



ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

MAESTRÍA EN REDES DE INFORMACIÓN Y CONECTIVIDAD

III PROMOCIÓN

*“EVALUACIÓN DEL ESPECTRO RADIOELECTRICO VHF/ UHF EN
PARROQUIAS URBANAS Y RURALES DEL CANTÓN LOJA PARA EL
DESPLIEGUE DE SISTEMAS DE RADIO COGNITIVA”*

ELABORADO POR:

ING. ANDY FABRICIO VEGA LEÓN

PROYECTO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE
MAGISTER EN REDES DE INFORMACIÓN Y CONECTIVIDAD

QUITO, AGOSTO DEL 201

CERTIFICACIÓN

Se certifica que el presente trabajo fue desarrollado por el Ing. Andy Fabricio Vega León, bajo mi supervisión, por lo que autorizo su presentación y defensa.

Sangolquí, agosto 2013

Ing. Rodrigo Silva, MSc.

DIRECTOR DEL PROYECTO

DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD

La presente tesis de grado titulada: “**EVALUACIÓN DEL ESPECTRO RADIOELECTRICO VHF/ UHF EN PARROQUIAS URBANAS Y RURALES DEL CANTÓN LOJA PARA EL DESPLIEGUE DE SISTEMAS DE RADIO COGNITIVA**”, es la consecuencia de una investigación de campo en las parroquias rurales del cantón Loja, cuyos resultados han permitido evidenciar la posibilidad de optimizar el uso del espectro radioeléctrico dentro de esta región en las bandas VHF/UHF para la aplicación de tecnologías de telecomunicaciones de Radio Cognitiva.

En virtud de esta declaración y respetando derechos intelectuales de terceros, cuyas fuentes se incorporan en la bibliografía, me responsabilizo del contenido, autenticidad y alcance científico del proyecto en mención.

Atentamente,

Andy Vega León

AUTORIZACIÓN

Yo, Andy Fabricio Vega León:

Autorizo a la Escuela Politécnica del Ejército, la publicación en la biblioteca virtual de la Institución, del trabajo denominado: “EVALUACIÓN DEL ESPECTRO RADIOELECTRICO VHF/ UHF EN PARROQUIAS URBANAS Y RURALES DEL CANTÓN LOJA PARA EL DESPLIEGUE DE SISTEMAS DE RADIO COGNITIVA”, cuyo contenido, trabajo y discernimientos es de mi exclusiva responsabilidad y autoría.

Sangolquí, agosto del 2013

Andy Vega León

AGRADECIMIENTO

A Dios omnipotente y eterno, por su bendita misericordia y amor absoluto ante la lucha y paciencia en el desarrollo de este trabajo.

A Mi esposa Gaby y mi madre Elsa, por su amor y apoyo incondicional en el desarrollo de mis estudios de cuarto nivel.

A la Escuela Politécnica del Ejército, especialmente al Ing. Rodrigo Silva Coordinador de la Maestría y Director del presente trabajo, por su total compromiso y respaldo en la consumación de esta tesis.

DEDICATORIA

A mi hermosa familia Gaby, Andyto y Martín por ser el pilar fundamental donde se soporta mi vida, por descubrir en mí una sonrisa en los momentos de arduo trabajo, por dejarme en mi vida un suspiro de amor eterno.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

ÍNDICE DE TABLAS.....	xii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xiii
GLOSARIO DE ACRÓNIMOS.....	xvi
RESUMEN.....	xviii
ABSTRACT.....	xix
EVALUACIÓN DEL ESPECTRO RADIOELECTRICO VHF/ UHF EN PARROQUIAS URBANAS Y RURALES DEL CANTÓN LOJA PARA EL DESPLIEGUE DE SISTEMAS DE RADIO COGNITIVA.....	- 1 -
1.1. Motivación y contexto	- 1 -
1.2. Planteamiento del Problema	- 2 -
1.2.1. Descripción del Problema	- 2 -
1.2.2. Preguntas de Investigación	- 3 -
1.3. Justificación e Importancia	- 4 -
1.4. Objetivos	- 5 -
1.4.1. Objetivo General.....	- 5 -
1.4.2. Objetivos específicos	- 5 -
1.5. Alcance de la investigación	- 6 -
CAPÍTULO II. MARCO CONCEPTUAL.....	- 8 -
2.1. Introducción.....	- 8 -
2.2. Cognitivo, va.-	- 9 -
2.3. Antecedentes y Desarrollo de Radio Cognitiva.-	- 10 -
2.4. Radio Cognitiva	- 11 -
2.4.1. Redes de Radio Cognitiva - CRN's	- 11 -
2.4.2. Radio Cognitiva (CR).-.....	- 12 -
2.4.2.1. Capacidad Cognitiva.....	- 14 -
2.4.2.2. Reconfigurabilidad	- 15 -
2.5. Arquitectura de una CRN	- 17 -
2.5.1. Red primaria.....	- 17 -

2.5.2. Red secundaria.....	- 18 -
2.6. Spectrum sensing: Detección de Energía.....	- 20 -
2.7. Estándar 802.22 – Wireless Rural Area Network (WRAN).....	- 21 -
2.7.1. Sistema WRAN	- 21 -
2.7.1.1 Topología.....	- 21 -
2.7.1.2 Capacidad del servicio.....	- 22 -
2.7.1.3 Cobertura.....	- 22 -
2.7.1.4 La interfaz aérea.....	- 22 -
2.7.1.5 La capa física (PHY).....	- 22 -
2.8.1.6 Medidas y manejo del espectro.....	- 27 -
2.8.1.7 Periodos de silencio para detectar usuarios legítimos	- 27 -
2.9 Espectro radioeléctrico	- 29 -
2.9.1 División del espectro radioeléctrico.....	- 29 -
2.9.2. Plan Nacional de Frecuencias	- 31 -
CAPÍTULO III: ANÁLISIS Y RESULTADOS DE LA EVALUACIÓN ESPECTRAL EN LAS PARROQUIAS RURALES DEL CANTON LOJA.....	
	- 33 -
3.1. Introducción.....	- 33 -
3.2. Atribución de Bandas Espectrales VHF/UHF según el Plan Nacional de Frecuencias.....	- 34 -
3.2.1. Bandas Espectrales VHF/UHF, Radio y Televisión.....	- 34 -
3.2.2. Concesión espectral para el Cantón Loja en la banda de 54MHz - 1000MHz	- 35 -
3.3. Proceso de la Evaluación espectral.....	- 40 -
3.3.1. Procedimiento.....	- 41 -
3.3.2. Métrica de Evaluación.....	- 46 -
3.3.3. Resultados de la Evaluación Espectral	- 47 -
<i>i. ESPECTROGRAMAS POR PARROQUIA.....</i>	- 47 -
EL CISNE	- 48 -
GUALEL.....	- 50 -
CHUQUIRIBAMBA.....	- 52 -
CHANTACO & TAQUIL	- 55 -
YANGANA.....	- 57 -
QUINARA.....	- 59 -
VILCABAMBA&SAN PEDRO DE VILCABAMBA	- 62 -

MALACATOS.....	- 64 -
SAN LUCAS	- 66 -
SANTIAGO	- 69 -
JIMBILLA.....	- 71 -
LOJA.....	- 73 -
ii. RESULTADOS DE OCUPACIÓN DEL ESPECTRO RADIOELÉCTRICO.....	- 76 -
Sub-banda 1: 54MHz a 108MHz	- 77 -
Sub-banda 2: 108MHz a 174MHz	- 80 -
Sub-banda 3: 174MHz a 216MHz	- 82 -
Sub-banda 4: 216MHz a 512MHz	- 84 -
Sub-banda 5: 512MHz a 698MHz	- 86 -
Sub-banda 6: 698MHz a 1000MHz	- 87 -
iii. DISPONIBILIDAD ESPECTRAL GENERAL	- 89 -
iv. ESPECTRO USADO Y ESPACIOS ESPECTRALES POR PARROQUIA	- 90 -
CAPÍTULO IV: MAPAS DE DISPONIBILIDAD ESPECTRAL	- 97 -
4.1. Mapas de Radiación	- 97 -
<i>VISTA AÉREA DE LAS PARROQUIAS DEL CANTON LOJA Y SU DISPOSICIÓN FRENTE A LAS ANTENAS DE RADIACIÓN DE RADIO, TELEVISIÓN Y DEMÁS SISTEMAS DE TELECOMUNICACION.</i> -	- 98 -
MAPAS DE RADIACIÓN.....	- 99 -
Sub-banda 6: 698MHz a 1000MHz.....	- 99 -
EL CISNE	- 99 -
GUALEL.....	- 99 -
CHANTACO	- 100 -
TAQUIL	- 100 -
CHUQUIRIBAMBA.....	- 101 -
SAN LUCAS	- 101 -
SANTIAGO	- 102 -
JIMBILLA.....	- 102 -
MALACATOS.....	- 103 -
VILCABAMBA/SAN PEDRO DE VILCABAMBA	- 103 -
QUINARA.....	- 104 -
YANGANA.....	- 104 -

LOJA.....	- 105 -
Sub-banda 5: 512MHz a 698MHz	- 105 -
EL CISNE	- 105 -
GUALEL.....	- 106 -
CHANTACO	- 106 -
TAQUIL	- 107 -
CHUQUIRIBAMBA.....	- 107 -
SAN LUCAS	- 108 -
SANTIAGO	- 108 -
JIMBILLA.....	- 109 -
MALACATOS.....	- 109 -
VILCABAMBA/SAN PEDRO DE VILCABAMBA	- 110 -
QUINARA.....	- 110 -
YANAGANA.....	- 111 -
LOJA.....	- 111 -
Sub-banda 4: 216MHz a 512MHz	- 112 -
EL CISNE	- 112 -
GUALEL.....	- 112 -
CHANTACO	- 113 -
TAQUIL	- 113 -
CHUQUIRIBAMBA.....	- 114 -
SAN LUCAS	- 114 -
SANTIAGO	- 115 -
JIMBILLA.....	- 115 -
MALACATOS.....	- 116 -
VILCABAMBA/SAN PEDRO DEVILCABAMBA	- 116 -
QUINARA.....	- 117 -
YANGANA.....	- 117 -
Sub-banda 3: 174MHz a 216MHz	- 118 -
EL CISNE	- 118 -
GUALEL.....	- 119 -
CHANTACO	- 119 -

TAQUIL	- 120 -
CHUQUIRIBAMBA.....	- 120 -
SAN LUCAS	- 121 -
SANTIAGO	- 121 -
JIMBILLA.....	- 122 -
MALACATOS.....	- 122 -
VILCABAMBA/SAN PEDRO DE VILCABAMBA	- 123 -
QUINARA.....	- 123 -
YANGANA.....	- 124 -
LOJA.....	- 124 -
Sub-banda 2: 108MHz a 174MHz	- 125 -
EL CISNE	- 125 -
GUALEL.....	- 125 -
CHANTACO	- 126 -
TAQUIL	- 126 -
CHUQUIRIBAMBA.....	- 127 -
SAN LUCAS	- 127 -
SANTIAGO	- 128 -
JIMBILLA.....	- 128 -
MALACATOS.....	- 129 -
VILCABAMBA/SAN PEDRO DE VILCABAMBA	- 129 -
QUINARA.....	- 130 -
YANGANA.....	- 130 -
LOJA.....	- 131 -
Sub-banda 1: 54MHz a 108MHz	- 131 -
EL CISNE	- 131 -
GUALEL.....	- 132 -
CHANTACO	- 132 -
TAQUIL	- 133 -
CHUQUIRIBAMBA.....	- 133 -
SAN LUCAS	- 134 -
SANTIAGO	- 134 -

JIMBILLA.....	- 135 -
MALACATOS.....	- 135 -
VILCABAMBA/SAN PEDRO DE VILCABAMBA	- 136 -
QUINARA.....	- 136 -
YANGANA.....	- 137 -
LOJA.....	- 137 -
CONCLUSIONES Y TRABAJO FUTURO.....	- 138 -
RECOMENDACIONES.....	- 140 -
REGISTRO BIBLIOGRÁFICO	- 142 -
FECHA DE ENTREGA DE LA TESIS.....	- 145 -

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Distribución del Espectro Radioeléctrico [13].....	- 30 -
Tabla 2: Bandas de Frecuencia para TV abierta en VHF y UHF [13].....	- 34 -
Tabla 3: Rango espectral para Radiodifusión FM [12].....	- 35 -
Tabla 4: Emisoras de Radio concesionadas en el Cantón Loja [14].....	- 37 -
Tabla 5: Emisoras de Televisión concesionadas en el Cantón Loja [14].....	- 38 -
Tabla 6: Atribución Espectral Otras Aplicaciones de Telecomunicaciones [12]	- 40 -
Tabla 7: Sub División de la Banda de Frecuencias 54MHZ – 1GHz	- 42 -
Tabla 8: Parámetros de configuración del Analizador de Espectros.....	- 43 -
Tabla 9: Parámetros constructivos Antena.....	- 43 -
Tabla 10: Ubicación geográfica de las Parroquias del Cantón Loja	- 44 -
Tabla 11: Resultados Ocupación espectral sub banda 1	- 79 -
Tabla 12: Resultados Ocupación espectral sub banda 2	- 82 -
Tabla 13: Resultados Ocupación espectral sub banda 3	- 83 -
Tabla 14: Resultados Ocupación espectral sub banda 4	- 85 -
Tabla 15: Resultados Ocupación espectral sub banda 5	- 87 -
Tabla 16: Resultados Ocupación espectral sub banda 6	- 89 -
Tabla 17: Disponibilidad de Espectro Para cada Parroquia	- 90 -
Tabla 18: Disponibilidad de Espectro Para el Cantón Loja	- 91 -

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Ciclo Cognitivo [1].....	- 14 -
Figura 2: Arquitectura de una CRN [1]	- 17 -
Figura 3: Patrón de Ocupación de Canales de TV [10]	- 23 -
Figura 4: Vínculo canales contiguos [10]	- 25 -
Figura 5: Supertrama CRN [10].....	- 26 -
Figura 6: Periodos de silencio [10]	- 28 -
Figura 7: Analizador de Espectros ANRITSU MT8212B	- 42 -
Figura 8: Antena Discono de Banda Ancha.....	- 43 -
Figura 9: Sitios de Monitoreo - Mapa aéreo	- 44 -
Figura 10: Instalación de equipos y monitoreo del espectro.....	- 45 -
Figura 11: Espectrograma –Banda de análisis 54MHz – 108MHz - El Cisne.....	- 48 -
Figura 12: Espectrograma –Banda de análisis 108MHz – 174MHz - El Cisne.....	- 49 -
Figura 13: Espectrograma –Banda de análisis 174MHz – 216MHz - El Cisne.....	- 49 -
Figura 14: Espectrograma –Banda de análisis 216MHz – 512MHz - El Cisne.....	- 49 -
Figura 15: Espectrograma –Banda de análisis 512MHz – 698MHz - El Cisne.....	- 50 -
Figura 16: Espectrograma –Banda de análisis 698MHz – 1000Mhz - El Cisne.....	- 50 -
Figura 17: Espectrograma –Banda de análisis 54MHz – 108MHz - Gualel.....	- 50 -
Figura 18: Espectrograma –Banda de análisis 108MHz – 174MHz - Gualel.....	- 51 -
Figura 19: Espectrograma –Banda de análisis 174MHz – 216MHz - Gualel.....	- 51 -
Figura 20: Espectrograma –Banda de análisis 216MHz – 512MHz - Gualel.....	- 51 -
Figura 21: Espectrograma –Banda de análisis 512MHz – 698MHz - Gualel.....	- 52 -
Figura 22: Espectrograma –Banda de análisis 698MHz – 1000MHz – Gualel	- 52 -
Figura 23: Espectrograma –Banda de análisis 54MHz – 108MHz - Chuquiribamba.....	- 53 -
Figura 24: Espectrograma –Banda de análisis 108MHz – 174MHz - Chuquiribamba....	- 53 -
Figura 25: Espectrograma –Banda de análisis 174MHz – 216MHz - Chuquiribamba....	- 53 -
Figura 26: Espectrograma –Banda de análisis 216MHz – 512MHz - Chuquiribamba....	- 54 -
Figura 27: Espectrograma –Banda de análisis 512MHz – 698MHz - Chuquiribamba....	- 54 -
Figura 28: Espectrograma –Banda de análisis 698MHz – 1000MHz - Chuquiribamba..	- 54 -

Figura 29: Espectrograma –Banda de análisis 54MHz – 108MHz - Chantaco&Taquil..	- 55 -
Figura 30: Espectrograma –Banda de análisis 108MHz – 174MHz - Chantaco&Taquil	- 55 -
Figura 31: Espectrograma –Banda de análisis 174MHz – 216MHz - Chantaco & Taquil-	56 -
Figura 32: Espectrograma –Banda de análisis 216MHz – 512MHz - Chantaco & Taquil-	56 -
Figura 33: Espectrograma –Banda de análisis 512MHz – 698MHz - Chantaco&Taquil	- 56 -
Figura 34: Espectrograma –Banda de análisis 698MHz – 1000MHz - Chantaco&Taquil-	57 -
Figura 35: Espectrograma –Banda de análisis 54MHz – 108MHz - Yangana	- 57 -
Figura 36: Espectrograma –Banda de análisis 108MHz – 174MHz - Yangana	- 58 -
Figura 37: Espectrograma –Banda de análisis 108MHz – 174MHz - Yangana	- 58 -
Figura 38: Espectrograma –Banda de análisis 216MHz – 512MHz - Yangana	- 58 -
Figura 39: Espectrograma –Banda de análisis 512MHz – 698MHz - Yangana	- 59 -
Figura 40: Espectrograma –Banda de análisis 698MHz – 1000MHz - Yangana	- 59 -
Figura 41: Espectrograma –Banda de análisis 54MHz – 108MHz - Quinara.....	- 60 -
Figura 42: Espectrograma –Banda de análisis 108MHz – 174MHz - Quinara.....	- 60 -
Figura 43: Espectrograma –Banda de análisis 174MHz – 216MHz - Quinara.....	- 61 -
Figura 44: Espectrograma –Banda de análisis 216MHz – 512MHz - Quinara.....	- 61 -
Figura 45: Espectrograma –Banda de análisis 512MHz – 698MHz - Quinara.....	- 61 -
Figura 46: Espectrograma –Banda de análisis 698MHz – 1000MHz - Quinara.....	- 61 -
Figura 47: Espectrograma –Banda de análisis 54MHz – 108MHz - Vilcabamba&San Pedro de Vilcabamba	- 62 -
Figura 48: Espectrograma –Banda de análisis 108MHz – 174MHz - Vilcabamba&San Pedro de Vilcabamba	- 62 -
Figura 49: Espectrograma –Banda de análisis 174MHz - 216MHz - Vilcabamba&San Pedro de Vilcabamba	- 63 -
Figura 50: Espectrograma –Banda de análisis 216MHz – 512MHz - Vilcabamba&San Pedro de Vilcabamba	- 63 -
Figura 51: Espectrograma –Banda de análisis 512MHz – 698MHz - Vilcabamba&San Pedro de Vilcabamba	- 63 -
Figura 52: Espectrograma –Banda de análisis 698MHz – 1000MHz - Vilcabamba&San Pedro de Vilcabamba	- 64 -
Figura 53: Espectrograma –Banda de análisis 54MHz – 108MHz - Malacatos	- 64 -

Figura 54: Espectrograma –Banda de análisis 108MHz – 174MHz - Malacatos	- 65 -
Figura 55: Espectrograma –Banda de análisis 174MHz – 216MHz – Malacatos	- 65 -
Figura 56: Espectrograma –Banda de análisis 216MHz – 512MHz - Malacatos	- 65 -
Figura 57: Espectrograma –Banda de análisis 512MHz – 698MHz - Malacatos	- 66 -
Figura 58: Espectrograma –Banda de análisis 698MHz – 1000MHz - Malacatos	- 66 -
Figura 59: Espectrograma –Banda de análisis 54MHz – 108MHz - San Lucas	- 67 -
Figura 60: Espectrograma –Banda de análisis 108MHz – 174MHz - San Lucas	- 67 -
Figura 61: Espectrograma –Banda de análisis 174MHz - 216MHz - San Lucas.....	- 67 -
Figura 62: Espectrograma –Banda de análisis 216MHz – 512MHz- San Lucas	- 68 -
Figura 63: Espectrograma –Banda de análisis 512MHz – 698MHz - San Lucas	- 68 -
Figura 64: Espectrograma –Banda de análisis 698MHz – 1000MHz - San Lucas	- 68 -
Figura 65: Espectrograma –Banda de análisis 54MHz – 108MHz - Santiago	- 69 -
Figura 66: Espectrograma –Banda de análisis 108MHz – 174MHz - Santiago	- 69 -
Figura 67: Espectrograma –Banda de análisis 174MHz – 216MHz - Santiago	- 70 -
Figura 68: Espectrograma –Banda de análisis 216MHz – 512MHz - Santiago	- 70 -
Figura 69: Espectrograma –Banda de análisis 512MHz – 698MHz - Santiago	- 70 -
Figura 70: Espectrograma –Banda de análisis 698MHz – 1000MHz - Santiago	- 71 -
Figura 71: Espectrograma –Banda de análisis 54MHz – 108MHz - Jimbilla.....	- 71 -
Figura 72: Espectrograma –Banda de análisis 108MHz – 174MHz - Jimbilla.....	- 72 -
Figura 73: Espectrograma –Banda de análisis 174MHz – 216MHz - Jimbilla.....	- 72 -
Figura 74: Espectrograma –Banda de análisis 216MHz – 512MHz - Jimbilla.....	- 72 -
Figura 75: Espectrograma –Banda de análisis 512MHz – 698MHz - Jimbilla.....	- 73 -
Figura 76: Espectrograma –Banda de análisis 698MHz – 1000MHz - Jimbilla.....	- 73 -
Figura 77: Espectrograma –Banda de análisis 54MHz – 108MHz - Loja	- 74 -
Figura 78: Espectrograma –Banda de análisis 108MHz – 174MHz - Loja	- 74 -
Figura 79: Espectrograma –Banda de análisis 174MHz – 216MHz - Loja	- 74 -
Figura 80: Espectrograma –Banda de análisis 216MHz – 512MHz - Loja	- 75 -
Figura 81: Espectrograma –Banda de análisis 512MHz – 698MHz - Loja	- 75 -
Figura 82: Espectrograma –Banda de análisis 698MHz – 1000MHz - Loja	- 75 -
Figura 83: Porcentaje de Espectro Ocupado por sub banda de estudio para cada parroquia del Cantón Loja.....	- 95 -

Figura 84: Cuadro de Frecuencias Libres y Ocupadas para las parroquias urbanas y rurales del Cantón Loja, rango 54MHz - 1GHz..... - 96 -

GLOSARIO DE ACRÓNIMOS

ADSL	Asymmetric Digital Subscriber Line
AM	Amplitud Modulada
BS	Base Station
BTS	Base-station Transceiver System
CCIR	Consejo Consultivo Internacional de comunicaciones de Radio
CRN	Cognitive Radio Network
CPE	Consumer Premise Equipment
DSA	Dynamic Spectrum Access Network
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers
ITU	International Telecommunication Union
FFT	Fast Fourier Transform
FM	Frecuencia Modulada
MAC	Medium Access Control
OFDMA	Orthogonal Frequency-Division Multiple Access
PNF	Plan Nacional de Frecuencias

QAM	Quadrature amplitude modulation
QPSK	Quadrature phase-shift keying
RC	Radio Cognitiva
SR	Software Radio
SDR	Software Defined Radio
SNR	Signal to Noise Ratio
TDT	Televisión Digital Terrestre
UHF	Ultra High Frequency
VHF	Very High Frequency
WRAN	Wireless Rural Area Network

RESUMEN

De los diferentes procesos que han influenciado el desarrollo de los sistemas de telecomunicaciones inalámbricos a nivel global, siempre el principal recurso natural para su actuación se ha visto afectado; la paulatina demanda, sobreutilización y subutilización espectral son factores que han denotado a nivel gubernamental y de investigación una búsqueda de soluciones legales y tecnológicas para optimizar su uso. Los sistemas de Radio Cognitiva son un ejemplo tecnológico nacido para brindar una alternativa de comunicación frente a los problemas presentados por la gestión del espectro radioeléctrico. La capacidad de poder coexistir junto con otras señales radioeléctricas emitidas desde múltiples fuentes y que, desde el punto de vista legal poseen el permiso correspondiente para hacerlo, brindan a esta tecnología una prometedora y eventual posibilidad de aplicación en aquellos sectores donde las diferentes frecuencias concesionadas se encuentran subutilizadas o simplemente en desuso. Bajo este argumento, el documento aborda una evaluación del estado actual del uso de las bandas de frecuencia entre los 54 MHz a los 1000 MHz dentro del cantón Loja. Específicamente se visitó cada una de las trece parroquias rurales y cuatro parroquias urbanas del cantón en diferentes horarios y por varios días, donde se monitoreó el espectro radioeléctrico insistentemente con el objetivo de conocer su real actividad; de esta forma los resultados indican un valor del 86,72% de desocupación o subutilización generando cabida a una potencial posibilidad de aplicar redes de radio cognitiva. Observar de una forma gráfica y didáctica estos resultados de ocupación espectral también es parte de la presente investigación

PALABRAS CLAVE: Radio, Cognitiva, Espectro, Radioeléctrico, Frecuencia

ABSTRACT

Of the various processes that have influenced the development of wireless telecommunications systems worldwide, always the main natural resource for their performance has been affected, the gradual demand, over and under utilization are factors that have spectral denoted at governmental and research a search for legal and technological solutions to optimize their use. Cognitive radio systems are a technological example born to provide an alternative communication address the problems presented by the management of the radio spectrum. The ability to coexist with other radio signals emitted from multiple sources and that from the legal point of view pose a permit to do so, give this technology a promising and potential applicability in sectors where concessions are different frequencies are underutilized or simply obsolete. Under this argument, the paper discusses an evaluation of the current status of use of the frequency bands between 54 MHz to 1000 MHz in Loja Canton. Specifically, we visited each of the thirteen rural parishes and four urban parishes of the canton at different times and for several days, where the spectrum was monitored repeatedly in order to know their actual activity, in this way the results indicate a value of 86 , 72% or underutilization vacancy generating accommodate a potential possibility of cognitive radio networks. Observe in a graphical and educational spectrum occupancy these results is also part of this research.

KEYWORDS: Radio, Cognitive, Spectrum, Radio, Frequency

EVALUACIÓN DEL ESPECTRO RADIOELECTRICO VHF/ UHF EN
PARROQUIAS URBANAS Y RURALES DEL CANTÓN LOJA PARA EL
DESPLIEGUE DE SISTEMAS DE RADIO COGNITIVA

1.1. Motivación y contexto

En el mundo actual, la intención de incorporar nuevas tecnologías de comunicación que permitan un eficiente servicio de conectividad a los usuarios y donde el optimizar el uso del espectro radioeléctrico sea la principal característica de despliegue, se ha convertido en un reto para los especialistas de telecomunicaciones. Según varios estudios realizados, es evidente que el uso del espectro no es homogéneo ni tampoco eficiente [1]. Existen varias bandas del espectro que se encuentran ampliamente congestionadas y excesivamente ocupadas, contrastando fuertemente con otras regiones del espectro que se hallan subutilizadas e incluso completamente desocupadas.

En ese contexto, la tecnología de radio cognitiva ha surgido muy recientemente como una prometedora respuesta a los problemas existentes entre la creciente demanda de espectro y su actual subutilización, constituyendo así una esperanzadora solución a la denominada escasez del espectro radioeléctrico. La idea básica de este innovador paradigma consiste en permitir un acceso temporal y oportunista al espectro por parte de usuarios sin licencia, siempre y cuando éste no esté siendo utilizado por los usuarios legítimos con licencia y ello no conlleve niveles de interferencia inaceptables sobre dichos usuarios [1]. Si bien resulta conceptualmente sencillo, en la práctica este principio de operación conlleva un conjunto de dificultades técnicas que todavía necesitan soluciones completamente satisfactorias. El desarrollo de soluciones útiles en

el ámbito práctico requiere de estudios de ocupación espectral en escenarios realistas que proporcionen la información necesaria para que las soluciones desarrolladas den una respuesta satisfactoria a las situaciones planteadas en el mundo real.

1.2. Planteamiento del Problema

1.2.1. Descripción del Problema

De acuerdo al Plan Nacional de Frecuencias del Ecuador, prácticamente el total de las bandas para el desarrollo de comunicaciones vía inalámbrica se encuentran ya asignadas. De esta manera, la limitada disponibilidad espectral y el uso ineficiente del espectro, generan la necesidad de buscar nuevas alternativas tecnológicas de comunicación, las cuales puedan coexistir operando en bandas de frecuencia, que en principio han sido asignados para uso exclusivo de emisoras de radio y televisión.

Sin generar o tener nuevas opciones de comunicación, la mayoría de los proveedores de servicios de internet en la ciudad de Loja vienen operando bajo las prestaciones de la tecnología 802.11; esto ha generado una elevada contaminación electromagnética en esta porción del espectro ocasionando un aumento en la deficiencia de los enlaces de comunicación y consecuente baja disponibilidad y calidad de los servicios. Por otra parte, aunque la Corporación Nacional de Telecomunicaciones, opera redes con tecnología CDMA 450¹ en una buena parte del territorio nacional para el despliegue de servicios inalámbricos de telefonía fija, se hace necesaria la utilización de

¹ CDMA450 es una solución 3G que combina los servicios de comunicación inalámbrica CDMA2000 con cobertura de red asequible con base en la banda de frecuencia 450 MHz; la ventaja de utilizar los 450 MHz es la gran propagación de la señal con la utilización de una sola estación base; se calcula que sin ningún tipo de obstáculo una estación base CDMA2000 en los 450 MHz, podría cubrir hasta 80 kilómetros.

tecnologías de radio cognitiva que permitan implementar servicios de telecomunicaciones inalámbricas operando en bandas VHF y UHF cuyas ventajas intrínsecas de propagación pueden ofrecer aplicaciones con alto grado de calidad de servicio y amplia cobertura.

De allí que, al iniciar el estudio de este tipo de soluciones, se requiere primeramente realizar una evaluación de la ocupación del espectro radioeléctrico asignado a los servicios de radiodifusión y televisión abierta en localidades urbanas y rurales del cantón Loja, con el fin de que en proyectos posteriores se pueda plantear soluciones específicas para implementar servicios de telecomunicaciones con tecnologías de redes de radio cognitiva.

1.2.2. Preguntas de Investigación

¿Cuál es la disponibilidad de canales de radio VHF/UHF² utilizado en servicios de radio y televisión en el cantón Loja?

¿Es posible utilizar tecnologías de redes de radio cognitiva para ofrecer servicios de telecomunicaciones en localidades urbanas y rurales del cantón Loja.

² *VHF- MUY ALTAS FRECUENCIAS:* Gama de Frecuencia: de 30 MHz a 300 MHz. - Longitud de Onda: de 10 a 1 metros - Características: prevalentemente propagación directa, esporádicamente propagación Ionosférica o Troposférica - Uso Típico: Enlaces de radio a corta distancia, Televisión, Radiodifusión en Frecuencia Modulada.

UHF- ULTRA ALTAS FRECUENCIAS: Gama de Frecuencia: de 300 MHz a 3.000 MHz - Longitud de Onda: de 1 metro a 10 centímetros - Características: Exclusivamente propagación directa, posibilidad de enlaces por reflexión o a través de satélites artificiales - Uso Típico: Enlaces de radio, Radar, Ayuda a la navegación aérea, Televisión.

1.3. Justificación e Importancia

En todo el Ecuador y específicamente en la ciudad de Loja, la activa demanda de mayores anchos de banda en el acceso inalámbrico ha dado lugar a la saturación del espectro radioeléctrico y con mayor énfasis en bandas no licenciadas como los 2,4GHz e incluso 5,7GHz. A nivel local no existe la búsqueda de segmentos con aptitud de vacancias en zonas del espectro. Tecnologías de radiación donde la frecuencia es cada vez más alta tampoco parecen ser alternativas de comunicación idóneas, lamentablemente, aumenta la atenuación de espacio libre y se vuelven críticas las pérdidas por trayectos múltiples y desvanecimiento, consecuentemente, disminuye el área de cobertura de la celda, la tasa binaria efectiva de transmisión y la disponibilidad efectiva del enlace.

La posibilidad de identificar y contar con porciones del espectro radioeléctrico subutilizadas para la comunidad urbana y rural del cantón Loja podría viabilizar el despliegue de nuevas redes y servicios de comunicación basadas en tecnologías de coexistencia. Según al Plan Nacional de Frecuencias del país, las bandas de frecuencia para servicios de Radiodifusión y televisión en el cantón Loja se encuentran atribuidas a diferentes operadores, finalmente, por su elevado rango espectral, se desconoce si el uso de este espectro es equilibrado y eficiente; dicho de otra manera, la posibilidad de encontrar bandas altamente congestionadas o definitivamente subutilizadas es altamente probable. De esta manera, la oportunidad de análisis del espectro radioeléctrico sobre la zona urbana y rural del Cantón Loja abre un sinnúmero de posibilidades con miras a la optimización en el uso de este recurso y donde la técnica de Radio Cognitiva se podría

convertir en una tecnología útil para el establecimiento de sistemas de comunicación inalámbrica debido a sus características de coexistencia en ambientes espectrales ya ocupados.

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo General

- Investigar la disponibilidad del espectro radioeléctrico VHF/UHF en las bandas de frecuencia ubicadas entre 54 -1000 MHz en localidades urbanas y rurales del cantón Loja para el despliegue de tecnologías basadas en radio cognitiva.

1.4.2. Objetivos específicos

- Revisar la asignación de canales de radio y televisión efectuadas por la SENATEL en el cantón Loja.
- Realizar un levantamiento espectral en las bandas de frecuencia entre 54 – 1000 MHz en la ciudad de Loja y sus trece parroquias
- Representar de manera gráfica mediante un mapa de la región la ocupación espectral de canales de radio y televisión en el cantón Loja.
- Analizar las posibilidades reales de implementación de tecnologías de radio cognitiva en Loja y sus alrededores.

1.5. Alcance de la investigación

El presente proyecto se centra en la ejecución de la evaluación del espectro radioeléctrico VHF/ UHF en las parroquias rurales de San Pedro de Vilcabamba, Vilcabamba, Malacatos, Yangana, Gualiel, Chantaco, Taquil, Chuquiribamba, Santiago, San Lucas, El Cisne, Jimbilla y Quinara además de las parroquias urbanas Sucre, El Sagrario, El Valle y San Sebastián pertenecientes al cantón Loja mediante el uso de equipos de medición. El mencionado estudio será efectuado bajo un proceso de medición y análisis estadístico, visitando las zonas involucradas en el estudio, efectuando múltiples mediciones de la radiación electromagnética generada por la propagación de ondas operando en bandas de radiodifusión y televisión asignadas para el cantón Loja.

Para llevar a cabo el presente estudio, se utilizará un analizador de espectros conectado a un filtro pasa banda y antenas tipo yagui - uda y discónica. Este analizador contará con la disponibilidad de canales analógicos y digitales, ancho de banda analógico de 500MHz, bajo nivel de ruido, pre- amplificador interno y frecuencia de muestreo analógico 2,5 GS/s. La Gama de Frecuencias disponible en el equipo de medida será de 50 KHz - 3GHz. Además se procederá a la utilización de software Radio Mobile para la descripción de las zonas de análisis.

