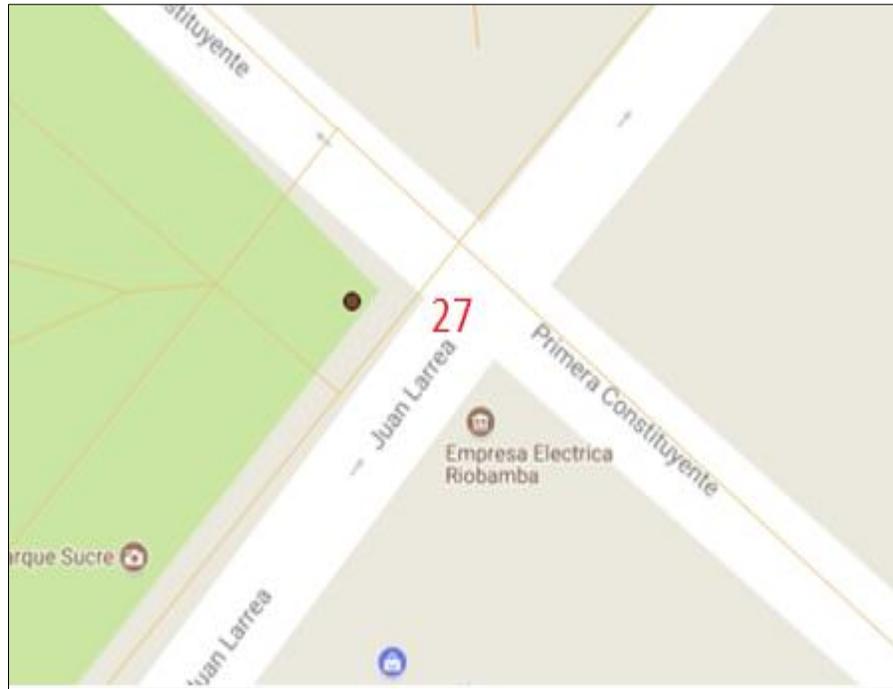
**Mapa 28-3:** Ubicación del nodo 26 en un sector del mapa de la ciudad de Riobamba  
Realizado por: Huilca, J. 2017

**Tabla 28-3:** Valores máximos, mínimos, media y desviación estándar calculados en el nodo 26

<b>MÁXIMO (V/m)</b>	
<b>E MAXIMO</b>	0,010816
<b>E MINIMO</b>	0,0055165
<b>E MEDIA</b>	0,005984483
<b>E DESV. EST.</b>	0,001209927
<b>PROMEDIO (V/m)</b>	
<b>E MAXIMO</b>	0,0053385
<b>E MINIMO</b>	0,0046879
<b>E MEDIA</b>	0,004943633
<b>E DESV. EST.</b>	0,000159977

Realizado por: Huilca, J. 2017

## NODO 27



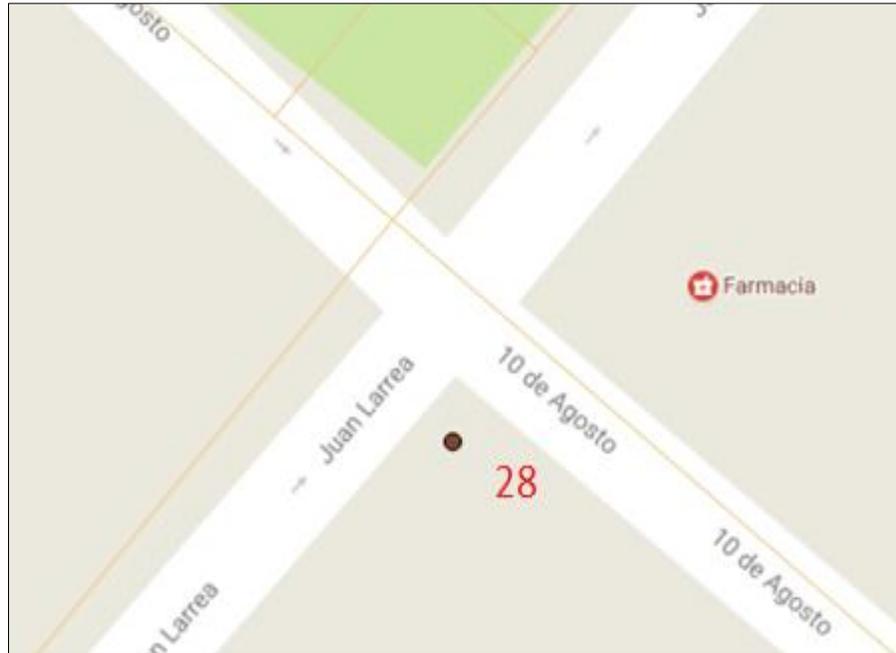
**Mapa 29-3:** Ubicación del nodo 27 en un sector del mapa de la ciudad de Riobamba  
Realizado por: Huilca, J. 2017

**Tabla 29-3:** Valores máximos, mínimos, media y desviación estándar calculados en el nodo 27

<b>MÁXIMO (V/m)</b>	
<b>E MAXIMO</b>	0,021183999
<b>E MINIMO</b>	0,0054574
<b>E MEDIA</b>	0,006811411
<b>E DESV. EST.</b>	0,003669043
<b>PROMEDIO (V/m)</b>	
<b>E MAXIMO</b>	0,0052298
<b>E MINIMO</b>	0,0047783
<b>E MEDIA</b>	0,004976822
<b>E DESV. EST.</b>	0,000123874

Realizado por: Huilca, J. 2017

## NODO 28



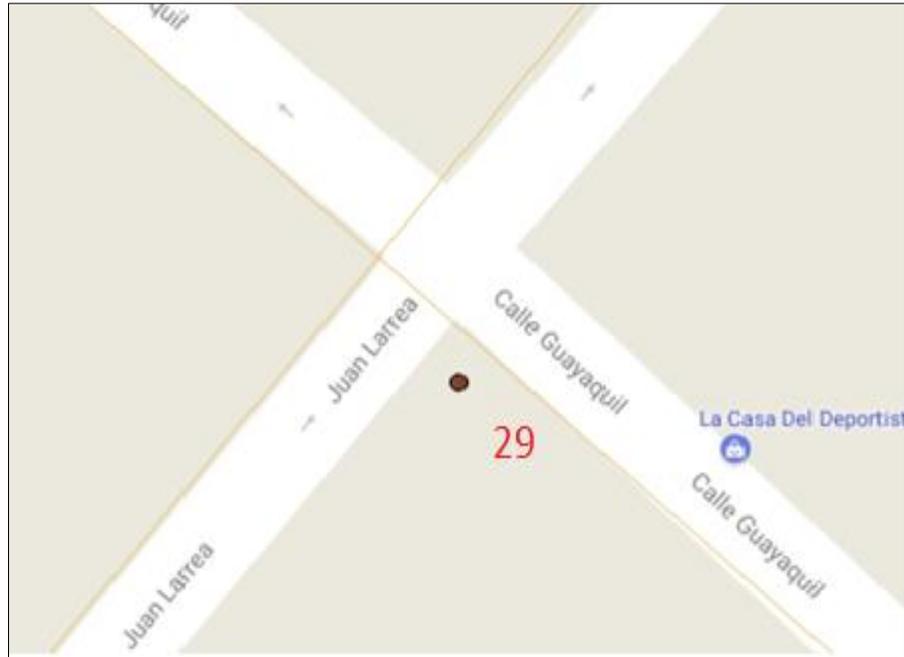
**Mapa 30-3:** Ubicación del nodo 28 en un sector del mapa de la ciudad de Riobamba  
**Realizado por:** Huilca, J. 2017

**Tabla 30-3:** Valores máximos, mínimos, media y desviación estándar calculados en el nodo 28

<b>MÁXIMO (V/m)</b>	
<b>E MAXIMO</b>	0,025572
<b>E MINIMO</b>	0,0060009
<b>E MEDIA</b>	0,007969761
<b>E DESV. EST.</b>	0,004537282
<b>PROMEDIO (V/m)</b>	
<b>E MAXIMO</b>	0,006955
<b>E MINIMO</b>	0,0050802
<b>E MEDIA</b>	0,005573506
<b>E DESV. EST.</b>	0,00044843

**Realizado por:** Huilca, J. 2017

## NODO 29



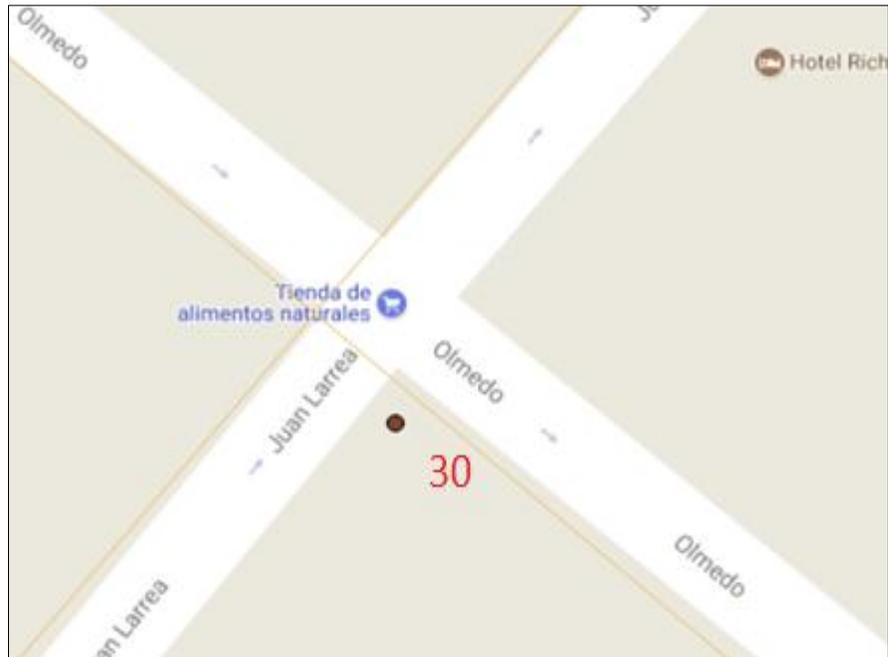
**Mapa 31-3:** Ubicación del nodo 29 en un sector del mapa de la ciudad de Riobamba  
Realizado por: Huilca, J. 2017

**Tabla 31-3:** Valores máximos, mínimos, media y desviación estándar calculados en el nodo 29

<b>MÁXIMO (V/m)</b>	
<b>E MAXIMO</b>	0,166189998
<b>E MINIMO</b>	0,061338998
<b>E MEDIA</b>	0,104479166
<b>E DESV. EST.</b>	0,022710108
<b>PROMEDIO (V/m)</b>	
<b>E MAXIMO</b>	0,107409999
<b>E MINIMO</b>	0,041583002
<b>E MEDIA</b>	0,063578277
<b>E DESV. EST.</b>	0,018013013

Realizado por: Huilca, J. 2017

### NODO 30



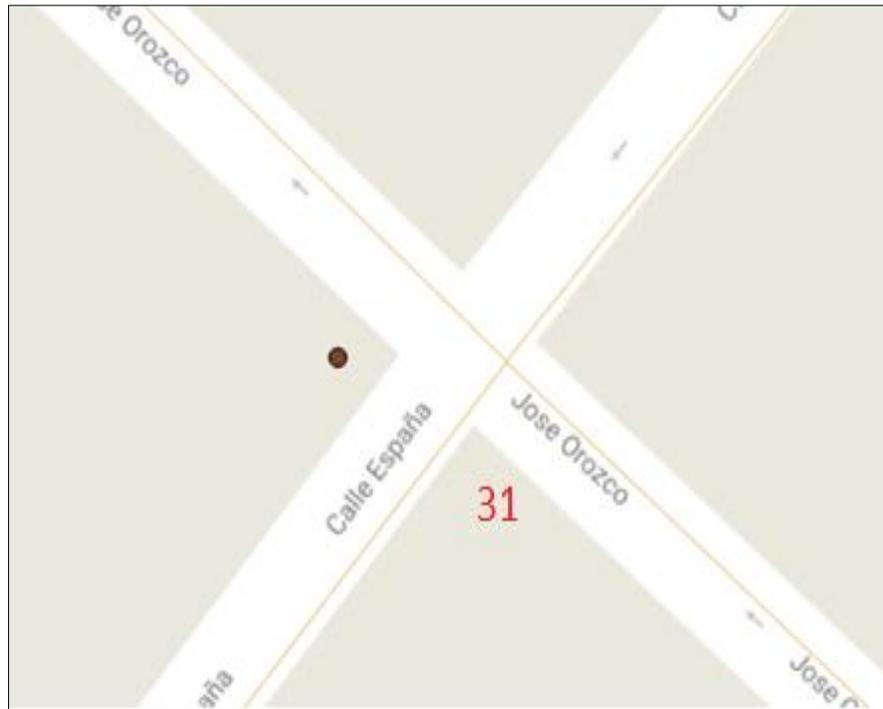
**Mapa 32-3:** Ubicación del nodo 30 en un sector del mapa de la ciudad de Riobamba  
Realizado por: Huilca, J. 2017

**Tabla 32-3:** Valores máximos, mínimos, media y desviación estándar calculados en el nodo 30

<b>MÁXIMO (V/m)</b>	
<b>E MAXIMO</b>	0,028406
<b>E MINIMO</b>	0,0040477
<b>E MEDIA</b>	0,02186965
<b>E DESV. EST.</b>	0,005575742
<b>PROMEDIO (V/m)</b>	
<b>E MAXIMO</b>	0,018874001
<b>E MINIMO</b>	0,0078291
<b>E MEDIA</b>	0,014391506
<b>E DESV. EST.</b>	0,00281411

Realizado por: Huilca, J. 2017

### NODO 31



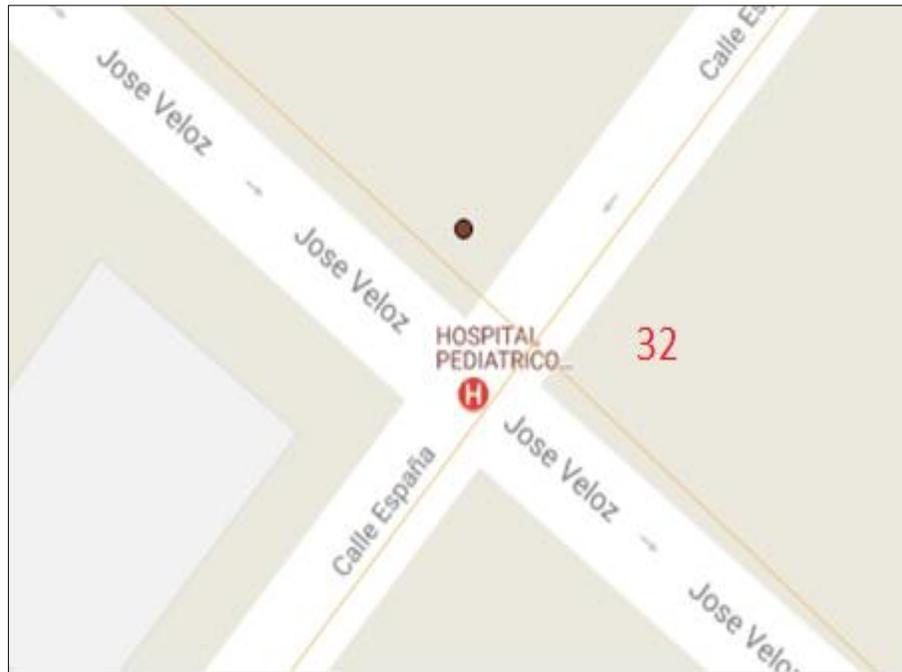
**Mapa 33-3:** Ubicación del nodo 31 en un sector del mapa de la ciudad de Riobamba  
Realizado por: Huilca, J. 2017

**Tabla 33-3:** Valores máximos, mínimos, media y desviación estándar calculados en el nodo 31

<b>MÁXIMO (V/m)</b>	
<b>E MAXIMO</b>	0,010575
<b>E MINIMO</b>	0,005298
<b>E MEDIA</b>	0,006090528
<b>E DESV. EST.</b>	0,001216758
<b>PROMEDIO (V/m)</b>	
<b>E MAXIMO</b>	0,0050051
<b>E MINIMO</b>	0,0046776
<b>E MEDIA</b>	0,004858783
<b>E DESV. EST.</b>	0,000107273