Al final de la evaluación espectral se podrá contar con un documento detallado: descripción, tablas, fotografías y mapas. Los mapas elaborados podrán identificar en cada una de la zonas de medida el grado de disponibilidad del espectro radioeléctrico,

además, se enfatizará cual o cuales parroquias disponen de mayor ventaja frente a la existencia de porciones electromagnéticas libres en la banda de los 54MHz a 1000 MHz. Los mapas elaborados estarán georeferenciados resaltando los pueblos y sitios donde la infraestructura de telecomunicaciones está desplegada en el cantón Loja.

CAPÍTULO II. MARCO CONCEPTUAL

2.1. Introducción.

En los últimos años y a nivel mundial la masiva proliferación de los sistemas de telecomunicaciones no da tregua. La intensa necesidad de utilizar la comunicación como una herramienta primordial para el desarrollo de los pueblos y sociedades ha permitido que nuevas y diferentes tecnologías de telecomunicación se ejecuten. Debido a los diferentes escenarios sobre los cuales se desenvuelven las comunicaciones, servicios como la transmisión de voz, datos y video se distribuyen a través de medios cableados o inalámbricamente, habiéndose perfeccionado los materiales y métodos para su transmisión. Esto ha significado que los recursos técnicos, tecnológicos y de infraestructura se vean explotados a gran escala llegando incluso a saturar algunos de ellos.

Las comunicaciones inalámbricas son quizá las más vulnerables frente a la disponibilidad de estos recursos, la vacancia del espectro radio eléctrico se ha convertido quizá en el elemento más importante para el despliegue de este tipo de sistemas, esto debido a su continua saturación y actual escases para la aplicación de nuevas tecnologías de comunicación. Por otra parte y como una acción para poder contrarrestar la inminente repleción de este recurso, la tecnología Radio Cognitiva (RC) del ingles *Cognitive Radio* se ha identificado en los últimos tiempos como una promisoría salida a este problema, es decir, la creciente demanda de espectro y su actual subutilización. La idea básica subyacente de este nuevo concepto consiste en permitir que usuarios sin licencia puedan acceder de manera oportunista a ciertas bandas del espectro temporalmente desocupadas por los usuarios con licencia, siempre y cuando dichas transmisiones no den lugar a

interferencias perjudiciales sobre los usuarios legítimos. Este paradigma promete importantes beneficios en términos de eficiencia de uso del espectro.

Hoy en día las redes inalámbricas están reguladas por una política fija de asignación del espectro radioeléctrico, es decir, el espectro está regulado por organismos gubernamentales y se asigna a titulares con licencia o a servicios, a largo plazo y para grandes áreas geográficas.

Con la regulación actual, solamente el titular de la licencia puede acceder al espectro, quedando terminantemente prohibido su uso por parte de entidades aun cuando el titular de la licencia no haga uso de los recursos espectrales de que dispone. Desafortunadamente, una gran parte del espectro se utiliza esporádicamente y de forma desigual dejando partes significativas del mismo libre de uso [1].

2.2. Cognitivo, va.-

(*De cognición*) Adj. Perteneciente o relativo al conocimiento³.

Lo cognitivo es aquello que corresponde o que está conexo al conocimiento. Éste, a su vez, es el cúmulo de información que se dispone gracias a un proceso de aprendizaje o a la experiencia. Según Gonzalo Quiroz Martínez, lo cognitivo es: *“Proceso exclusivamente intelectual que precede al aprendizaje, las capacidades cognitivas solo se aprecian en la acción, es decir primero se procesa información y después se analiza, se argumenta, se comprende y se produce nuevos enfoques”*.

³ (Real Academia Española, *Diccionario* de la REA, 2012)

2.3. Antecedentes y Desarrollo de Radio Cognitiva.-

La necesidad de innovación en diferentes sistemas de telecomunicación demandadas por las nuevas necesidades sociales, provocó la intromisión de novedosos conceptos y tecnologías para soportar el avance de las comunicaciones y específicamente en los sistemas inalámbricos. Así, Joseph Mitola III, en 1991 acuña el término SR (*Software Radio o Radio Software*) con el objeto de referirse a un tipo de radios reprogramables o reconfigurables, equipos donde un mismo elemento de hardware es capaz de realizar diferentes funciones, en distintos instantes de tiempo, con la introducción de cambios en su configuración mediante software [5]. *En un sistema SR la digitalización de la señal se realiza en la antena; sin embargo, el estado actual de la tecnología hace que un sistema SR ideal no se pueda implementar* y por tanto se define el concepto de SDR (*Software-Defined Radio*) cómo un radio sustancialmente definido en software y cuyo comportamiento en capa física puede ser significativamente alterado a través de cambios en dicho software [6]. Dicho de otra manera, un mismo elemento de hardware es capaz de realizar diferentes funciones, en distintos instantes de tiempo, con la introducción de cambios en su configuración mediante software. El concepto SDR surge para solucionar parcialmente inconvenientes de compatibilidad e interoperabilidad en redes inalámbricas, ya que define un conjunto de procedimientos y técnicas orientadas a realizar el procesamiento de señales de información por medio de un dispositivo de propósito general, el cual puede ser modificado mediante software logrando así un cambio dinámico, automático y eficiente entre tecnologías sin tener que incurrir en gastos/costos por concepto de nuevos equipos y evitando incrementos considerables en el tamaño de éstos [6].

Con la anteriormente expuesto, en el artículo *Cognitive Radio: Making Software Radios More Personal* de Joseph Mitola III y Gerald Q. Maguire, Jr., se topa por primera ocasión el concepto de Radio Cognitiva, provocando una diferente forma de abordar la comunicación inalámbrica que más tarde Mitola III describió como "*el punto en el cual los terminales inalámbricos y las redes relacionadas son, en términos computacionales, lo suficientemente inteligentes con respecto a los recursos de radio y las correspondientes comunicaciones de ordenador a ordenador como para detectar las necesidades eventuales de comunicación del usuario como una función del contexto de uso y proporcionarle los recursos de radio y servicios inalámbricos más adecuados a ese mismo instante.*" [3]. Fue pensada como un objetivo hacia el cual debería evolucionar una plataforma de radio definida por software . Debía ser un sistema inalámbrico totalmente reconfigurable de "Caja negra" que cambiase sus parámetros de comunicación automáticamente dependiendo de las demandas de la red y/o los usuarios.

2.4. Radio Cognitiva

2.4.1. Redes de Radio Cognitiva - CRN's

Las CRNs, también conocidas como redes de acceso dinámico al espectro (DSANs, *Dynamic Spectrum Access Networks*), proporcionarán un gran ancho de banda a los usuarios móviles a través de arquitecturas heterogéneas inalámbricas y técnicas de acceso dinámico al espectro. El uso ineficiente del espectro existente puede mejorarse a través del acceso oportunista en bandas con licencia por usuarios secundarios o sin licencia, dándose por hecho que no se crearán interferencias. Sin embargo las CRNs

imponen grandes retos a la investigación debido a los problemas técnicos que entrañan, donde algunos de ellos todavía requieren de soluciones totalmente satisfactorias.

El concepto clave que permite el desarrollo de este tipo de redes es la tecnología Cognitive Radio (CR). Las técnicas CR proporcionan la capacidad para usar o compartir el espectro de forma utilitaria. Las técnicas de acceso dinámico al espectro permiten a las CRNs operar en el mejor canal disponible. Más concretamente, la tecnología CR permitirá a los usuarios:

- i. Determinar qué porciones del espectro están disponibles y detectar la presencia de los usuarios con licencia cuando un usuario secundario esté operando en dicha banda (detección de espectro)
- ii. Seleccionar el mejor canal disponible (gestión del espectro),
- iii. Coordinar el acceso a los canales disponibles con otros usuarios secundarios (compartición del espectro),
- iv. Abandonar el canal cuando se detecte un usuario con licencia (movilidad de espectro).

La tecnología CR es la clave tecnológica que permite a una CRN utilizar el espectro de forma dinámica.

2.4.2. Radio Cognitiva (CR).-

La radio cognitiva es una idea presentada por Joseph Mitola III en 1998 pensada como una plataforma para orientar el camino de la evolución de las comunicaciones inalámbricas [3].

El concepto de Cognitive Radio se define como:

Una radio que cambia sus parámetros de transmisión basándose en la interacción con el medio [1].

El primer paso para la creación de un dispositivo CR es el desarrollo de técnicas que permitan la detección fiable de las partes inutilizadas del espectro, lo que se conoce como Spectrum Sensing. Así, un dispositivo CR debe escanear periódicamente su entorno de radiofrecuencia para detectar las partes del espectro que no están siendo utilizadas temporalmente por sus usuarios primarios. Estas bandas sin utilizar se denominan espacios en blanco o bandas blancas. [2]

La Radio Cognitiva ha sido reconocida como la tecnología habilitadora para las redes DSA⁴, donde los parámetros de operación de los dispositivos no licenciados pueden ser rápidamente reconfigurados de acuerdo a las condiciones cambiantes del ambiente de transmisión. Basados en la tecnología de Radio definido por Software SDR⁵, los radios cognitivos son producto de un esfuerzo multidisciplinario que involucra expertos en redes inalámbricas, comunicaciones digitales, ingeniería de sistemas, inteligencia artificial y otras disciplinas. Como resultado de esas actividades, se espera que estos sistemas puedan simultáneamente respetar los derechos de los usuarios licenciados mientras proporciona mayor flexibilidad para acceder el espectro y por ende utilizarlo de manera más eficiente.

⁴ **DSA (Dynamic Spectrum Access)**.- Es un término general que define un conjunto de técnicas empleadas para el acceso al recurso espectral bajo ciertas condiciones específicas dependientes de la arquitectura de red, del tipo de banda de frecuencia a acceder, y de otros requerimientos

⁵ **Software SDR**- Concepto acuñado por Joseph Mitola a los equipos de radio desarrollados por software en los que la parte de hardware es mínima, y la mayor parte de las funciones que definen un equipo de radio se establecen por software (programas) en un ordenador PC o de otro tipo.

Existen dos conceptos fundamentales sobre radio cognitiva estas son: La Capacidad Cognitiva y la Reconfigurabilidad.

2.4.2.1. Capacidad Cognitiva

La capacidad cognitiva de una CR permite la interacción en tiempo real con el entorno para determinar los parámetros de comunicación más apropiados y adaptarse al entorno radio de modo dinámico. Los pasos que se requieren se muestran en la figura 1 y se designa como ciclo cognitivo. [2]

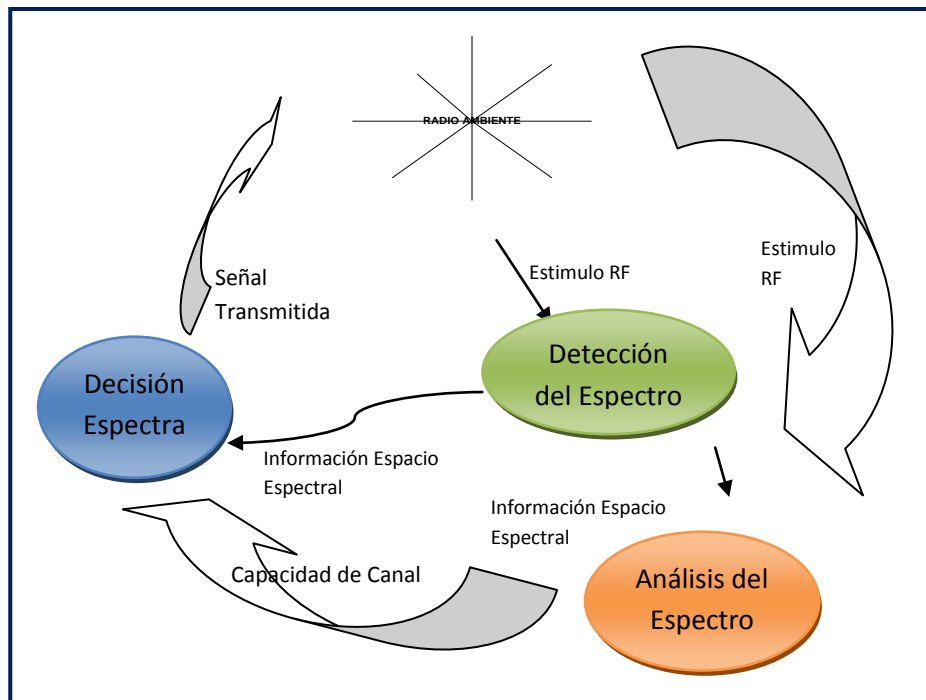


Figura 1: Ciclo Cognitivo [1]

- ✚ Detección de espectro o spectrum sensing: La CR monitoriza las bandas de espectro disponibles, captura su información, y después detecta los huecos en el espectro.

- ✚ Análisis del espectro o spectrum analysis: Consiste en estimar las características de los huecos espectrales que han sido detectados en el paso previo.
- ✚ Decisión espectral o spectrum decision: La CR determina la tasa de datos, el modo de transmisión y el ancho de banda de transmisión. Después, la banda de espectro apropiada se escoge teniendo en cuenta las características del espectro y los requerimientos del usuario.

Una vez que se ha determinado la banda de funcionamiento, la comunicación ya se puede realizar en dicha banda. Sin embargo, debido a que el medio radio cambia con el tiempo y el espacio, la CR debe realizar un seguimiento de los cambios que se provocan en el radio ambiente. Si la banda del espectro que se está usando pasa a un estado indisponible, bien porque aparece un nuevo usuario secundario o porque las condiciones del canal empeoran (cualquier cambio en el ambiente durante la transmisión como la aparición de un usuario primario, movimientos del propio usuario o variaciones del tráfico), la función de *movilidad de espectro* o *spectrum handoff* se lleva a cabo para obtener una transmisión correcta. [2]

2.4.2.2. Reconfigurabilidad

Reconfigurabilidad es la capacidad de ajustar los parámetros de funcionamiento para llevar a cabo la transmisión sobre la marcha sin ningún tipo de modificación en los componentes de hardware. Esta capacidad permite a la CR adaptarse fácilmente a la dinámica del entorno de radio. Hay varios parámetros reconfigurables los cuales se nombran y explican de forma resumida a continuación. [2]

- ✚ Frecuencia de trabajo: La CR es capaz de variar la frecuencia de trabajo a la más adecuada basándose en la información radio del entorno.
- ✚ Modulación: Una CR debe reconfigurar el sistema de modulación adaptándose a las necesidades del usuario y a las condiciones del canal. Por ejemplo, en el caso de un retraso perceptible en la aplicación, la tasa de datos es más importante que la tasa de error. Así, el sistema de modulación que permite una mayor eficiencia espectral es el seleccionado. Por el contrario, la pérdida de sensibilidad en las aplicaciones se centra en la tasa de error, requiriendo un sistema de modulación con una tasa de error baja.
- ✚ Potencia de transmisión: La potencia de transmisión puede reconfigurarse dentro de unas limitaciones. El control de potencia permite la configuración dinámica de potencia dentro del límite de potencia permitida. Si no es necesario operar a la mayor potencia, la radio cognitiva reduce la potencia de transmisión a un nivel inferior para permitir compartir con otros usuarios el espectro y reducir el nivel de interferencias.
- ✚ Tecnología de comunicación: Una radio cognitiva puede ser usada para proporcionar interoperabilidad entre diferentes sistemas de comunicación. Los parámetros de transmisión de una CR pueden reconfigurarse no tan sólo al comienzo de la transmisión, sino también durante la transmisión. Según las características del espectro, estos parámetros pueden reconfigurarse de manera que si la radio cognitiva cambia a un espectro diferente, *spectrum handoff*, los parámetros de transmisión y recepción se adaptan, y se utilizan los parámetros del protocolo de comunicación y sistema de modulación adecuados a dicha situación.

2.5. Arquitectura de una CRN

Existen arquitecturas de redes inalámbricas que emplean heterogeneidad en términos de política de espectro y de tecnologías de comunicación. Además, una parte del espectro inalámbrico ya está asignado a diversas aplicaciones con licencia, mientras que otras bandas permiten el uso sin poseer licencia. Para el desarrollo de protocolos de comunicación, es esencial tener una clara descripción de la arquitectura de CRN. Ver figura 2.

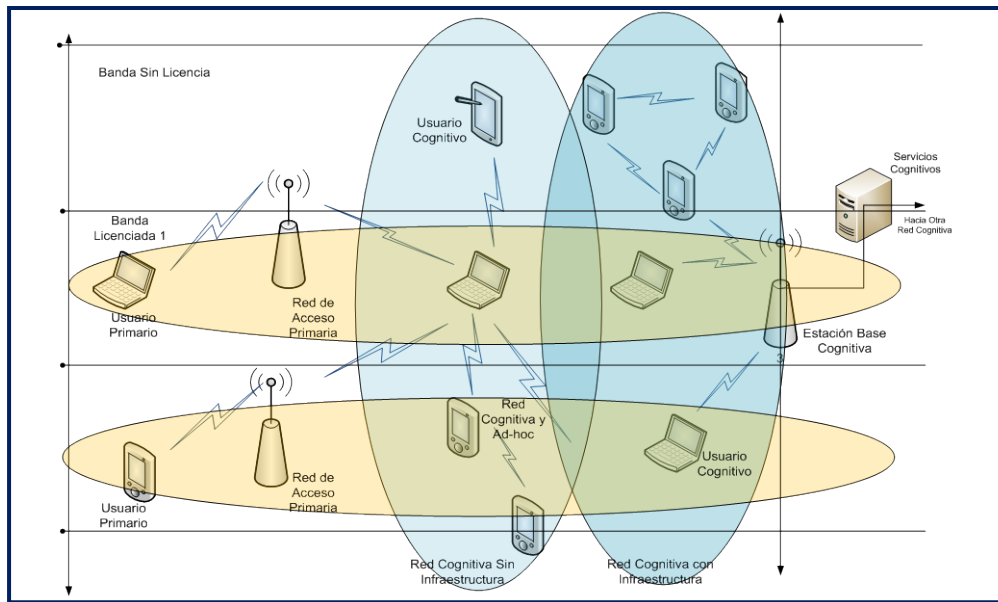


Figura 2: Arquitectura de una CRN [1]

2.5.1. Red primaria

La red primaria (o red con licencia) se refiere a la infraestructura de red existente. Dicha red tiene derecho exclusivo dentro de una determinada banda del espectro, por ejemplo la emisión de televisión o de telefonía móvil. Los componentes de la red primaria son los siguientes:

- *Usuario primario o principal:* El usuario primario (o usuario con licencia) posee una licencia para operar en una determinada banda del espectro. Este acceso sólo puede ser controlado por la estación base primaria y no debe verse afectado por usuarios que operen sin licencia. Los usuarios primarios no necesitan ningún tipo de modificación o función adicional para coexistir con estaciones base secundarias o usuarios secundarios.

- *Estación base primaria:* La estación base primaria (o estación base con licencia) es un componente de infraestructura de red fija que posee una banda de frecuencia (con licencia) de trabajo tal y como sucede con las estaciones base (BTS, *Base-station Transceiver System*) en los sistemas de telefonía móvil. En principio, la estación base no tiene ninguna capacidad cognitiva para compartir el espectro con usuarios secundarios. Sin embargo, la estación base principal o primaria solicitará a ambos la licencia y el protocolo CR para la red de acceso primaria para los usuarios secundarios.

2.5.2. Red secundaria

La red secundaria (o CRN, red de acceso dinámico al espectro, red sin licencia) no tiene licencia para operar en la banda deseada. Por lo tanto el acceso al espectro sólo se permite de forma oportunista. Las redes secundarias pueden desplegarse como una infraestructura de red y como red ad-hoc tal y como se muestra en la figura 2. Los componentes de una red secundaria son los siguientes:

- *Usuarios CR*: Usuarios CR (o usuarios sin licencia, usuarios secundarios) no tienen licencia en dicho espectro. Por lo tanto, son necesarias las funcionalidades adicionales para poder compartir la banda de espectro en que se necesita licencia.

- *Estación base CR*: Estación base CR (o estación base secundaria, estación base sin licencia) es un componente de la infraestructura fija con capacidad CR. La estación base secundaria tan sólo establece conexión con usuarios secundarios que no poseen licencia de acceso al espectro. A través de esta conexión, un usuario secundario puede acceder a otras redes.

- *Agente del espectro*: Agente del espectro es una entidad central de la red que juega el papel de la distribución de los recursos del espectro entre las diferentes CRNs. El agente del espectro puede conectarse a cada red sirviendo como información el espectro de otras redes y así permitir la coexistencia entre múltiples CRNs.

La arquitectura de CRN que se muestra en la figura 2, consta de diferentes tipos de red: la red primaria, una infraestructura de red basada en CR, y una red ad-hoc CR. Las CRNs son redes que funcionan bajo el entorno de espectro mixto, es decir en bandas con licencia y sin licencia (pueden acceder a ambas). Además, los usuarios secundarios pueden comunicarse entre ellos con multi-saltos o accediendo a través de la estación base. Así pues, en CRNs, hay tres tipos diferentes de acceso:

- *Acceso CRN*: Usuarios secundarios pueden acceder a su propia estación base secundaria, en una banda del espectro con licencia o sin licencia. Como todas las interacciones ocurren dentro de la CRN, la normativa de compartición del espectro puede ser independiente de la de la red primaria.

- *Acceso ad-hoc CR*: Usuarios CR pueden comunicarse con otros usuarios CR a través de una conexión ad-hoc en ambas bandas del espectro (con o sin licencia).

- *Acceso red primaria*: Los usuarios secundarios pueden acceder a la estación base principal a través de la banda de licencia. A diferencia de los otros tipos de acceso, los usuarios CR requieren de un protocolo de control de acceso al medio adaptativo (MAC, *Medium Access Control*), el cual permite comunicación inalámbrica a través de múltiples redes primarias con diferentes tecnologías de acceso.

2.6. Spectrum sensing: Detección de Energía

Un requerimiento esencial de las CRNs es la capacidad de detectar tanto la existencia de los huecos espectrales (para encontrar oportunidades de transmisión), como de detectar la presencia de usuarios primarios (para no causarles interferencia). Para ello, cada usuario monitoriza el espectro de manera individual haciendo uso de técnicas de sensado y, posiblemente, comparte las observaciones del mismo con otros usuarios. Generalmente, las técnicas de *spectrum sensing* se pueden clasificar en tres grandes categorías: detección de energía, detección por filtro adaptado y detección cicloestacionaria. Cada una de ellas ofrece un grado diferente de compromiso entre complejidad y capacidad de detección. La aplicación de cada una de ellas, sin embargo, depende de la cantidad de información disponible acerca de las señales primarias a detectar. En el caso más general, la red secundaria no dispone de ninguna información a priori de las señales a detectar. En tal caso, el único método de detección posible es el de detección de energía. Este método compara la energía de la señal recibida con un cierto

umbral de decisión y determina que la señal está presente si el nivel de energía está por encima del umbral [1].

2.7. Estándar 802.22 – Wireless Rural Area Network (WRAN)

El impulso a los sistemas cognitivos para las redes de telecomunicación ha permitido crear un centro de atención para el desarrollo de nuevos estándares de comunicación. De esta manera el Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos (IEEE) durante Noviembre de 2004 inicia los primeros pasos en la búsqueda del estándar basado en la radio cognitiva donde la operación sin licencia en las bandas de televisión sería muy significativa y donde las aplicaciones más importantes estarían en zonas rurales y remotas. El 16 de junio de 2011, la IEEE aprueba el estándar 802.22. o también conocido como WRAN (Redes Inalámbricas de Área Rural). [7]

2.7.1. Sistema WRAN

2.7.1.1 Topología

El sistema 802.22 especifica un interfaz inalámbrica fija punto a multipunto por el cual una estación base (BS) maneja su celda y todos los equipos locales de usuarios (Consumer Premise Equipments; CPE's). La BS controla el medio de acceso en su celda y transmite a varios CPE's, los cuales responden a la BS.

Además, las BS también administran lo que se llama percepción distribuida. Esta característica es necesaria para asegurar el correcto uso del espectro de televisión sin interferir en el espectro ya usado por las emisiones. Según lo que la BS reciba de los CPE's, actuará de una manera u otra. [7]

2.7.1.2 Capacidad del servicio

Este estándar puede alcanzar una velocidad media de 18 Mbps en un canal de televisión de 6 MHz. Suponiendo un total de 12 usuarios simultáneos, se consigue 1.5 Mbps de bajada y 384 kbps de subida, bastante similar al servicio ADSL (Línea de abonado digital asimétrica).

2.7.1.3 Cobertura

Otra de las grandes diferencias de este estándar con respecto a los otros estándares inalámbricos es el rango de cobertura de las BS, siendo de hasta 100 km siempre que la potencia no sea un problema. Si la BS cuenta con 4W de potencia, la cobertura puede alcanzar una distancia de unos 33 km.

2.7.1.4 La interfaz aérea

El requerimiento más importante de la interfaz aérea del estándar 802.22 es la flexibilidad y la adaptabilidad, ya que hay que evitar las interferencias con otros usuarios que usan el mismo espectro. Además, al no requerir licencias para usar este sistema y debido a la gran cobertura que alcanzan las BS, la coexistencia entre varias celdas (auto-coexistencia a partir de ahora) es de vital importancia.[7]

2.7.1.5 La capa física (PHY)

La capa física (PHY) es la interfaz entre la MAC y el medio inalámbrico. Provee de tres niveles de funcionalidad:

- ✚ Intercambiar tramas entre PHY y MAC.
- ✚ Utilizar portador de señal (signal carrier) y modulación de espectro ensanchado (spread spectrum) para transmitir tramas a través del medio.
- ✚ Proveer al MAC de un indicador de detección de portadora (carrier sense indication) para señalar actividad en el medio.

La capa PHY está dividido en dos sub-capas, subcapa PLCP (Physical Layer Convergence Procedure) más cercano al MAC y la subcapa PMD (Physical Medium Dependent Layer), que interacciona con el medio inalámbrico.

En la figura 3, se aprecia lo que podría ser el patrón de ocupación de los canales de televisión. Como se puede ver, las oportunidades de transmisión de las BS son totalmente aleatorias influyendo, por consiguiente, en el diseño del MAC y del PHY.[7]

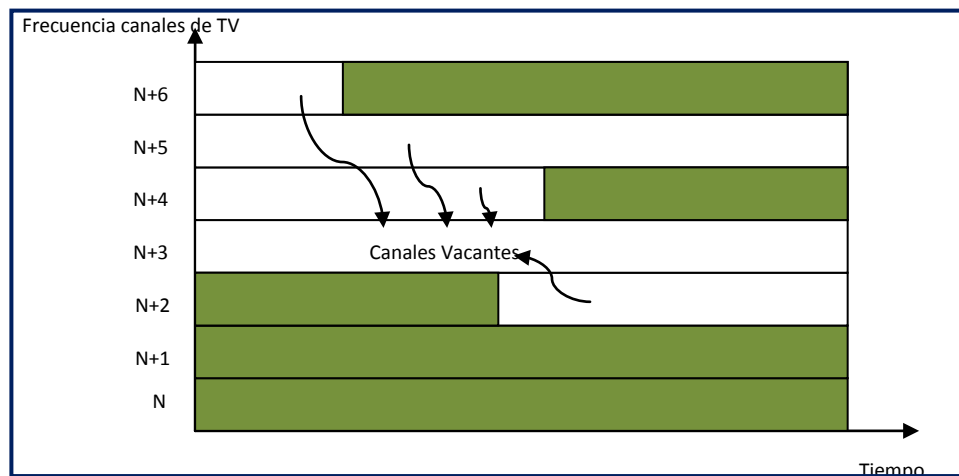


Figura 3: Patrón de Ocupación de Canales de TV [10]

Las aplicaciones WRAN requieren flexibilidad en subida y bajada con soporte para varios usuarios. El borrador actual del estándar 802.22 está basado en modulación

OFDMA ⁶. Esta multiplexación es una versión multiusuario de la conocida multiplexación por división de frecuencias ortogonales (OFDM). Se utiliza para conseguir que un conjunto de usuarios de un sistema de telecomunicaciones puedan compartir el espectro de un cierto canal para aplicaciones de baja velocidad. El acceso múltiple se consigue dividiendo el canal en un conjunto de subportadoras que se reparten en grupos en función de la necesidad de cada uno de los usuarios [7].

Las redes WRAN se caracterizan también por largos tiempos de propagación (Desde 25us hasta 50us), lo que requiere el uso de un prefijo cíclico de unos 40us. Para reducir la sobrecarga debido al prefijo cíclico, se usan portadoras de aproximadamente 2K (2048 portadoras) en un canal de televisión. La capa física también ha de proveer alta flexibilidad en términos de modulación y codificación. La modulación OFDMA se ajusta perfectamente a los requisitos para estos fines. Actualmente se ha propuesto repartir los abonados en 48 subcanales [10]. Las modulaciones propuestas son QPSK, 16QAM y 64QAM. Eso conseguiría una tasa de transferencia de unos pocos Kbps por subcanal hasta 19 Mbps por canal de televisión. Análisis preliminares mostraron la dificultad de transmitir a 19Mbps en 30 km usando solo un canal de televisión. Para ello se usa el vínculo de canales. Hay dos maneras de vincular canales:

- ✓ Vínculo de canales contiguos.
- ✓ Vínculo de canales no contiguos.

⁶ **OFDMA** del inglés Orthogonal Frequency-Division Multiple Access, es la versión multiusuario de la conocida OFDM, Multiplexación por división de frecuencia ortogonal. Se utiliza para conseguir que un conjunto de usuarios de un sistema de telecomunicaciones puedan compartir el espectro de un cierto canal para aplicaciones de baja velocidad. El acceso múltiple se consigue dividiendo el canal en un conjunto de subportadoras (subcarriers) que se reparten en grupos en función de la necesidad de cada uno de los usuarios.

En la figura 4 se puede apreciar un diagrama simplificado de cómo sería el vínculo de canales contiguos. En principio, vincular tantos canales como sea posible sería lo ideal, pero las limitaciones a la hora de implementar este estándar limitan el número de canales a vincular. Así, el espacio libre mínimo entre canales de televisión para que la WRAN pueda operar debe de ser de tres canales. Según esto, el ancho de banda está limitado a tan solo tres canales contiguos. Para canales de 6 Mhz esto supondría un ancho de banda de 18 Mhz. Para facilitar la implementación, este diagrama usa espacios entre portadoras fijos, lo que permite al transductor la posibilidad de no tener que cambiar su reloj de sistema basado en el número de canales vinculados. Esta propuesta se traduce en requerir tantos FFT⁷ como canales vinculados [10].

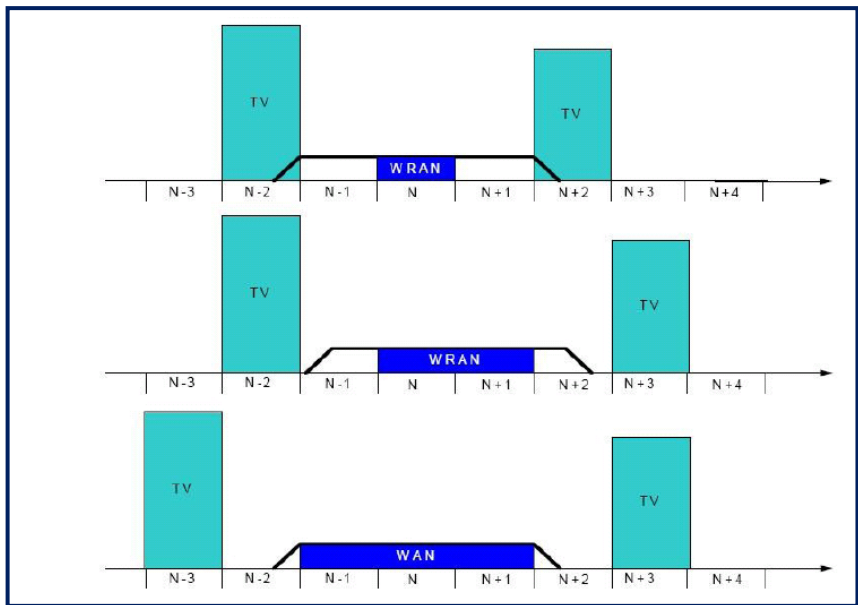


Figura 4: Vínculo canales contiguos [10]

⁷ FFT es la abreviatura usual (del inglés Fast Fourier Transform) de un eficiente algoritmo que permite calcular la transformada de Fourier discreta (DFT) y su inversa. La FFT es de gran importancia en una amplia variedad de aplicaciones, desde el tratamiento digital de señales y filtrado digital en general a la resolución de ecuaciones en derivadas parciales o los algoritmos de multiplicación rápida de grandes enteros

En general, el sistema está basado en FFT de 6K (6048 portadoras) para tres canales de televisión. Cuando solo se usa un canal de televisión las portadoras externas son puestas a cero y solo unas pocas subportadoras siguen activas, aproximadamente 1.7K (1740 portadoras). Cuando un dispositivo empieza la sincronización, no sabe a priori los canales que están vinculados. Para facilitar la sincronización inicial, se ha definido un superframe (mostrado en la figura 5). La cabecera de este superframe se transmite en el modo de los 6 Mhz. El nuevo dispositivo empieza a escanear en modo 6 Mhz hasta encontrar la cabecera del superframe y obtener la información de los siguientes frames. La cabecera del superframe contiene información tal como el preámbulo de sincronización, el ajuste del control de ganancia automático y la estimación de canal. Al preámbulo le sigue un símbolo de cabecera que contiene los bits de información actual. Esta misma información se transmite en todos los canales de televisión vinculados [10].

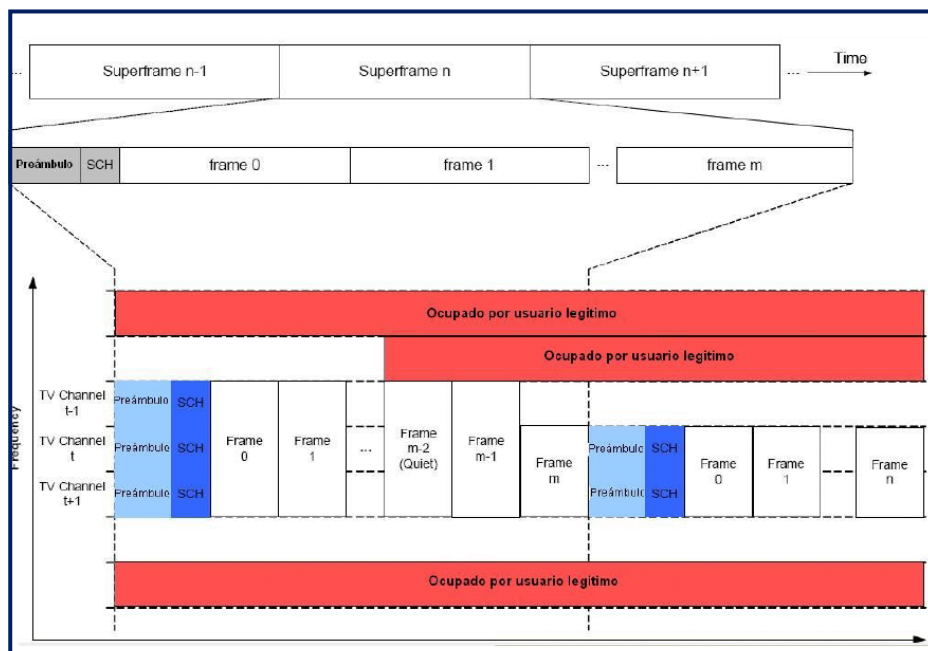


Figura 5: Supertrama CRN [10]

2.8.1.6 Medidas y manejo del espectro

Para que una celda 802.22 pueda operar sin causar interferencias a los usuarios legítimos, las estaciones base (BS) deben instruir a sus CPE's asociadas para que realicen mediciones periódicas, las cuales pueden ser:

- ✚ Medidas en banda. Estas medidas se realizan en los canales usados por la BS para comunicarse con las CPE's. Para estas medidas la BS silencia periódicamente el canal, así el detector de usuarios legítimos puede cumplir su cometido.
- ✚ Medidas fuera de banda. Las medidas se realizan en todos los otros canales. Para detectar la presencia de usuarios legítimos, los dispositivos 802.22 deben poder detectar señales a un nivel SNR^8 muy bajo con acierto.