Realizado por: Huilca, J. 2017

### NODO 32



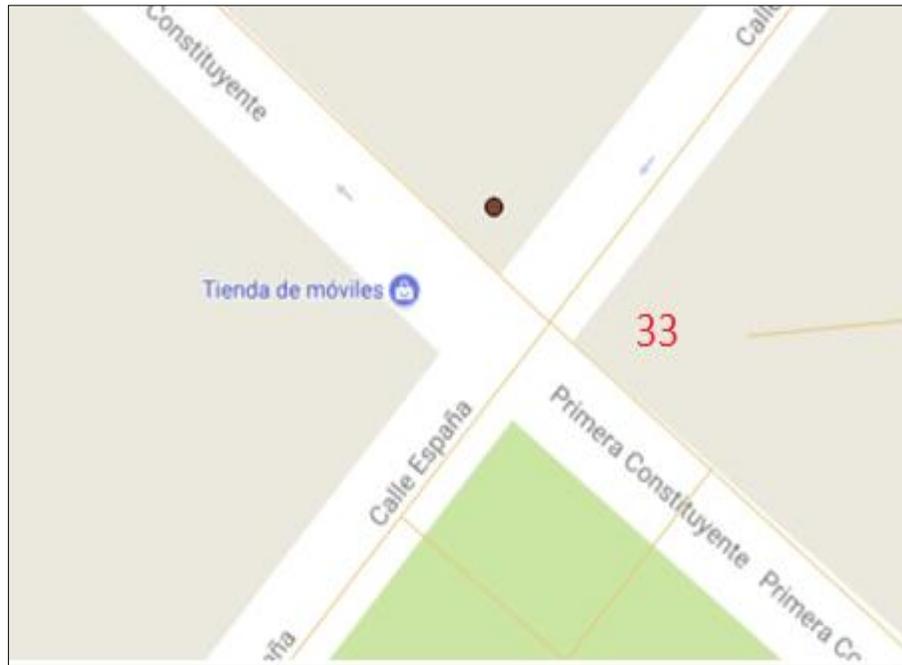
**Mapa 34-3:** Ubicación del nodo 32 en un sector del mapa de la ciudad de Riobamba  
**Realizado por:** Huilca, J. 2017

**Tabla 34-3:** Valores máximos, mínimos, media y desviación estándar calculados en el nodo 32

<b>MÁXIMO (V/m)</b>	
<b>E MAXIMO</b>	0,01141
<b>E MINIMO</b>	0,005504
<b>E MEDIA</b>	0,005991328
<b>E DESV. EST.</b>	0,001357686
<b>PROMEDIO (V/m)</b>	
<b>E MAXIMO</b>	0,0051198
<b>E MINIMO</b>	0,0046081
<b>E MEDIA</b>	0,004944739
<b>E DESV. EST.</b>	0,000116785

**Realizado por:** Huilca, J. 2017

### NODO 33



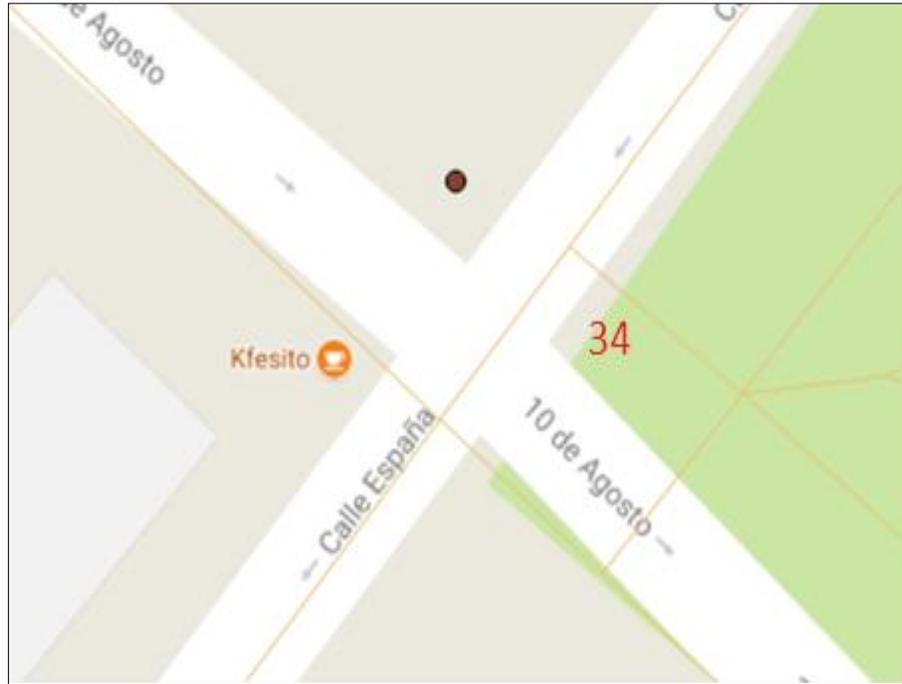
**Mapa 35-3:** Ubicación del nodo 33 en un sector del mapa de la ciudad de Riobamba  
Realizado por: Huilca, J. 2017

**Tabla 35-3:** Valores máximos, mínimos, media y desviación estándar calculados en el nodo 33

<b>MÁXIMO (V/m)</b>	
<b>E MAXIMO</b>	0,0090988
<b>E MINIMO</b>	0,0054725
<b>E MEDIA</b>	0,005837422
<b>E DESV. EST.</b>	0,000822203
<b>PROMEDIO (V/m)</b>	
<b>E MAXIMO</b>	0,0049974
<b>E MINIMO</b>	0,0046594
<b>E MEDIA</b>	0,004880989
<b>E DESV. EST.</b>	0,000103132

Realizado por: Huilca, J. 2017

### NODO 34



**Mapa 36-3:** Ubicación del nodo 34 en un sector del mapa de la ciudad de Riobamba

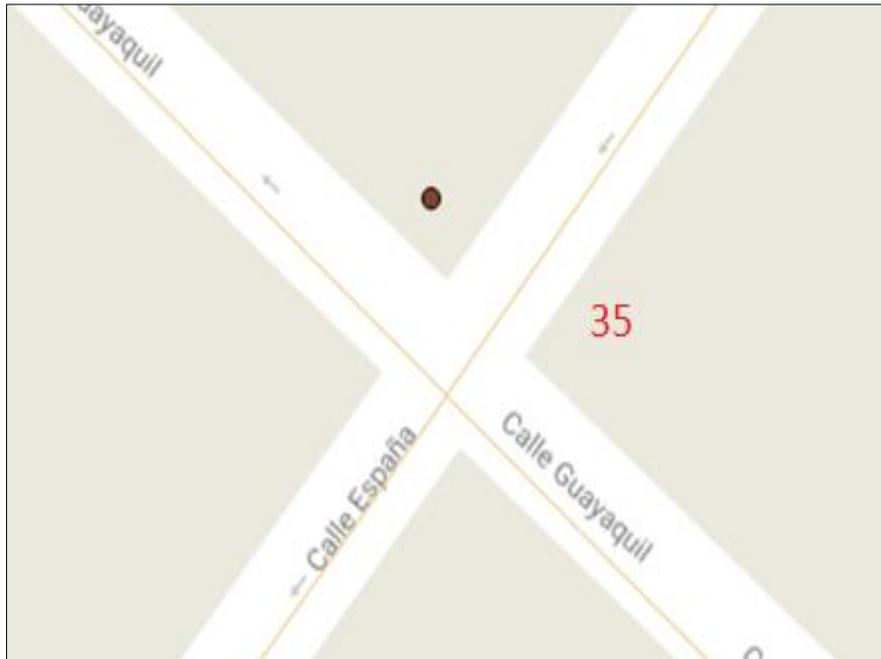
Realizado por: Huilca, J. 2017

**Tabla 36-3:** Valores máximos, mínimos, media y desviación estándar calculados en el nodo 34

<b>MÁXIMO (V/m)</b>	
<b>E MAXIMO</b>	0,01381
<b>E MINIMO</b>	0,0055184
<b>E MEDIA</b>	0,006485789
<b>E DESV. EST.</b>	0,002032429
<b>PROMEDIO (V/m)</b>	
<b>E MAXIMO</b>	0,0052373
<b>E MINIMO</b>	0,004879
<b>E MEDIA</b>	0,005017283
<b>E DESV. EST.</b>	9,94058E-05

Realizado por: Huilca, J. 2017

### NODO 35



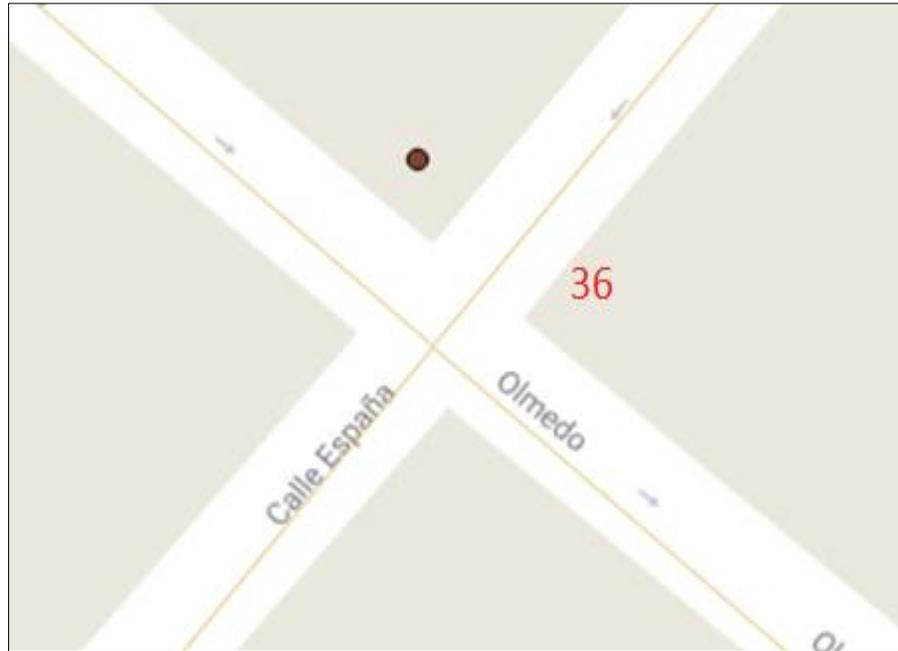
**Mapa 37-3:** Ubicación del nodo 35 en un sector del mapa de la ciudad de Riobamba  
Realizado por: Huilca, J. 2017

**Tabla 37-3:** Valores máximos, mínimos, media y desviación estándar calculados en el nodo 35

<b>MÁXIMO (V/m)</b>	
<b>E MAXIMO</b>	0,018580001
<b>E MINIMO</b>	0,0064983
<b>E MEDIA</b>	0,01031635
<b>E DESV. EST.</b>	0,002863736
<b>PROMEDIO (V/m)</b>	
<b>E MAXIMO</b>	0,011348
<b>E MINIMO</b>	0,0053407
<b>E MEDIA</b>	0,006780622
<b>E DESV. EST.</b>	0,001509981

Realizado por: Huilca, J. 2017

### NODO 36



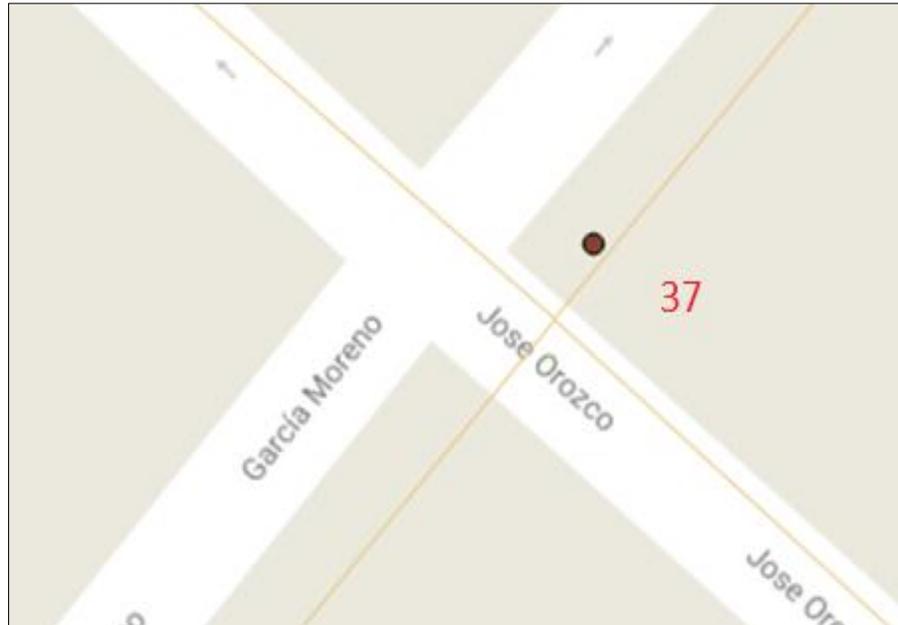
**Mapa 38-3:** Ubicación del nodo 36 en un sector del mapa de la ciudad de Riobamba  
Realizado por: Huilca, J. 2017

**Tabla 38-3:** Valores máximos, mínimos, media y desviación estándar calculados en el nodo 36

<b>MÁXIMO (V/m)</b>	
<b>E MAXIMO</b>	0,032249
<b>E MINIMO</b>	0,0049496
<b>E MEDIA</b>	0,007114356
<b>E DESV. EST.</b>	0,00627655
<b>PROMEDIO (V/m)</b>	
<b>E MAXIMO</b>	0,0051582
<b>E MINIMO</b>	0,00472
<b>E MEDIA</b>	0,004888639
<b>E DESV. EST.</b>	0,000110645

Realizado por: Huilca, J. 2017

### NODO 37



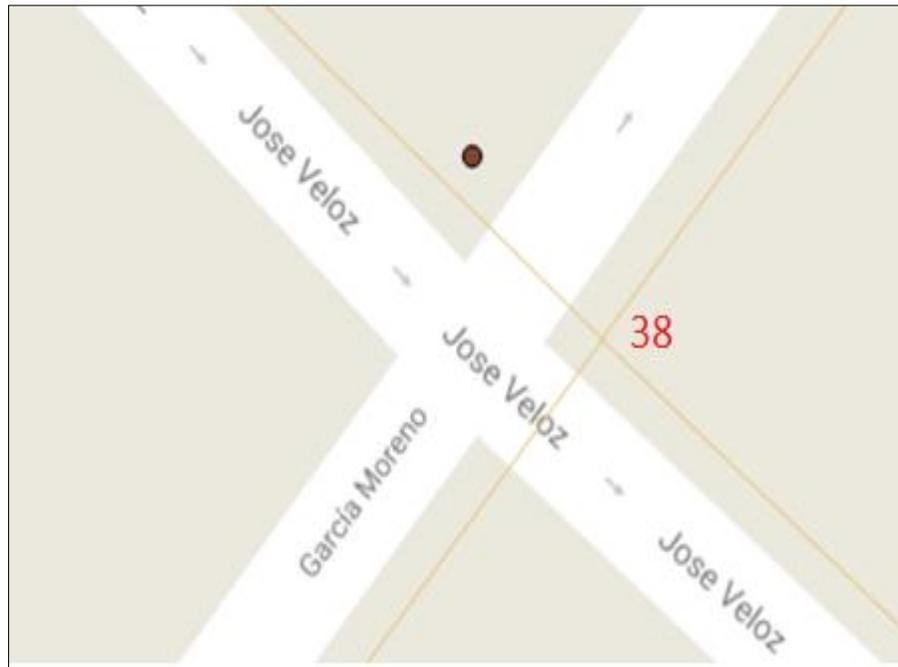
**Mapa 39-3:** Ubicación del nodo 37 en un sector del mapa de la ciudad de Riobamba  
Realizado por: Huilca, J. 2017

**Tabla 39-3:** Valores máximos, mínimos, media y desviación estándar calculados en el nodo 37

<b>MÁXIMO (V/m)</b>	
<b>E MAXIMO</b>	0,0059466
<b>E MINIMO</b>	0,0053039
<b>E MEDIA</b>	0,005531717
<b>E DESV. EST.</b>	0,000160755
<b>PROMEDIO (V/m)</b>	
<b>E MAXIMO</b>	0,0049342
<b>E MINIMO</b>	0,00454
<b>E MEDIA</b>	0,0047472
<b>E DESV. EST.</b>	0,000104093

Realizado por: Huilca, J. 2017

### NODO 38



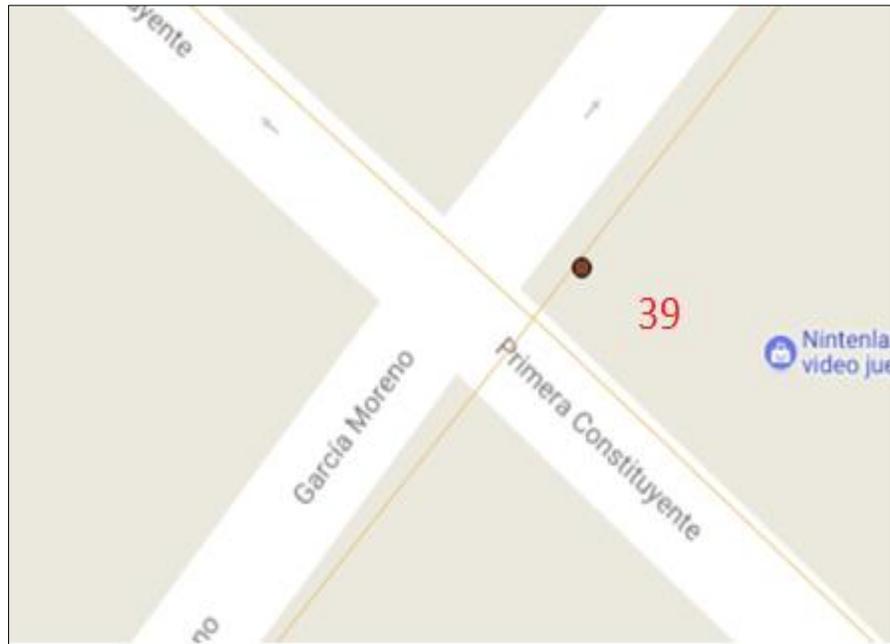
**Mapa 40-3:** Ubicación del nodo 38 en un sector del mapa de la ciudad de Riobamba  
**Realizado por:** Huilca, J. 2017

**Tabla 40-3:** Valores máximos, mínimos, media y desviación estándar calculados en el nodo 38

<b>MÁXIMO (V/m)</b>	
<b>E MAXIMO</b>	0,0068948
<b>E MINIMO</b>	0,0053657
<b>E MEDIA</b>	0,005677489
<b>E DESV. EST.</b>	0,000361824
<b>PROMEDIO (V/m)</b>	
<b>E MAXIMO</b>	0,0055693
<b>E MINIMO</b>	0,0046389
<b>E MEDIA</b>	0,00488225
<b>E DESV. EST.</b>	0,000207431

**Realizado por:** Huilca, J. 2017

### NODO 39



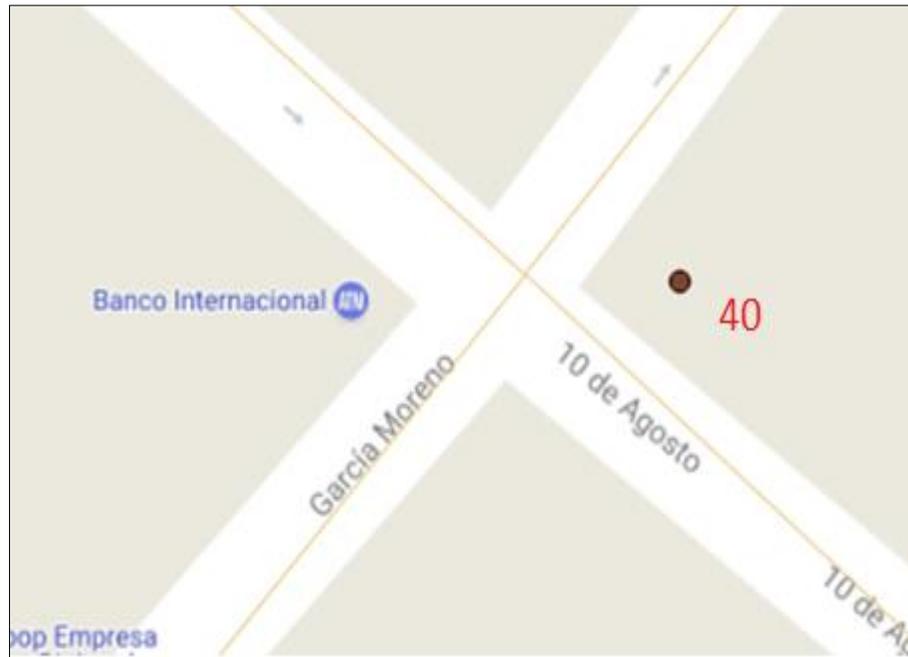
**Mapa 41-3:** Ubicación del nodo 39 en un sector del mapa de la ciudad de Riobamba  
Realizado por: Huilca, J. 2017

**Tabla 41-3:** Valores máximos, mínimos, media y desviación estándar calculados en el nodo 39

<b>MÁXIMO (V/m)</b>	
<b>E MAXIMO</b>	0,0057229
<b>E MINIMO</b>	0,005222
<b>E MEDIA</b>	0,005491967
<b>E DESV. EST.</b>	0,000138089
<b>PROMEDIO (V/m)</b>	
<b>E MAXIMO</b>	0,0055908
<b>E MINIMO</b>	0,0032841
<b>E MEDIA</b>	0,00461905
<b>E DESV. EST.</b>	0,00059827

Realizado por: Huilca, J. 2017

## NODO 40



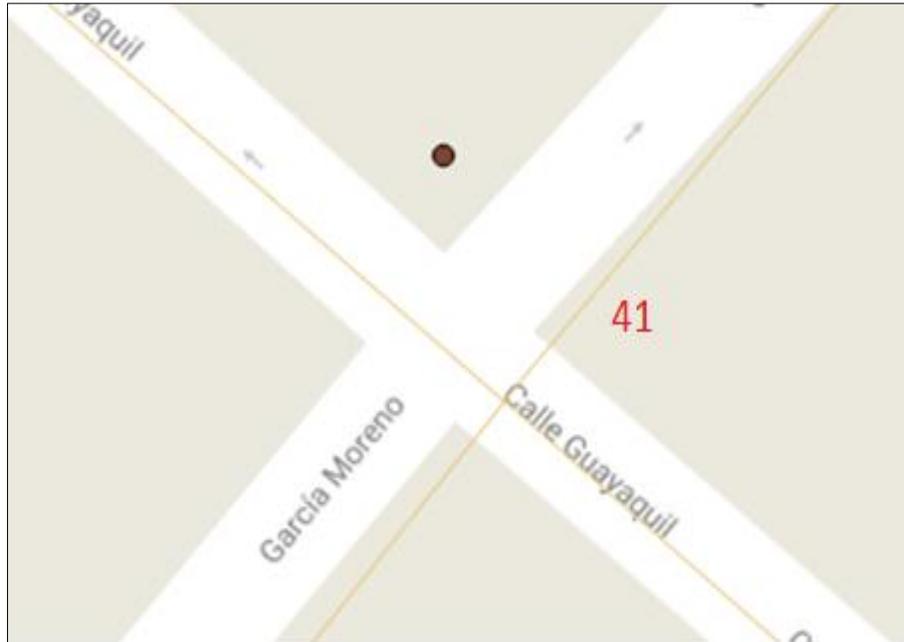
**Mapa 42-3:** Ubicación del nodo 40 en un sector del mapa de la ciudad de Riobamba  
Realizado por: Huilca, J. 2017

**Tabla 42-3:** Valores máximos, mínimos, media y desviación estándar calculados en el nodo 40

<b>MÁXIMO (V/m)</b>	
<b>E MAXIMO</b>	0,011389
<b>E MINIMO</b>	0,005457
<b>E MEDIA</b>	0,006316761
<b>E DESV. EST.</b>	0,001688121
<b>PROMEDIO (V/m)</b>	
<b>E MAXIMO</b>	0,0050824
<b>E MINIMO</b>	0,0047036
<b>E MEDIA</b>	0,004881806
<b>E DESV. EST.</b>	9,99327E-05

Realizado por: Huilca, J. 2017

## NODO 41



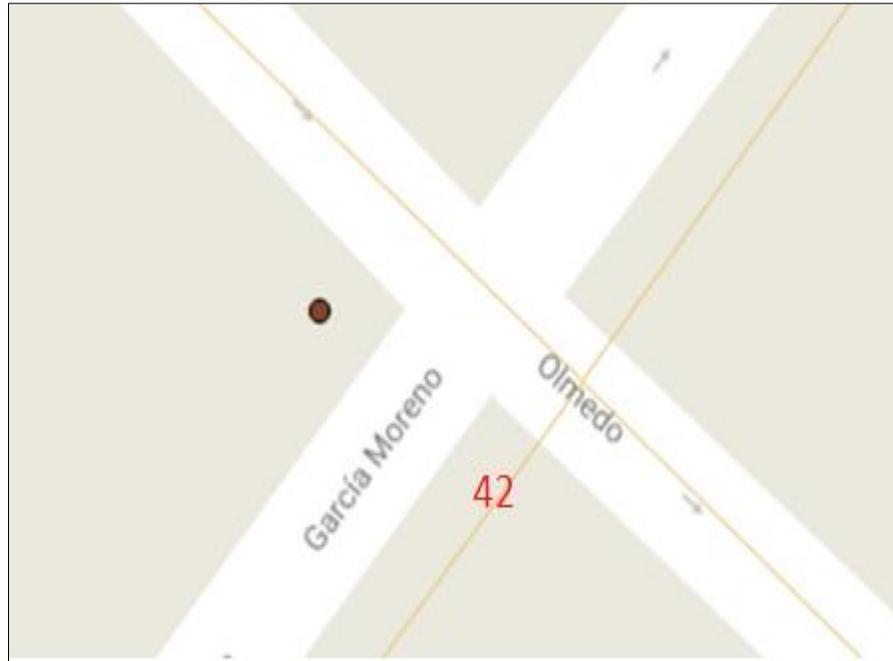
**Mapa 43-3:** Ubicación del nodo 41 en un sector del mapa de la ciudad de Riobamba  
Realizado por: Huilca, J. 2017

**Tabla 43-3:** Valores máximos, mínimos, media y desviación estándar calculados en el nodo 41

<b>MÁXIMO (V/m)</b>	
<b>E MAXIMO</b>	0,0079353
<b>E MINIMO</b>	0,0060691
<b>E MEDIA</b>	0,006784939
<b>E DESV. EST.</b>	0,000560452
<b>PROMEDIO (V/m)</b>	
<b>E MAXIMO</b>	0,0062773
<b>E MINIMO</b>	0,0049594
<b>E MEDIA</b>	0,005569639
<b>E DESV. EST.</b>	0,000415109

Realizado por: Huilca, J. 2017

## NODO 42



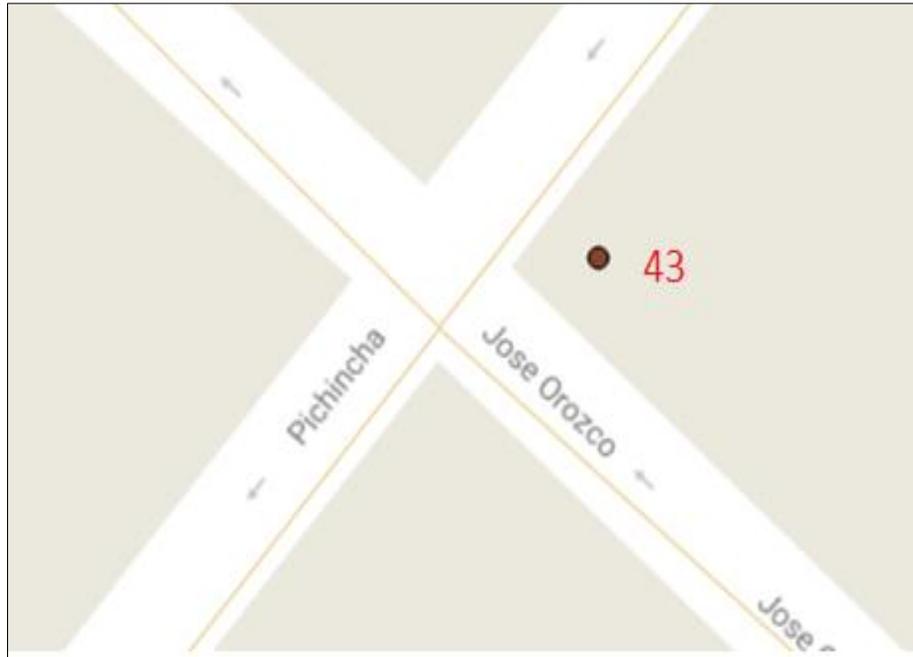
**Mapa 44-3:** Ubicación del nodo 42 en un sector del mapa de la ciudad de Riobamba  
Realizado por: Huilca, J. 2017

**Tabla 44-3:** Valores máximos, mínimos, media y desviación estándar calculados en el nodo 42

<b>MÁXIMO (V/m)</b>	
<b>E MAXIMO</b>	0,0073027
<b>E MINIMO</b>	0,0054276
<b>E MEDIA</b>	0,005771489
<b>E DESV. EST.</b>	0,000420544
<b>PROMEDIO (V/m)</b>	
E MAXIMO	0,0050665
E MINIMO	0,0045228
E MEDIA	0,004814911
E DESV. EST.	0,000142951

Realizado por: Huilca, J. 2017

### NODO 43



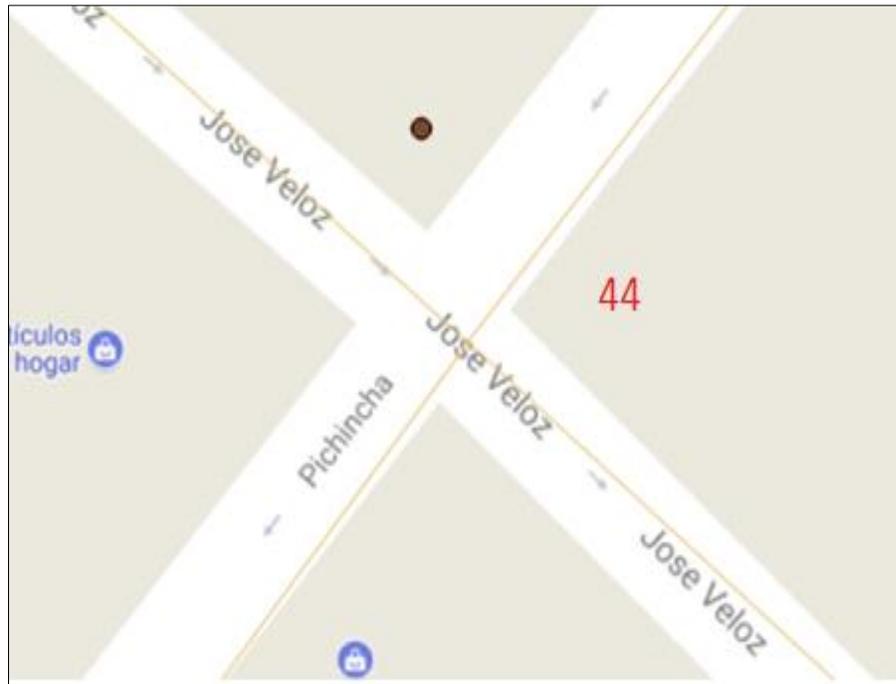
**Mapa 45-3:** Ubicación del nodo 43 en un sector del mapa de la ciudad de Riobamba  
Realizado por: Huilca, J. 2017

**Tabla 43-3:** Valores máximos, mínimos, media y desviación estándar calculados en el nodo 43

<b>MÁXIMO (V/m)</b>	
<b>E MAXIMO</b>	0,0078953
<b>E MINIMO</b>	0,0052799
<b>E MEDIA</b>	0,005680183
<b>E DESV. EST.</b>	0,000582582
<b>PROMEDIO (V/m)</b>	
<b>E MAXIMO</b>	0,0050591
<b>E MINIMO</b>	0,0045586
<b>E MEDIA</b>	0,004840861
<b>E DESV. EST.</b>	0,000110328