2.8.1.7 Periodos de silencio para detectar usuarios legítimos

Para canales en banda se emplea el mecanismo de periodos en silencio. Este mecanismo se divide en dos partes, que tienen diferentes escalas de tiempo (figura 6):

⁸ SNR Signal to Noise Ratio, o relación señal/ruido. Esta relación se define como el margen que hay entre la potencia de la señal que se transmite y la potencia del ruido que la corrompe. Este margen es medido en decibelios.

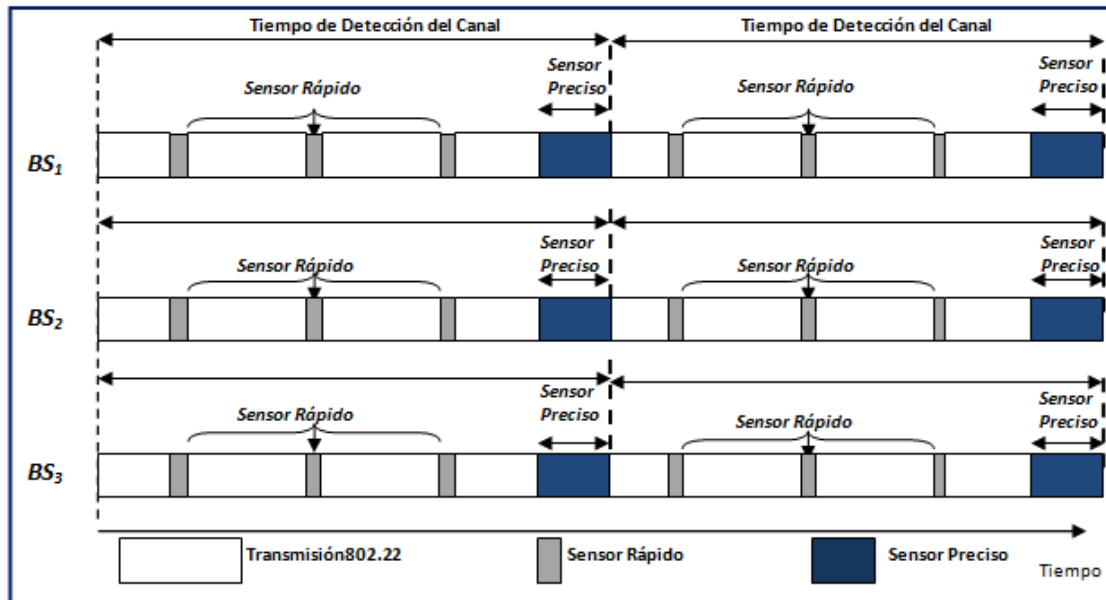


Figura 6: Periodos de silencio [10]

- ✓ Sensor rápido o *fast sensing*. Durante esta fase se emplea un algoritmo de sensor bastante rápido y eficiente. Los resultados de las medidas de los CPE's y de los BS's se consolidan en las BS's, las cuales deciden si la fase de sensor preciso es necesaria.
- ✓ Sensor preciso. En esta fase se emplea un sensor más preciso que en la fase 1. Los algoritmos utilizados aquí pueden durar milisegundos por cada canal. Este mecanismo es altamente eficiente y algo menos rápido que el anterior. Aun así, no siempre es necesaria esta fase; su uso se decide en la fase de sensor rápido.

2.9 Espectro radioeléctrico

El Espectro Radioeléctrico es un recurso natural, de carácter limitado, que constituye un bien de dominio público sobre el cual el Estado ejerce soberanía. Es asimismo, un medio intangible que puede utilizarse para la prestación de diversos servicios de comunicaciones, de manera combinada o no con medios tangibles como cables, fibra óptica, entre otros [11].

2.9.1 División del espectro radioeléctrico

La división del Espectro de Frecuencias fue establecida por el CONSEJO CONSULTIVO INTERNACIONAL DE LAS COMUNICACIONES DE RADIO (CCIR) en el año 1953 [13]. A su vez la UNIÓN INTERNACIONAL DE TELECOMUNICACIONES (UIT-ITU) dividió al planeta en tres regiones, en las cuales la distribución de las frecuencias para los distintos usos y servicios son similares para los países que integran una región determinada. La REGIÓN 1 es Europa, África, El Medio Oriente, Mongolia y las Repúblicas de la ex-Unión Soviética. La REGIÓN 2 son los países de las Américas. La REGIÓN 3 es el resto del Mundo, principalmente Asia y Oceanía [13].

Una de las particulares de los sistemas de radio cognitiva es el uso del espectro radioeléctrico en las bandas licenciadas útiles para los sistemas de radiodifusión y televisión. De esta manera a continuación se expone el plan nacional de frecuencias del Ecuador.

DISTRIBUCIÓN CONVENCIONAL DEL ESPECTRO RADIOELÉCTRICO					
<i>SIGLA</i>	<i>DENOMINACIÓN</i>	<i>LONGITUD DE ONDA</i>	<i>GAMA DE FRECUENCIA</i>	<i>CARACTERÍSTICAS</i>	<i>USO TÍPICO</i>
VLf	Muy Bajas Frecuencias	30000 m a 10000 m	10KHz a 30KHz	Propagación por onda de Tierra, atenuación débil. Características estables	Enlaces de radio a gran distancia
LF	Frecuencias Bajas	10000 m a 1000 m	30KHz a 300KHz	Similar a la anterior, pero de características menos estables	Enlaces de radio a gran distancia, navegación aérea y marítima
MF	Frecuencias Medias	1000 m a 100 m	300KHz a 3MHz	Similar a la precedente pero con una absorción elevada durante el día. Prevalece propagación ionosférica durante la noche	Radiodifusión
HF	Altas Frecuencias	100 m a 10 m	3MHz a 30MHz	Prevalece propagación ionosférica con fuertes variaciones estacionales y en diferentes horas del día y de la noche	Todo tipo de Comunicaciones a media y larga distancia
VHF	Muy altas frecuencias	10 m a 1 m	30MHz a 300MHz	Prevalece la propagación directa, a veces ionosférica y troposférica	Enlaces a corta distancia, Televisión, frecuencia modulada
UHF	Ultra altas Frecuencias	1m a 10 cm	300MHz a 3GHz	Solamente propagación directa, posibilidad de enlaces por reflexión o satelital	Enlaces de radio, ayuda a la aviación y Televisión
SHF	Súper altas Frecuencias	10cm a 1 cm	3GHz a 30GHz	Como la precedente	Radar, enlaces de radio
EHF	Extremada Alta Frecuencia	1cm a 1mm	30GHz a 300GHz	Como la precedente	Radar, enlaces de radio
EHF	Extremada Alta Frecuencia	1mm a 0.1mm	300GHz a 3000GHz	Como la precedente	Como la precedente

Tabla 1: Distribución del Espectro Radioeléctrico [13]

2.9.2. Plan Nacional de Frecuencias

Considerando que el espectro radioeléctrico constituye un recurso fundamental para el Estado, el gobierno ecuatoriano ha presentado a la ciudadanía la actualización del Plan Nacional de Frecuencias, que establece la distribución del espectro radioeléctrico del país; así como los mecanismos para implementar nuevos servicios y tecnologías.

El Consejo Nacional de Telecomunicaciones (CONATEL) en uso de sus atribuciones establecidas en la Ley Especial de Telecomunicaciones Reformatoria, aprobó mediante Resolución No. TEL-391-15-CONATEL-2012 de 4 de julio de 2012 las modificaciones del Plan Nacional de Frecuencias de septiembre de 2008. El Plan Nacional de Frecuencias (PNF), establece la atribución de las bandas de frecuencias a los diferentes servicios de radiocomunicaciones tales como Fijo, Móvil, Fijo por Satélite, Móvil por Satélite, Móvil Aeronáutico, Móvil Marítimo, Radiodifusión. [12]

La actualización del PNF se realizó tomando en cuenta las Resoluciones aprobadas por el CONATEL en materia de gestión del espectro radioeléctrico desde el año 2000, modificaciones de atribución de bandas de frecuencias radioeléctricas de la Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT), aprobadas en las Conferencias Mundiales de Radiocomunicaciones de los años 2003, 2007, 2012 y en la situación actual del sector de telecomunicaciones en el Ecuador; el PNF está estructurado bajo el siguiente esquema.

A. Términos y definiciones establecidos en el Reglamento de Radiocomunicaciones de la UIT.

B. Cuadro de Atribución de Bandas de Frecuencias en el rango 8.9 kHz – 3000 GHz. La UIT desde el punto de vista de la atribución de bandas, ha dividido al mundo en tres Regiones: Región 1, Región 2 y Región 3., Ecuador pertenece a la Región 2. La presentación del Cuadro contenida en el PNF está clasificada por rangos de frecuencias acorde con el Reglamento de Radiocomunicaciones de la UIT. [12]

Se debe tener presente que el PNF es una de las herramientas indispensables de las que dispone el Órgano Regulador de las Telecomunicaciones para una adecuada Gestión del Espectro Radioeléctrico, asignación, concesión y autorización de uso de frecuencias. El PNF es un documento netamente técnico y dinámico, sujeto a revisiones periódicas acorde con las necesidades nacionales, introducción de nuevas tecnologías y cambio en la regulación internacional [12].

CAPÍTULO III: ANÁLISIS Y RESULTADOS DE LA EVALUACIÓN ESPECTRAL EN LAS PARROQUIAS RURALES DEL CANTON LOJA

3.1. Introducción

En el presente estudio se ha considerado efectuar medidas espectrales en la banda atribuida para emisiones de VHF y UHF concretamente en el rango de 54MHz a 1000 MHz. Para la consecución de las medidas espectrales y una mejor observación de las radiaciones electromagnéticas dentro de la banda antes mencionada se efectuará una subdivisión del espectro electromagnético considerando las diferentes concesiones brindadas por el Estado ecuatoriano y que se presenta en el Plan Nacional de Frecuencias emitido el mes de agosto del año 2012. Posteriormente, para cada uno de los sitios de análisis, correspondiente a trece parroquias rurales y cuatro urbanas del cantón Loja, se deberá considerar de manera adecuada los parámetros de radiación electromagnética, así como de recepción espectral; siendo consignados adecuadamente para que los rangos frecuenciales monitoreados no sean muy amplios lo que puede provocar la adquisición de medidas poco confiables e incluso difusas; los parámetros técnicos del analizador de espectros limitará los valores de ancho de banda a medir. Más adelante en este capítulo, se podrá visualizar de manera detallada la distribución del espectro y su ocupación según el Plan Nacional de Frecuencias en el rango de 54MHz a 1000MHz.

3.2. Atribución de Bandas Espectrales VHF/UHF según el Plan Nacional de Frecuencias

3.2.1. Bandas Espectrales VHF/UHF, Radio y Televisión

De acuerdo al Plan Nacional de Frecuencias en su última actualización del mes de agosto del 2012, el espectro radioeléctrico del Ecuador para la transmisión de señales VHF/UHF está dividido según se detalla a continuación:

- i. Para las emisiones de señales de televisión están consideradas varias bandas de frecuencia que se subdividen según se muestra en la tabla 2:

BANDA	FRECUENCIA	CANALES
Banda I	54 a 72MHz	2 al 4
	76 a 88 MHz	5 al 6
Banda III	174 a 216 MHz	7 al 13
	500 a 608 MHz	19 al 36
Banda IV	614 a 644 MHz	38 al 42
Banda V	644 a 686 MHz	43 al 49 MHz

Tabla 2: Bandas de Frecuencia para TV abierta en VHF y UHF [13]

Los canales 19 y 20 se encuentran reservados con el único propósito de facilitar el proceso de transición hacia Televisión Digital. Los canales 48 y 49 en UHF se hallan reservados para el Estado Ecuatoriano.

- ii. En el caso de las señales para las aplicaciones de radio en frecuencia modulada (FM) se asigna el espectro según se observa en la tabla 3.

FRECUENCIA	APLICACIÓN
88 – 100 MHz	Radiodifusión FM
100 – 108 MHz	Radiodifusión FM

Tabla 3: Rango espectral para Radiodifusión FM [12]

3.2.2. Concesión espectral para el Cantón Loja en la banda de 54MHz - 1000MHz

En las tablas 4 y 5 se muestran las empresas de radio y televisión respectivamente dentro del cantón Loja que poseen concesión para el uso de una porción del espectro radioeléctrico en la banda de evaluación. Se incluye datos tanto de radio FM y televisión abierta, además de las bandas utilizadas para otros menesteres como radioastronomía, radionavegación, troncalizados, telefonía móvil y plan militar de frecuencias. La operatividad o no de las bandas espectrales en análisis se comprobará posteriormente en este documento.

Cantón	Categoría	Número	Nombre de la Estación	Frecuencia en Mhz	Tipo	Área de Servicio
LOJA	Frecuencia Modulada	1	Boquerón FM	93,7	M	Loja
	Frecuencia Modulada	2	Caravana AM	101,3	R	Loja
	Frecuencia Modulada	3	Cariamanga FM	104,5	R	Loja
	Frecuencia Modulada	4	Ecuasur FM	102,1	R	Loja
	Frecuencia Modulada	5	El Cisne	91,3	M	Loja
	Frecuencia Modulada	6	Estación de Radio y Televisión Universitaria	98,5	M	Loja
	Frecuencia Modulada	7	J.C Radio	107,3	R	Loja
	Frecuencia Modulada	8	Kocodrilo Radio 98,1 FM	98,1	M	Loja
	Frecuencia Modulada	9	La Hechicera 88.9 FM	88,9	M	Loja
	Frecuencia Modulada	10	La Voz del Santuario	99,7	M	Loja
	Frecuencia Modulada	11	Loja 97,9 FM	97,9	M	Loja
	Frecuencia Modulada	12	Luz y Vida FM	88,1	M	Loja
	Frecuencia Modulada	13	Matovelle FM	100,1	M	Loja
	Frecuencia Modulada	14	Misión San Antonio	94,9	R	Loja
	Frecuencia Modulada	15	Mix FM	105,7	R	Loja
	Frecuencia Modulada	16	Municipal FM	90,1	R	Loja
	Frecuencia Modulada	17	Ondas de Esperanza 94,1 FM	94,1	M	Loja
	Frecuencia Modulada	18	Planeta F.M Stereo	106,1	M	Loja
	Frecuencia Modulada	19	Poder	95,5	M	Loja
	Frecuencia Modulada	20	Radio Corporación 97,3 FM	97,3	M	Loja
	Frecuencia Modulada	21	Radio Legislativa	95,7	R	Loja

Modulada						
Frecuencia Modulada	22	Radio Pública	90,5	R	Loja	
Frecuencia Modulada	23	RS Musical	89,3	R	Loja	
Frecuencia Modulada	24	Rumba estero	106,9	M	Loja	
Frecuencia Modulada	25	Satelital	100,9	R	Loja	
Frecuencia Modulada	26	Semillas de Amor	89,7	M	Loja	
Frecuencia Modulada	27	Sociedad FM	99,3	M	Loja	
Frecuencia Modulada	28	Sonorama FM	103,7	R	Loja	
Frecuencia Modulada	29	Super Laser Panamericana	104,7	M	Loja	
Frecuencia Modulada	30	Vilcabamba Stereo	102,5	M	Loja	
Frecuencia Modulada	31	Zapotillo FM	96,1	R	Loja	

Tabla 4: Emisoras de Radio concesionadas en el Cantón Loja [14]

Para el caso de la televisión abierta tenemos:

Cantón	Categoría	Número	Nombre de Estación	Canal de Operación/Frecuencia Mhz	Tipo	Área de Servicio
Loja	Televisión Abierta	32	Cadena Ecuatoriana de Televisión	8 – (180-186)	R	Loja
	Televisión Abierta	33	Canal Uno	26 – (542-548)	R	
	Televisión Abierta	34	Corporación Ecuatoriana de Televisión	2 – (54-60)	R	
	Televisión Abierta	35	Ecotel	22 – (518-524)	M	
	Televisión Abierta	36	Ecuador TV	49 – (680-686)	R	

Televisión Abierta	37	Oromar	36 – (602-608)	R
Televisión Abierta	38	Red Telesistema (R.T.S)	9 – (186-192)	R
Televisión Abierta	39	Teleamazonas	5 – (76-82)	R
Televisión Abierta	40	Teleatahuapla (RTU)	30 – (566-572)	R
Televisión Abierta	41	Telerama	24 – (530-536)	R
Televisión Abierta	42	Televisión del Pacífico	11 – (198-204)	R
Televisión Abierta	43	Televisora del Sur	13 – (210-216)	M
Televisión Abierta	44	Tropical TV	32 – (578-584)	R
Televisión Abierta	45	UCSG Televisión	34 – (590-596)	R
Televisión Abierta	46	UV Televisión	4 – (66- 72)	M

Tabla 5: Emisoras de Televisión concesionadas en el Cantón Loja [14]

De la tabla 4 y 5 se puede deducir que para el Cantón Loja existen un total de:

- ✚ 31 emisoras de radio en FM
- ✚ 15 emisoras de Televisión analógica

NOTA: Se ha identificado que dentro de la lista de la Supertel, la radioemisora Ecotel Radio 107,7 Mhz no consta en la actualización, la radio actualmente está en operaciones dentro de la ciudad.

Por otro lado, existen espacios del espectro en donde sus aplicaciones no están orientadas a la radiación de ondas de radiodifusión o televisión; en la tabla 6 se muestra la lista del grupo de frecuencias al servicio de diferentes aplicaciones de las telecomunicaciones, esto con el fin de apreciar la posibilidad de aplicar redes de radio cognitiva en esta parte del espectro pese a que posiblemente exista señales radioeléctricas en operación.

Rango de Frecuencia en MHz	Aplicaciones
Banda: 108 – 174 MHz	
108 – 117,975	Radionavegación Aeronáutica
117,975 – 137	Móvil Aeronáutico
137 – 137,025	Móvil Por Satélite
137,025 – 137,175	
137,175 – 137,825	
137,825 – 138	
138 – 143,6	Fijo
143,6 – 143,65	Móvil
143,65 – 144	Sistemas de Radio de dos Vías Uso reservado Plan Militar de Frecuencia
144 – 146	Aficionados Aficionados por Satélite
146 – 148	Aficionado
148 – 149,9	Fijo Móvil Móvil por Satélite
149,9 – 150,05	Móvil por Satélite
150,05 – 156,4875	Fijo
156,83 – 174	Móvil (Sistemas de Radio de dos Vías)
Banda: 216 – 512 MHz	
216 – 220	Fijo Móvil Radiolocalización
220 – 225	Aficionados Fijo
225 – 235	Fijo (Enlaces Radioeléctricos radiodifusión Sonora)
235 – 267	Fijo Enlaces Radioeléctricos radiodifusión Sonora) Móvil

267 – 272	Fijo Móvil (Operaciones Espaciales Espacio Tierra)
272 - 273	Fijo Móvil (Operaciones Espaciales Espacio Tierra)
273 – 312	Fijo Móvil
312 – 315	Fijo Móvil Móvil por satélite (Tierra Espacio)
315 – 322	Fijo Móvil
322 – 328,6	Fijo Móvil Radioastronomía
328,6 – 335,4	Radionavegación Aeronáutica
387- 400,05	Fijo Móvil Móvil por satélite Radionavegación
400,05-512	Varias aplicaciones (Meteorología, Investigación Espacial, Radioastronomía)
Banda: 608 – 1000 MHz	
608 – 614	Radioastronomía
698 – 902	Sistemas IMT (Telecomunicaciones Móviles Internacionales) Troncalizados Buscapersonas Bidireccional
902 - 928	Fijo MDBA
928 – 942	Fijo Móvil Buscapersonas Unidireccional
942 – 1000	Radionavegación Fijo Móvil

Tabla 6: Atribución Espectral Otras Aplicaciones de Telecomunicaciones [12]

3.3. Proceso de la Evaluación espectral

A continuación se muestra las actividades desarrolladas para evaluar la ocupación del espectro radio eléctrico desde el valor de frecuencia de 54 MHz hasta 1000 MHz,

tanto en el entorno urbano de la ciudad de Loja como en cada uno de las cabeceras parroquiales del cantón. La capacidad de vislumbrar la subutilización del espectro de RF, podría aportar como un antecedente para la utilización de métodos de asignación del espectro basadas en redes de radio cognitiva.

3.3.1. Procedimiento

El procedimiento establecido obedece a la obtención de medidas del espectro de radiofrecuencia en las bandas de 54MHz a 1000 MHz para la ciudad de Loja y sus parroquias rurales. Para llevar a cabo el estudio de las medidas se ha utilizado un equipo, basado principalmente en un analizador de espectros MARCA: ANRITSU - MODELO: MT8212B, antena Discono (Ver Anexos) y dispositivos externos (Transición PL-BNC, Cable coaxial RG58 a 50ohm, conectores RF, Antena), esto con el objeto de detectar la presencia de señales electromagnéticas disponibles o no por aplicaciones de radiodifusión, televisión o cualquier otra actividad de las telecomunicaciones que poseen concesión para su uso dentro de la banda en estudio.

Proceso de la Evaluación

Para una mejor observación y proceso de evaluación del espectro en estudio, se efectúa una subdivisión de la banda comprendida entre 54MHz a 1GHz. En la subdivisión se considera los rangos de aplicación y uso del espectro según el Plan Nacional de Frecuencias [12]. La necesidad de tener un ancho de banda configurado en el analizador no muy amplio, permitirá tener una mejor resolución frecuencial al momento de la medición. El número de sub bandas obtenidas de la división y su aplicación es de seis. Ver tabla 7.

Banda de Medición MHz						
Valor Inicial 54MHz			Valor Final 1000MHz			
	Sub Banda 1	SubBanda 2	SubBanda 3	SubBanda 4	SubBanda 5	SubBanda 6
AB (MHz)	54	66	42	296	186	302
	54 - 108	108 - 174	174 - 216	216 - 512	512 - 698	698-1000
APLICACIÓN	Televisión en VHF - Radio en FM	Servicios de Telecomunicaciones : Móvil Aeronáutico/Móvil-Fijo Por satélite/Plan Militar de Frecuencias/Radio Aficionados	Televisión en VHF	Radiolocalización/Radio Aficionados/Enlaces Radioelétricos Radiodifusión Sonora/Operaciones Espaciales/Móvil x Satélite/iastronomía/Radionavegación Aeronáutica/Frecuencias Patrón y Señales Horarias/Meteorología/Radios de dos Vías	Televisión UHF/Radioastronomía	Redes de Telefonía Móvil/MDBA y Enlaces radioelétricos de radiodifusión sonora que utilizan técnicas MDBA/Enlaces Radioelétricos Radiodifusión

Tabla 7: Sub División de la Banda de Frecuencias 54MHZ – 1GHz

Posteriormente se efectúa la calibración de los equipos, básicamente se configura los parámetros de medición correspondientes a cada una de las sub bandas de trabajo en el Analizador de espectros: **MARCA:** ANRITSU, **MODELO:** MT8212B.



Figura 7: Analizador de Espectros ANRITSU MT8212B

En la tabla número ocho se observan los parámetros de configuración establecidos.

<u>Parámetros</u>		<u>Valores</u>					
Rango de frecuencias	de 54 Mhz– 108Mhz	108 Mhz – 174Mhz	174 Mhz – 216Mhz	216 Mhz – 512Mhz	512 Mhz – 698Mhz	698 Mhz – 1000Mhz	
Frecuencia Span	54Mhz	66Mhz	42Mhz	296Mhz	186Mhz	302Mhz	
Nivel de Referencia	-100dBm a -50dBm						
Escala	5 dB/div						
RBW	300KHz						
VBW	3KHz						
Pre amplificador	-----						
Tipo de Medida Radioeléctrica	Espectrograma						

Tabla 8: Parámetros de configuración del Analizador de Espectros

✚ Más adelante se deberá interconectar el equipo analizador con la antena. El tipo de antena utilizada es una Scanner Discono de banda ancha omnidireccional. Por el amplio espectro a monitorear, la antena ha sido construida en base a los parámetros técnicos como ganancia de los sistemas y frecuencias de operación necesarios, para abarcar el proceso de medición planteado. Vale recalcar que el diseño de la antena no es alcance de este proyecto; por tal motivo su proceso de construcción no se detalla en el presente trabajo.



Figura 8: Antena Discono de Banda Ancha/Tabla 9: Parámetros constructivos Antena

✚ A continuación se visita cada uno de las cabeceras parroquiales del Cantón Loja. Todas las mediciones efectuadas se realizan en la zona céntrica con mayor representación para cada una de las parroquias; estos sitios están georeferenciados según se muestra en la tabla 10. En la figura 9 se detalla con un mapa las ubicaciones geográficas de los sitios partícipes en la evaluación

CIUDAD	LONGITUD	LATITUD	ALTITUD (m)
Loja	4°1,0072'	79°12,6458'	2083
El Cisne	3°51,1422'	79°25,5779'	2355
Gualel	3°46,1533'	79°22,6294'	2557
Chuquiribamba	3°50,59909'	79°20,657'	2726
Chantaco	3°53,28'	79°15,20'	2500
Taquil	3°52,7609'	79°19,7337'	2245
Yangana	4°21,9037'	79°10,62278'	1830
Quinara	4°18,9063'	79°14,3769'	1604
Vilcabamba	4°15,6319'	79°13,3432'	1580
San Pedro de Vilcabamba	4°14,3600'	79°13,1700'	1700
Malacatos	4°13,3000'	79°15,3000'	1470
San Lucas	3°44,1044'	79°15,7676'	2484
Santiago	3°47,5636'	79°16,9826'	2411
Jimbilla	3°51,6505'	79°10,3281'	1925

Tabla 10: Ubicación geográfica de las Parroquias del Cantón Loja

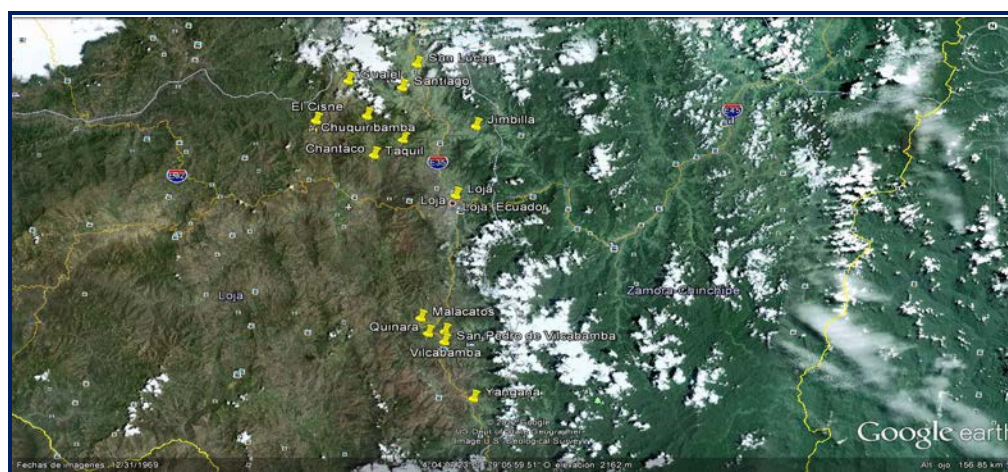


Figura 9: Sitios de Monitoreo - Mapa aéreo

- ✚ Luego, se implementa los accesorios y equipos de medición en cada una de las zonas, todo el sistema ha sido configurado previamente según el número de sub bandas a monitorear. Se establece el equipo a las condiciones de configuración según la sub banda, y se procede al monitoreo de las mismas.



Figura 10: Instalación de equipos y monitoreo del espectro

- ✚ Para la obtención de la información referida a la radiación electromagnética en cada uno de los sectores, se estable un horario de medida aleatorio en cada lugar y en días distintos. El porqué de elegir días diferentes y horas disímiles, es para adquirir suficientes muestras y así conseguir datos estadísticos que puedan procesarse generando fidelidad e inclinación a la realidad, además de buscar diferencias en la ocupación espectral obedeciendo a la franja horaria o circunstancias particulares de cada región.

- ✚ Posteriormente se efectúa la adquisición de las muestras (barrido espectral) con un tiempo de duración por barrido en cada sub banda de 2,2 segundos; en total se monitorea por treinta minutos cada sub banda para cinco instantes distintos del día. Considerando aleatoriedad en la medición, se efectúa la visita a cada sitio en dos diferentes fechas generándose un número de muestras suficientes para discriminar en función de las prestaciones técnicas de los sistemas de radio cognitiva, y la disponibilidad de cada sub banda.

3.3.2. Métrica de Evaluación

Una de las principales características de las CRNs es la capacidad de detectar la emisión de señales radioeléctricas correspondientes a usuarios primarios para no causarles interferencias y revelar espacios frecuenciales que brinden oportunidades de funcionamiento de estas redes para la transmisión de datos. Para esto, cada usuario cognitivo monitorea el espectro de manera individual haciendo uso de técnicas de censado y, posiblemente, comparte las observaciones del mismo con otros usuarios. Las técnicas de detección de energía, detección por filtro adaptado y detección cicloestacionaria pueden ser utilizadas, para el proceso de evaluación del espectro radioeléctrico.

En las parroquias del cantón Loja se utilizará como métrica de análisis el método de detección de energía; de esta forma se podrá comparar la potencia de las señales medidas generadas por las distintas aplicaciones de telecomunicaciones en la banda de 54 MHz a 1000MHz con un cierto umbral de decisión y determinar que la señal está presente si el nivel de energía está por encima de dicho umbral. De acuerdo a lo

establecido en los sistemas cognitivos, las BS's abandonan un canal si detectan señales sobre los siguientes umbrales:

- Televisión digital (TDT): -116dBm
- Televisión analógica: -94dBm

Actualmente en nuestra región no existen emisiones de televisión digital terrestre, por lo tanto, se establece como único umbral de comparación el valor de -94dBm.

3.3.3. Resultados de la Evaluación Espectral

El objetivo de este apartado será el de evidenciar en función de la métrica antes establecida, los resultados de la evaluación espectral.

i. ESPECTROGRAMAS POR PARROQUIA

Efectuados los procesos de monitoreo y medida en cada una de las sub-bandas en las que fue dividido el espectro electromagnético dentro de las zonas de interés, el analizador de espectro nos permite visualizar en pantalla las componentes espectrales de las señales presentes en las diferentes frecuencias de la misma, descartando la información de fase de las diversas unidades espectrales de la señal, proporcionando exclusivamente la información de amplitud, energía o potencia para cada componente frecuencial.

A continuación se observan los resultados experimentales obtenidos para cada una de las parroquias del cantón Loja. En los gráficos podemos observar la ocupación

espectral durante el tiempo de medida, en cada una de las sub-bandas. Esto nos permite apreciar si el espectro está ocupado (representado por pigmentos de color variables de acuerdo el nivel de energía medido) o si por el contrario está libre (representado por pigmentos de color negro).