Realizado por: Huilca, J. 2017

## NODO 44



**Mapa 46-3:** Ubicación del nodo 44 en un sector del mapa de la ciudad de Riobamba

Realizado por: Huilca, J. 2017

**Tabla 46-3:** Valores máximos, mínimos, media y desviación estándar calculados en el nodo 44

<b>MÁXIMO (V/m)</b>	
<b>E MAXIMO</b>	0,0059749
<b>E MINIMO</b>	0,0053567
<b>E MEDIA</b>	0,005670844
<b>E DESV. EST.</b>	0,000174136
<b>PROMEDIO (V/m)</b>	
<b>E MAXIMO</b>	0,0051724
<b>E MINIMO</b>	0,0043216
<b>E MEDIA</b>	0,004928389
<b>E DESV. EST.</b>	0,000191596

Realizado por: Huilca, J. 2017

## NODO 45



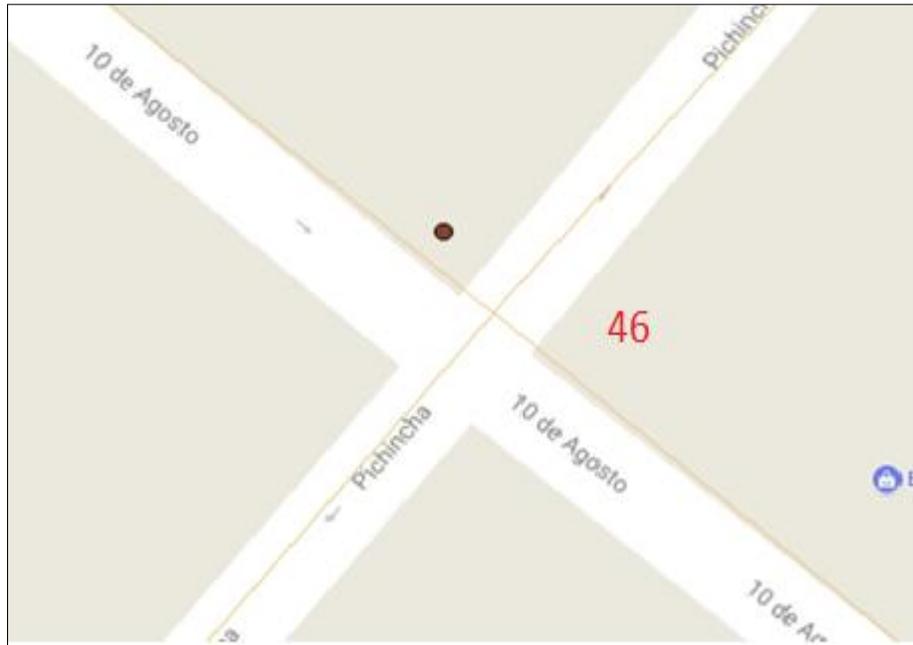
**Mapa 47-3:** Ubicación del nodo 45 en un sector del mapa de la ciudad de Riobamba  
 Realizado por: Huilca, J. 2017

**Tabla 47-3:** Valores máximos, mínimos, media y desviación estándar calculados en el nodo 45

<b>MÁXIMO (V/m)</b>	
<b>E MAXIMO</b>	0,0058131
<b>E MINIMO</b>	0,005288
<b>E MEDIA</b>	0,005549778
<b>E DESV. EST.</b>	0,000166202
<b>PROMEDIO (V/m)</b>	
<b>E MAXIMO</b>	0,0056543
<b>E MINIMO</b>	0,0045279
<b>E MEDIA</b>	0,00482485
<b>E DESV. EST.</b>	0,000261305

Realizado por: Huilca, J. 2017

### NODO 46



**Mapa 48-3:** Ubicación del nodo 46 en un sector del mapa de la ciudad de Riobamba  
Realizado por: Huilca, J. 2017

**Tabla 48-3:** Valores máximos, mínimos, media y desviación estándar calculados en el nodo 46

<b>MÁXIMO (V/m)</b>	
<b>E MAXIMO</b>	0,03974
<b>E MINIMO</b>	0,0053074
<b>E MEDIA</b>	0,00906235
<b>E DESV. EST.</b>	0,010265543
<b>PROMEDIO (V/m)</b>	
<b>E MAXIMO</b>	0,0058791
<b>E MINIMO</b>	0,0045519
<b>E MEDIA</b>	0,004937461
<b>E DESV. EST.</b>	0,000325291

Realizado por: Huilca, J. 2017

### 3.2 Obtención de la SAR de los valores promedios de la Intensidad de Campo Eléctrico E utilizando el simulador Sim4Life

#### 3.2.1 Obtención de la SAR para Cuerpo Entero

Utilizando los valores de Intensidad de Campo Eléctrico Promedio obtenidos anteriormente, se procedió a la obtención de la SAR en los 46 nodos de la zona céntrica de la ciudad de Riobamba mediante el software computacional Sim4Life. Todos los valores obtenidos de SAR para cuerpo entero, junto con los valores de Intensidad de Campo Eléctrico Promedio de los 46 nodos se pueden visualizar en la tabla 49-3.

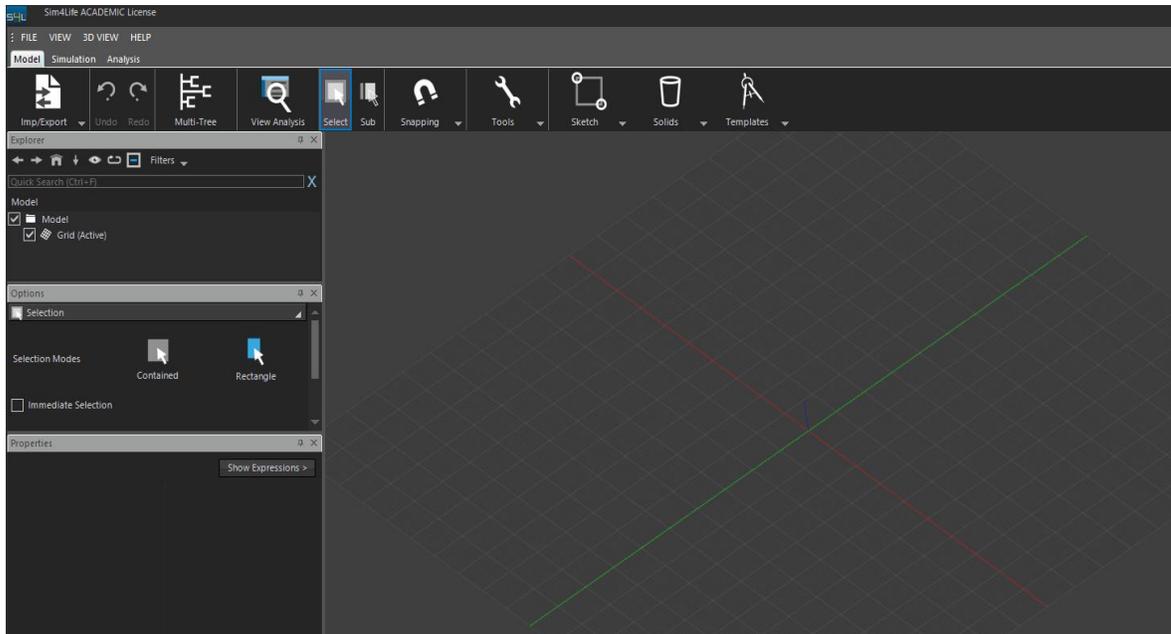
**Tabla 49-3:** Valores Simulados de la SAR en Cuerpo Entero para los 46 puntos.

Nodo	E max promedio (V/m)	SAR Cuerpo Entero (W/kg)	Nodo	E max promedio (V/m)	SAR Cuerpo Entero (W/kg)
1	0,0061	4,826e-11	24	0,0052843	3,643e-11
2	0,0062629	5,148e-11	25	0,0054409	3,782e-11
3	0,010918	1,541e-10	26	0,0053385	3,643e-11
4	0,092864998	1,119e-8	27	0,0052298	3,507e-11
5	0,021335	5,884e-10	28	0,006955	6,355e-11
6	0,007725	7,690e-11	29	0,107409999	1,496e-8
7	0,0053582	3,782e-11	30	0,018874001	4,633e-10
8	0,0051485	3,373e-11	31	0,0050051	3,242e-11
9	0,012802	2,125e-10	32	0,0051198	3,373e-11
10	0,012677	2,092e-10	33	0,0049974	3,242e-11
11	0,0063179	5,148e-11	34	0,0052373	3,507e-11
12	0,0052277	3,507e-11	35	0,011348	1,656e-10
13	0,0050163	3,242e-11	36	0,0051582	3,507e-11
14	0,0057321	4,214e-11	37	0,0049342	3,114e-11
15	0,0051306	3,373e-11	38	0,0055693	4,067e-11
16	0,0055097	3,923e-11	39	0,0055908	4,067e-11
17	0,0057705	4,363e-11	40	0,0050824	3,373e-11
18	0,0069339	6,175e-11	41	0,0062773	5,148e-11
19	0,0052838	3,643e-11	42	0,0050665	3,373e-11
20	0,0055042	3,923e-11	43	0,0050591	3,373e-11
21	0,0050859	3,373e-11	44	0,0051724	3,507e-11
22	0,0052005	3,507e-11	45	0,0056543	4,214e-11
23	0,0097872	1,246e-10	46	0,0058791	4,515e-11

Realizado por: Huilca, J. 2017

Para la realización de las simulaciones de la SAR, el software sim4life posee en su barra de herramientas 3 modos de ejecución: modelamiento, simulación y análisis tal y como se muestra en la figura 1-3. En el apartado de modelamiento se procede a cargar el modelo Duke de la familia virtual,

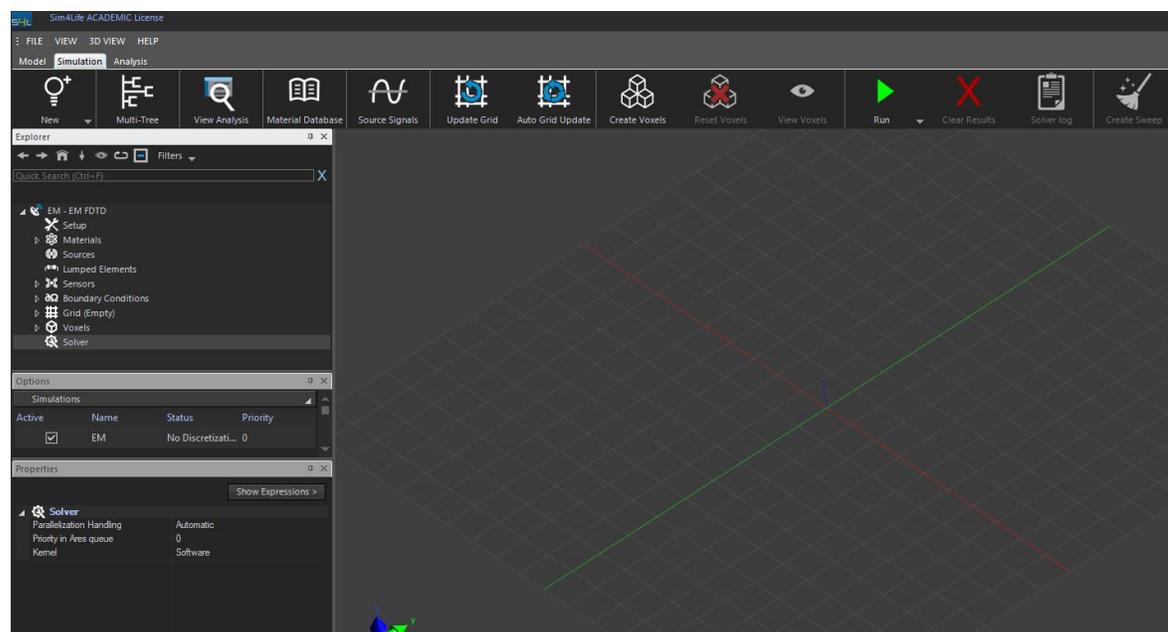
el cual está disponible en línea, posteriormente se ingresa la representación de campo eléctrico de manera gráfica en el simulador.



**Figura 1-3:** Herramienta Model del Software Sim4life

Realizado por: Huilca, J. 2017

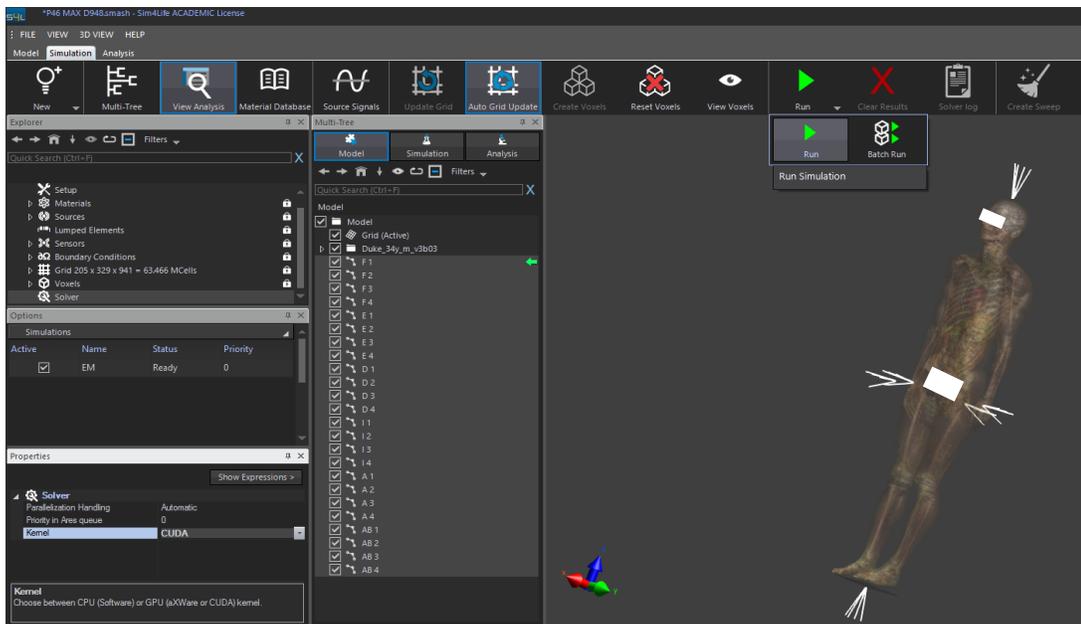
En el apartado de simulación, se debe establecer el valor de campo eléctrico y la frecuencia a la que se va a simular, en la opción “sources”, como se ve en la Figura 2-3.



**Figura 2-3:** Herramienta Simulation del Software Sim4life

Realizado por: Huilca, J. 2017

Una vez establecido el valor de Intensidad de Campo Eléctrico y la Frecuencia, en la misma herramienta de simulación, se procede a escoger los tejidos del cuerpo humano que se desea cargar en el modelo Duke. En el momento en el que se establecen todas las condiciones en las que se va a ejecutar el programa, se procede a correr la simulación, para esto se debe dar clic en el botón “Run” que se encuentra en la barra de herramientas y en el apartado “Simulation” como se observa en la Figura 3-3.



**Figura 3-3:** Inicio de la simulación en la herramienta Simulation del software Sim4Life  
 Realizado por: Huilca, J. 2017

Al terminar la simulación se procede a ir al apartado de análisis. para visualizar los resultados se procedió a visualizar los resultados de la SAR simulada abriendo la ventana de estadísticas, en donde nos muestra claramente en la columna “MAX LOCAL SAR” y en la fila “ALL REGIONS”, el valor correspondiente de la simulación de la SAR resultante del dato de Campo Eléctrico que se ingresó para dicha simulación, tal y como se muestra en la figura 4-3.

La ventana de estadísticas nos revela además datos de: Máxima densidad de pérdida, mínima SAR local, Máxima SAR promedio, pérdidas totales, masa total, volumen total, entre otros, los cuales obtendremos según los tejidos que se ingresen en el modelo de la Familia Virtual, y según las condiciones de la simulación.

The screenshot shows the SIM4Life software interface with the 'SAR Statistics' table view. The table displays the following data:

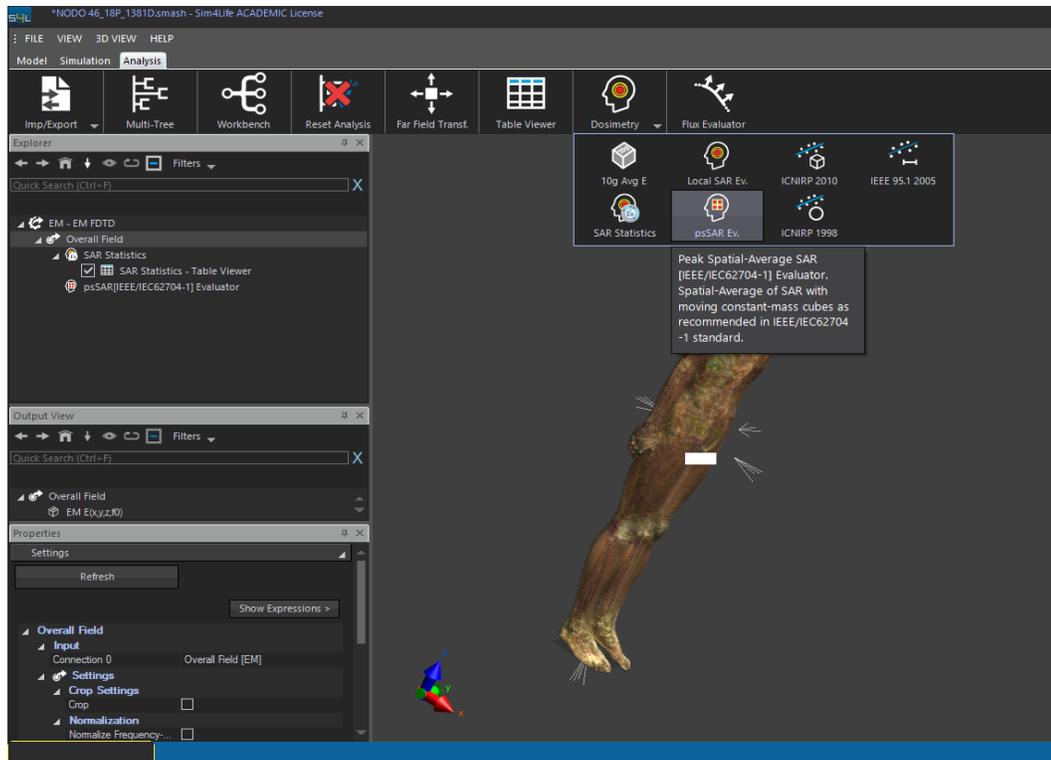
	Max Loss Power Density	Min. local SAR	Mass-Averaged SAR	Max. local SAR	Total Loss	Total Mass	Total Volume
	W/m <sup>3</sup>	W/kg	W/kg	W/kg	W	kg	m <sup>3</sup>
Adrenal_gland (Duke_34y_m_v3b03)	6.456e-011	3.283e-016	7.545e-015	6.283e-014	7.092e-017	9.399e-003	9.147e-006
Air_internal (Duke_34y_m_v3b03)	0	0	0	0	0	0	7.185e-005
All Regions	5.007e-008	0	4.354e-013	4.515e-011	3.059e-011	70.2628	1.8792
Artery (Duke_34y_m_v3b03)	5.849e-009	1.917e-016	2.679e-013	5.572e-012	1.232e-013	0.4598	4.380e-004
Background	0	0	0	0	0	0	1.8120
Bladder_wall (Duke_34y_m_v3b03)	3.529e-010	1.688e-016	2.260e-014	3.250e-013	9.200e-016	4.070e-002	3.747e-005
Bronchus_lumen (Duke_34y_m_v3b03)	0	0	0	0	0	0	1.136e-005
Bronchus_wall (Duke_34y_m_v3b03)	3.519e-011	2.969e-016	6.647e-015	3.195e-014	5.333e-017	8.023e-003	7.284e-006
Calcaneus_cancellous_left (Duke_34y_m_v3b03/Bones)	1.438e-009	4.341e-014	3.984e-013	1.220e-012	2.446e-014	6.141e-002	5.211e-005
Calcaneus_cancellous_right (Duke_34y_m_v3b03/Bones)	1.264e-009	9.503e-014	5.028e-013	1.073e-012	2.998e-014	5.963e-002	5.061e-005

**Figura 4-3:** Ventana de Estadísticas en SIM4Life  
 Realizado por: Huilca, J. 2017

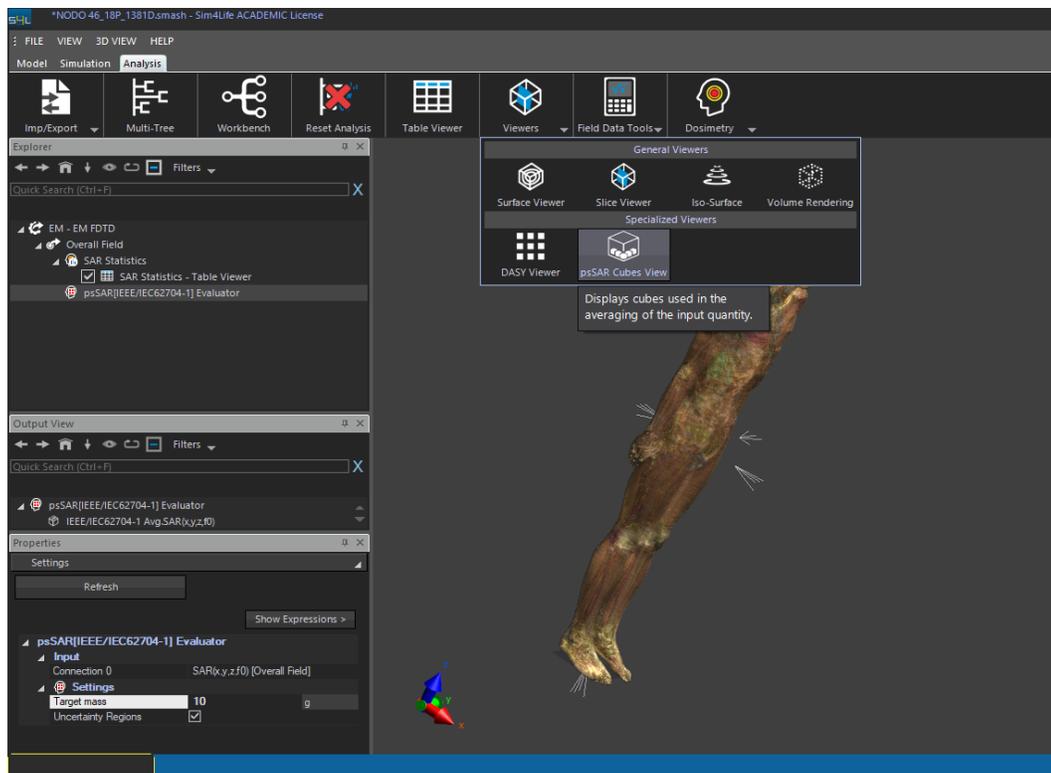
### 3.2.2 Obtención de la SAR en 10 gramos

A partir de los resultados obtenidos en la simulación de la SAR de cuerpo entero, y en el apartado de análisis, el simulador permite visualizar el valor de la SAR para 10 gramos, para esto se debe dar clic en la opción de la ventana izquierda “Overall Field”, lo que abrirá una serie de opciones en la barra de herramientas, en donde se debe ir al apartado “Dosimetry” y escoger la opción “psSAR ev”, el cual es un evaluador de la SAR, después de esto se debe ir al apartado “Viewer” y escoger la opción “psSAR cubes view”, el cual permite verificar visualmente en el modelo el punto de mayor concentración de SAR a 10 gramos.

Para la obtención de los valores de la SAR en 10 gramos del cuerpo, se debe realizar un análisis minucioso de cada parte del modelo, buscando el punto de mayor concentración de SAR en dos dimensiones, ya sea esta de frente (plano XY), hacia arriba (plano YZ), o de manera lateral (plano XZ), como se puede ver en las figuras 5-3 y 6-3.

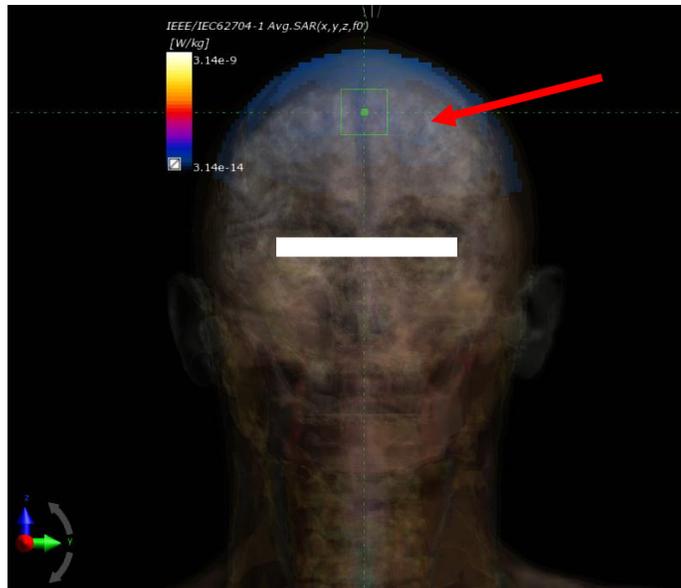


**Figura 5-3:** Utilización de la herramienta Dosimetry en Sim4Life  
 Realizado por: Huilca, J. 2017

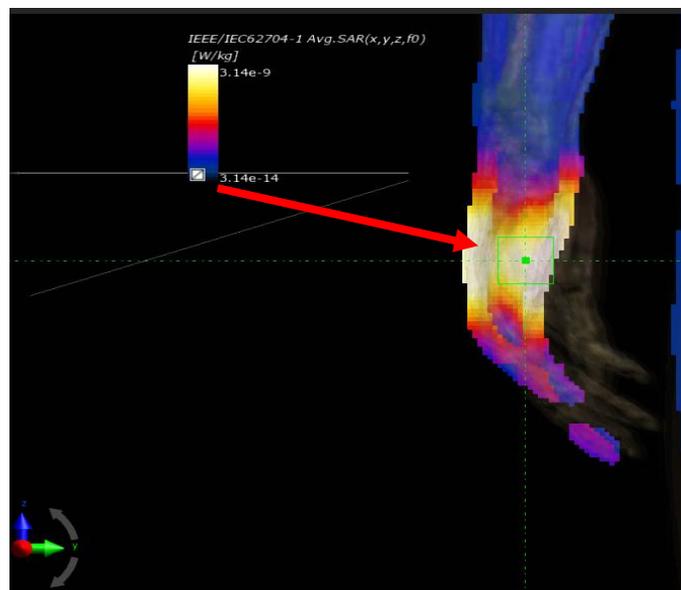


**Figura 6-3:** Uso de la herramienta Viewer en Sim4Life  
 Realizado por: Huilca, J. 2017

El software permite utilizar una gama de colores que van desde el color amarillo, representando este color la zona con mayor concentración de SAR, hasta el color azul, indicando las zonas con menor concentración, todo esto con el fin de diferenciar de una manera más visual la concentración de la SAR a 10 gramos; se puede diferenciar también el punto exacto de mayor concentración con un color indistinto de la escala, para estos fines se utilizó el color verde, como se puede notar en las figuras 7-3 y 8-3.



**Figura 7-3:** Punto de mayor concentración de SAR a 10 gramos de la cabeza  
Realizado por: Huilca, J. 2017



**Figura 8-3:** Punto de mayor concentración de SAR a 10 gramos de los brazos  
Realizado por: Huilca, J. 2017

Una vez realizado este procedimiento para el valor más alto y más bajo de las mediciones de Intensidad Campo Eléctrico Promedio E, se obtienen los siguientes resultados reflejados en la tabla 50-3:

**Tabla 50-3:** Valores de SAR sobre 10 gramos para los valores promedio de E MAX y E min.

Nodo	Campo Eléctrico Promedio Medido (V/m)		SAR SIMULADA (W/kg)					
			CUERPO ENTERO	10 gramos				
				CABEZA	TRONCO	BRAZOS	PIERNAS	EXTREMIDADES
N 29	E MAX	0,1074	1,496e-8	4,49e-10	2,47e-9	3,14E-9	1,35E-9	2,25E-09
N 24	E min	0,0027	3,643e-11	2,7e-13	1,55e-12	1,99E-12	6,95E-13	1,3425E-12

Realizado por: Huilca, J. 2017

### 3.3 Comparación de los valores de la SAR con las normas internacionales ICNIRP

Una vez realizado todo el proceso de simulación y obtención de resultados, se procedió a realizar la respectiva comparación de los datos obtenidos junto con los límites que la ICNIRP dispone, límites que también acoge la UIT y de la misma manera la ARCOTEL, encontrando estas diferencias bien delimitadas tal y como se observan en las tablas 142-3 y 143-3.

**Tabla 51-3:** Comparación de la SAR en cuerpo entero con los límites ICNIRP

VALOR	SAR SIMULADA CUERPO ENTERO (W/kg)	LIMITE ICNIRP (ZONA POBLACIONAL) (W/kg)
MAXIMO (P 29)	1,496e-8	0,08
MÍNIMO (P 37)	3,114e-11	0,08

Realizado por: Huilca, J. 2017

**Tabla 52-3:** Comparación de la SAR a 10 gramos con los límites ICNIRP

VALOR	CABEZA (W/kg)	TRONCO (W/kg)	EXTREMIDADES (W/kg)	LIMITE ICNIRP CABEZA Y TRONCO	LIMITE ICNIRP EXTREMIDADES
MÁXIMO	4,49e-10	4,49e-10	2,25E-09	2	4
MÍNIMO	2,7e-13	2,7e-13	1,3425E-12	2	4

Realizado por: Huilca, J. 2017

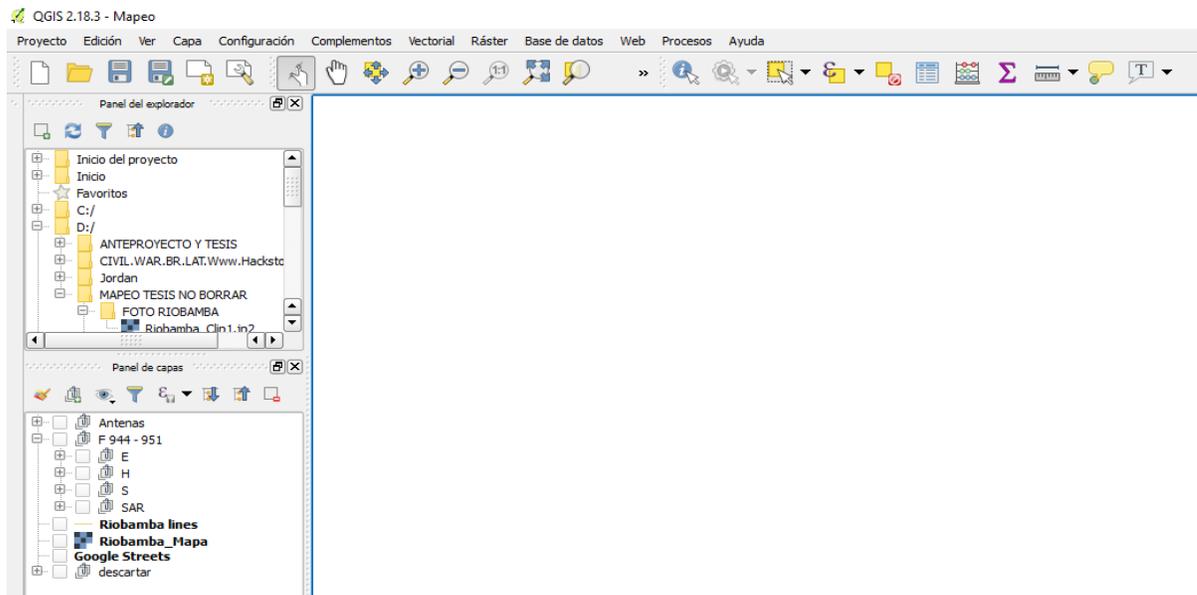
En las tablas expuestas anteriormente se plasma claramente que ninguno de los valores obtenidos de la SAR, tanto para cuerpo entero como en 10 gramos de cabeza, tronco y extremidades, y como se puede notar, no se llegan a sobrepasar los límites establecidos por la ICNIRP.

### 3.4 Mapeo Electromagnético en un sector céntrico de la ciudad de Riobamba

Para la realización del mapeo electromagnético, se procedió a ingresar todos los datos de Intensidad de Campo Eléctrico máximo y promedio medidos, los datos obtenidos de Intensidad de Campo Magnético y Densidad de Potencia, los datos simulados de la SAR para cuerpo entero, las coordenadas de los puntos medidos en el mapa de Riobamba y la ubicación de todas las antenas tanto de radio como de televisión situadas en la zona de las mediciones y en los alrededores de la misma.