EL CISNE

Parroquia	Latitud	Longitud	Altitud (m)
<u>El Cisne</u>	3°51,1422'	79°25,5779'	2356



- Sub Banda 1 – 54MHz a 108MHz

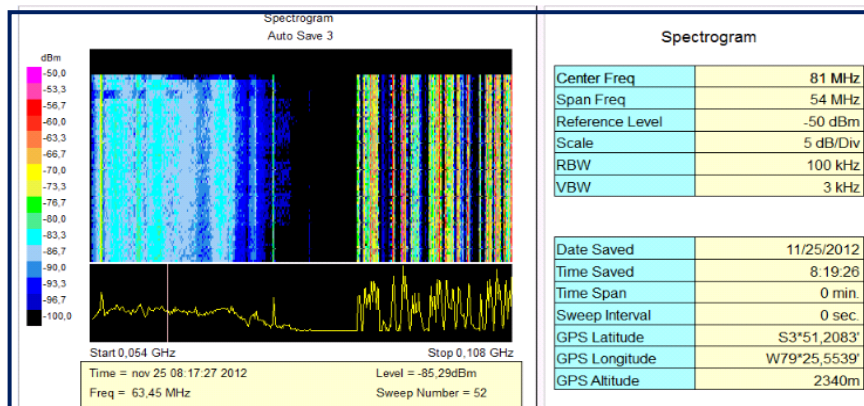


Figura 11: Espectrograma –Banda de análisis 54MHz – 108MHz - El Cisne

- Sub Banda 2 – 108MHz a 174MHz

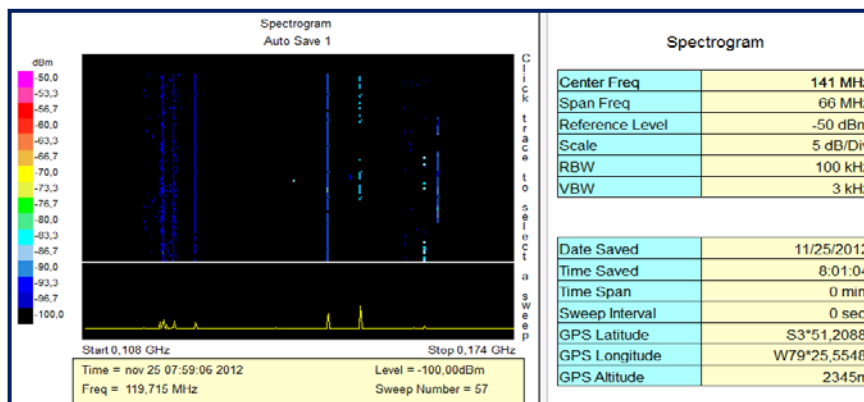


Figura 12: Espectrograma –Banda de análisis 108MHz – 174MHz - El Cisne

- Sub Banda 3 – 174MHz a 216MHz

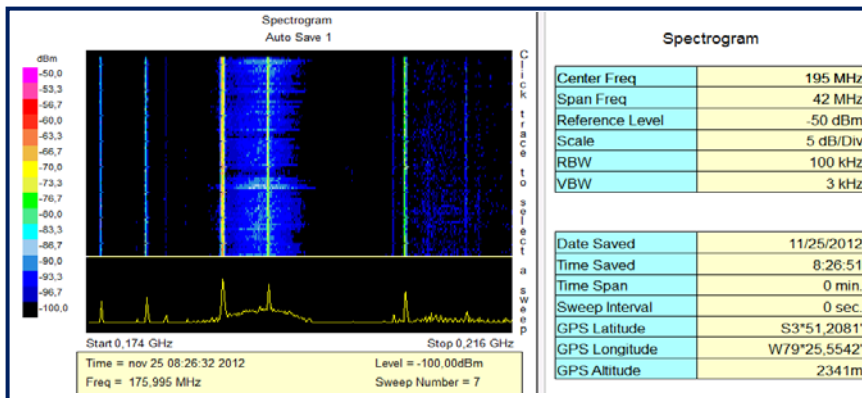


Figura 13: Espectrograma –Banda de análisis 174MHz – 216MHz - El Cisne

- Sub Banda 4 – 216MHz a 512MHz

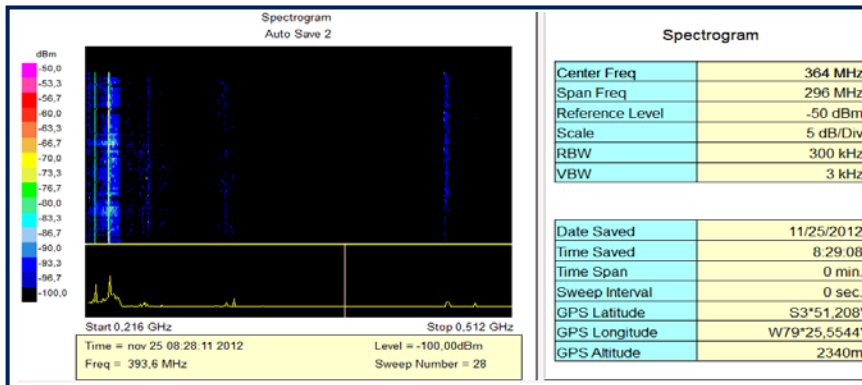


Figura 14: Espectrograma –Banda de análisis 216MHz – 512MHz - El Cisne

- Sub Banda 5 – 512MHz a 698MHz

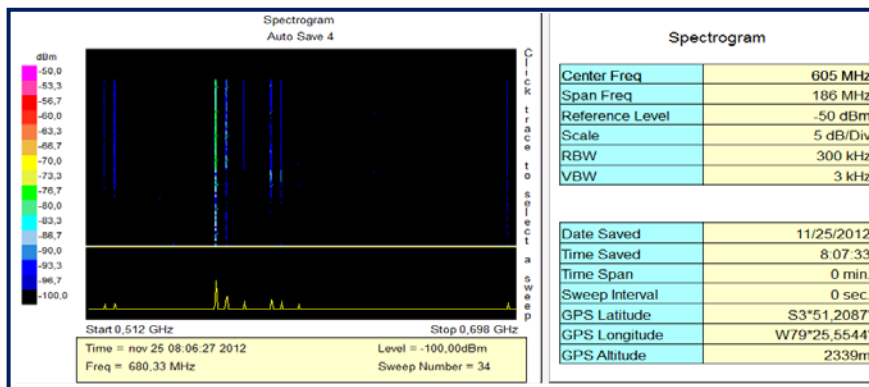


Figura 15: Espectrograma –Banda de análisis 512MHz – 698MHz - El Cisne

- Sub Banda 6 – 698MHz a 1000MHz

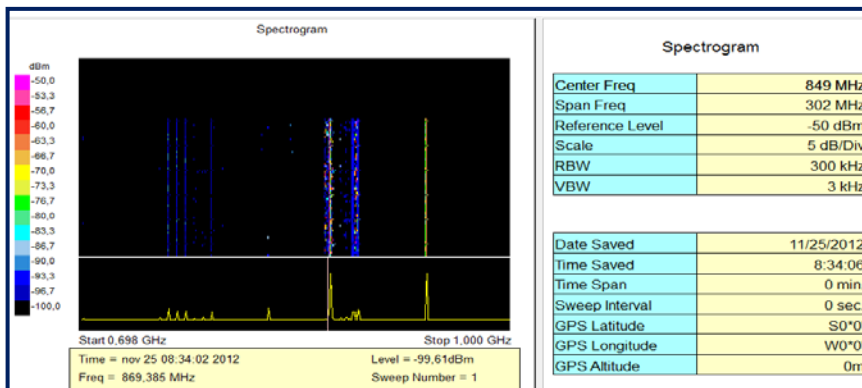



Figura 16: Espectrograma –Banda de análisis 698MHz – 1000Mhz - El Cisne

GUALEL

Parroquia	Latitud	Longitud	Altitud (m)
Gualel	3°46,1533'	79°22,6294'	2557



- Sub Banda 1 – 54MHz a 108MHz

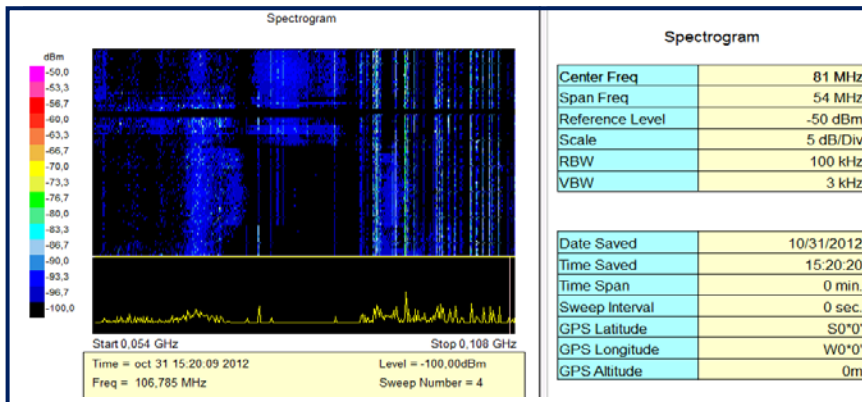


Figura 17: Espectrograma –Banda de análisis 54MHz – 108MHz - Gualel

- **Sub Banda 2 – 108MHz a 174MHz**

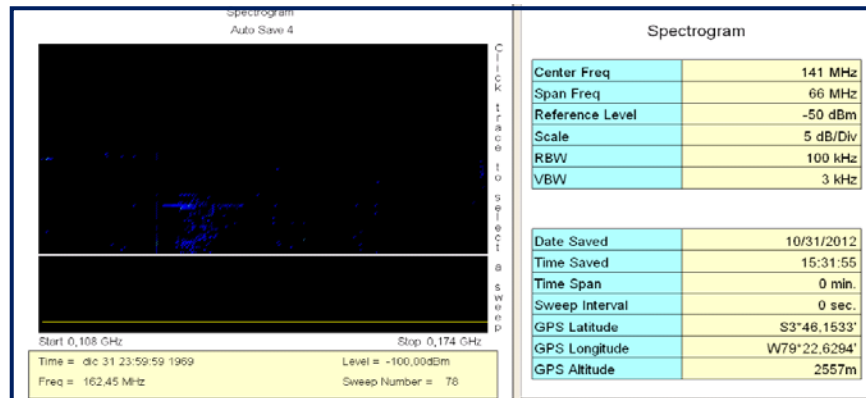


Figura 18: Espectrograma –Banda de análisis 108MHz – 174MHz - Gualei

- **Sub Banda 3 – 174MHz a 216MHz**

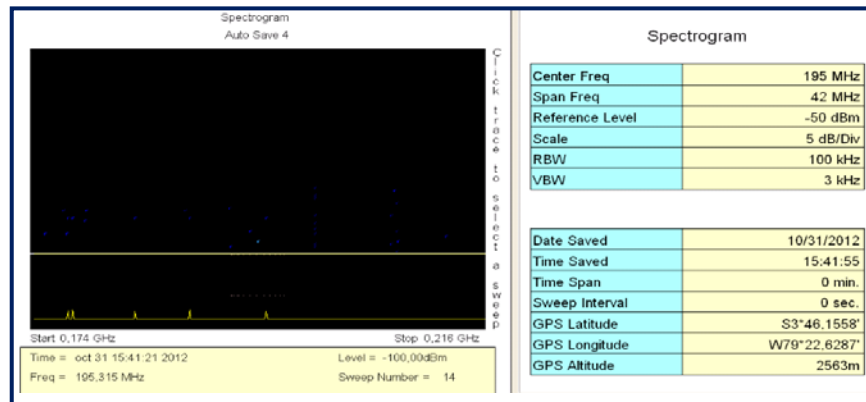


Figura 19: Espectrograma –Banda de análisis 174MHz – 216MHz - Gualei

- **Sub Banda 4 – 216MHz a 512MHz**

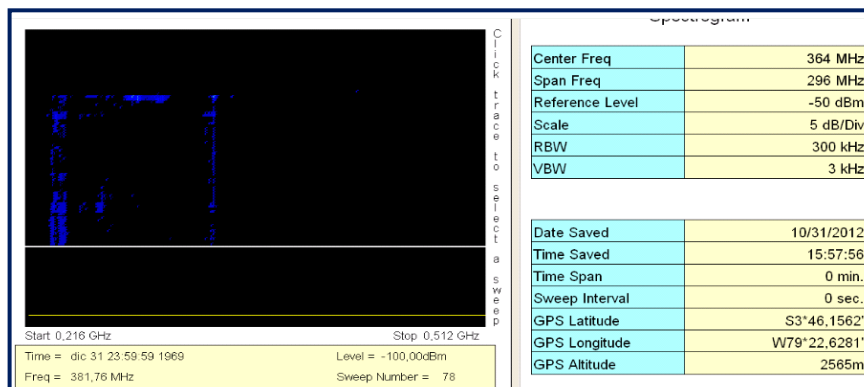


Figura 20: Espectrograma –Banda de análisis 216MHz – 512MHz – Gualei

- Sub Banda 5 – 512MHz a 698MHz

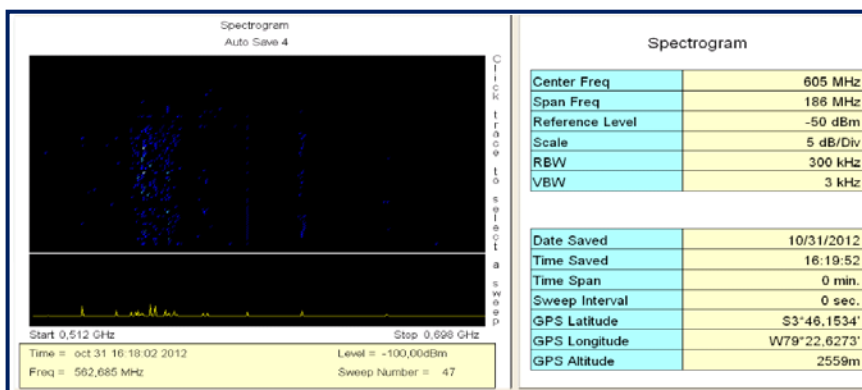


Figura 21: Espectrograma –Banda de análisis 512MHz – 698MHz – Gualel

- Sub Banda 6 – 698MHz a 1000MHz

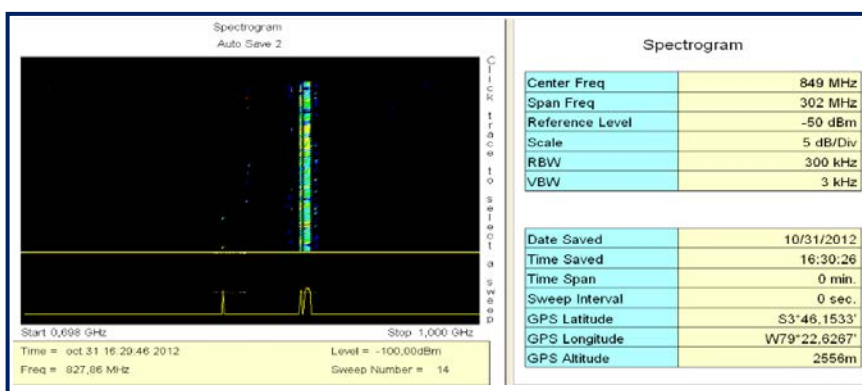


Figura 22: Espectrograma –Banda de análisis 698MHz – 1000MHz – Gualel

CHUQUIRIBAMBA

Parroquia	Latitud	Longitud	Altitud (m)
 <p><u>Chuquiribamba</u></p>	3°50,59909'	79°20,657'	2726

- **Sub Banda 1 – 54MHz a 108MHz**

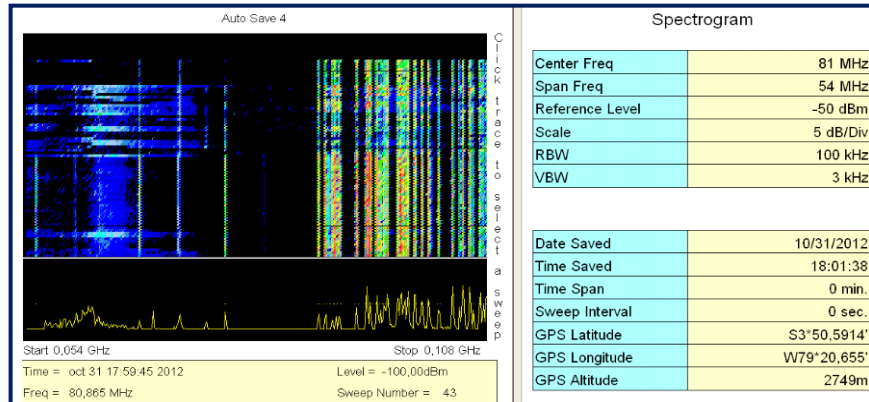


Figura 23: Espectrograma –Banda de análisis 54MHz – 108MHz - Chuquiribamba

- **Sub Banda 2 – 108MHz a 174MHz**

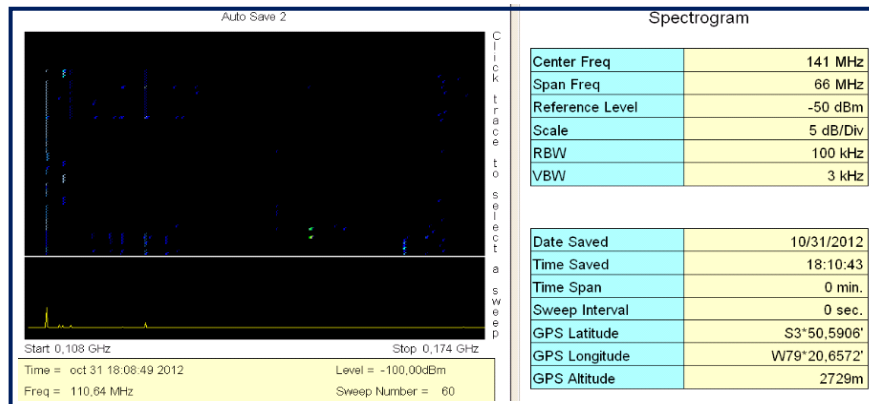


Figura 24: Espectrograma –Banda de análisis 108MHz – 174MHz - Chuquiribamba

- **Sub Banda 3 – 174MHz a 216MHz**

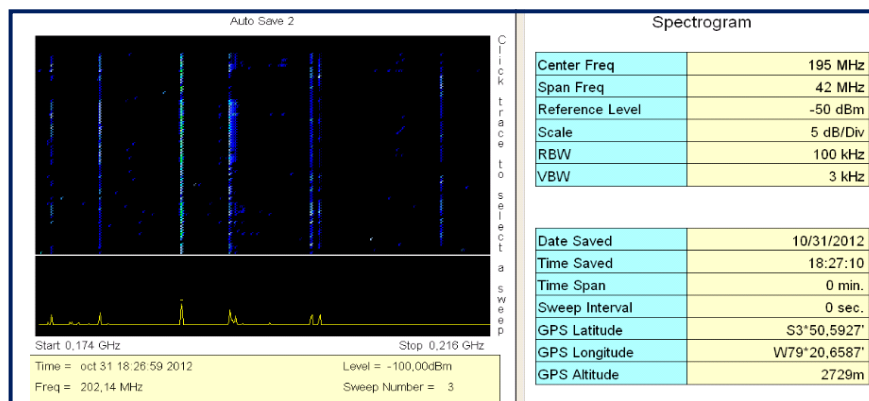


Figura 25: Espectrograma –Banda de análisis 174MHz – 216MHz - Chuquiribamba

- **Sub Banda 4 – 216MHz a 512MHz**

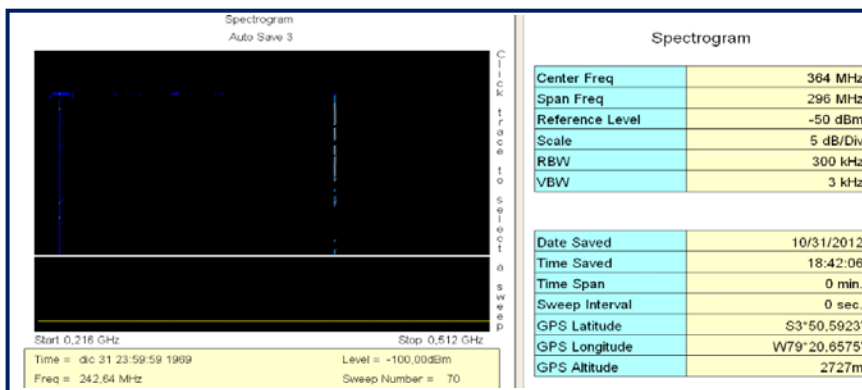


Figura 26: Espectrograma –Banda de análisis 216MHz – 512MHz - Chuquiribamba

- **Sub Banda 5 – 512MHz a 698MHz**

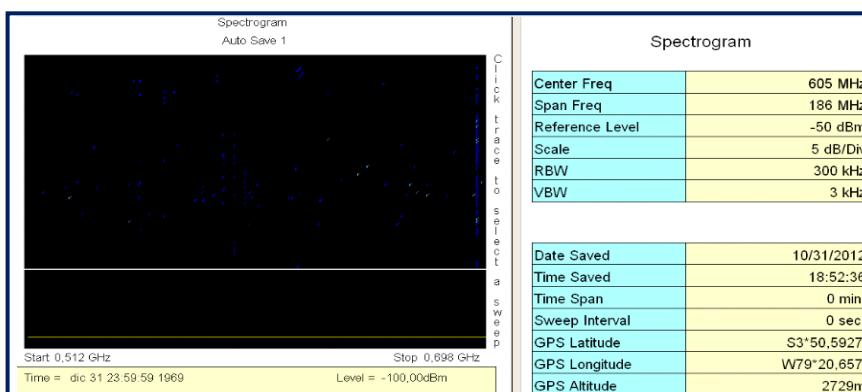


Figura 27: Espectrograma –Banda de análisis 512MHz – 698MHz - Chuquiribamba

- **Sub Banda 6 – 698MHz a 1000MHz**

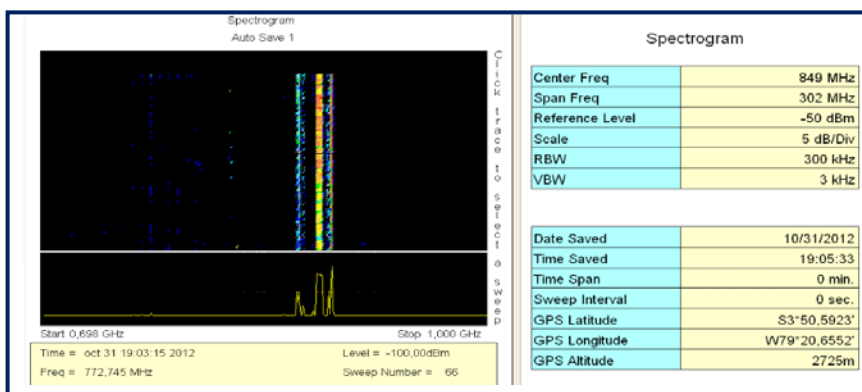


Figura 28: Espectrograma –Banda de análisis 698MHz – 1000MHz - Chuquiribamba

CHANTACO & TAQUIL

Parroquia	Latitud	Longitud	Altitud (m)
Chantaco & Taquil	3°52,7609'	79°19,7337'	2245



- Sub Banda 1 – 54MHz a 108MHz

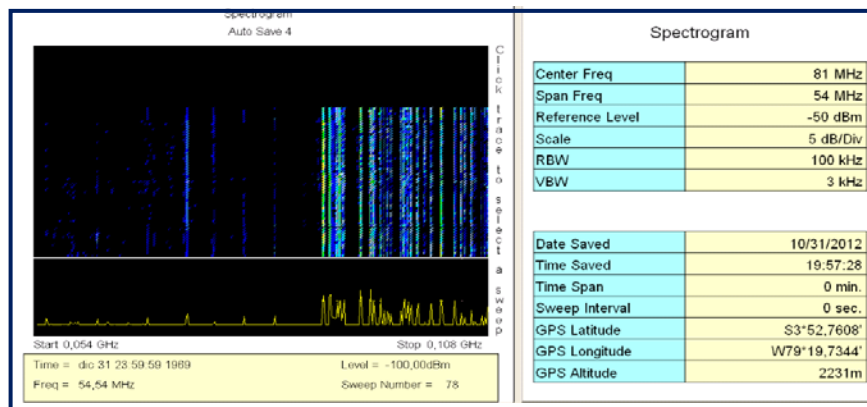


Figura 29: Espectrograma –Banda de análisis 54MHz – 108MHz - Chantaco&Taquil

- Sub Banda 2 – 108MHz a 174MHz

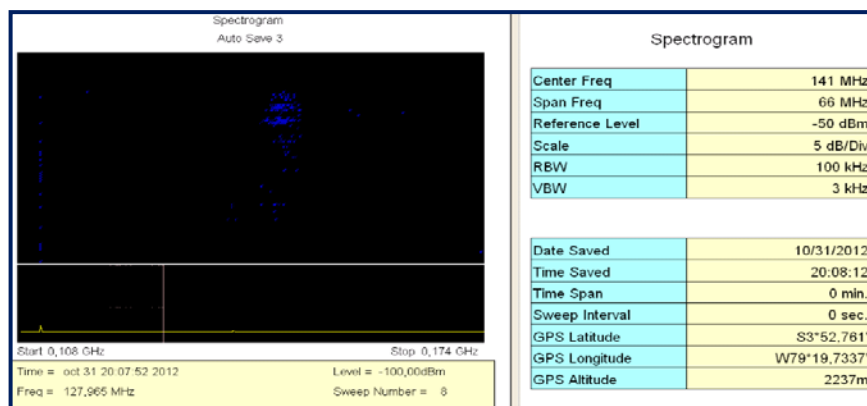


Figura 30: Espectrograma –Banda de análisis 108MHz – 174MHz - Chantaco&Taquil

- **Sub Banda 3 – 174MHz a 216MHz**

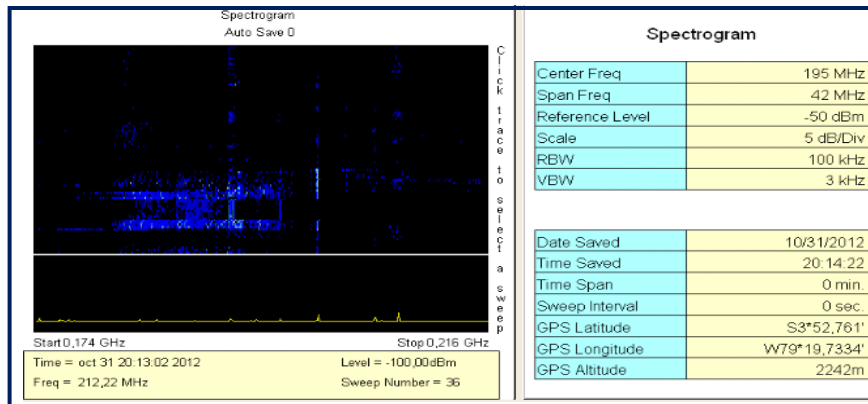


Figura 31: Espectrograma –Banda de análisis 174MHz – 216MHz - Chantaco & Taquil

- **Sub Banda 4 – 216MHz a 512MHz**

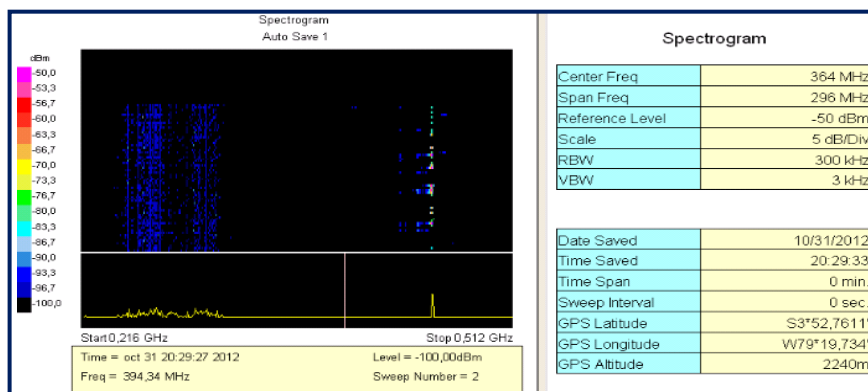


Figura 32: Espectrograma –Banda de análisis 216MHz – 512MHz - Chantaco & Taquil

- **Sub Banda 5 – 512MHz a 698MHz**

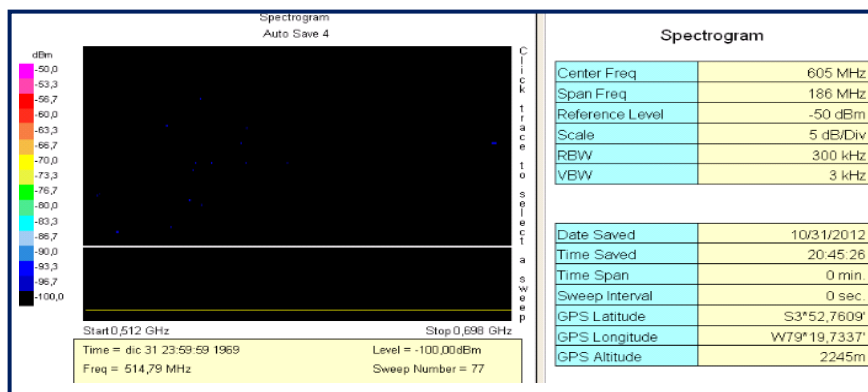


Figura 33: Espectrograma –Banda de análisis 512MHz – 698MHz –Chantaco & Taquil

- **Sub Banda 6 – 698Hz a 1000MHz**

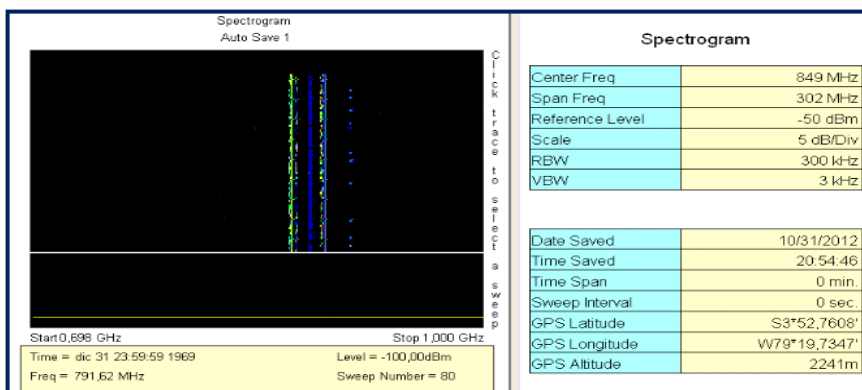



Figura 34: Espectrograma –Banda de análisis 698MHz – 1000MHz – Chantaco & Taquil

YANGANA

Parroquia	Latitud	Longitud	Altitud (m)
	4°21,9037'	79°10,62278'	1830

Yangana

- **Sub Banda 1 – 54MHz a 108MHz**

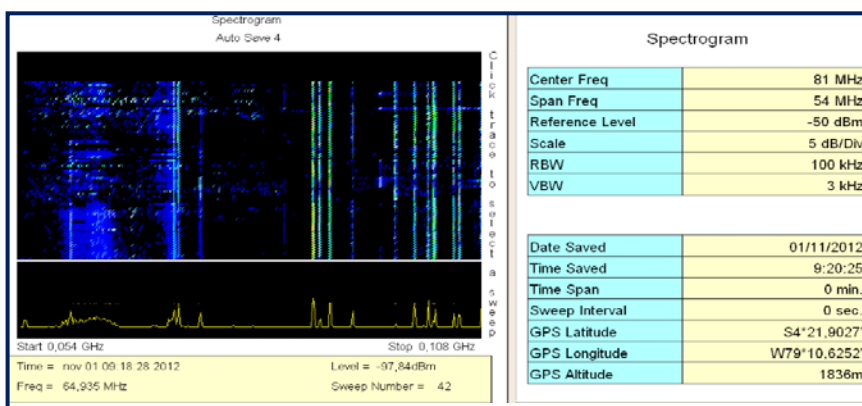


Figura 35: Espectrograma –Banda de análisis 54MHz – 108MHz – Yangana

- **Sub Banda 2 – 108MHz a 174MHz**

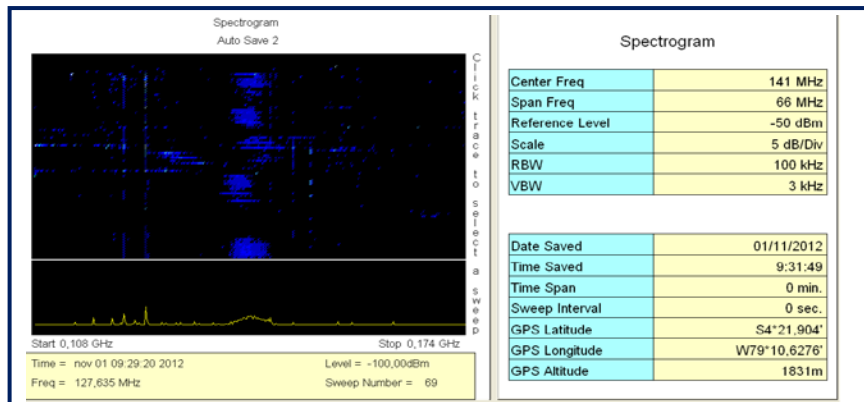


Figura 36: Espectrograma –Banda de análisis 108MHz – 174MHz - Yangana

- **Sub Banda 3 – 174MHz a 216MHz**

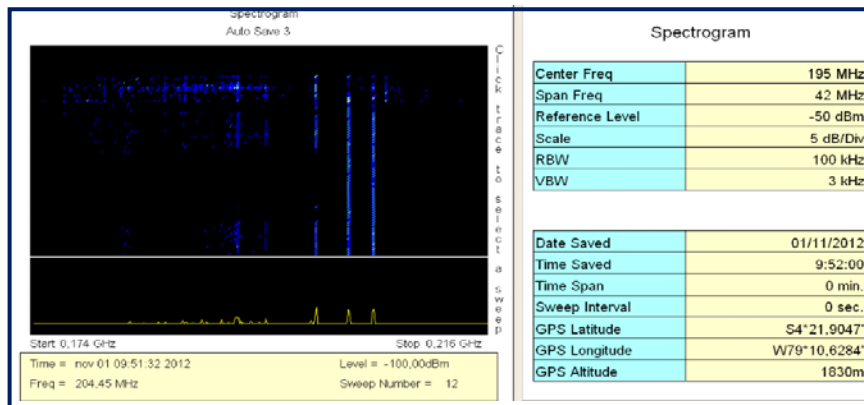


Figura 37: Espectrograma –Banda de análisis 108MHz – 174MHz - Yangana

- **Sub Banda 4 – 216MHz a 512MHz**

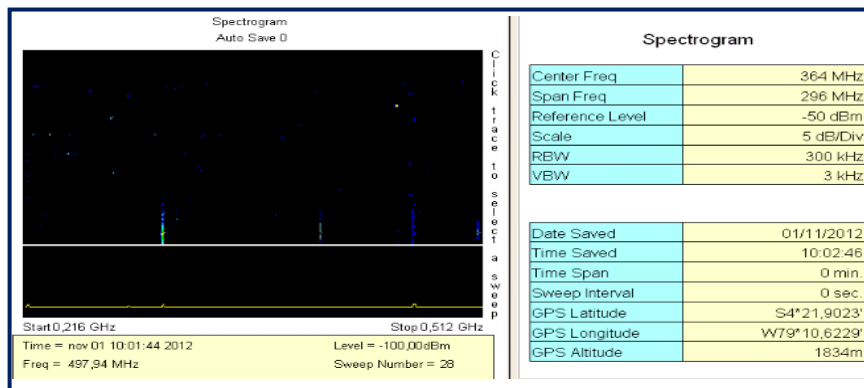


Figura 38: Espectrograma –Banda de análisis 216MHz – 512MHz – Yangana

- **Sub Banda 5 – 512MHz a 698MHz**

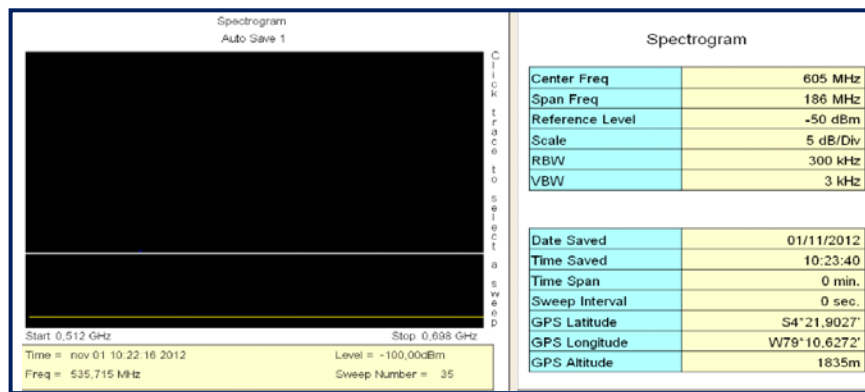


Figura 39: Espectrograma –Banda de análisis 512MHz – 698MHz – Yangana

- **Sub Banda 6 – 698Hz a 1000MHz**

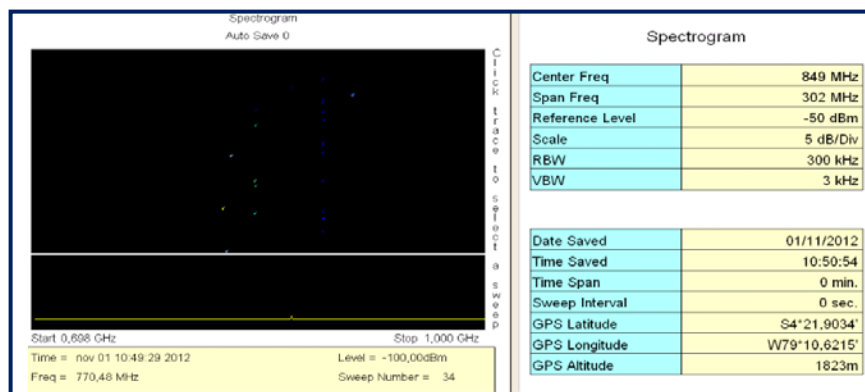


Figura 40: Espectrograma –Banda de análisis 698MHz – 1000MHz – Yangana

QUINARA

Parroquia	Latitud	Longitud	Altitud (m)
-----------	---------	----------	-------------