Una vez ingresados todos los datos necesarios, el software se comporta como un visualizador de resultados, en donde nos muestra: los puntos de medición, la ubicación de las antenas en el mapa, el valor numérico de Campo Eléctrico y Magnético, densidad de Potencia y SAR, así también como una interpolación gráfica y numérica de los datos obtenidos, con el fin de conocer los valores de Campo, Potencia y SAR en las demás zonas que abarca la medición.

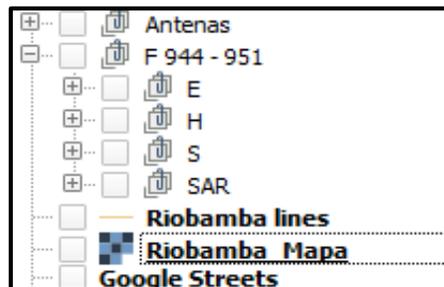
La interfaz del programa es muy intuitiva y fácil para el usuario (Figura 9-3), está creada mediante capas, en donde se puede escoger cual desea ver y cual omitir, en la parte de arriba se tiene una barra de herramientas que le ayudará a visualizar los valores numéricos, al centro se visualiza el mapa acorde a las necesidades y en la parte izquierda tenemos un menú de directorio y un menú de capas.



**Figura 9-3:** Interfaz del Software de Mapeo Electromagnético

Realizado por: Huilca, J. 2017

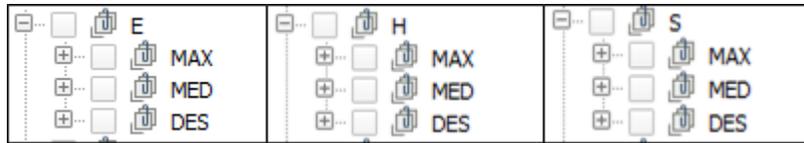
Las diferentes capas que dispone este software son: Antenas, Campo Eléctrico (E), Campo Magnético (H), Densidad de Potencia (S), Tasa de Absorción Específica (SAR), líneas de la ciudad de Riobamba (Riobamba Lines), ortofoto de la ciudad de Riobamba (Riobamba\_Mapa) y un mapa de Riobamba enlazado vía internet con los mapas de Google (Google Streets), como se aprecia en la Figura 10-3.



**Figura 10-3:** Capas del Software de Mapeo Electromagnético

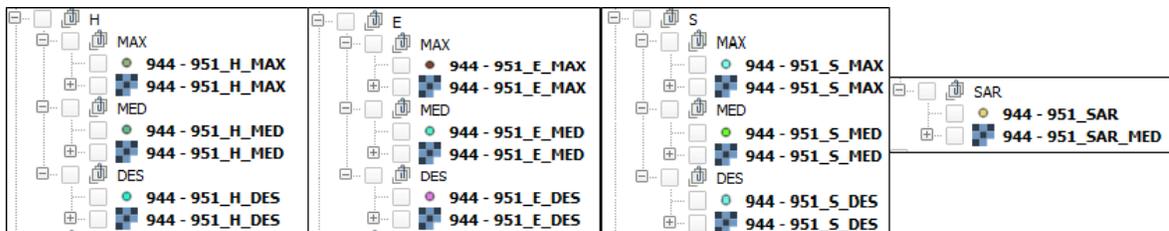
Realizado por: Huilca, J. 2017

En el apartado de Antenas se muestra todas las antenas vistas y situadas en la zona de medición tal y como muestra en la figura 10-3; los apartados: E, H y S, hacen referencia a los datos de campo Eléctrico, Campo Magnético y Densidad de potencia, respectivamente, medidos y obtenidos en los 46 puntos, dichas capas poseen los apartados: Campo Máximo (MAX), Campo Promedio (MED) y Desviación Estándar (DES). La capa de Tasa de Absorción Específica (SAR), al ser un valor que se obtuvo sólo a partir de los valores de Intensidad de Campo Eléctrico promedio, no posee estas capas.



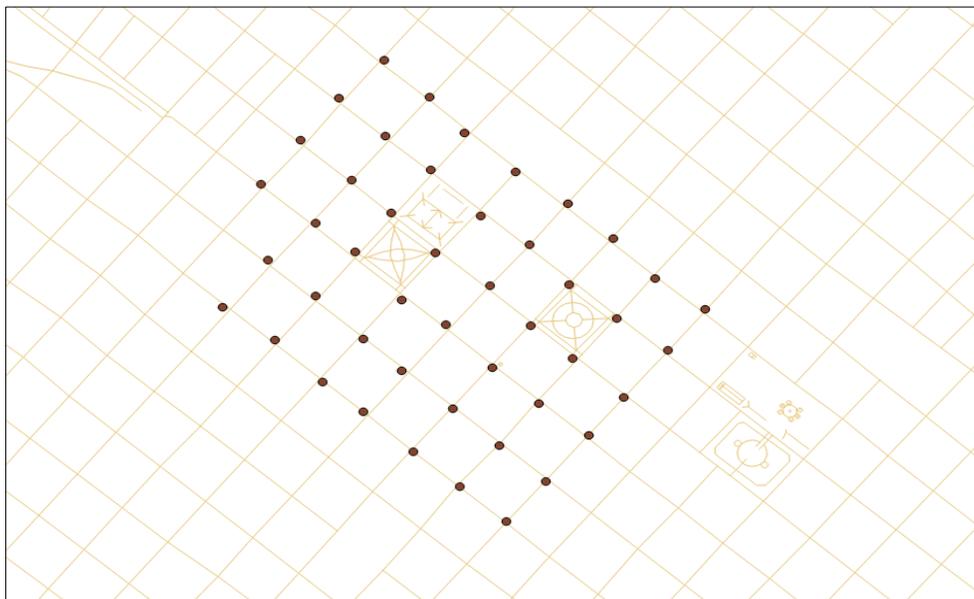
**Figura 11-3:** Opciones de la Capas de Campo Eléctrico, Magnético y Densidad de Potencia  
 Realizado por: Huilca, J. 2017

Cada uno de los apartados de cada capa, incluyendo a la capa SAR, se subdivide en dos sub apartados: el primero permite mostrar los valores obtenidos de las mediciones en cada uno de los 46 nodos así como la ubicación de los mismos, y el segundo permite visualizar la interpolación de dichos puntos hacia toda la zona de medición de manera gráfica y numérica, como se puede ver en la Figura (11-3).



**Figura 12-3:** Sub apartados de valor puntual y de interpolación de la capa E, H, S y SAR  
 Realizado por: Huilca, J. 2017

Los 46 nodos de medición, pueden ser visualizados en el software mediante 3 maneras: la primera es mediante la capa “Riobamba Lines” que mostrará los nodos de medición junto con las líneas más importantes de Riobamba como se puede ver en la figura 13-3:



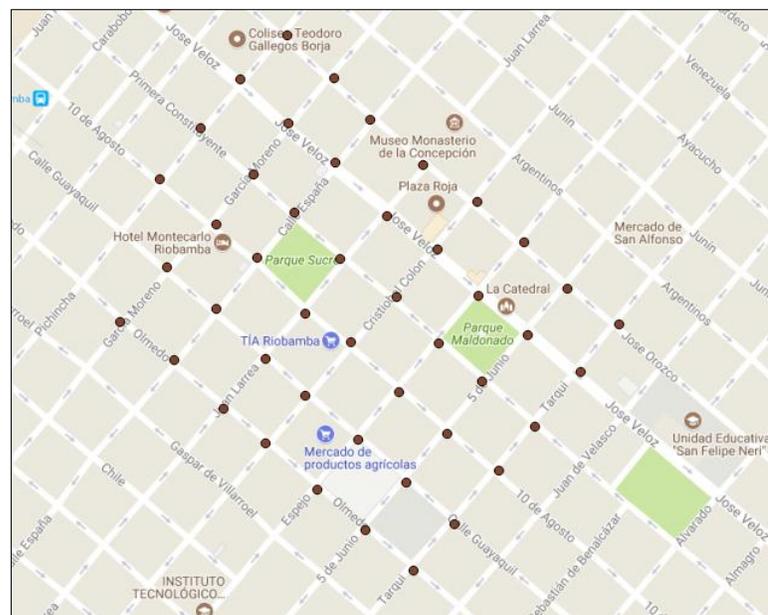
**Figura 13-3:** Nodos de medición junto con la capa Riobamba Lines  
 Realizado por: Huilca, J. 2017

El segundo método de visualización es con la capa “Robamba\_Mapa” que vinculará los 46 nodos junto con una ortofoto de Riobamba tal y como se divide en la figura 14-3.



**Figura 14-3:** Nodos de medición junto con la capa Riobamba\_Mapa  
Realizado por: **Huilca, J. 2017**

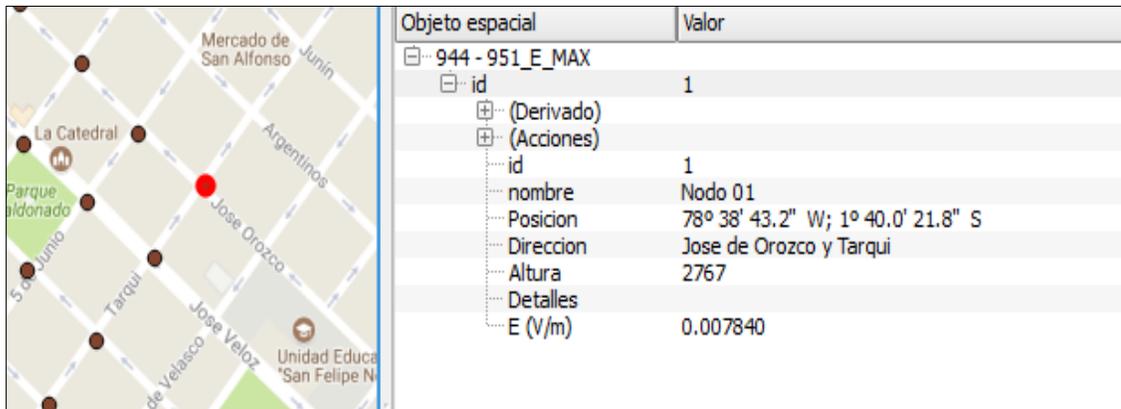
La tercera opción es mediante la capa “Google Streets” que descargará vía internet el mapa de Riobamba junto con sus calles y la vinculará a los nodos de medición (Figura 15-3).



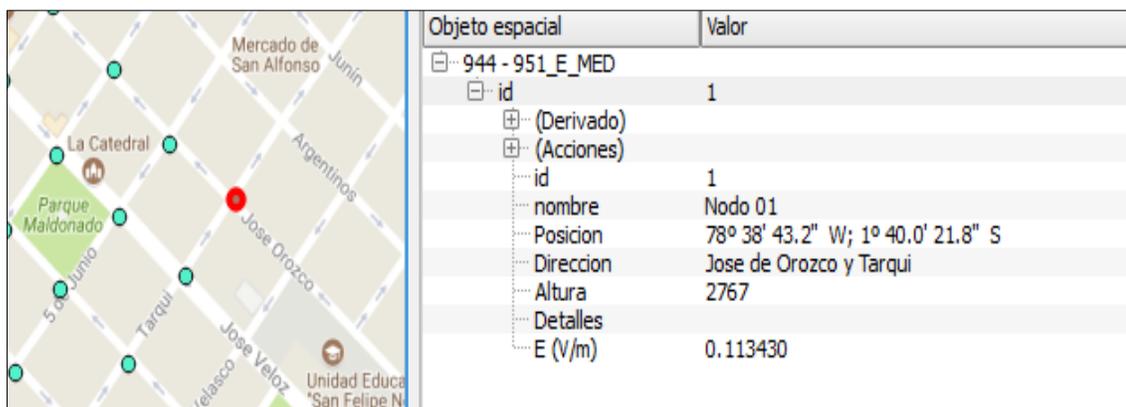
**Figura 15-3:** Nodos de medición junto con la capa Google Streets  
Realizado por: **Huilca, J. 2017**

Al momento de elegir la capa correspondiente al sub apartado de valor puntual y escogiendo cualquier nodo de los 46 posibles, aparecerá en la parte derecha del programa una ventana de información que arrojará los siguientes datos: tipo de valor de la medición (MAX, MED, DES), nombre del punto, dirección, altura sobre el nivel del mar y el valor de medición.

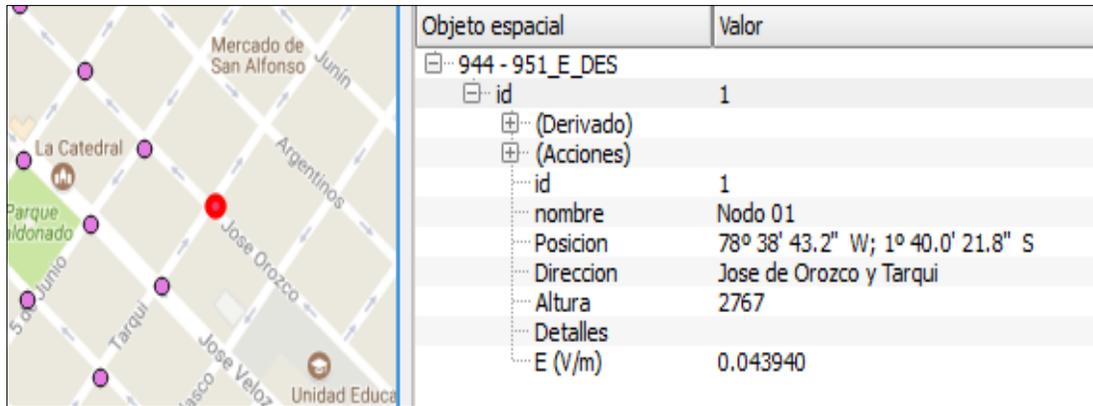
Tomando como referencia el nodo 1 de medición se puede notar los valores de este nodo tanto de E Máximo (Figura 16-3), E Promedio (Figura 17-3) y E Desviación Estándar (Figura 18-3). H Máximo (Figura 19-3), H Promedio (Figura 20-3) y H Desviación Estándar (Figura 21-3), S Máximo (Figura 22-3), S Promedio (Figura 23-3) y S Desviación Estándar (Figura 24-3), y de la SAR Promedio (Figura 25-3), este proceso es similar para cada uno de los nodos.