Quinara



4°18,9063' 79°14,3769' 1604

- **Sub Banda 1 – 54MHz a 108MHz**

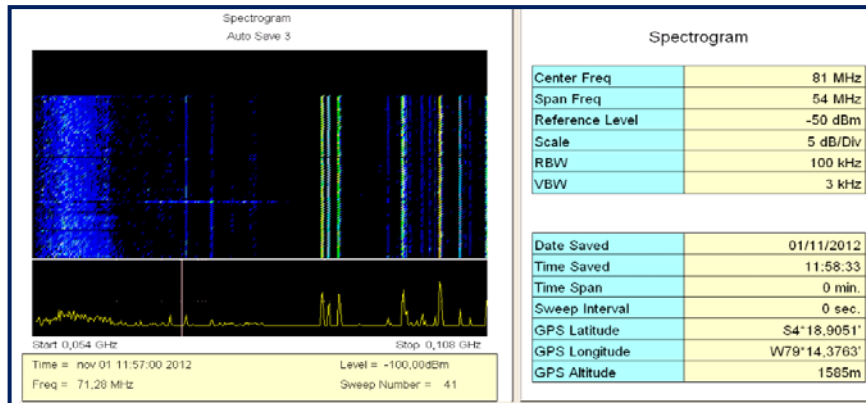


Figura 41: Espectrograma –Banda de análisis 54MHz – 108MHz - Quinara

- **Sub Banda 2 – 108MHz a 174MHz**

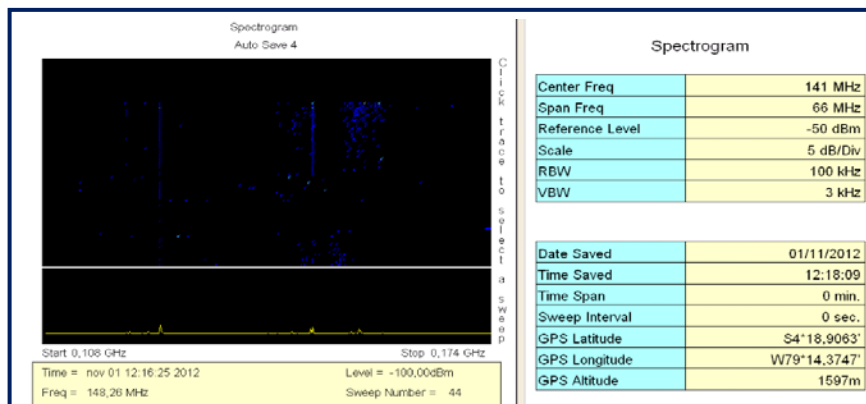


Figura 42: Espectrograma –Banda de análisis 108MHz – 174MHz - Quinara

- **Sub Banda 3 – 174MHz a 216MHz**

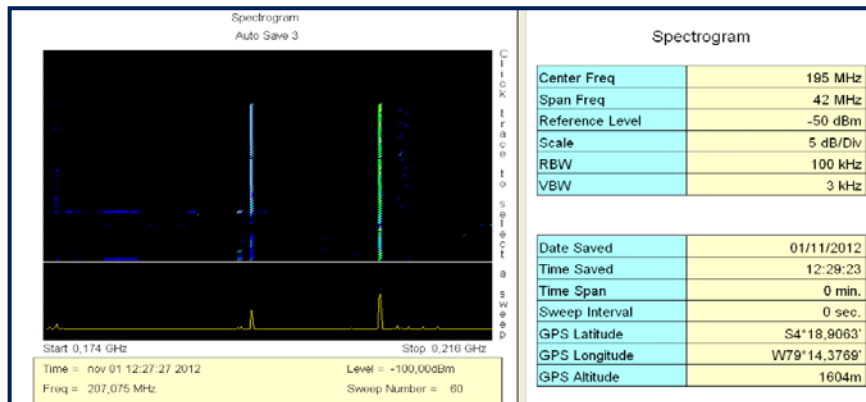


Figura 43: Espectrograma –Banda de análisis 174MHz – 216MHz - Quinara

- Sub Banda 4 – 216MHz a 512MHz

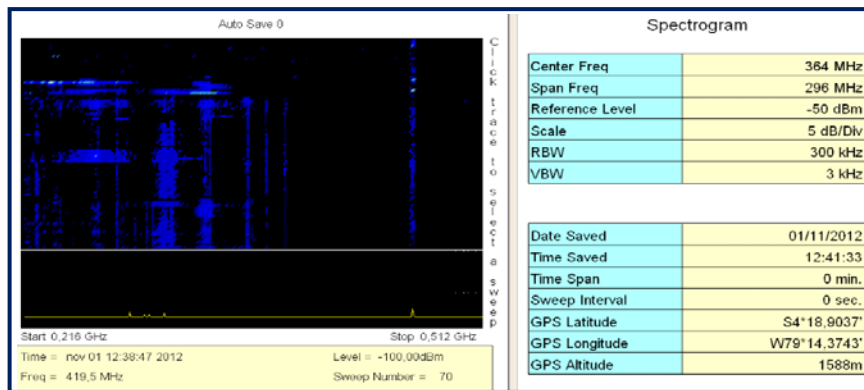


Figura 44: Espectrograma –Banda de análisis 216MHz – 512MHz - Quinara

- Sub Banda 5 – 512MHz a 698MHz

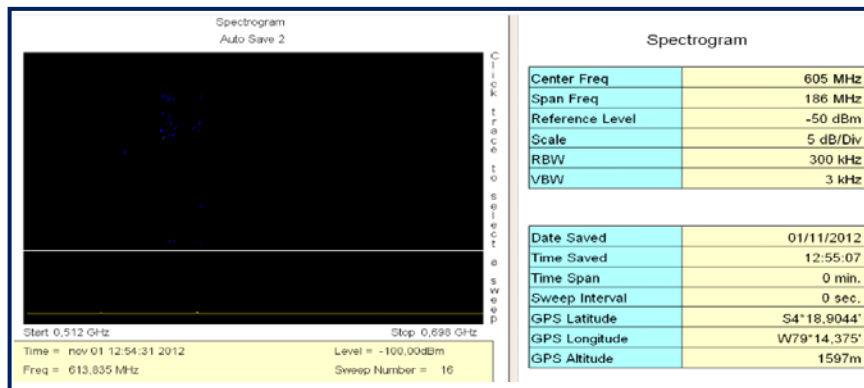


Figura 45: Espectrograma –Banda de análisis 512MHz – 698MHz - Quinara

- Sub Banda 6 – 698MHz a 1000MHz

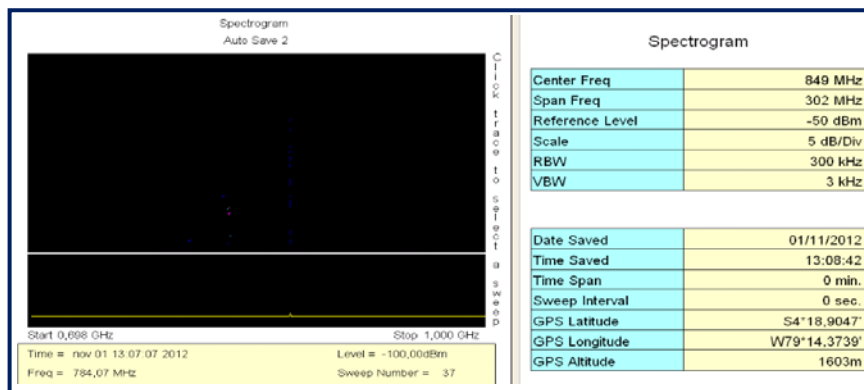



Figura 46: Espectrograma –Banda de análisis 698MHz – 1000MHz - Quinara

VILCABAMBA&SAN PEDRO DE VILCABAMBA

Parroquia	Latitud	Longitud	Altitud (m)
Vilcabamba/San Pedro de Vilcabamba			
	4°15,6319'	79°13,3432'	1580
	4°14,3600'	79°13,1700'	1700

- **Sub Banda 1 – 54MHz a 108MHz**

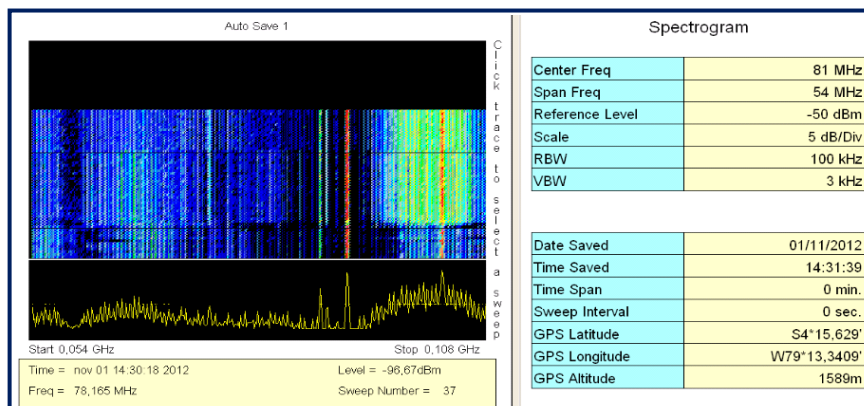


Figura 47: Espectrograma –Banda de análisis 54MHz – 108MHz - Vilcabamaba&San Pedro de Vilcabamba

- **Sub Banda 2 – 108MHz a 174MHz**

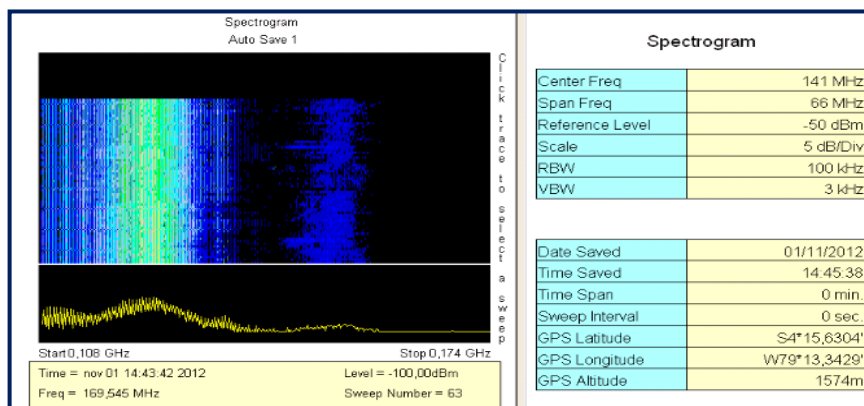


Figura 48: Espectrograma –Banda de análisis 108MHz – 174MHz - Vilcabamba&San Pedro de Vilcabamba

- **Sub Banda 3 – 174MHz a 216MHz**

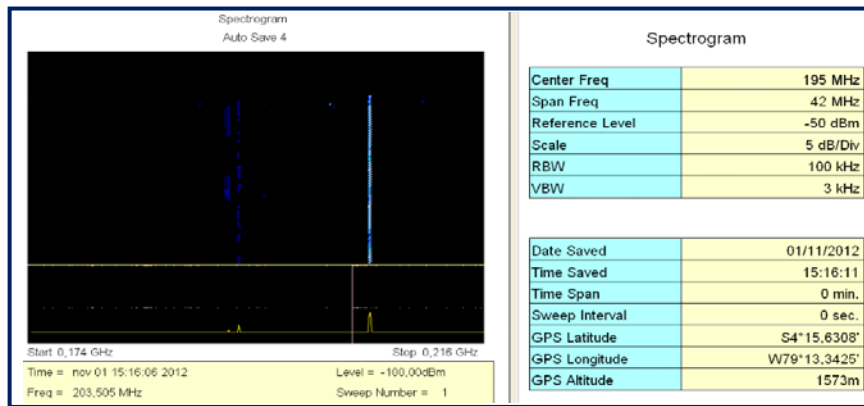


Figura 49: Espectrograma –Banda de análisis 174MHz - 216MHz - Vilcabamba&San Pedro de Vilcabamba

- **Sub Banda 4 – 216MHz a 512MHz**

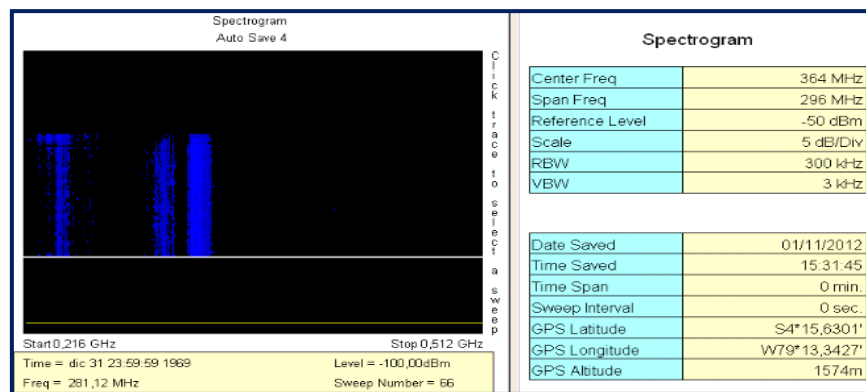


Figura 50: Espectrograma –Banda de análisis 216MHz – 512MHz - Vilcabamba&San Pedro de Vilcabamba

- **Sub Banda 5 – 512MHz a 698MHz**

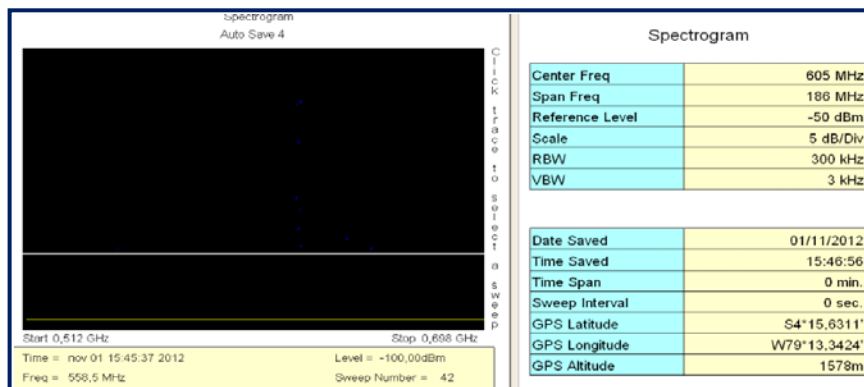


Figura 51: Espectrograma –Banda de análisis 512MHz – 698MHz - Vilcabamba&San Pedro de Vilcabamba

- Sub Banda 6 – 698MHz a 1000MHz

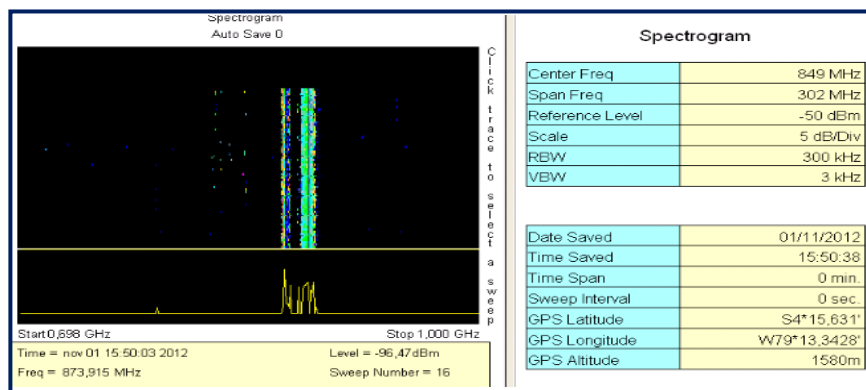


Figura 52: Espectrograma –Banda de análisis 698MHz – 1000MHz - Vilcabamba&San Pedro de Vilcabamba

MALACATOS

Parroquia	Latitud	Longitud	Altitud (m)
<u>Malacatos</u>	4°13,3000'	79°15,3000'	1470



- Sub Banda 1 – 54MHz a 108MHz

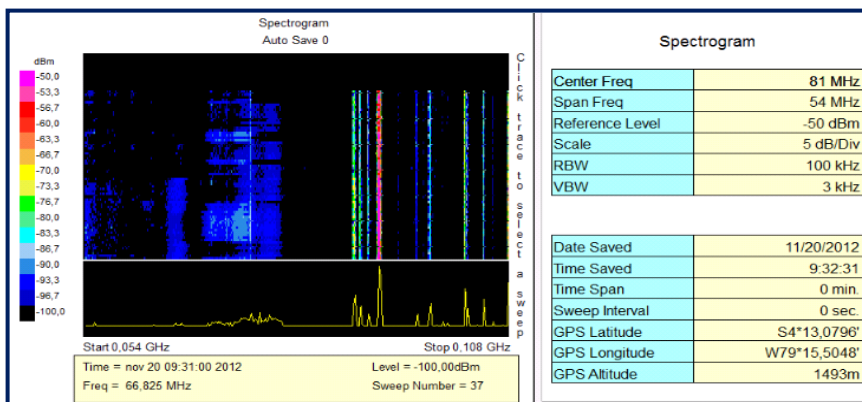


Figura 53: Espectrograma –Banda de análisis 54MHz – 108MHz – Malacatos

- Sub Banda 2 – 108MHz a 174MHz

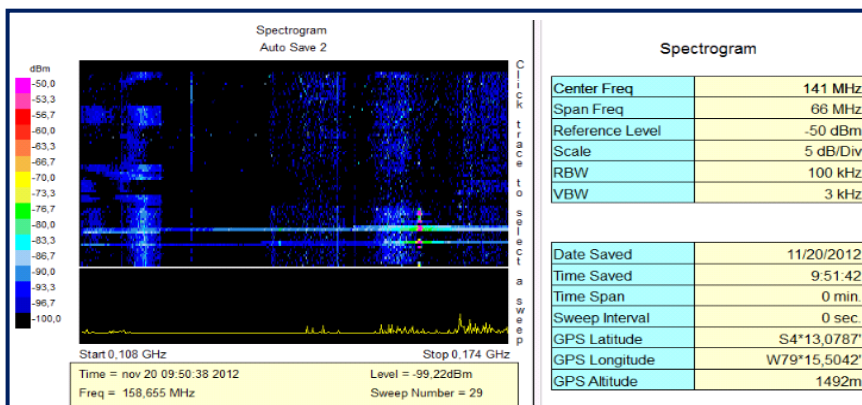


Figura 54: Espectrograma –Banda de análisis 108MHz – 174MHz - Malacatos

- Sub Banda 3 – 174MHz a 216MHz

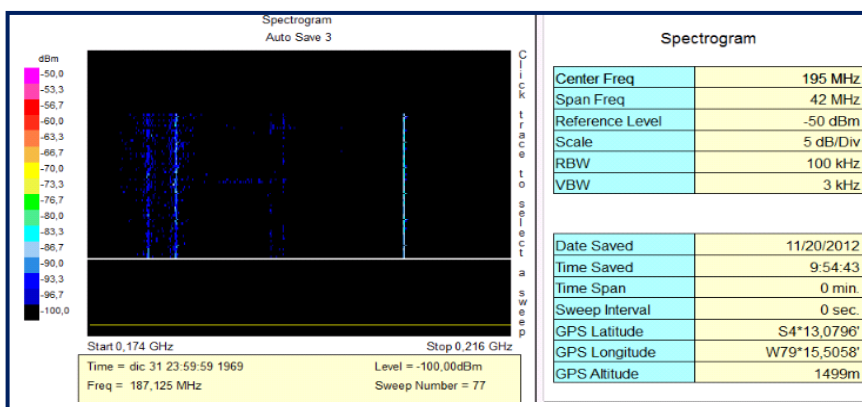


Figura 55: Espectrograma –Banda de análisis 174MHz – 216MHz – Malacatos

- Sub Banda 4 – 216MHz a 512MHz

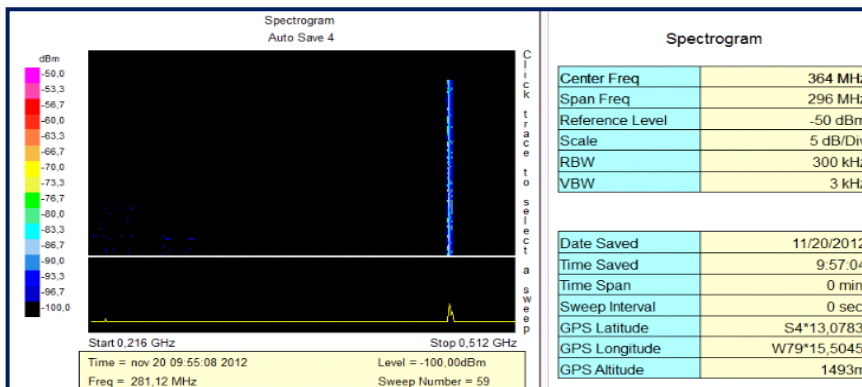


Figura 56: Espectrograma –Banda de análisis 216MHz – 512MHz - Malacatos

- **Sub Banda 5 – 512MHz a 698MHz**

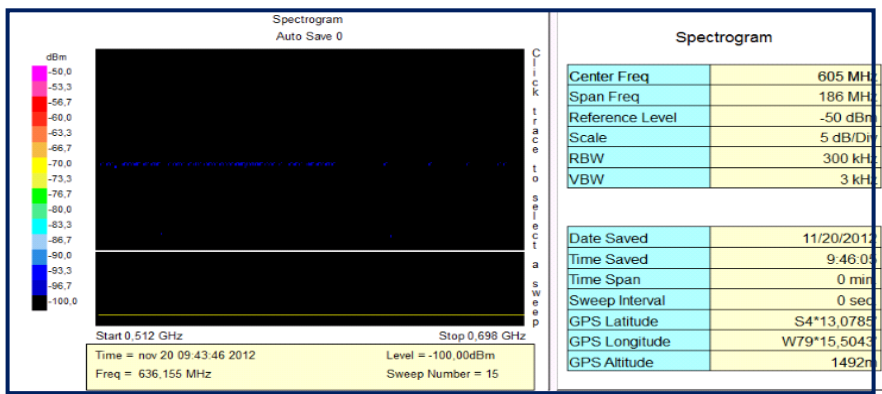


Figura 57: Espectrograma –Banda de análisis 512MHz – 698MHz - Malacatos

- **Sub Banda 6 – 698MHz a 1000MHz**

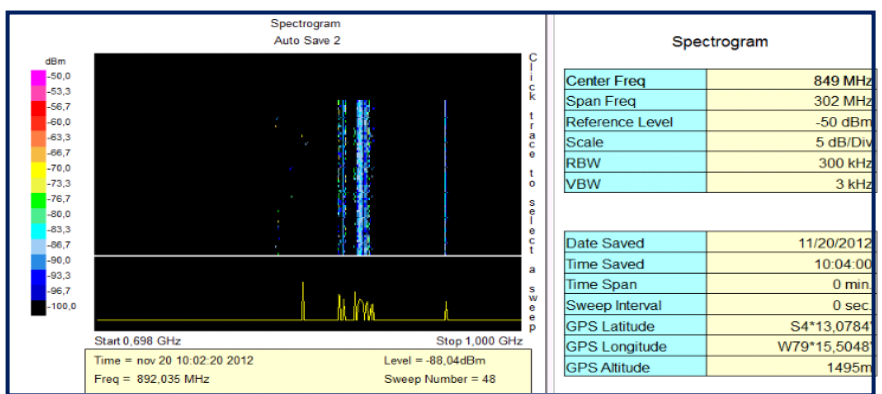


Figura 58: Espectrograma –Banda de análisis 698MHz – 1000MHz - Malacatos

SAN LUCAS

Parroquia	Latitud	Longitud	Altitud (m)
<u>San Lucas</u>	3°44,1044'	79°15,7676'	2484



- **Sub Banda 1 – 54MHz a 108MHz**

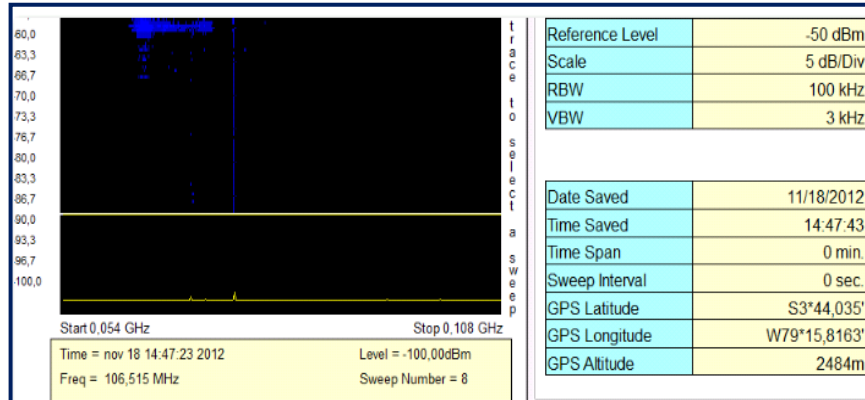


Figura 59: Espectrograma –Banda de análisis 54MHz – 108MHz - San Lucas

- **Sub Banda 2 – 108MHz a 174MHz**

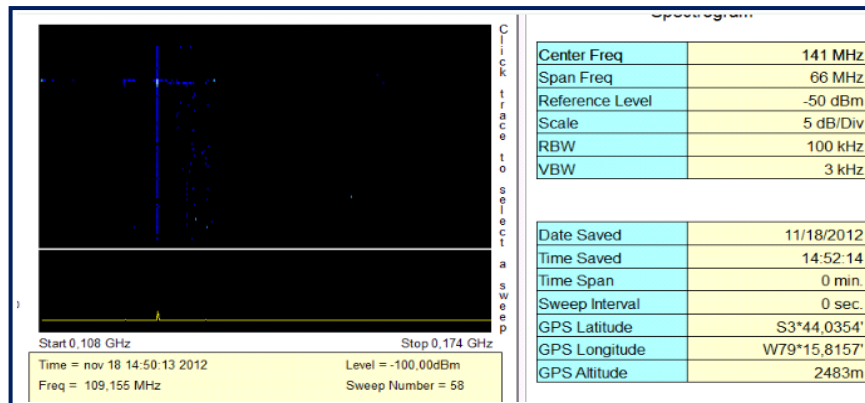


Figura 60: Espectrograma –Banda de análisis 108MHz – 174MHz - San Lucas

- **Sub Banda 3 – 174MHz a 216MHz**

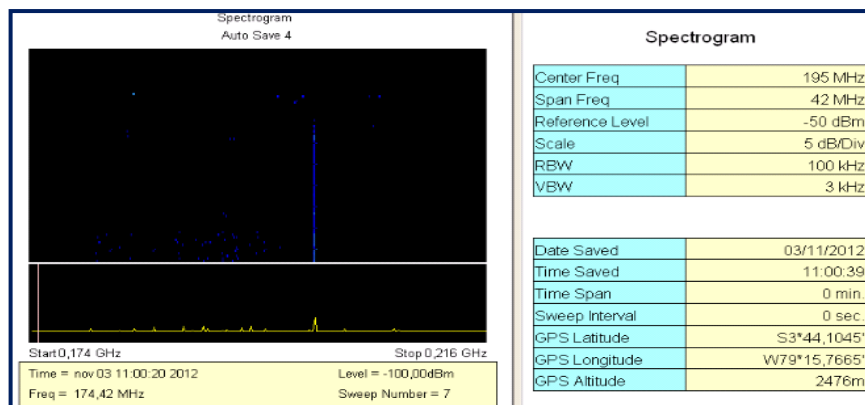


Figura 61: Espectrograma –Banda de análisis 174MHz - 216MHz - San Lucas

- **Sub Banda 4 – 216MHz a 512MHz**

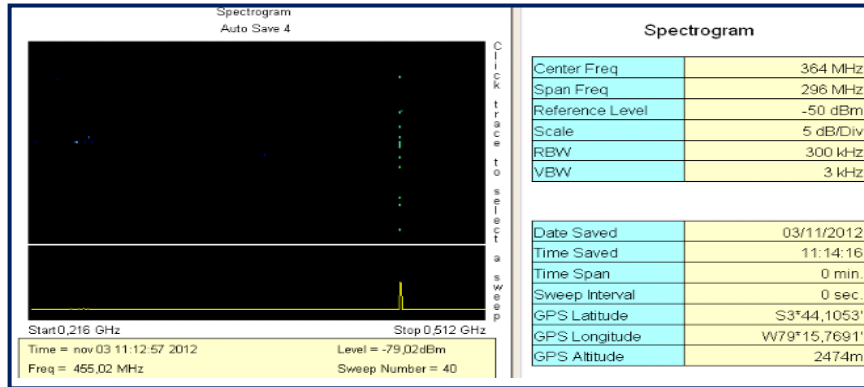


Figura 62: Espectrograma –Banda de análisis 216MHz – 512MHz- San Lucas

- **Sub Banda 5 – 512MHz a 698MHz**

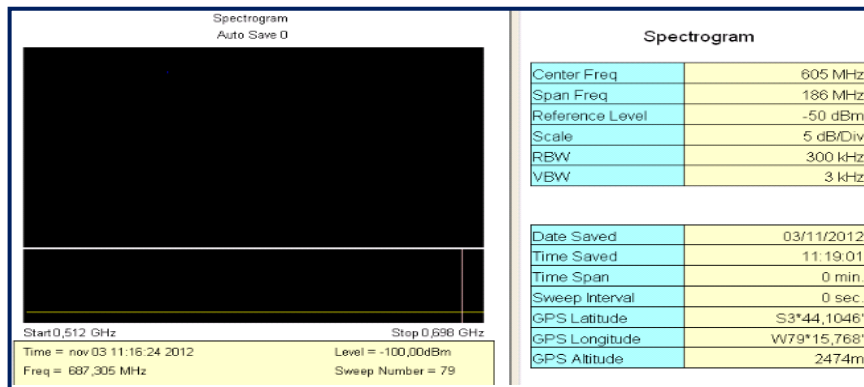


Figura 63: Espectrograma –Banda de análisis 512MHz – 698MHz - San Lucas

- **Sub Banda 6 – 698MHz a 1000MHz**

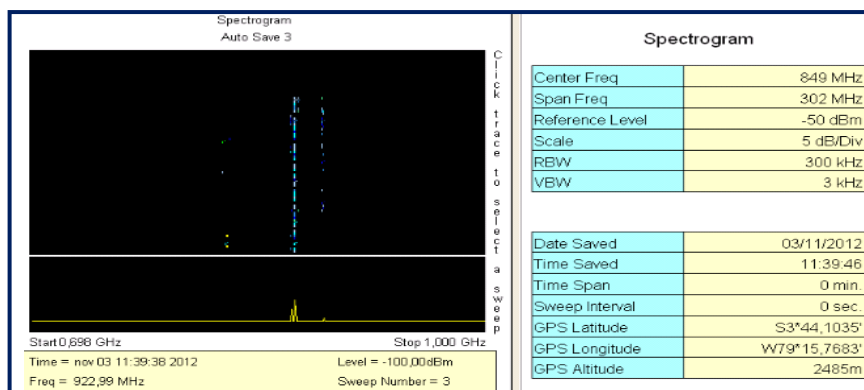


Figura 64: Espectrograma –Banda de análisis 698MHz – 1000MHz - San Lucas

SANTIAGO

Parroquia	Latitud	Longitud	Altitud (m)
Santiago	3°47,5636'	79°16,9826'	2411



- Sub Banda 1 – 54MHz a 108MHz

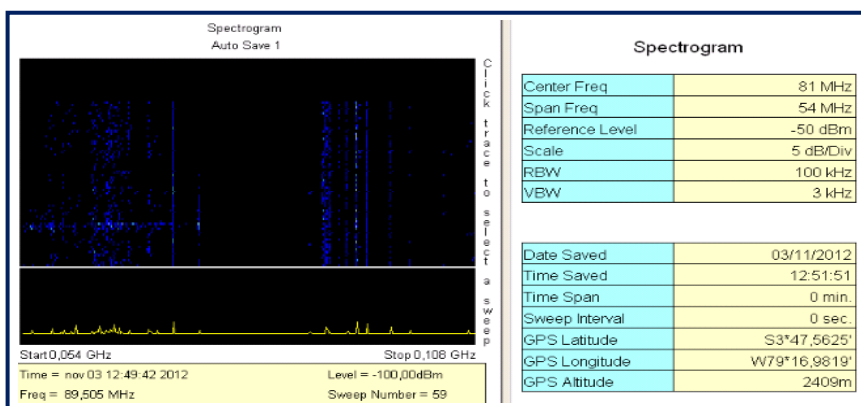


Figura 65: Espectrograma –Banda de análisis 54MHz – 108MHz - Santiago

- Sub Banda 2 – 108MHz a 174MHz

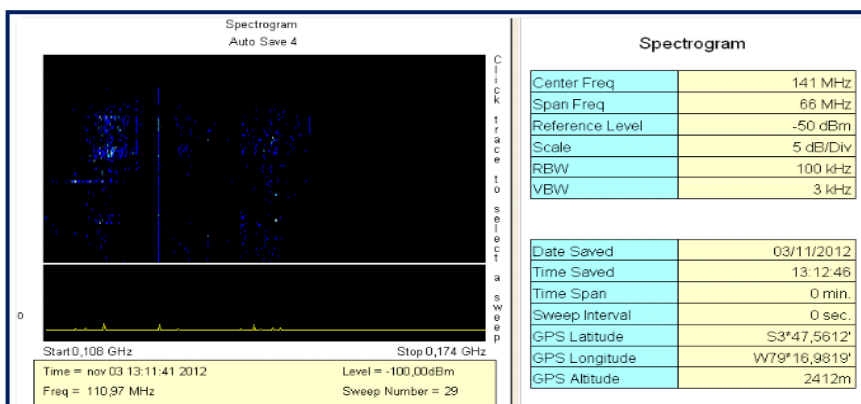


Figura 66: Espectrograma –Banda de análisis 108MHz – 174MHz – Santiago

- **Sub Banda 3 – 174MHz a 216MHz**

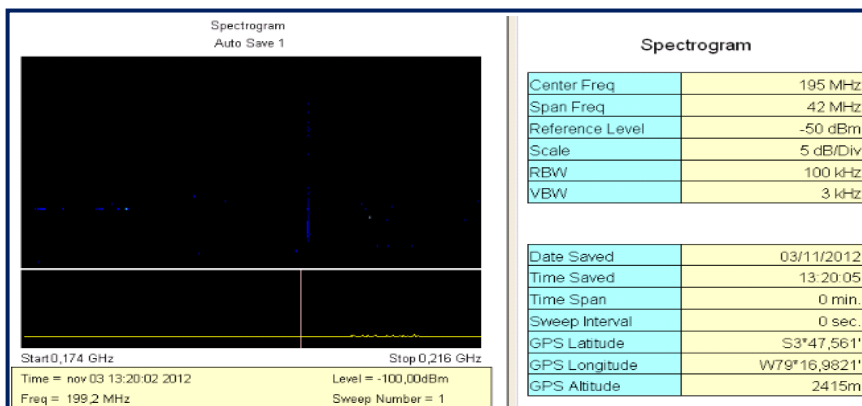


Figura 67: Espectrograma –Banda de análisis 174MHz – 216MHz - Santiago

- **Sub Banda 4 – 216MHz a 512MHz**

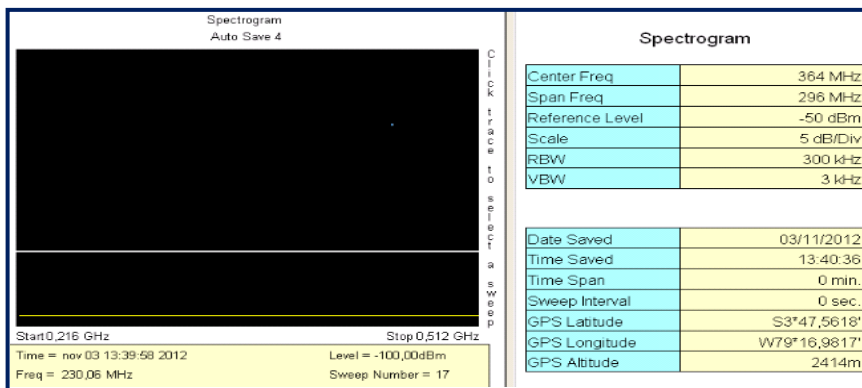


Figura 68: Espectrograma –Banda de análisis 216MHz – 512MHz - Santiago

- **Sub Banda 5 – 512MHz a 698MHz**

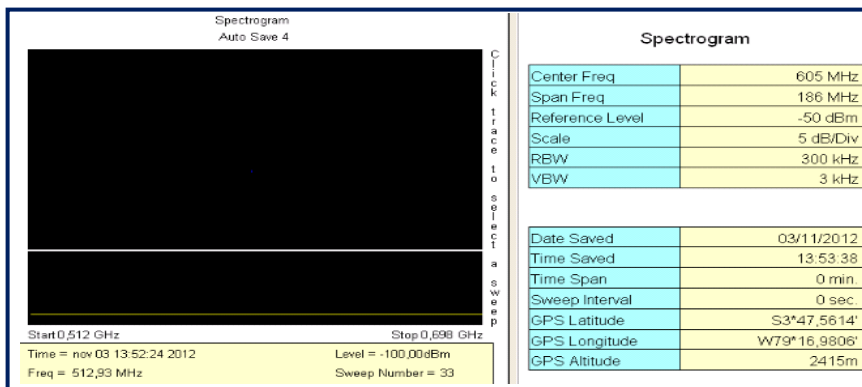


Figura 69: Espectrograma –Banda de análisis 512MHz – 698MHz - Santiago

- Sub Banda 6 – 698MHz a 1000MHz

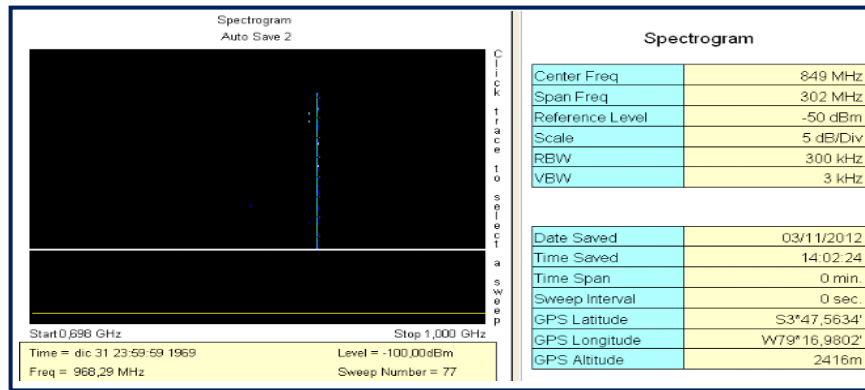


Figura 70: Espectrograma –Banda de análisis 698MHz – 1000MHz – Santiago

JIMBILLA

Parroquia	Latitud	Longitud	Altitud (m)
 <p>Jimbilla</p>	3°51,6505'	79°10.3281'	1925