**Figura 16-3:** Valor de Intensidad de Campo Eléctrico Máximo del nodo 1  
Realizado por: Huilca, J. 2017



**Figura 17-3:** Valor de Intensidad de Campo Eléctrico Promedio del nodo 1  
Realizado por: Huilca, J. 2017



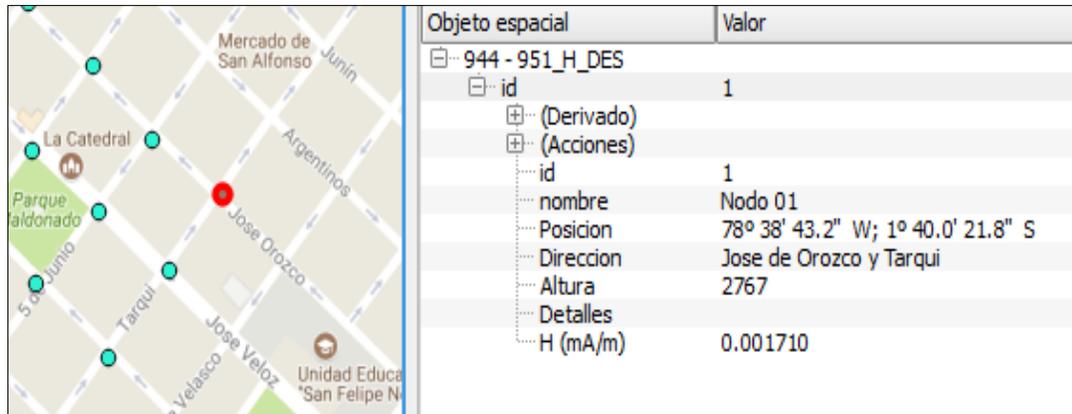
**Figura 18-3:** Valor de Desviación Estándar de Intensidad de Campo Eléctrico del nodo 1  
 Realizado por: Huilca, J. 2017



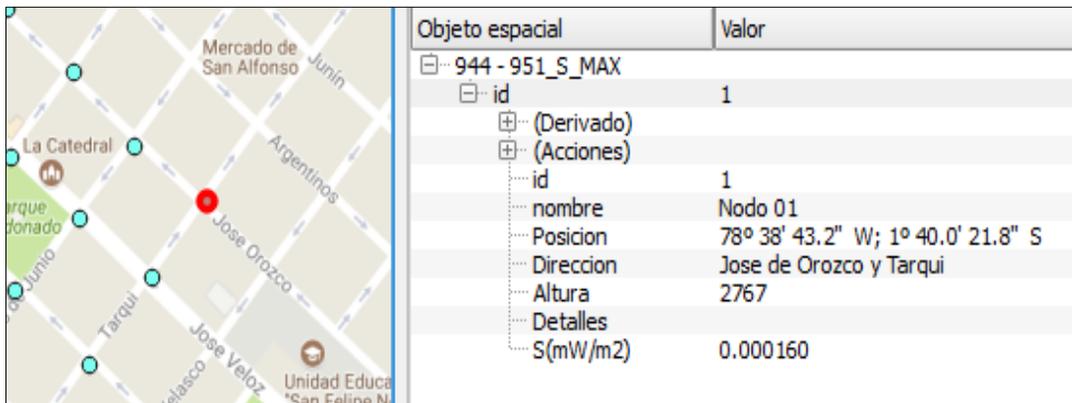
**Figura 19-3:** Valor de Intensidad de Campo Magnético Máximo del nodo 1  
 Realizado por: Huilca, J. 2017



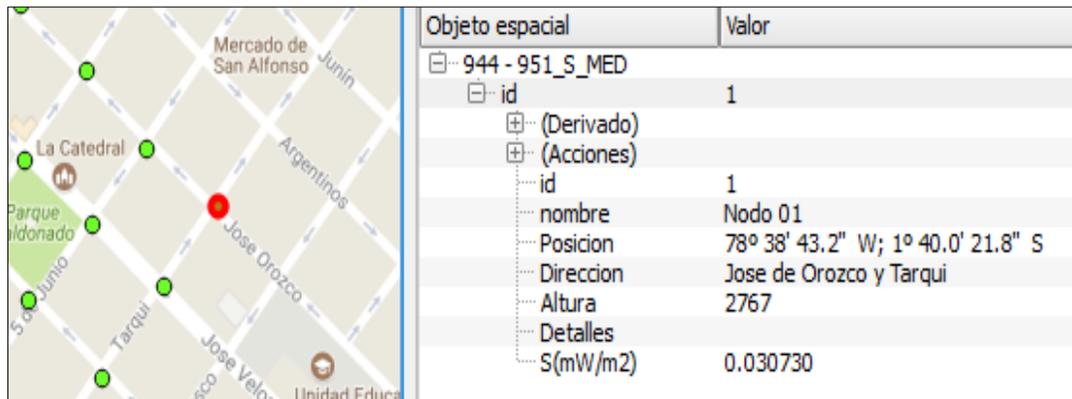
**Figura 20-3:** Valor de Intensidad de Campo Magnético Promedio del nodo 1  
 Realizado por: Huilca, J. 2017



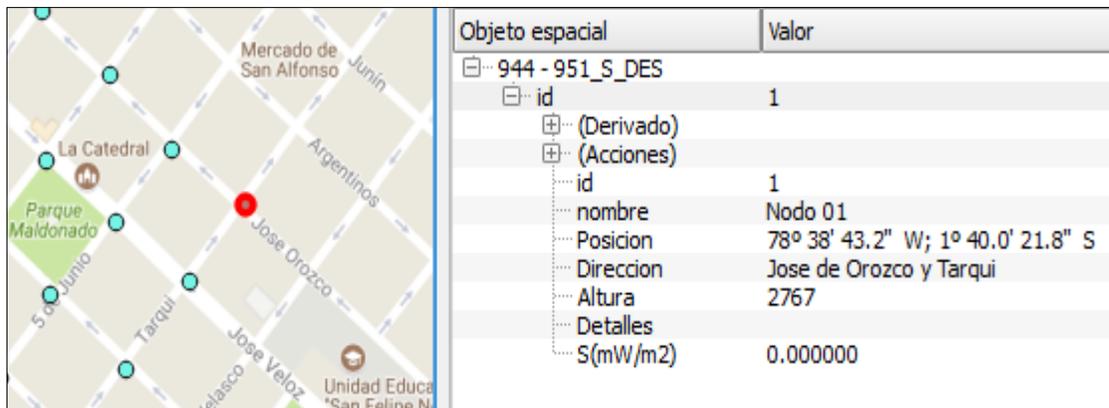
**Figura 21-3:** Valor de Desviación Estándar de Intensidad de Campo Magnético del nodo 1  
 Realizado por: Huilca, J. 2017



**Figura 22-3:** Valor de Densidad de Potencia Máximo del nodo 1  
 Realizado por: Huilca, J. 2017



**Figura 23-3:** Valor de Densidad de Potencia Promedio del nodo 1  
 Realizado por: Huilca, J. 2017



**Figura 24-3:** Valor de Desviación Estándar de Densidad de Potencia del nodo 1  
 Realizado por: Huilca, J. 2017



**Figura 25-3:** Valor de la SAR Promedio del nodo 1  
 Realizado por: Huilca, J. 2017

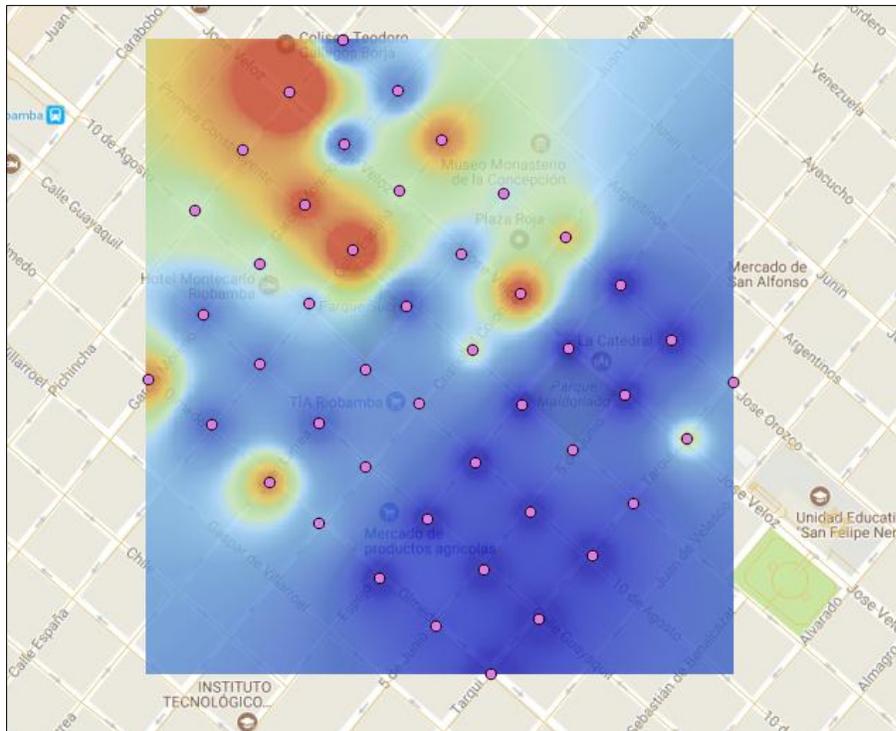
El mismo procedimiento se puede realizar en la capa de Interpolación, de igual manera se puede visualizar el mapa de interpolación junto con las capas: Riobamba Lines, Riobamba Mapa y Google Streets, lo que mostrará la interpolación de una manera gráfica mediante una gama de colores que irán cambiando dependiendo del valor numérico que se tenga en una zona específica; los colores van desde el azul simbolizando a las zonas de menor valor numérico, hasta el color rojo que simboliza las zonas de mayor concentración. Tomando nuevamente el nodo 1 como referencia se puede visualizar el mapa de interpolación junto con las capas Google Streets y Riobamba Lines de: E Máximo (Figura 26-3), E Promedio (Figura 27-3) y E Desviación Estándar (Figura 28-3). H Máximo (Figura 29-3), H Promedio (Figura 30-3) y H Desviación Estándar (Figura 31-3), S Máximo (Figura 32-3), S Promedio (Figura 33-3) y S Desviación Estándar (Figura 34-3), y de la SAR Promedio (Figura 35-3), el proceso se repite para los demás nodos y con la capa Riobamba Mapa.



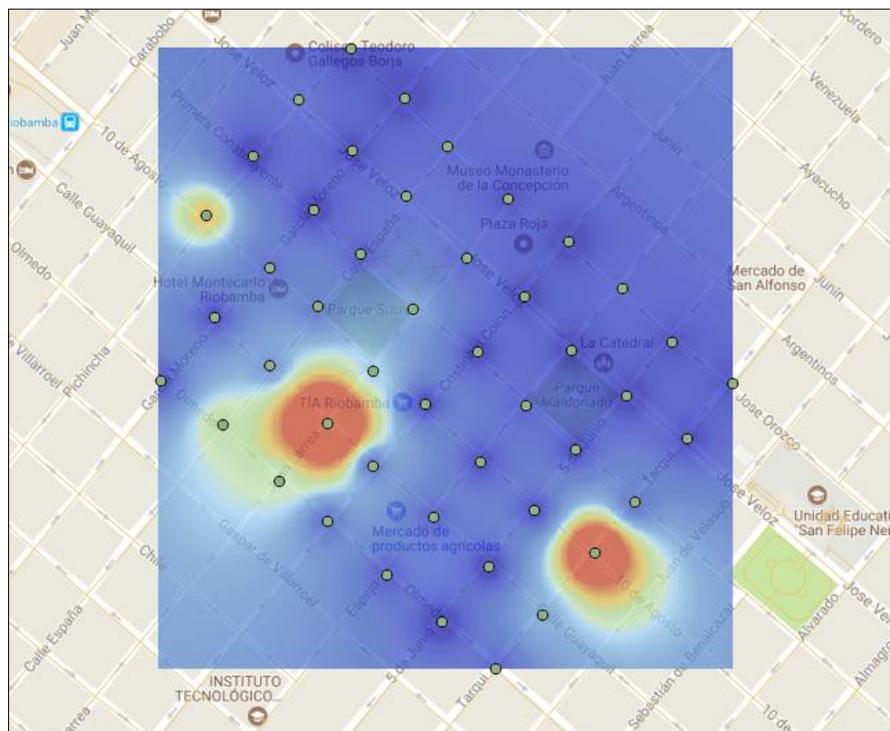
**Figura 26-3:** Mapa de Interpolación de Intensidad de Campo Eléctrico Máximo del nodo 1  
 Realizado por: Huilca, J. 2017



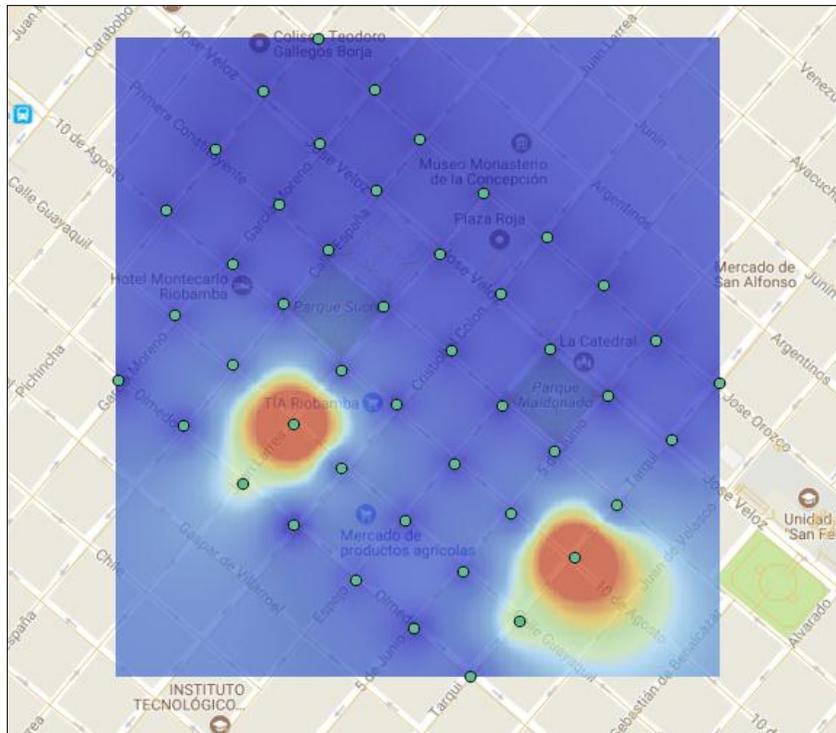
**Figura 27-3:** Mapa de Interpolación de Intensidad de Campo Eléctrico Promedio del nodo 1  
 Realizado por: Huilca, J. 2017



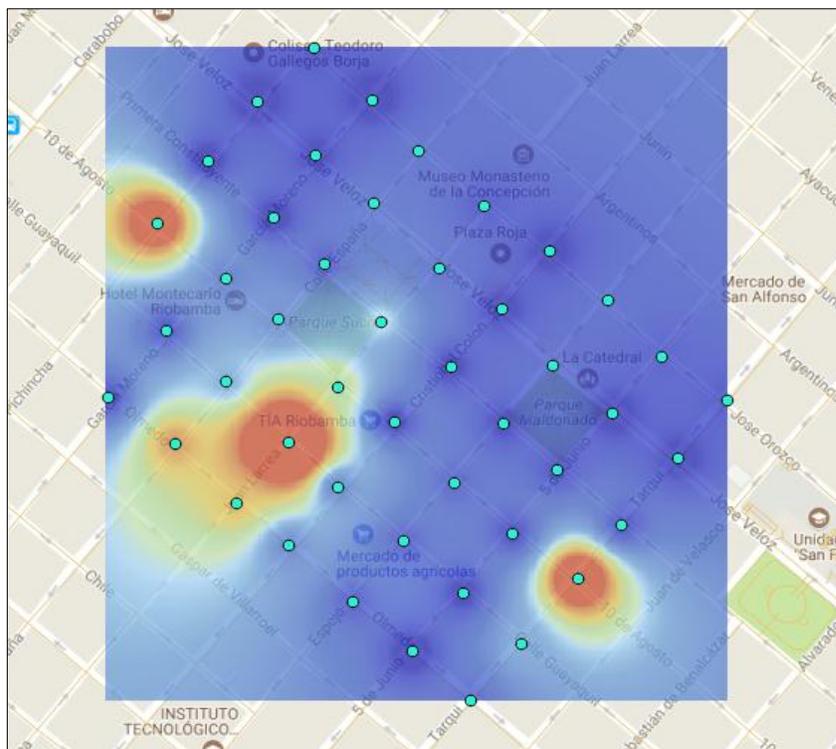
**Figura 28-3:** Mapa de Interpolación de Desviación Estándar de Intensidad de Campo Eléctrico del nodo 1  
**Realizado por:** Huilca, J. 2017



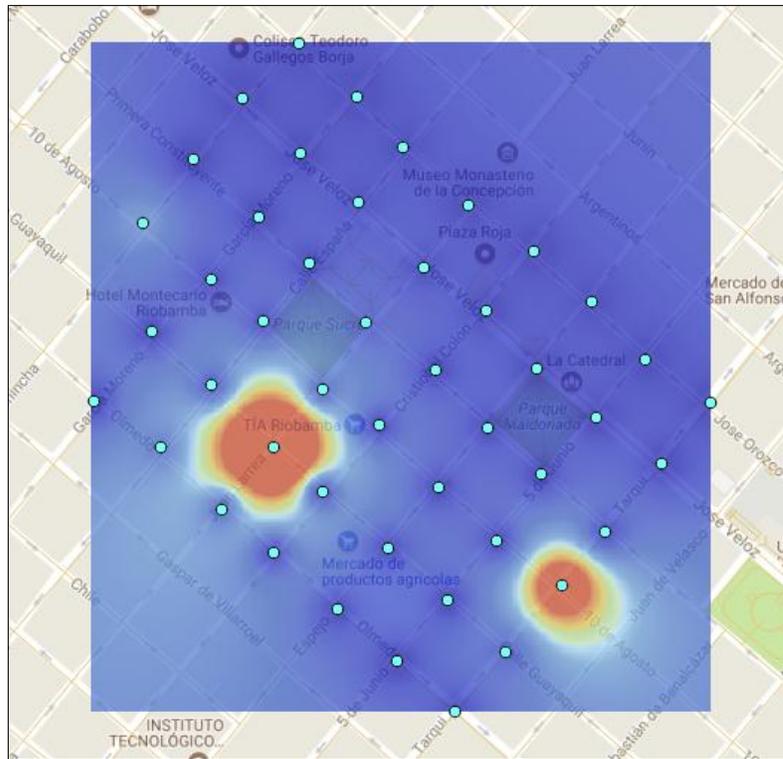
**Figura 29-3:** Mapa de Interpolación de Intensidad de Campo Magnético Máximo del nodo 1  
**Realizado por:** Huilca, J. 2017