- Sub Banda 1 – 54MHz a 108MHz

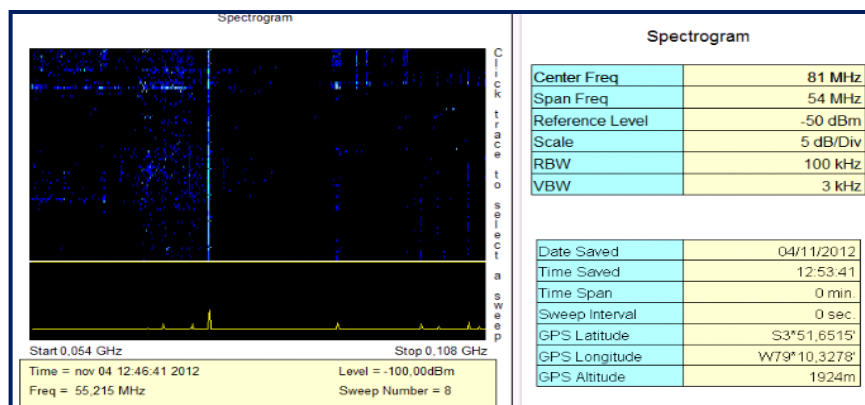


Figura 71: Espectrograma –Banda de análisis 54MHz – 108MHz – Jimbilla

- Sub Banda 2 – 108MHz a 174MHz

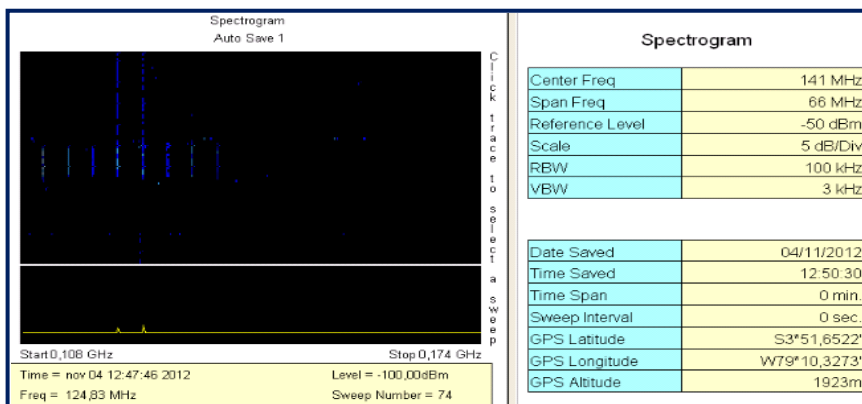


Figura 72: Espectrograma –Banda de análisis 108MHz – 174MHz - Jimbilla

- Sub Banda 3 – 174MHz a 216MHz

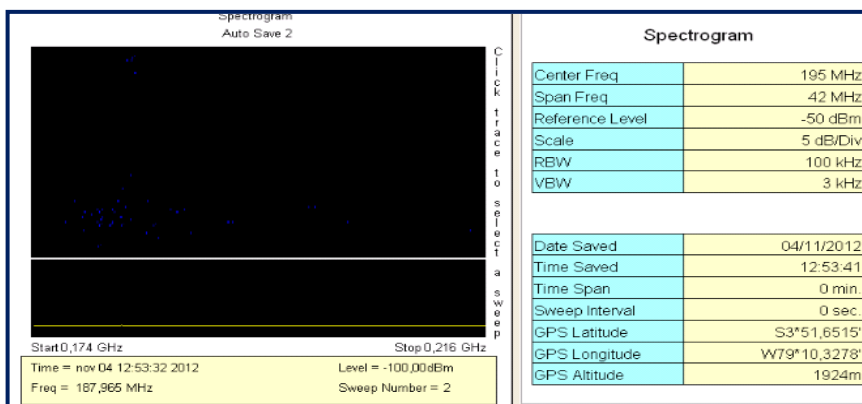


Figura 73: Espectrograma –Banda de análisis 174MHz – 216MHz - Jimbilla

- Sub Banda 4 – 216MHz a 512MHz

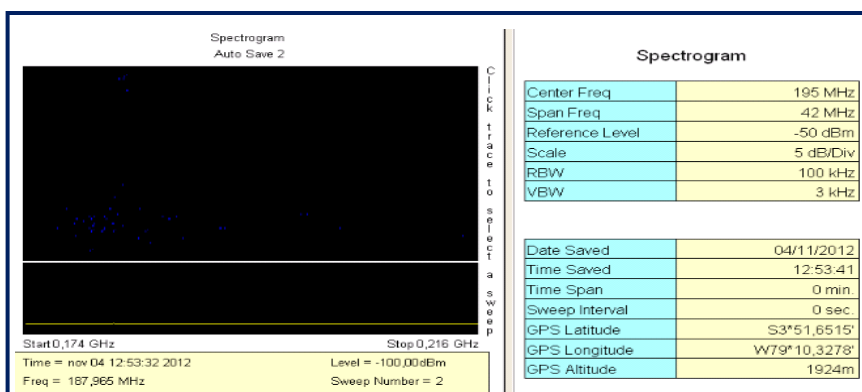


Figura 74: Espectrograma –Banda de análisis 216MHz – 512MHz - Jimbilla

- **Sub Banda 5 – 512MHz a 698MHz**

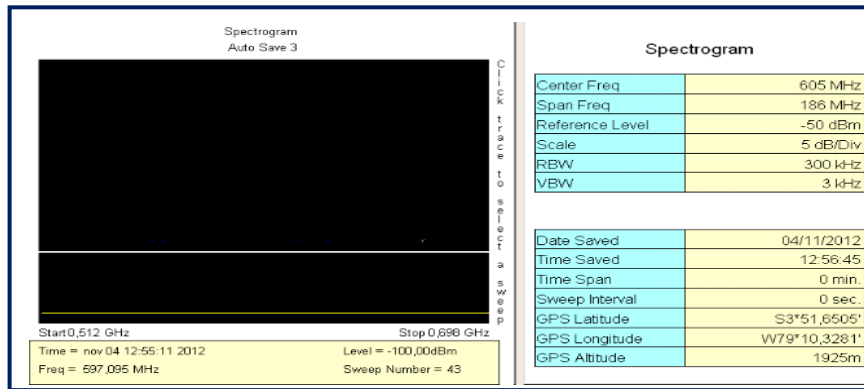


Figura 75: Espectrograma –Banda de análisis 512MHz – 698MHz - Jimbilla

- **Sub Banda 6 – 698MHz a 1000MHz**

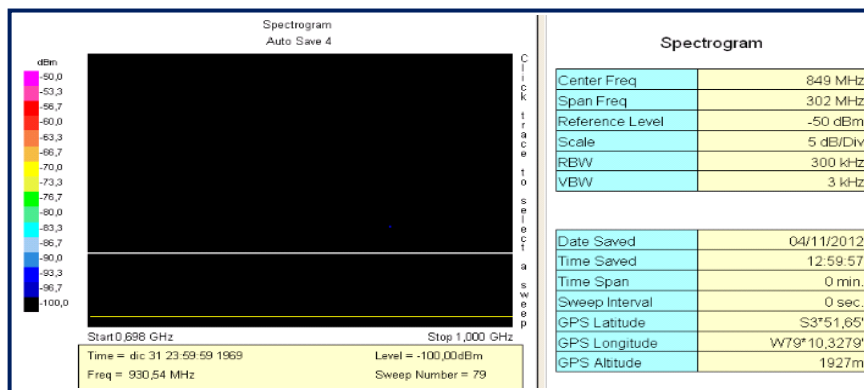


Figura 76: Espectrograma –Banda de análisis 698MHz – 1000MHz – Jimbilla

LOJA

Parroquia	Latitud	Longitud	Altitud (m)
-----------	---------	----------	-------------

LOJA



4°1,0072' 79°12,6458' 2083

- **Sub Banda 1 – 54MHz a 108MHz**

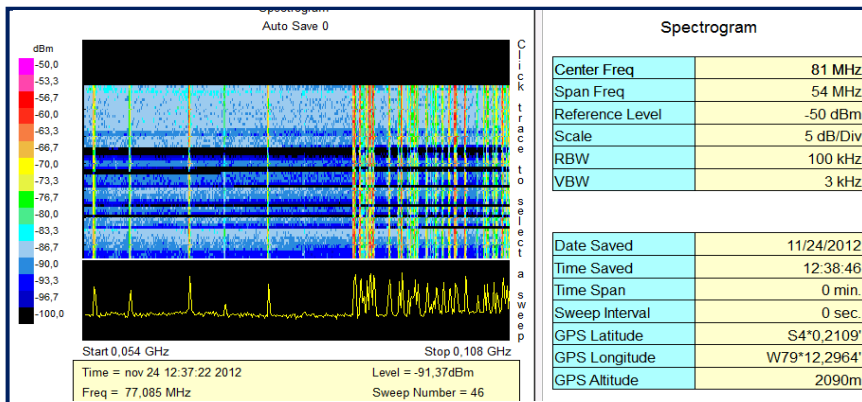


Figura 77: Espectrograma –Banda de análisis 54MHz – 108MHz - Loja

- **Sub Banda 2 – 108MHz a 174MHz**

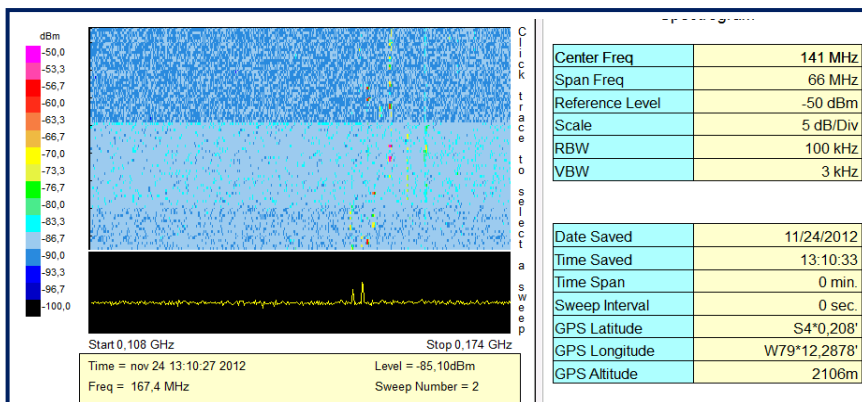


Figura 78: Espectrograma –Banda de análisis 108MHz – 174MHz - Loja

- **Sub Banda 3 – 174MHz a 216MHz**

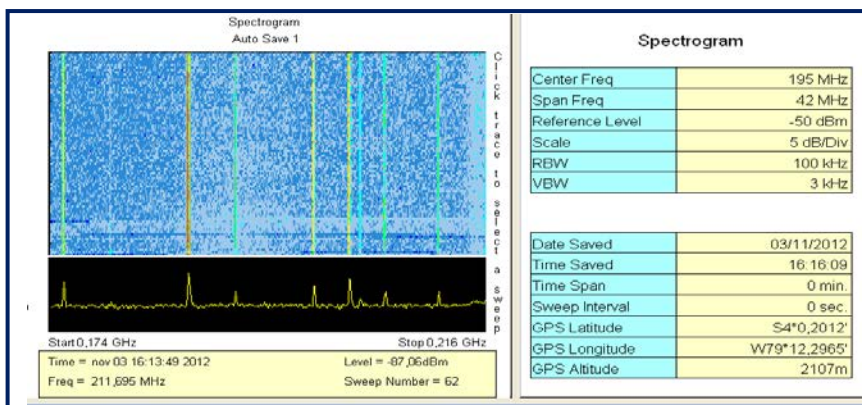


Figura 79: Espectrograma –Banda de análisis 174MHz – 216MHz – Loja

- **Sub Banda 4 – 216MHz a 512MHz**

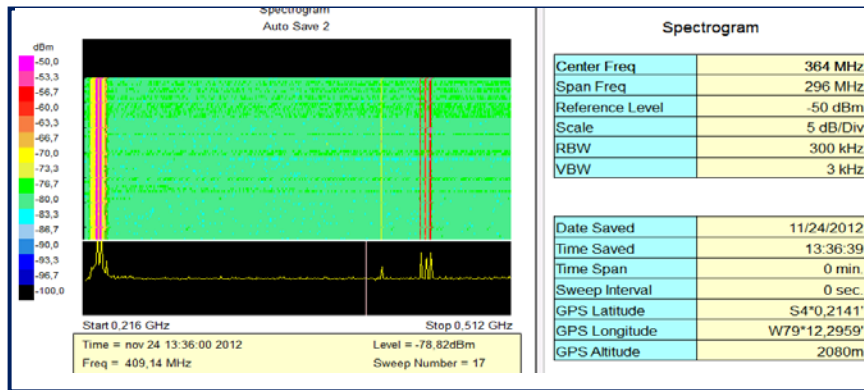


Figura 80: Espectrograma –Banda de análisis 216MHz – 512MHz - Loja

- **Sub Banda 5 – 512MHz a 698MHz**

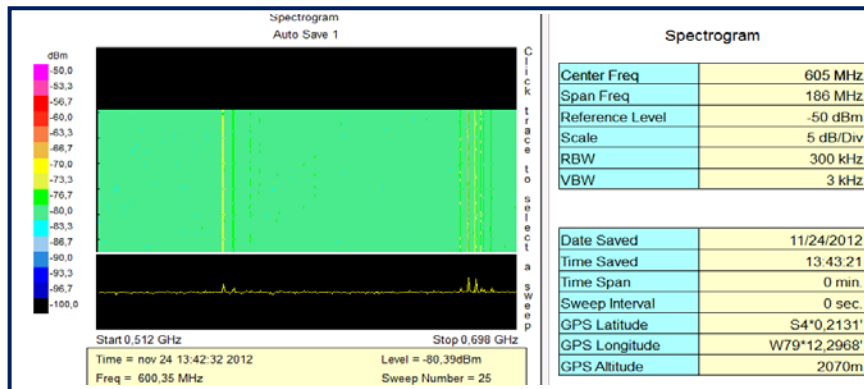


Figura 81: Espectrograma –Banda de análisis 512MHz – 698MHz - Loja

- **Sub Banda 6 – 698MHz a 1000MHz**

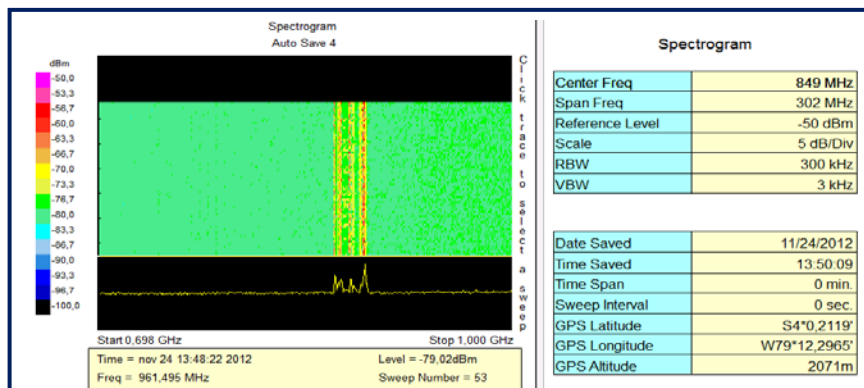


Figura 82: Espectrograma –Banda de análisis 698MHz – 1000MHz - Loja

ii. RESULTADOS DE OCUPACIÓN DEL ESPECTRO RADIOELÉCTRICO

A partir de la tabla número catorce hasta la número diecinueve se indican los valores porcentuales obtenidos de la evaluación del espectro radioeléctrico para cada una de las sub-bandas analizadas dentro de las parroquias rurales y urbanas del cantón Loja. Los resultados finales alcanzados por las mediciones tienen como objeto identificar esquemas de la utilización espectral actual del espectro en la banda de 54MHz a 1000Mhz, y de esta forma poder adaptar futuros métodos de asignación o redistribución del espectro y una posible reestructuración del marco legal e identificar las bandas más apropiadas para el futuro despliegue de las redes radio cognitivas.

Para establecer este porcentaje de ocupación frecuencial, primeramente se ha procedido mediante el uso del Matlab, efectuar una validación de los datos obtenidos en cada una de las mediciones, esto con el objeto de poder discriminar valores atípicos de medición procedentes de fuentes de ruido externas o procesos de evaluación defectuosos, con ello, determinar un valor de densidad espectral promedio que será comparado con el nivel de umbral permisible por las redes de radio cognitivas, lo que finalmente podrá identificar aproximadamente el nivel de subutilización del espectro radioeléctrico.

El porcentaje de ocupación se obtiene de la relación:

Fórmula de Cálculo:

$$\% \text{ Espectro en Uso } x \text{ subbanda} = \frac{\text{Ancho de banda Usado aprox en subbanda}}{\text{Ancho de banda Total de la subbanda}} \times 100$$

Cabe resaltar, que la fórmula de cálculo ha sido establecida considerando que el espectro en uso, es la sumatoria de todos los valores de frecuencia utilizados por los sistemas de radiodifusión, televisión, troncalizados, satelitales fijos, móviles, plan militar de frecuencias; y que mantienen concesión en el cantón Loja. Su valor en porcentaje se lo obtiene de dividir el total del espectro utilizado por concesión en la sub banda dividido para el ancho de banda total de la subbanda donde se ha efectuado la medición

Como se mencionó en el apartado 3.3.1, el estudio espectral se ejecuta para cada uno de las subbandas en las que se dividió el espectro; de esta forma a continuación se detallan los resultados alcanzados de esta evaluación en cada una de estas subdivisiones.

Sub-banda 1: 54MHz a 108MHz

Como podemos observar en la tabla 11, para el rango de frecuencias comprendido entre los 54MHz a 108MHz, existe una expectativa y posibilidades alentadoras de uso de los sistemas de radio cognitiva dentro de cada una de las parroquias del cantón Loja. Pese a ser una porción del espectro radioeléctrico que en teoría tiene una elevada concesión y por ende sería ampliamente usada, para las emisiones de radio en FM y algunas cadenas de televisión VHF la vacancia en este rango de frecuencias es evidente en la mayoría de las parroquias.

La ciudad de Loja y las parroquias rurales de Chuquiribamba, San Pedro de Vilcabamaba y Vilcabamaba son los sitios con mayor concentración o uso de

frecuencias. Por ejemplo, en la ciudad de Vilcabamba se posó una correcta señal radioelétrica de veinte y seis de las treinta y uno emisoras de radio y, tres de las tres de televisión; considerando según la regulación nacional que cada emisora de radio FM dispone de 200KHz de ancho de banda para su difusión y en el caso de la televisión de 6 MHz, el total de ancho de banda concesionado en uso para esta subbanda sería de 23,2 MHz lo que representa un 42,96% de uso. Finalmente, para estas zonas una extensión de aproximadamente el 55% del ancho de banda total de la sub-banda está en desuso o simplemente se encuentra subutilizado.

Por otro lado, en las parroquias de Gualel, San Lucas, Santiago y Jimbilla pese a mantenerse las concesiones de radio y televisión indicadas en el apartado 3.3.2, el nivel de energía o la calidad del servicio de los sistemas es baja o escasamente percibidos esto según los datos obtenidos de las mediciones del equipo analizador de espectros; lo que con lleva a tener un mayor rango de frecuencias disponibles para las redes CRN.

Cabe recalcar que para el tiempo de observación efectuado en cada zona, no se detecto la desconexión de algún canal de televisión o emisora de radio; de esta forma las emisiones de señales radioeléctricas han sido efectuadas de manera continua dándose una presencia total de éstas, pero, y de acuerdo a lo enmarcado en las especificaciones técnicas de los sistemas de radio cognitiva en donde, el usuario monitoriza el espectro de manera individual haciendo uso de técnicas de censado de los niveles de energía monitoreados; y luego para cierto umbral de decisión se determina que la señal está presente si el nivel de energía está por encima del umbral, para algunos canales de televisión y emisoras de radio dichos niveles son percibidos como valores de energía

extremadamente bajos o mínimos, acciones posiblemente derivadas de la ubicación geográfica de los sectores de la evaluación respecto a las torres de transmisión de radio y televisión.

Se tendrá que tener en cuenta que pese a la real oportunidad de aplicación de las redes CRN dentro de esta Sub-banda, los problemas de comunicación causados por interferencias cocanal o de canal adyacente deben ser considerados durante un proceso de implementación de estas tecnologías ya que pueden verse perjudicados en el momento de su funcionamiento.

SubBanda 1					
SUBBANDA: 54 MHz - 108MHz					
Parroquias	Ancho de Banda Utilizado Aprox.	Ancho de Banda Subbanda	Ancho de Banda disponible Aprox.	% Espectro Utilizado	% Espectro Disponible
		MHz			
Loja	24.2	54	29.8	44.81%	55.19%
El Cisne	24	54	30	44.44%	55.56%
Gualel	2	54	52	3.70%	96.30%
Chantaco	4.4	54	49.6	8.15%	91.85%
Chuquiribamba	23.4	54	30.6	43.33%	56.67%
Taquil	4.8	54	49.2	8.89%	91.11%
San Lucas	0.4	54	53.6	0.74%	99.26%
Santiago	0.4	54	53.6	0.74%	99.26%
Jimbilla	0.2	54	53.8	0.37%	99.63%
Malacatos	19.6	54	34.4	36.30%	63.70%
San Pedro de Vilcabamba	22.2	54	31.8	41.11%	58.89%
Vilcabamba	23.2	54	30.8	42.96%	57.04%
Quinara	1.4	54	52.6	2.59%	97.41%
Yangana	1.4	54	52.6	2.59%	97.41%

Tabla 11: Resultados Ocupación espectral sub banda 1

Sub-banda 2: 108MHz a 174MHz

El servicio móvil entre estaciones aeronáuticas y estaciones de aeronave, móvil por satélite, sistemas de radio de dos vías, aficionados y plan militar de frecuencias se encuentran ubicados dentro de esta porción espectral; pese a la naturaleza de banda estrecha que poseen estos servicios y de acuerdo a los resultados provenientes de las diferentes evaluaciones (ver tabla 12), las expectativas de operación de los sistemas de radio cognitiva son también alentadores.

Únicamente para la ciudad de Loja se presenta una mayor actividad de uso espectral, en el resto de sitios de monitoreo la presencia radioeléctrica es escasa y hasta en algunas ocasiones inexistente. Los sistemas de radio de dos vías operando entre 150,05 MHz a 174MHz a pesar de una aparición discontinua en el tiempo se pueden considerar no hábiles para las redes CRN debido a que un alto porcentaje de empresas utilizan estos canales para operaciones de intercomunicación de su personal. Por otra parte, para todas las demás parroquias rurales es evidente el bajo uso de esta parte del espectro.

En el documento emitido por la Supertel: “Ocupación del espectro VHF (138 - 144 y 148 - 174MHz) por provincias en (MHz)” [8] para el caso particular de la provincia de Loja, se puede observar que el porcentaje de ocupación del espectro en este rango a enero 2013 es del 7%, dato obtenido de dividir el valor del espectro radioeléctrico utilizado en los rangos 138MHz a 144 MHz y de 148 a 174MHz que es igual a 2,25MHz

para los 32MHz de ancho de banda que se posé en este rango; esto sin duda brinda posibilidades de uso de los sistemas CRN.

En la tabla quince, podemos observar que los resultados correspondientes a los valores de espectro radioeléctrico usado es igual para todas las parroquias rurales del cantón (únicamente se considera como existente el rango de frecuencias aplicadas al Plan Militar de Frecuencias), esto debido a que los datos de las evaluaciones efectuados muestran que el espectro se encuentra en desuso o la aparición de las comunicaciones son esporádicas en el tiempo para todos los sitios excepto Loja.

Finalmente y para todas las regiones del cantón se ha considerado que el rango electromagnético usado para el Plan militar de Frecuencias (138 MHz a 144MHz) simplemente no podrá ser utilizado para aplicaciones bajo sistemas de Radio Cognitiva debido a su particular uso dentro de la soberanía nacional.

SubBanda 2					
SUB-BANDA: 108 MHz - 174MHz					
Parroquias	Ancho de Banda Utilizado Aprox.	Ancho de Banda Sub-banda MHz	Ancho de Banda disponible Aprox.	% Espectro Utilizado	% Espectro Disponible
Loja	30	66	36	45.45%	54.55%
El Cisne	6	66	60	9.09%	90.91%
Gualel	6	66	60	9.09%	90.91%
Chantaco	6	66	60	9.09%	90.91%
Chuquiribamba	6	66	60	9.09%	90.91%
Taquil	6	66	60	9.09%	90.91%
San Lucas	6	66	60	9.09%	90.91%
Santiago	6	66	60	9.09%	90.91%
Jimbilla	6	66	60	9.09%	90.91%
Malacatos	6	66	60	9.09%	90.91%
San Pedro de Vilcabamba	6	66	60	9.09%	90.91%
Vilcabamba	6	66	60	9.09%	90.91%
Quinara	6	66	60	9.09%	90.91%
Yangana	6	66	60	9.09%	90.91%

Tabla 12: Resultados Ocupación espectral sub banda 2

Sub-banda 3: 174MHz a 216MHz

Son cuatro emisoras de televisión que irradian o mantienen concesión en esta porción del espectro dentro del cantón. Las parroquias rurales de Jimbilla, Gualel, San Lucas y Santiago son casos particulares de las acciones de evaluación efectuadas, los niveles de energía percibidos son de -100dBm es decir muy bajos, lo que para una eventual aplicación de las redes de Radio Cognitiva, la disponibilidad del espectro radioeléctrico en este rango es de hasta el 100%. La especial ubicación geográfica de estos sectores; es decir, sitios altamente montañosos y apartados de las torres de

transmisión de radio y televisión forman un factor preponderante en la deficiente penetración de las señales de televisión.

Para el resto de parroquias, la disponibilidad del espectro sigue siendo amplia, mayor al 50% a excepción de la ciudad de Loja, que por obvias razones se encuentra privilegiado ante las radiaciones electromagnéticas en estas frecuencias. La posibilidad de aplicación de redes cognitivas también es latente. Ver tabla 13.

SubBanda 3					
SUBBANDA: 174 MHz - 216MHz					
Parroquias	Ancho de Banda Utilizado Aprox.	Ancho de Banda Subbanda	Ancho de Banda disponible Aprox.	% Espectro Utilizado	% Espectro Disponible
	MHz				
Loja	24	42	18	57.14%	42.86%
El Cisne	18	42	24	42.86%	57.14%
Gualel	0	42	42	0.00%	100.00%
Chantaco	6	42	36	14.29%	85.71%
Chuquiribamba	6	42	36	14.29%	85.71%
Taquil	18	42	24	42.86%	57.14%
San Lucas	0	42	42	0.00%	100.00%
Santiago	0	42	42	0.00%	100.00%
Jimilla	0	42	42	0.00%	100.00%
Malacatos	12	42	30	28.57%	71.43%
San Pedro de Vilcabamba	6	42	36	14.29%	85.71%
Vilcabamba	6	42	36	14.29%	85.71%
Quinara	6	42	36	14.29%	85.71%
Yangana	6	42	36	14.29%	85.71%

Tabla 13: Resultados Ocupación espectral sub banda 3

Sub-banda 4: 216MHz a 512MHz

Los enlaces Radioeléctricos para radiodifusión sonora fijos y, el sistema de telefonía fija inalámbrica CDMA 450⁹ son los servicios de telecomunicaciones más destacados en esta porción del espectro radioeléctrico.

En concordancia con lo expuesto por la corporación nacional de telecomunicaciones agencia provincial de Loja, las únicas parroquias rurales que poseen servicios de telefonía inalámbrica fija son Quinara, Vilcabamba, San Pedro de Vilcabamba, Malacatos y San Lucas además de los barrios periféricos de Bolonia, Carigan, Cdla. Operadores Mecánicos, Chontacruz, Consacola, El Plateado, Memphis, Obrapia, Punzara, Tierras Coloradas y Héroes del Cenepa pertenecientes a las distintas parroquias urbanas del canto Loja. Pese a descartar el ancho de banda usado por los sistemas CDMA 450, aun en el rango de 216MHz a 512MHz el ancho de banda sigue siendo subutilizado, donde una vez más las redes de radio cognitiva pueden presentarse como una apoyo a la penetración de varios servicios de telecomunicaciones para estos sectores.

Por otra parte, en las parroquias rurales de Gualiel, Jimbilla y Yangana los servicios de telecomunicaciones Fijo – Móvil para radioaficionados, fijo-móvil operaciones espaciales espacio-tierra, meteorología, radioastronomía, investigación, etc; presentan una ocupación espectral desierta, la aparición de señales radioeléctricas es exigua, posibilitando así un potencial despliegue de redes cognitivas para este sector.

Las parroquias urbanas de la ciudad de Loja una vez más presentan el mayor porcentaje de uso del espectro radioeléctrico, con un valor cercano al 40% (Ver tabla

⁹ CDMA 450.- CDMA450 es un sistema EIA/TIA/IS desplegado en la banda de 450 MHz que incluyen una familia de estándares desarrollados por 3GPP2, publicado por TIA y aprobado por ITU para IMT-2000. CDMA450 combina las eficiencias espectrales, la mayor capacidad de voz y las altas velocidades de transmisión de datos del CDMA2000 con la amplia cobertura de la banda de 450 MHz.

14), los servicios de mayor continuidad son radioaficionados, enlaces de radiodifusión sonora fijo y móvil, Meteorología y la banda útil para la tecnología CDMA 450.

En el documento emitido por la Superintendencia de Telecomunicaciones [9], el mismo que está referido a la ocupación del espectro en las sub-bandas UHF de 440 Mhz a 512 Mhz se evidencia; que a excepción del espectro comprendido entre 450 MHz a 470 MHz (sub-banda orientada al uso de sistemas de telefonía fija inalámbrica), todos los demás valores frecuenciales mantienen un bajo porcentaje de utilización. Una vez más el mediano y en algunos casos el bajo consumo del espectro apertura el posible despliegue de las redes CRN.

SubBanda 4					
SUB-BANDA: 216 MHz - 512MHz					
Parroquias	Ancho de Banda Utilizado Aprox.	Ancho de Banda Sub-banda MHz	Ancho de Banda disponible Aprox.	% Espectro Utilizado	% Espectro Disponible
Loja	113	296	183	38.18%	61.82%
El Cisne	42	296	254	14.19%	85.81%
Gualel	0	296	296	0.00%	100.00%
Chantaco	42	296	254	14.19%	85.81%
Chuquiribamba	42	296	254	14.19%	85.81%
Taquil	43.12	296	252.88	14.57%	85.43%
San Lucas	85.12	296	210.88	28.76%	71.24%
Santiago	42	296	254	14.19%	85.81%
Jimbilla	0	296	296	0.00%	100.00%
Malacatos	43.12	296	252.88	14.57%	85.43%
San Pedro de Vilcabamba	43.12	296	252.88	14.57%	85.43%
Vilcabamba	43.12	296	252.88	14.57%	85.43%
Quinara	43.12	296	252.88	14.57%	85.43%
Yangana	0	296	296	0.00%	100.00%

Tabla 14: Resultados Ocupación espectral sub banda 4

Sub-banda 5: 512MHz a 698MHz

De acuerdo al plan nacional de frecuencias, ésta sub-banda se ha dedicado para el uso exclusivo de emisiones de televisión abierta UHF a excepción del rango frecuencial comprendido entre los valores de 608MHz a 614 MHz (AB = 6MHz), el mismo que ha sido orientado para aplicaciones de radioastronomía. En la tabla número 15 se puede observar que los porcentajes de ocupación espectral son bajos en casi la totalidad de las parroquias; únicamente la parroquia de El Cisne y las del casco urbano de la ciudad de Loja manifiestan un mayor uso.

De acuerdo a las evaluaciones efectuadas, once de las trece parroquias rurales del cantón poseen 4% del espectro ocupado lo que genera un amplio margen de vacancia. Esta desocupación una vez más es debida a la débil recepción de las señales que se transmiten desde las estaciones de televisión distantes y la desfavorable ubicación geográfica frente a estas emisiones.

Las parroquias urbanas de San Sebastian, El Sagrario, Sucre y El Valle pese a su mayor intensidad en el uso espectral, y con una presencia del 100% de las emisiones de televisión abierta concesionadas, aún existe un ancho de banda de 132 MHz que se encuentra disponible, brindando amplias oportunidades a sistemas de telecomunicaciones con propiedades oportunistas.