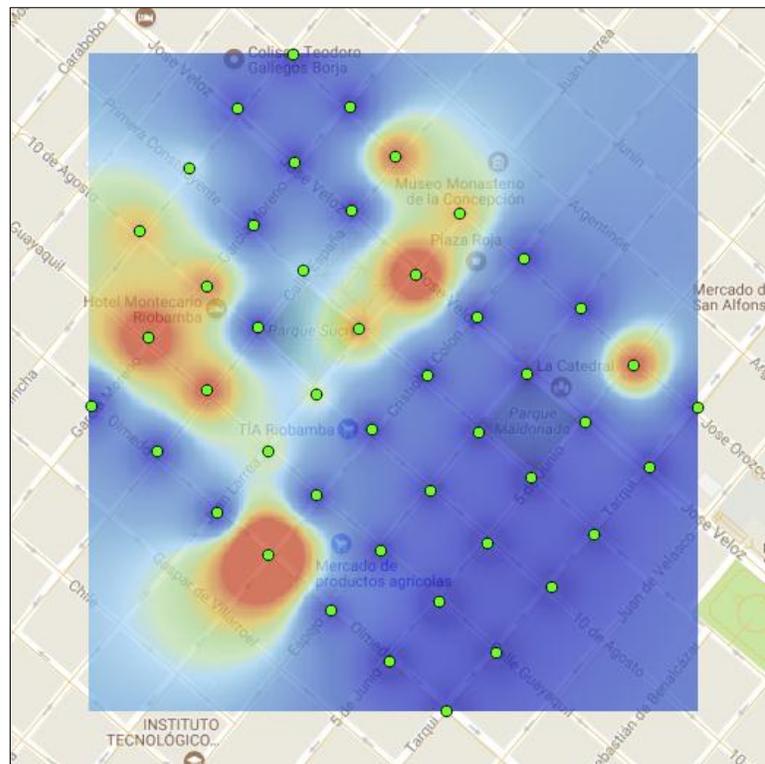
**Figura 30-3:** Mapa de Interpolación de Intensidad de Campo Magnético Promedio del nodo 1  
**Realizado por:** Huilca, J. 2017



**Figura 31-3:** Mapa de Interpolación de Desviación Estándar de Intensidad de Campo Magnético del nodo 1  
**Realizado por:** Huilca, J. 2017



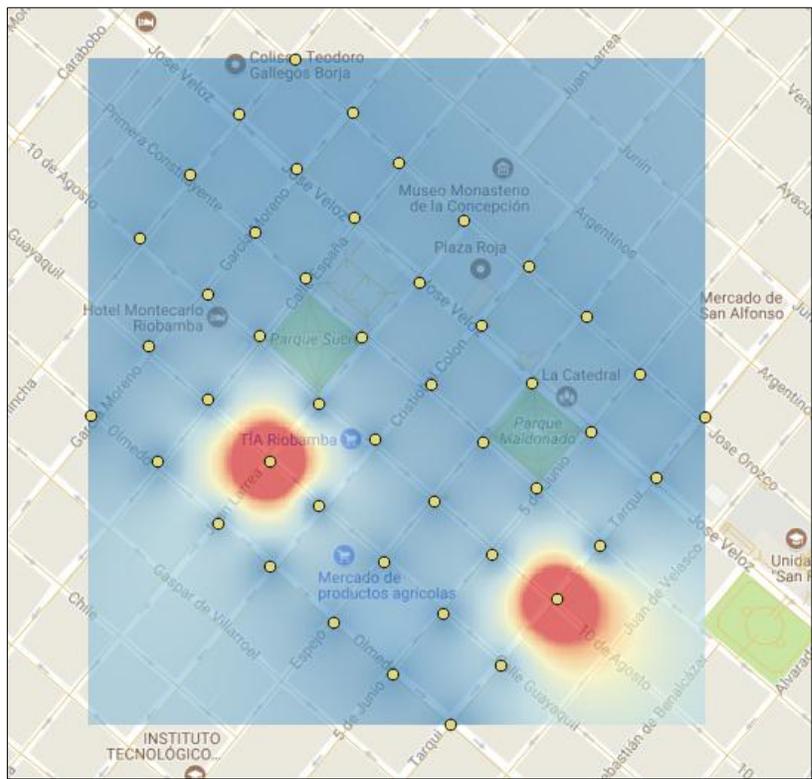
**Figura 32-3:** Mapa de Interpolación de Densidad de Potencia Máximo del nodo 1  
 Realizado por: Huilca, J. 2017



**Figura 33-3:** Mapa de Interpolación de Densidad de Potencia Promedio del nodo 1  
 Realizado por: Huilca, J. 2017

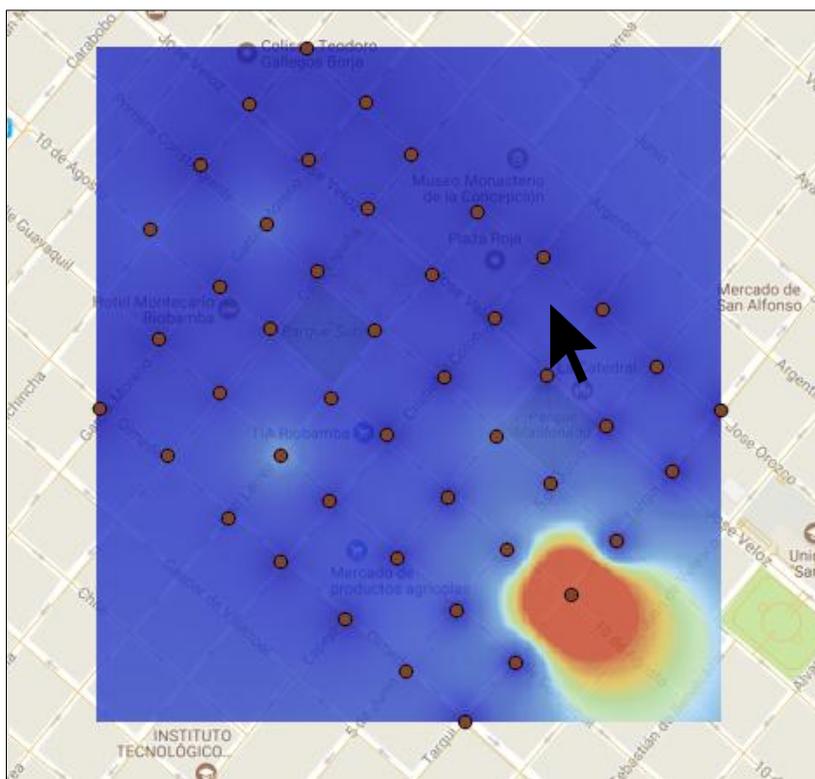


**Figura 34-3:** Mapa de Interpolación de Desviación Estándar de Densidad de Potencia del nodo 1  
 Realizado por: Huilca, J. 2017



**Figura 35-3:** Mapa de Interpolación de la SAR promedio del nodo 1  
 Realizado por: Huilca, J. 2017

Si deseamos visualizar el valor numérico de cualquier zona del mapa, y en cualquier mapa de interpolación que se desee, basta con ir a la barra de herramientas y escoger el ícono visualizador, lo que abrirá la misma ventana que con el valor puntual, pero esta vez solo contendrá el título de la capa y el valor interpolado. En la Figura 36-3 se toma como referencia el nodo 1 y las capas de Intensidad de Campo Eléctrico Máximo, Riobamba Mapa y Riobamba Lines, para poder visualizar el resultado numérico de la interpolación, se muestra con el ícono de mouse la zona que se escogió para ver el valor numérico; en la figura 37-3 se puede ver la ventana que se despliega junto con el valor numérico del punto elegido en el mapa.



**Figura 36-3:** Mapa de Interpolación de Intensidad de Campo Eléctrico Máximo con el punto elegido **Realizado por:** Huilca, J. 2017

Objeto espacial	Valor
0	944 - 951_E_MAX
944 - 951_E_MAX	
Banda 1	0.025922772
(Derivado)	

**Figura 35-3:** Valor numérico interpolado del punto elegido del mapa **Realizado por:** Huilca, J. 2017

## **CONCLUSIONES**

1. Al analizar los valores de Intensidad de Campo Eléctrico medidos con el equipo Narda SRM-3000 y visualizando los resultados en el software de Mapeo Electromagnético se obtuvo que el nodo 4 ubicado en las calles 10 de Agosto y Tarqui, es el de mayor concentración de Intensidad de Campo Eléctrico en la zona céntrica de la ciudad de Riobamba.
2. De la misma manera y con el mismo análisis anterior se tiene que el nodo 44 ubicado en las calles José Veloz y Pichincha, es el de menor concentración de Intensidad de Campo Eléctrico en la zona céntrica de la ciudad de Riobamba.
3. Con el software de Mapeo Electromagnético se puede ver que el nodo 29 ubicado en las calles Guayaquil y Juan Larrea, es el que presenta mayor concentración de SAR en la zona céntrica de la ciudad de Riobamba.
4. Con los valores obtenidos de Intensidad de Campo Eléctrico, Intensidad de Campo Magnético y Densidad de Potencia y comparándolos con las normativas ICNIRP y UIT T-K.52, se puede ver claramente que en la ciudad de Riobamba y en la banda de frecuencias de 944-951 MHz, no se sobrepasan los límites establecidos.
5. Las tablas comparativas de la SAR muestran que de igual manera que con la Intensidad de Campo Eléctrico, en ninguno de los 46 nodos se sobrepasa los límites establecidos por las normativas vigentes ICNIRP y UIT T-K.52.
6. Los datos obtenidos al finalizar el presente trabajo de Titulación serán utilizados en la Tesis Doctoral del Ing. Pedro Infante, además se procederá a realizar un artículo científico el cual se publicará en una revista especializada en el tema.

## **RECOMENDACIONES**

1. Antes de su utilización, el equipo Narda SRM-3000 necesita ser reiniciado y establecer todos sus valores en “cero” para así evitar datos erróneos.

2. Las mediciones con el equipo Narda SRM-3000 deben efectuarse acorde a las normativas acogidas por la ARCOTEL.
3. El equipo Narda SRM-3000 deberá estar configurado de manera correcta antes de su utilización, debido a su gran variedad de características.
4. El software de Mapeo Electromagnético es un programa completamente visual, por tal motivo no se puede manipular de ninguna manera los datos ingresados en dicho programa.
5. Se debería realizar el mismo procedimiento detallado en este trabajo de titulación aplicado a distintas zonas de la ciudad de Riobamba.
6. Realizar un monitoreo permanente de los valores de las radiaciones electromagnéticas en la ciudad de Riobamba

## BIBLIOGRAFÍA

1. **ADVANCED TEST EQUIPMENT CORP.** NARDA SAFETY TEST SOLUTIONS [en línea]. 2017.[Consulta: 10 julio 2017]. Disponible en: <http://www.atecorp.com/products/narda/srm-3000.aspx>
2. **Agencia de Regulación y Control de las Telecomunicaciones (ARCOTEL).** RESOLUCION 01-01-CONA TEL-2005 [en línea]. 2005. [Consulta: 22 junio 2017]. Disponible en: [http://www.arcotel.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2013/07/2005\\_001\\_01.pdf](http://www.arcotel.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2013/07/2005_001_01.pdf)
3. **ANTÓN, M.** “Tema 2”. Ondas Electromagnéticas. Madrid: Universidad Complutense de Madrid, [en línea]. [Consulta: 23 junio 2017] Disponible en: <http://biblioteca.ucm.es/tesis/bio/ucm-t26019.pdf>
4. **Balanis, C.** Advanced Engineering Electromagnetics, 2ª. Ed, New York- Estados Unidos: Editorial Wiley, 2010, Pp. 104-121, 280-300.
5. **CÁRDENAS, Sebastián.** Desarrollo de un modelo computacional mediante el software Virtual Family v2.0 para la obtención de la distribución de la SAR en el cuerpo humano generado por radiaciones electromagnéticas de los transmisores de radio, televisión y estaciones de base de celulares en la ciudad de Riobamba. (Tesis de pregrado). Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Facultad de Informática y Electrónica, Riobamba, Ecuador. 2016. p.18. Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/5052/1/98T00078.docx>
6. **CASTILLO, Luis.** Estudio de los niveles de radiación electromagnética no ionizantes producidas por las antenas de radio, televisión y estaciones base de telefonía celular en varias zonas de la ciudad de Riobamba. (Tesis de pregrado). Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Facultad de Informática y Electrónica, Riobamba, Ecuador. 2013. p.35. Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/3238/1/98T00040.pdf>
7. **HAYT, W; & BUCK, J.** Teoría Electromagnética. 7ma ed. México: McGraw-Hill. (2006), pp. 414-415
8. **INSTITUTO DE SALUD PUBLICA DE CHILE.** Sección Radiaciones ionizantes y no ionizantes [en línea]. Chile-Santiago. [Consulta: 05 noviembre 2016]. Disponible en:

[http://www.ispch.cl/saludocupacional/subdepto\\_ambientes\\_laborales/secciones/radiaciones](http://www.ispch.cl/saludocupacional/subdepto_ambientes_laborales/secciones/radiaciones)

- 9. INTERNATIONAL COMMISSION ON NON- IONIZING RADIATION PROTECTION (ICNIRP).** Recomendaciones para limitar la exposición a campos eléctricos, magnéticos y electromagnéticos (hasta 300 GHz) [en línea]. 1998. [Consulta: 1 agosto 2017]. Disponible en: <http://www.icnirp.org/cms/upload/publications/ICNIRPemfgdlesp.pdf>
  
- 10. INTERNATIONAL TELECOMMUNICATION UNION (UIT).** Orientación sobre el cumplimiento de los límites de exposición de las personas a los campos electromagnéticos [en línea]. 6ta ed. (2016), p. 1. [Consulta: 30 julio 2017]. Disponible en: <https://www.itu.int/rec/T-REC-K.52-201612-I/es>
  
- 11. NARDA SAFETY TEST SOLUTIONS.** SRM 3000 Selective Radiation Meter [en línea]. 2004.[Consulta: 2 agosto 2017]. Disponible en: <http://www.narda-sts.us/pdfs/SRM3000.pdf>
  
- 12. ORGANIZACIÓN MUNDIAL DE LA SALUD (OMS).** Clasificación estadística internacional de enfermedades y problemas relacionados con la salud [en línea]. 1994. [Consulta: 18 julio 2017]. Disponible en: <http://ais.paho.org/classifications/Chapters/pdf/Volume3.pdf>
  
- 13. POSAR, D.** Ingeniería de microonda, 5ª. Ed, New York-Estados Unidos: Editorial Wiley, 2010, Pp. 104-121, 280-300.
  
- 14. REAL, ALMUDENA.** Efectos Biológicos de las Radiaciones no ionizantes [en línea]. España-Madrid, (2014). [Consulta: 05 noviembre 2016]. Disponible en: [http://www.ucm.es/data/cont/media/www/pack-19202/efectos\\_d\\_las\\_RI\\_UCM\\_27\\_nov\\_2014\\_A\\_Real\\_pdf.pdf](http://www.ucm.es/data/cont/media/www/pack-19202/efectos_d_las_RI_UCM_27_nov_2014_A_Real_pdf.pdf)
  
- 15. TOMASI, Wayne.** Sistemas de Comunicaciones Electrónicas. 4ta ed. Phoenix Arizona: Prentice Hall, 2003, pp. 310-311,347,425.
  
- 16. VECCHIA, P.** Exposure to high frequency electromagnetic fields, biological effects and health consequences, Berlin-Alemania: ICNIRP, 2009, pp. 52-70

**17. ZÚRICH MEDTECH.** Sim4life solutions Manual. [Consulta: 22 de agosto del 2017].  
Disponibile en: <http://www.zurichmedtech.com/sim4life/computable-human-phantoms/vip-2>