SubBanda 5					
SUBANDA: 512 MHz - 698MHz					
Parroquias	Ancho de Banda Utilizado Aprox.	Ancho de Banda Subbanda	Ancho de Banda disponible Aprox.	% Espectro Utilizado	% Espectro Disponible
	MHz				
Loja	54	186	132	29.03%	70.97%
El Cisne	18	186	168	9.68%	90.32%
Gualel	6	186	180	3.23%	96.77%
Chantaco	6	186	180	3.23%	96.77%
Chuquiribamba	6	186	180	3.23%	96.77%
Taquil	6	186	180	3.23%	96.77%
San Lucas	6	186	180	3.23%	96.77%
Santiago	6	186	180	3.23%	96.77%
Jimbilla	0	186	186	0.00%	100.00%
Malacatos	6	186	180	3.23%	96.77%
San Pedro de Vilcabamba	6	186	180	3.23%	96.77%
Vilcabamba	6	186	180	3.23%	96.77%
Quinara	6	186	180	3.23%	96.77%
Yangana	6	186	180	3.23%	96.77%

Tabla 15: Resultados Ocupación espectral sub banda 5

Sub-banda 6: 698MHz a 1000MHz

Las comunicaciones móviles son quizá los sistemas de telecomunicaciones que mayor penetración presentan en los últimos años de desarrollo tecnológico, redes con amplias coberturas se han desplegado a nivel nacional y la provincia de Loja no ha sido la excepción. Pese al elevado crecimiento de estas redes, aún se encuentran espacios geográficos donde los escenarios de cobertura celular son inexistentes posibilitando así un virtual uso de redes secundarias.

Las parroquias de Yangana, Quinara y Jimbilla aún muestran un espectro relativamente limpio ante emisiones electromagnéticas en este rango. Durante los

tiempos de observación desarrollados en estos sectores, las radiaciones percibidas fueron esporádicas, escasas, y en la mayoría de los casos inexistentes. A decir de los pobladores, las radiaciones celulares son exiguas en el sector; por lo tanto es altamente permisible la aplicación de redes cognitivas para estos sectores.

50 MHz de esta sub-banda están dedicados a las comunicaciones móviles; de los cuales 25MHz pertenecen a los enlaces ascendentes o de uplink (Comunicación entre Estación Móvil –MS- y la Estación Base –BTS-), de esta manera los niveles de energía comprendidos entre los valores de: 824 MHz a 835 MHz; 835 MHz a 845MHz; 845MHz a 846,5MHz; 846,5 MHz a 849 MHz; se presentan imperceptibles a las evaluaciones pese a la existencia de cobertura dentro de todos los sectores parroquiales a excepto de los sectores de Jimbilla, Quinara y en algunos valores de frecuencia para Yangana; la posibilidad de que las señales no sean monitoreadas se debe a la baja potencia que generan los equipos móviles; por otra parte y pese a los bajos niveles de señal presentes en la banda celular de uplink, para nuestro análisis hemos considerado estos valores de frecuencia como no disponibles para las redes de Radio cognitiva.

Los servicios MDBA ¹⁰, de radioastronomía, radionavegación y sistemas buscapersonas como parte de esta sub-banda, no presentan actividad espectral por tanto su ancho de banda podría ser dispuesto para redes oportunistas.

En la tabla número 16 se puede observar el grado de utilización y disponibilidad del espectro en esta sub – banda, únicamente la ciudad de Loja que por ser cabecera

¹⁰ Sistemas de radiocomunicaciones que utilizan técnicas de codificación o modulación digital en una anchura de banda asignada con una densidad espectral de potencia baja compatible con la utilización eficaz del espectro.

cantonal, mantiene una actividad mayor del espectro sobre todo en los valores de frecuencia comprendidos entre 902MHz a 928MHz. Pese a ello es evidente el eventual uso de las redes de Radio Cognitiva.

SubBanda 6					
SUBANDA: 698 MHz - 1000MHz					
Parroquias	Ancho de Banda Utilizado Aprox.	Ancho de Banda Subbanda	Ancho de Banda disponible Aprox.	% Espectro Utilizado	% Espectro Disponible
	MHz				
Loja	204	302	98	67.55%	32.45%
El Cisne	64	302	238	21.19%	78.81%
Gualel	36.5	302	265.5	12.09%	87.91%
Chantaco	53.5	302	248.5	17.72%	82.28%
Chuquiribamba	50	302	252	16.56%	83.44%
Taquil	50	302	252	16.56%	83.44%
San Lucas	36	302	266	11.92%	88.08%
Santiago	36	302	266	11.92%	88.08%
Jimbilla	0	302	302	0.00%	100.00%
Malacatos	108	302	194	35.76%	64.24%
San Pedro de Vilcabamba	50	302	252	16.56%	83.44%
Vilcabamba	50	302	252	16.56%	83.44%
Quinara	0	302	302	0.00%	100.00%
Yangana	22	302	280	7.28%	92.72%

Tabla 16: Resultados Ocupación espectral sub banda 6

iii. DISPONIBILIDAD ESPECTRAL GENERAL

A continuación en la tabla número 17, podemos observar el compendio de la ocupación espectral para cada una de las parroquias rurales y urbanas del cantón Loja. Es evidente que de los 946MHz monitoreados, en la mayoría de los

casos más de las tres cuartas partes presentan vacancia, y por ende la posibilidad de aplicación de redes de Radio Cognitiva.

BANDA DE EVALUACIÓN					
54MHz - 1000MHz					
Parroquias	Ancho de Banda Utilizado Aprox.	Ancho de Banda	Ancho de Banda disponible Aprox.	% Espectro Utilizado Global	% Espectro Disponible Global
	MHz				
Loja	449.2	946	496.8	47.48%	52.52%
El Cisne	166	946	780	17.55%	82.45%
Gualel	50.5	946	895.5	5.34%	94.66%
Chantaco	117.9	946	828.1	12.46%	87.54%
Chuquiribamba	133.4	946	812.6	14.10%	85.90%
Taquil	127.92	946	818.08	13.52%	86.48%
San Lucas	133.52	946	812.48	14.11%	85.89%
Santiago	90.4	946	855.6	9.56%	90.44%
Jimbilla	6.2	946	939.8	0.66%	99.34%
Malacatos	194.72	946	751.28	20.58%	79.42%
San Pedro de Vilcabamba	133.32	946	812.68	14.09%	85.91%
Vilcabamba	134.32	946	811.68	14.20%	85.80%
Quinara	62.52	946	883.48	6.61%	93.39%
Yangana	41.4	946	904.6	4.38%	95.62%

Tabla 17: Disponibilidad de Espectro Para cada Parroquia

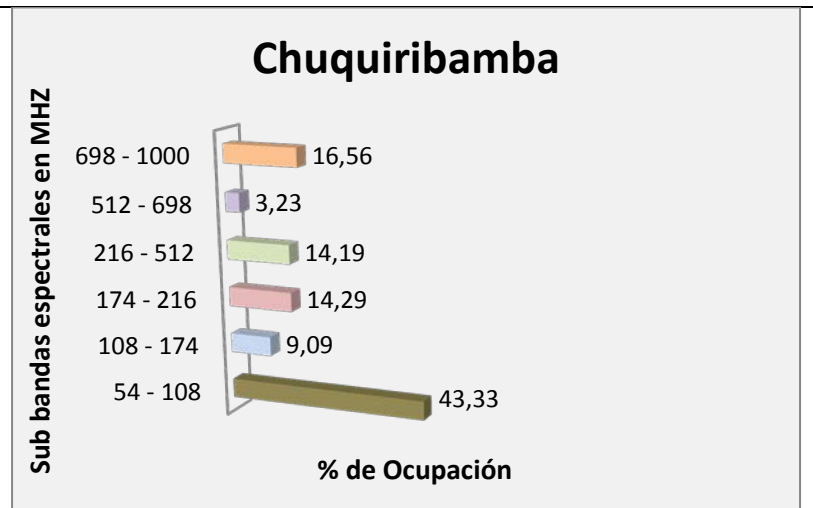
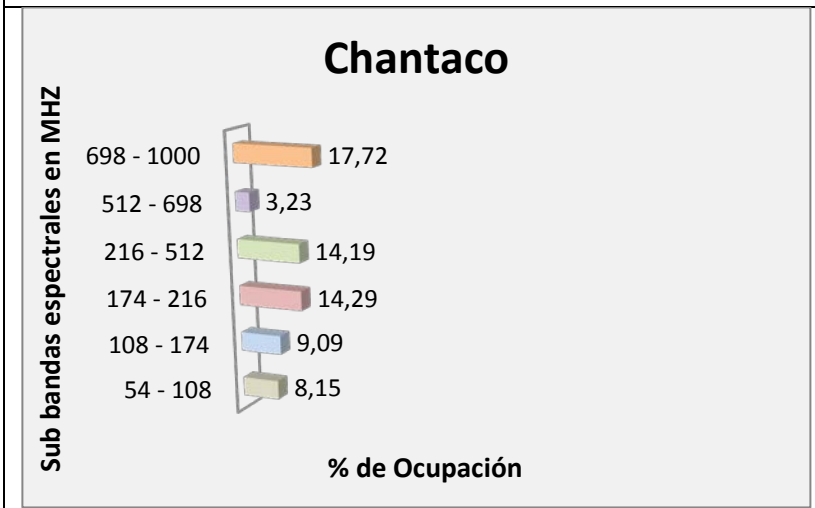
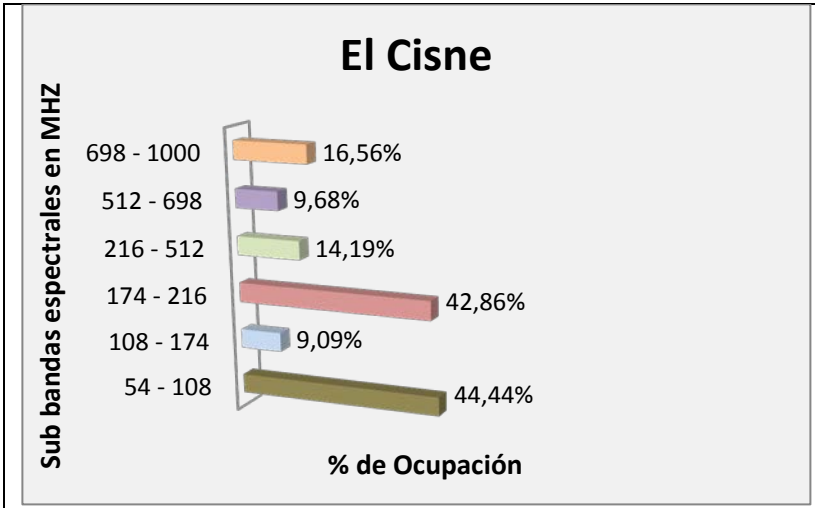
iv. ESPECTRO USADO Y ESPACIOS ESPECTRALES POR PARROQUIA

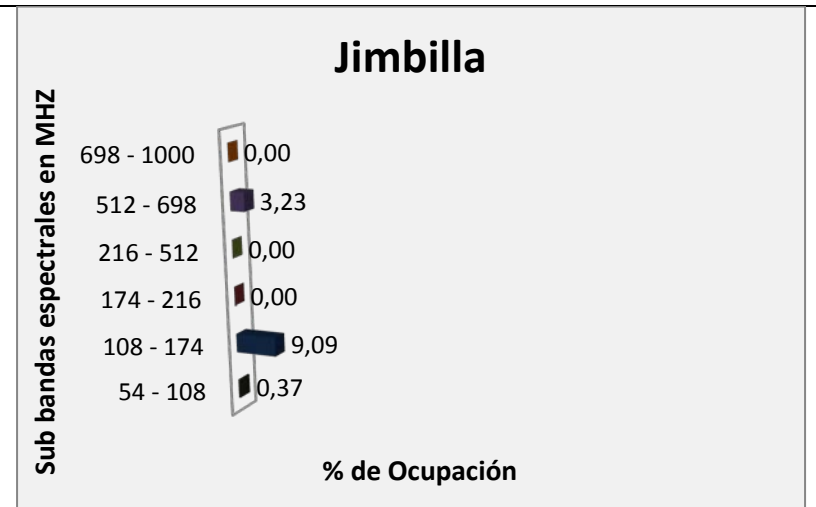
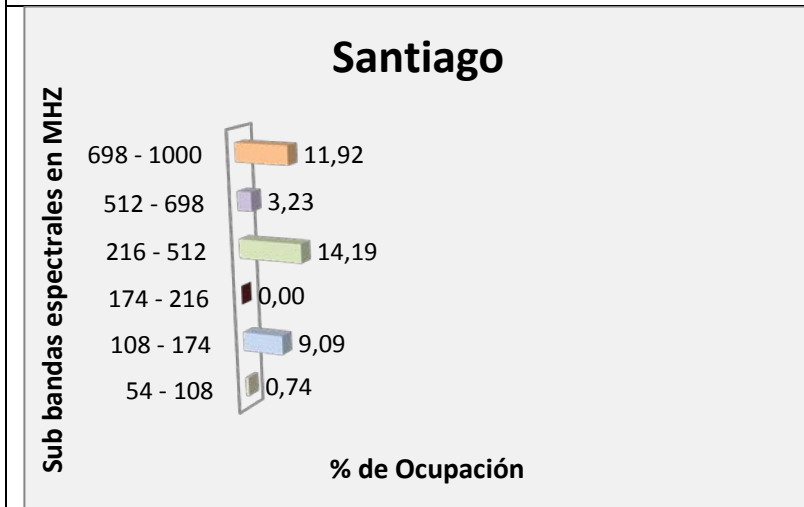
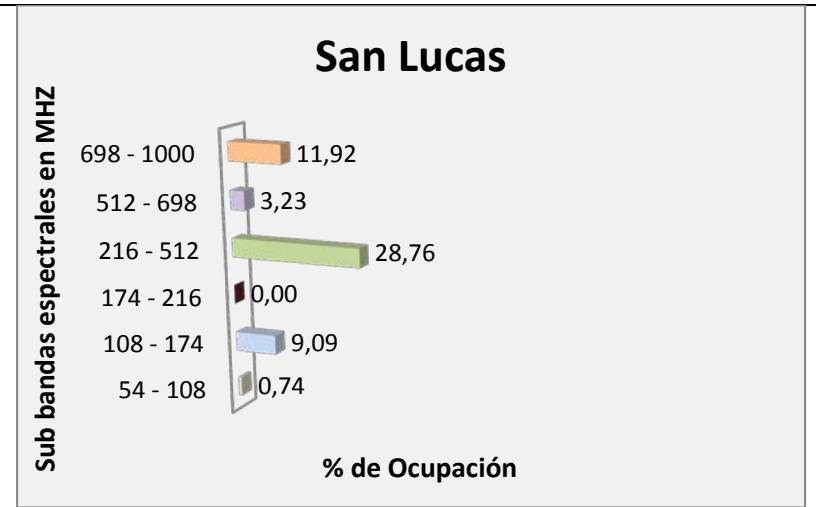
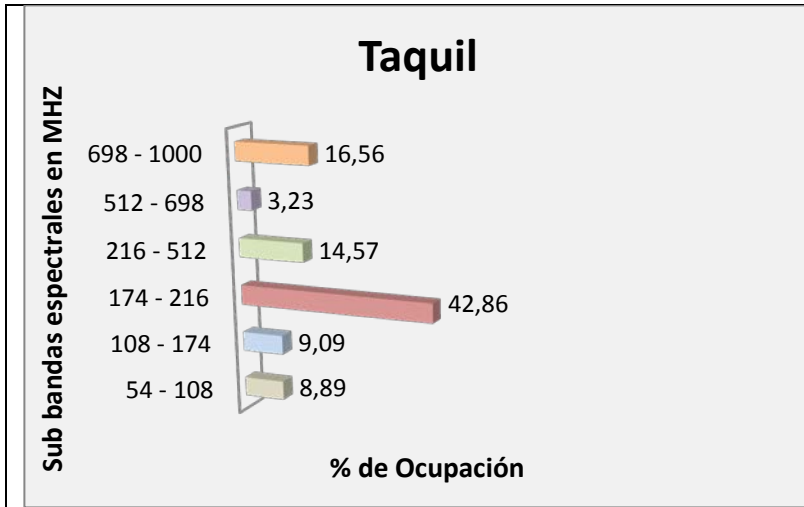
A continuación se muestra los resultados del porcentaje promedio de ocupación del espectro electromagnético total para el cantón Loja y por cada parroquia del mismo. En la tabla número 18 observamos los datos promediados para todo el cantón en el rango de la evaluación. Por otra parte, en la figura

número 83 se muestra los porcentajes correspondientes a los valores de frecuencia que se encuentran utilizados por las distintas aplicaciones de las telecomunicaciones en el rango de 54MHz a 1000MHz y según consta en el Plan Nacional de Frecuencias. También se observa en la figura 84, los espacios frecuenciales en el rango de la evaluación que pueden ser tentativamente utilizados en cada una de las parroquias para aplicaciones o despliegue de redes de radio cognitiva en el cantón Loja, ahí también se observa cuales valores de frecuencia están siendo usados.

Valores Promedio Para el Cantón Loja	
Ancho de Banda en MHz Sub Utilizado Promedio =	820.33
Ancho de Banda en MHz Utilizado Promedio =	125.67
Porcentaje de espectro Sub utilizado Promedio =	86.72%

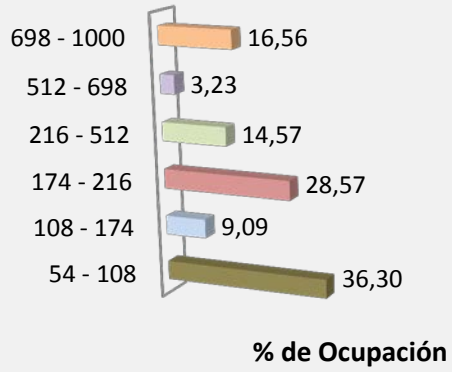
Tabla 18: Disponibilidad de Espectro Para el Cantón Loja





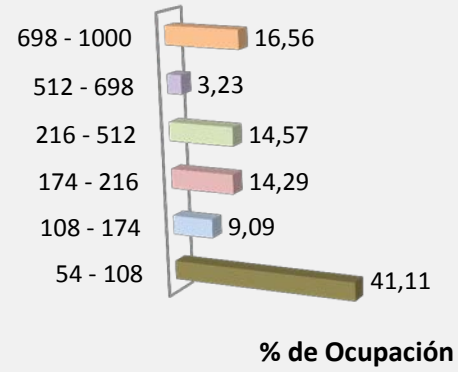
Malacatos

Sub bandas espectrales en MHz



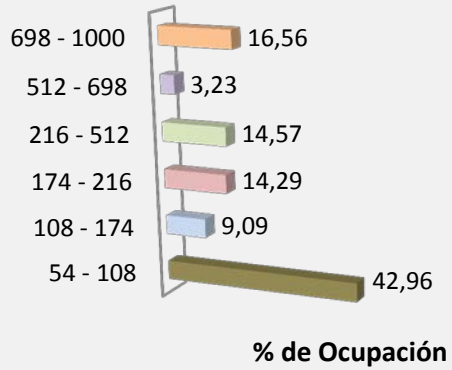
San Pedro de Vilcabamba

Sub bandas espectrales en MHz



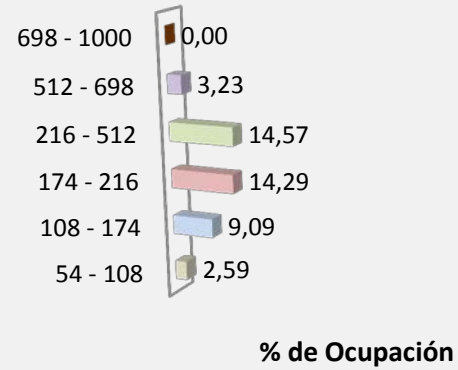
Vilcabamba

Sub bandas espectrales en MHz



Quinara

Sub bandas espectrales en MHz



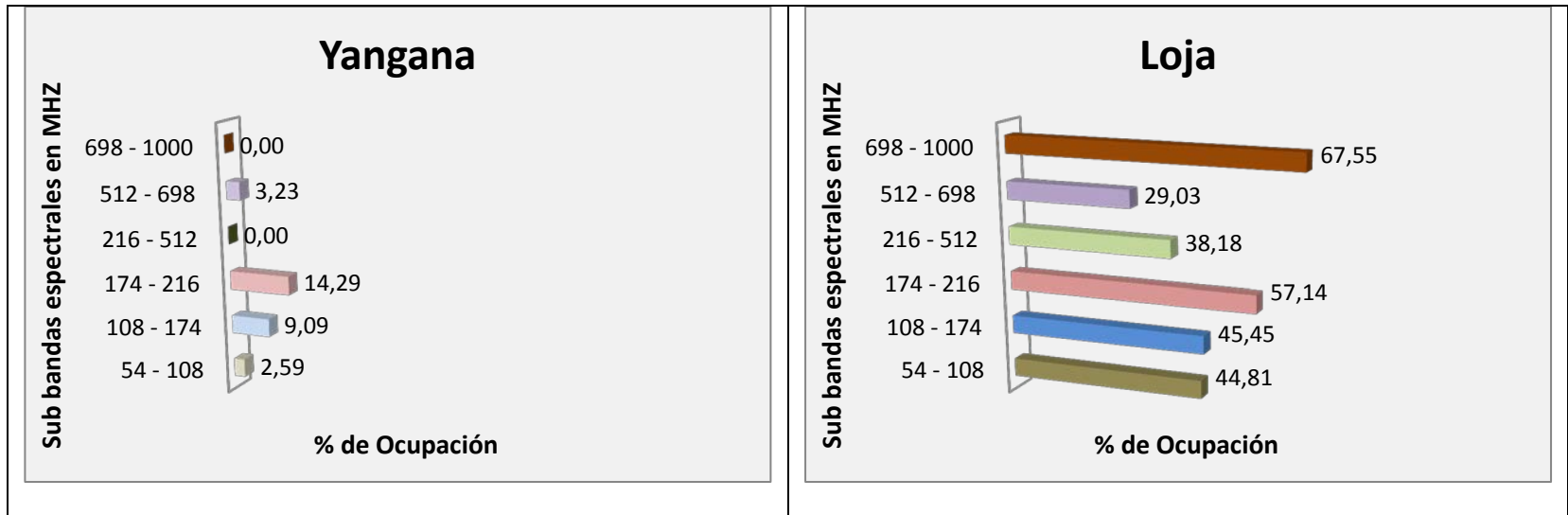


Figura 83: Porcentaje de Espectro Ocupado por sub banda de estudio para cada parroquia del Cantón Loja

Figura 84: Cuadro de Frecuencias Libres y Ocupadas para las parroquias urbanas y rurales del Cantón Loja, rango 54MHz - 1GHz (Ver anexo Fig. 84)

CAPÍTULO IV: MAPAS DE DISPONIBILIDAD ESPECTRAL

4.1. Mapas de Radiación

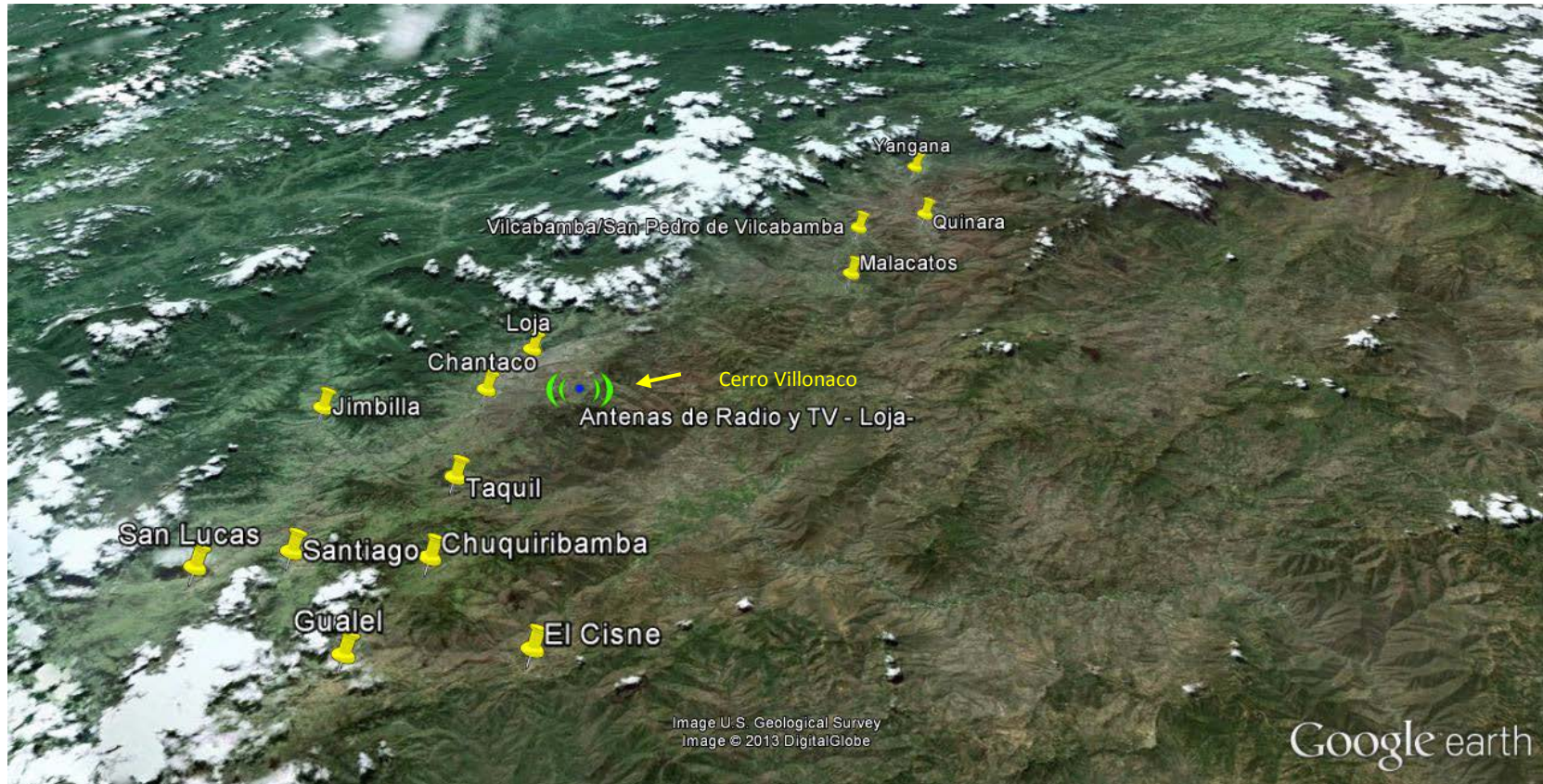
A continuación se presenta en función de los resultados mostrados en la figura 78, un mapa de visualización del estado espectral en cada subbanda perteneciente al rango de estudio de 54MHz a 1000MHz.

MAPA POLÍTICO DEL CANTÓN LOJA



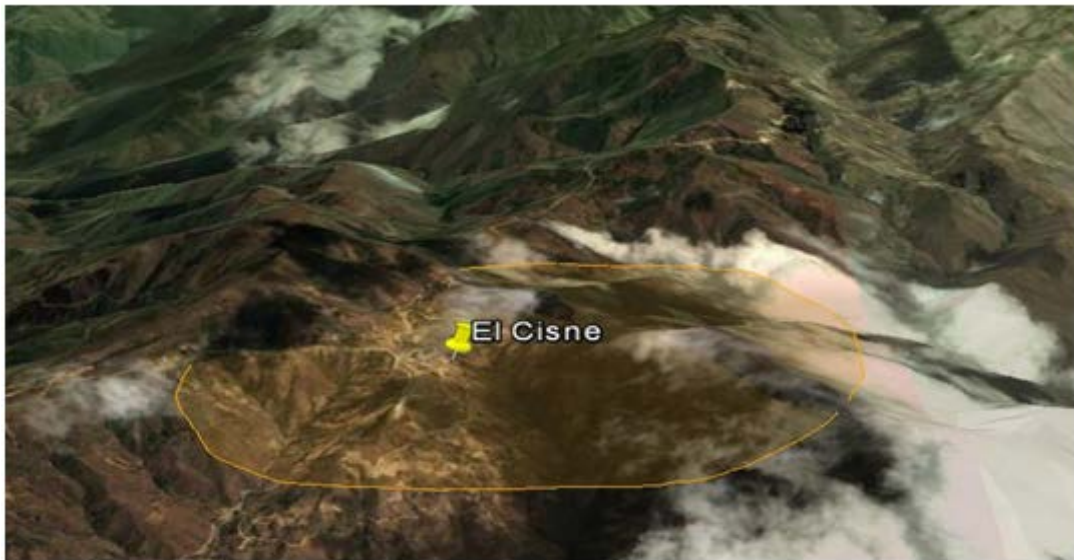
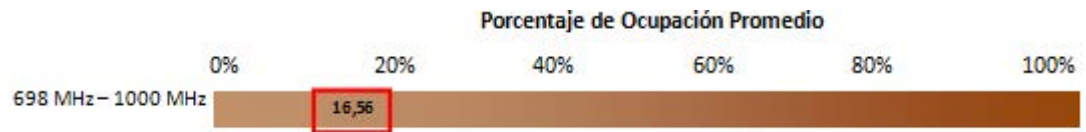
Fuente: Universidad Nacional de Loja - CINF

VISTA AÉREA DE LAS PARROQUIAS DEL CANTON LOJA Y SU DISPOSICIÓN FRENTE A LAS ANTENAS DE RADIACIÓN DE RADIO, TELEVISIÓN Y DEMÁS SISTEMAS DE TELECOMUNICACION

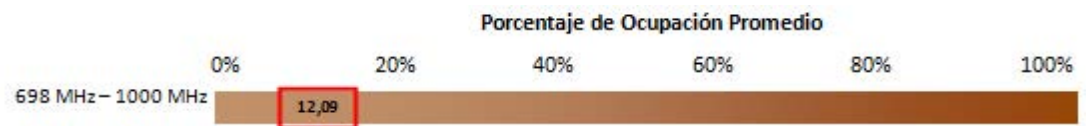


MAPAS DE RADIACIÓN

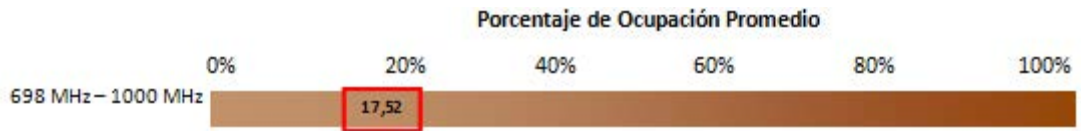
Sub-banda 6: 698MHz a 1000MHz



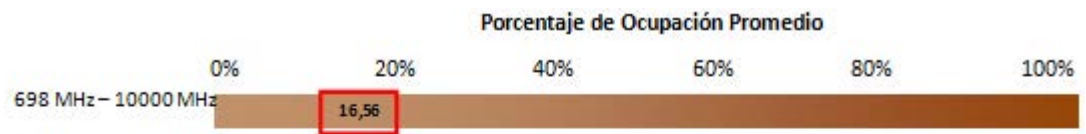
EL CISNE



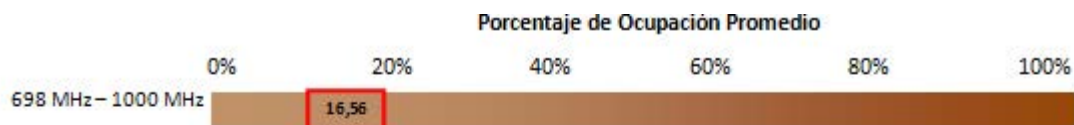
GUALEL



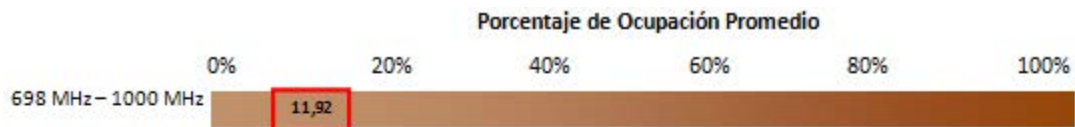
CHANTACO



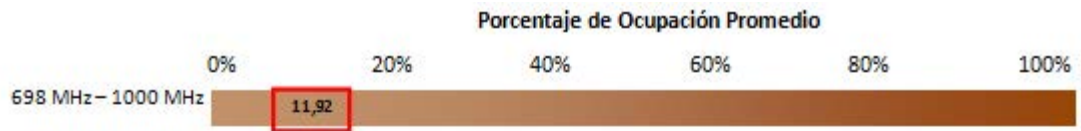
TAQUIL



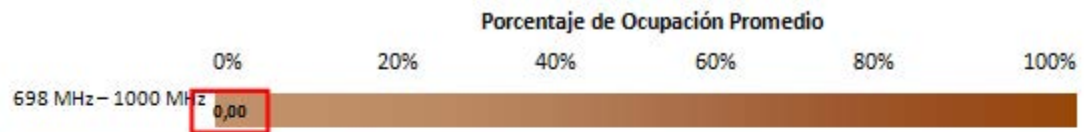
CHUQUIRIBAMBA



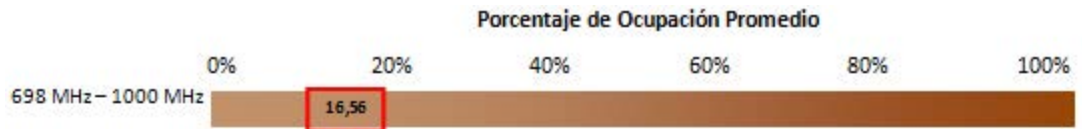
SAN LUCAS



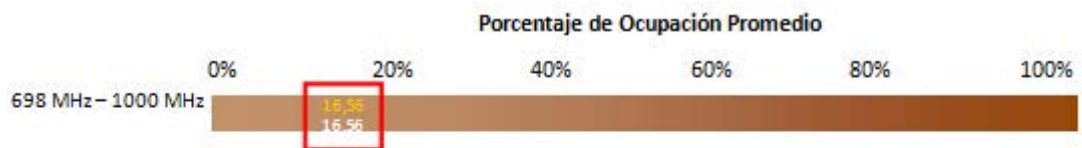
SANTIAGO



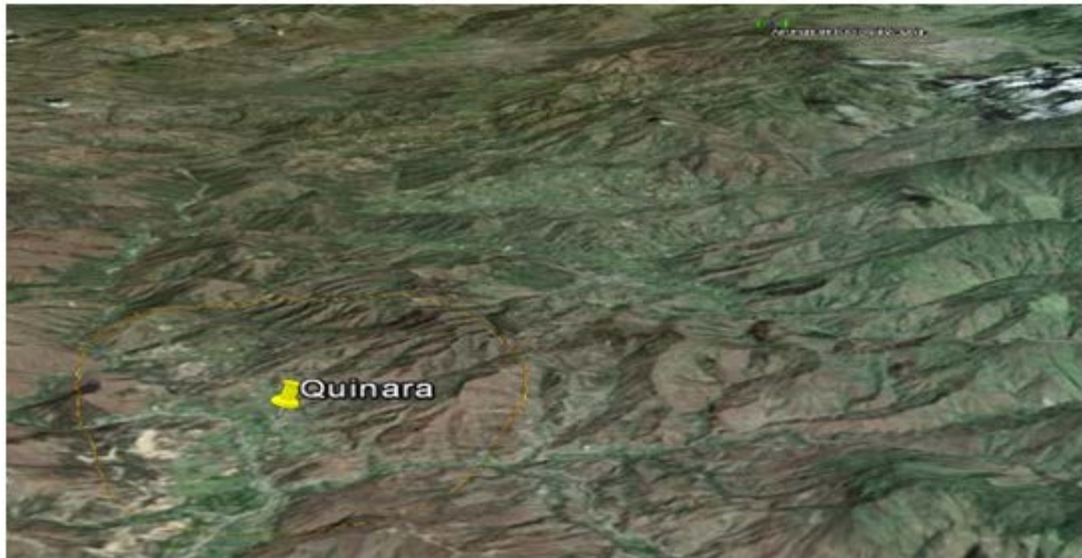
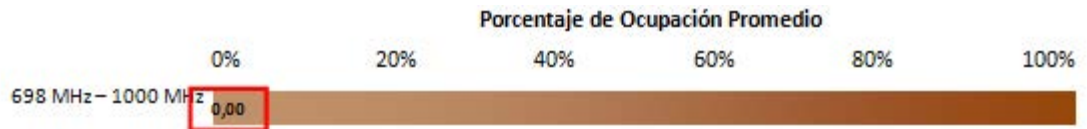
JIMBILLA



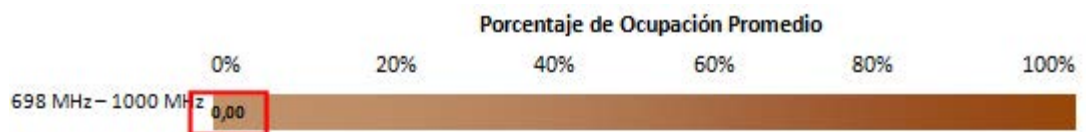
MALACATOS



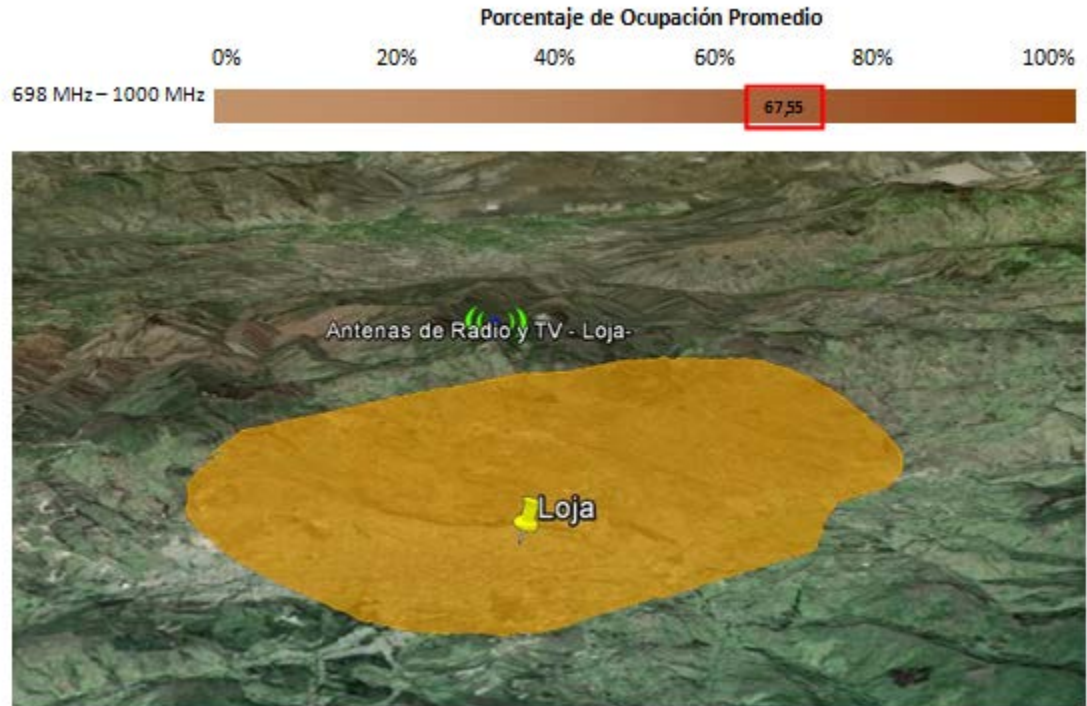
VILCABAMBA/SAN PEDRO DE VILCABAMBA



QUINARA

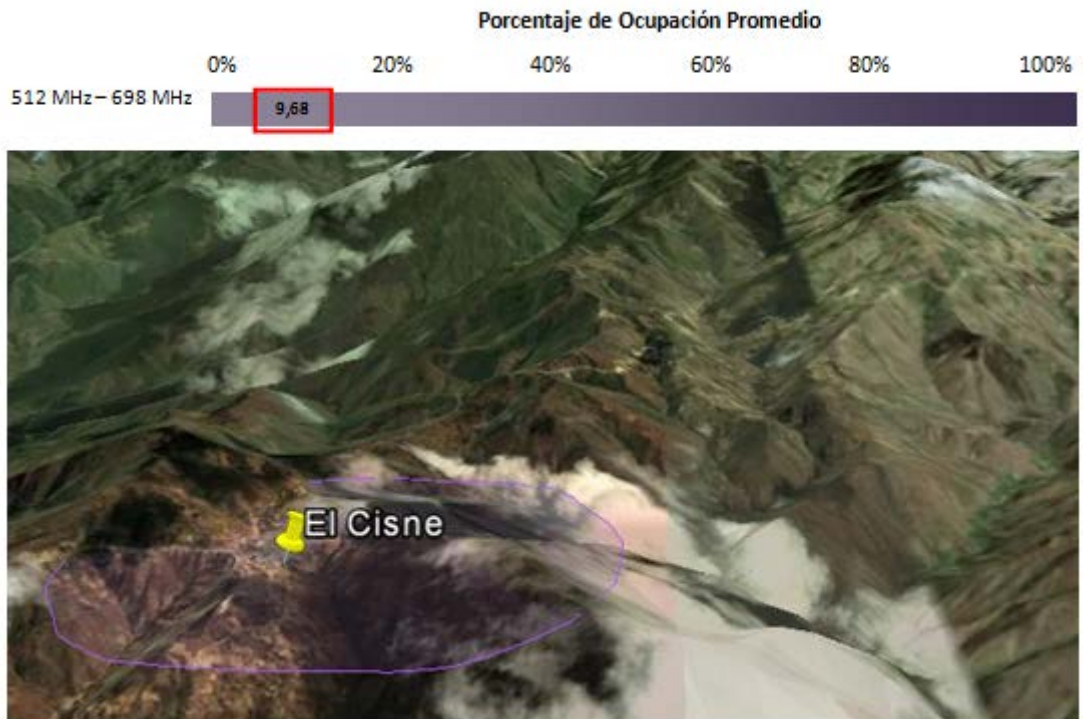


YANGANA

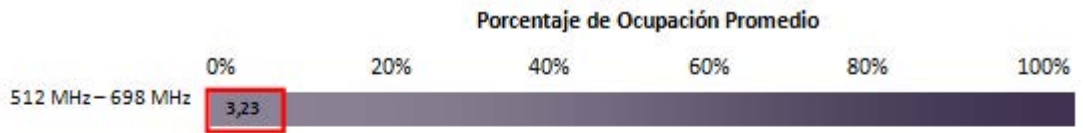


LOJA

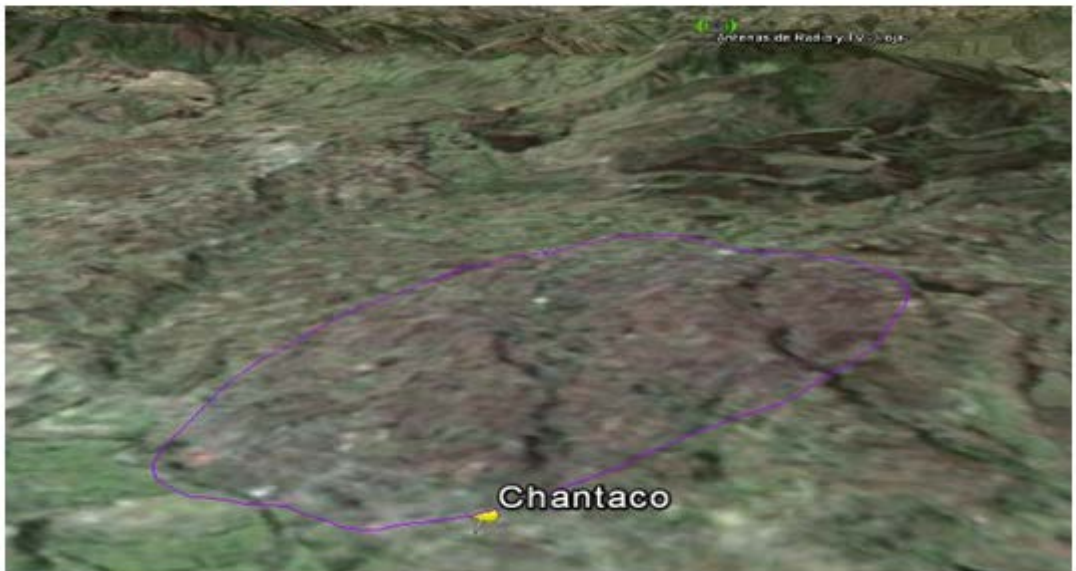
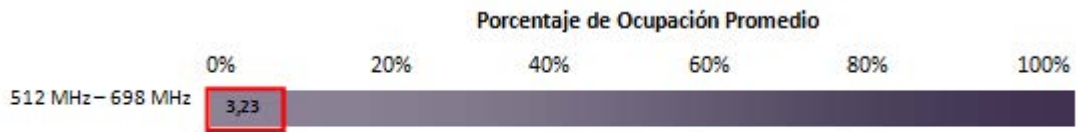
Sub-banda 5: 512MHz a 698MHz



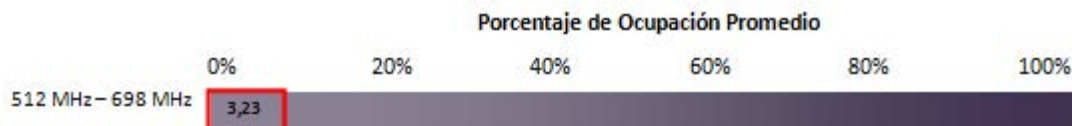
EL CISNE



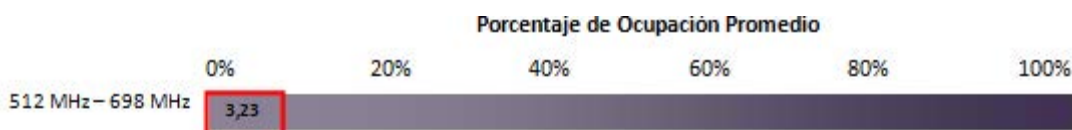
GUALEL



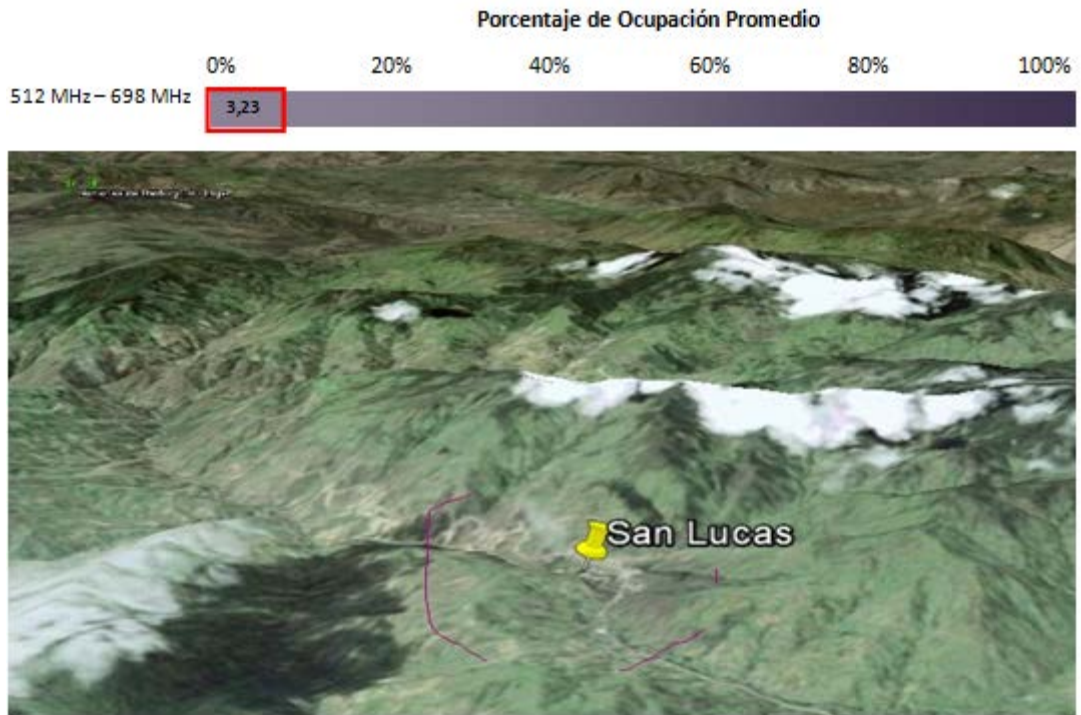
CHANTACO



TAQUIL



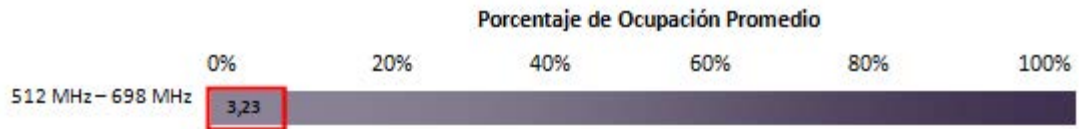
CHUQUIRIBAMBA



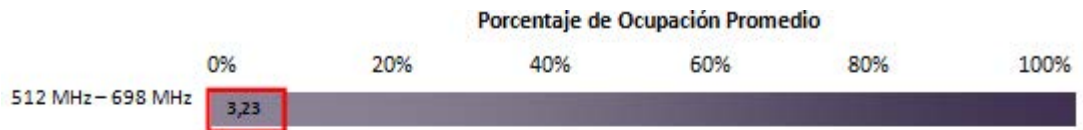
SAN LUCAS



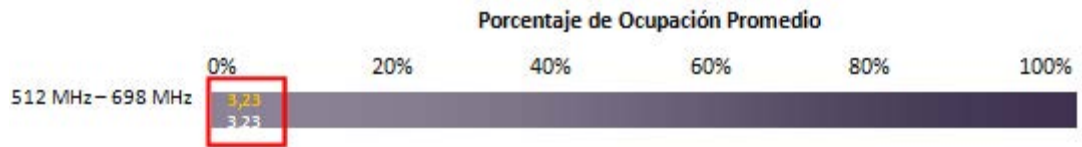
SANTIAGO



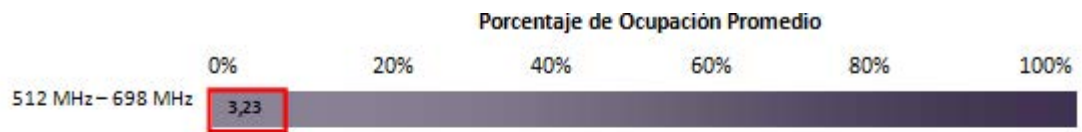
JIMBILLA



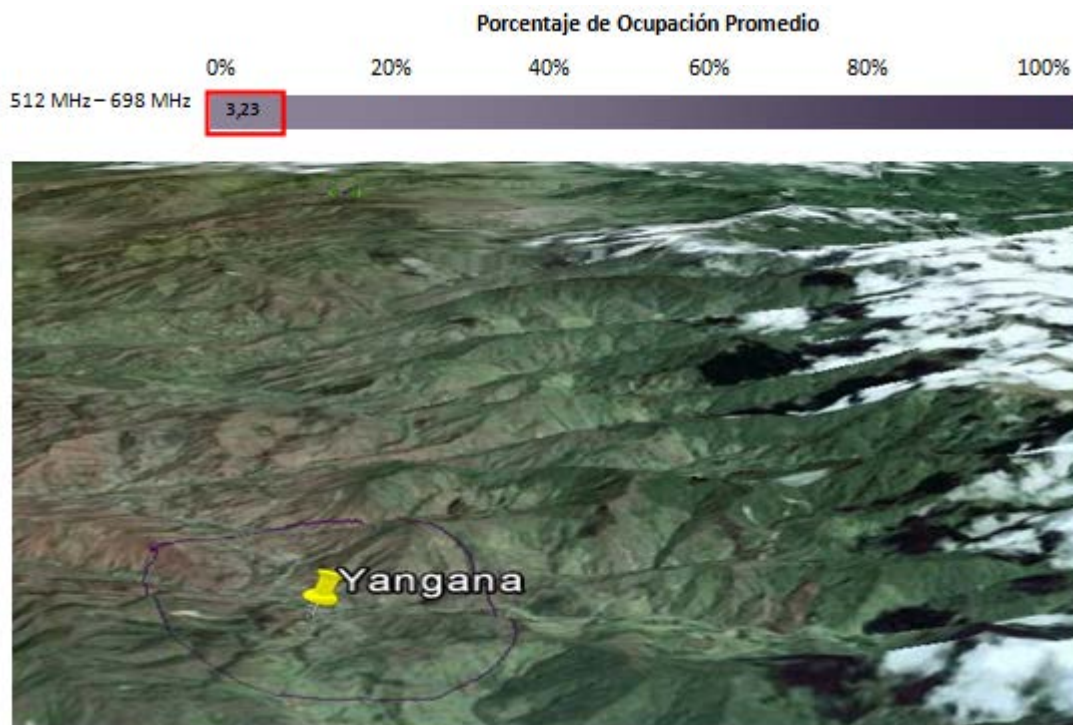
MALACATOS



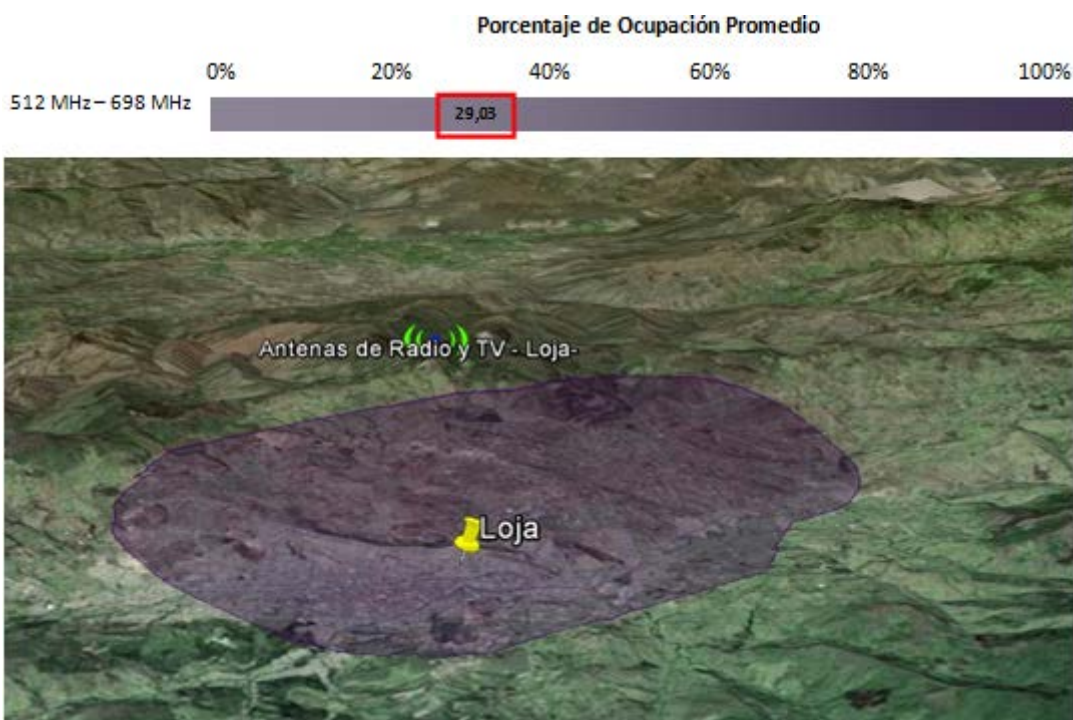
VILCABAMBA/SAN PEDRO DE VILCABAMBA



QUINARA

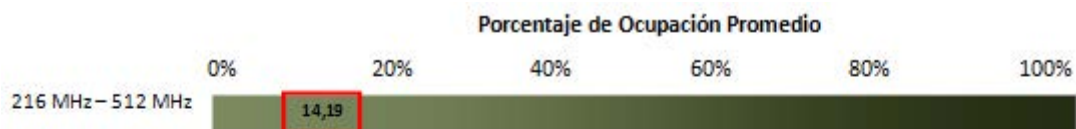


YANAGANA

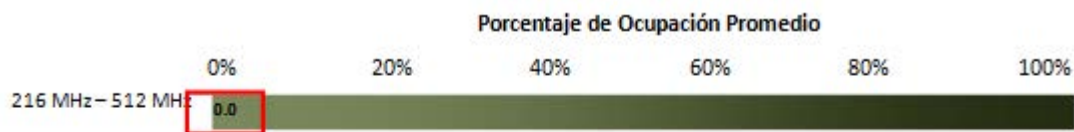


LOJA

Sub-banda 4: 216MHz a 512MHz



EL CISNE



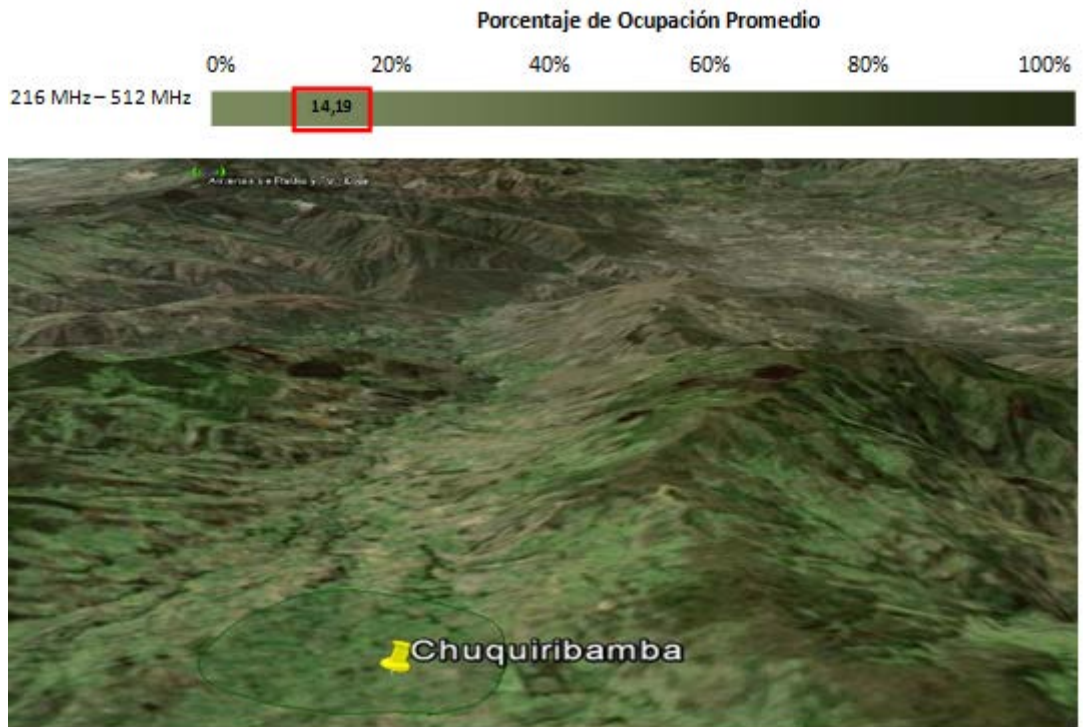
GUALEL



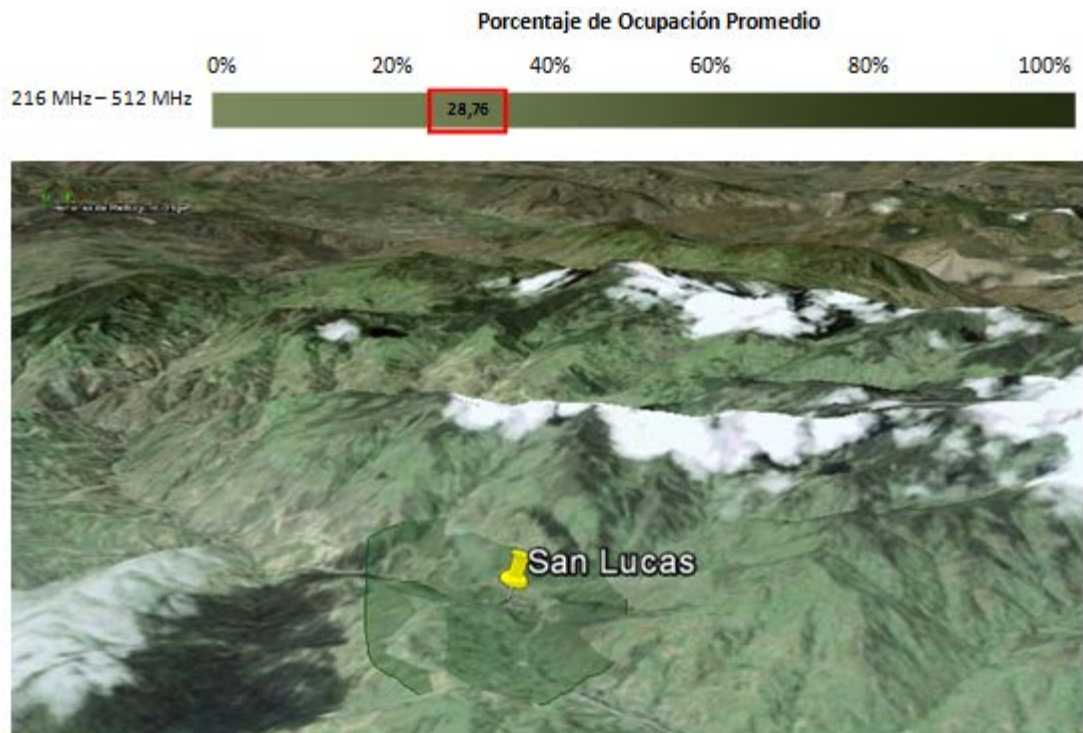
CHANTACO



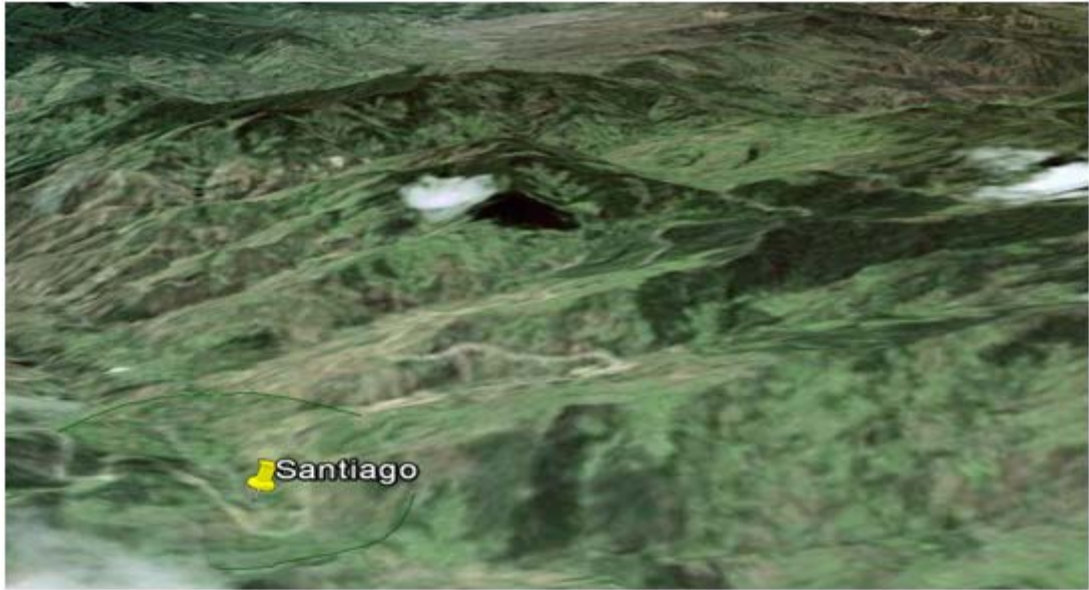
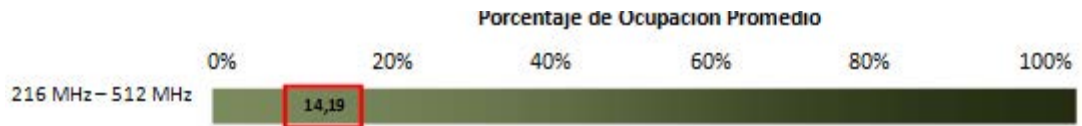
TAQUIL



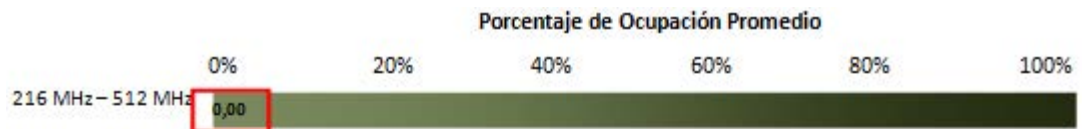
CHUQUIRIBAMBA



SAN LUCAS



SANTIAGO



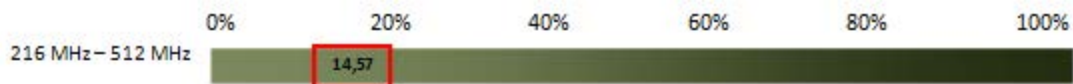
JIMBILLA



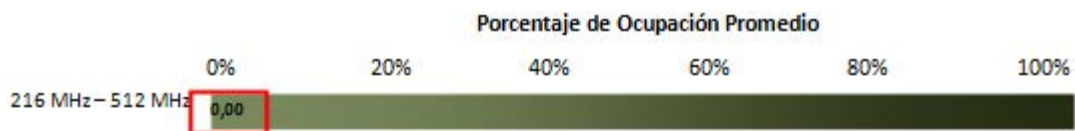
MALACATOS



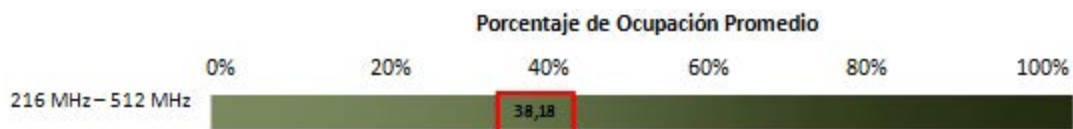
VILCABAMBA/SAN PEDRO DEVILCABAMBA



QUINARA

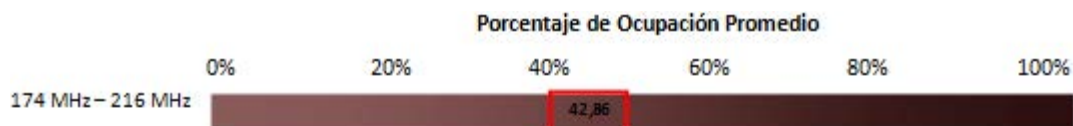


YANGANA

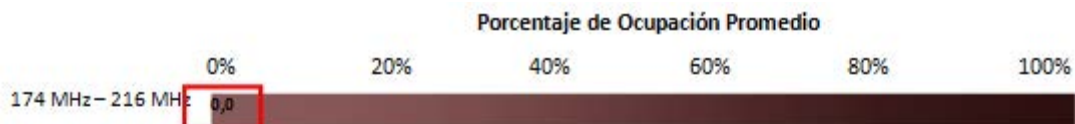


LOJA

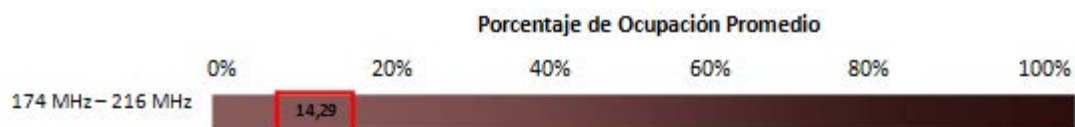
Sub-banda 3: 174MHz a 216MHz



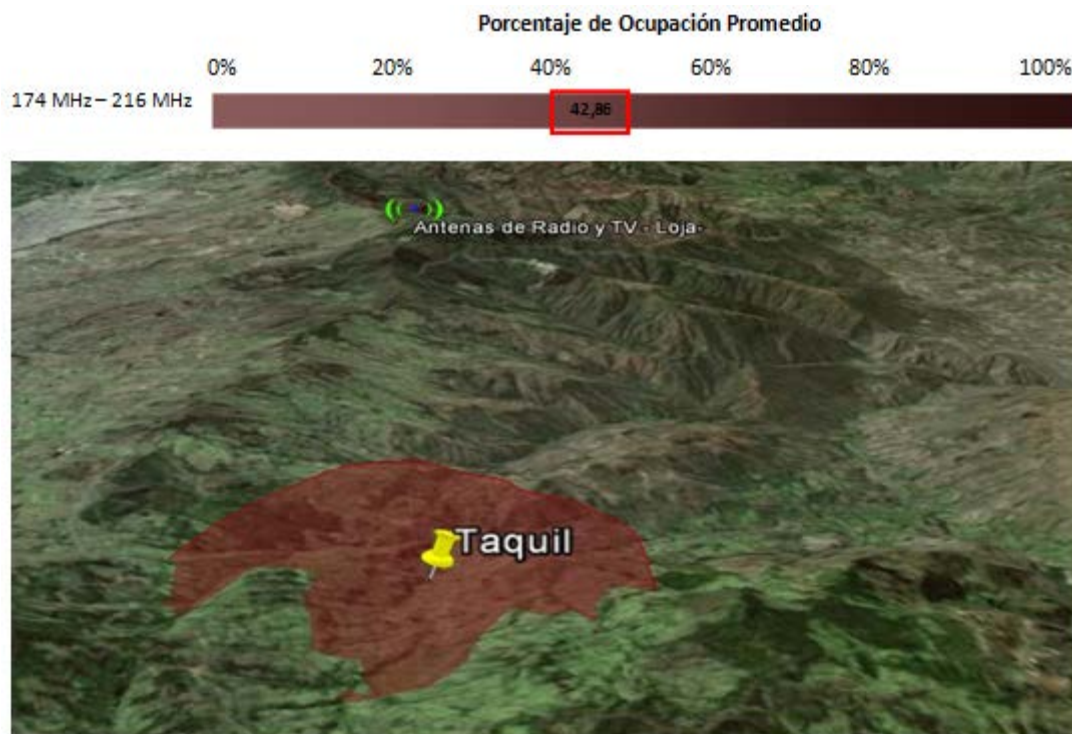
EL CISNE



GUALEL



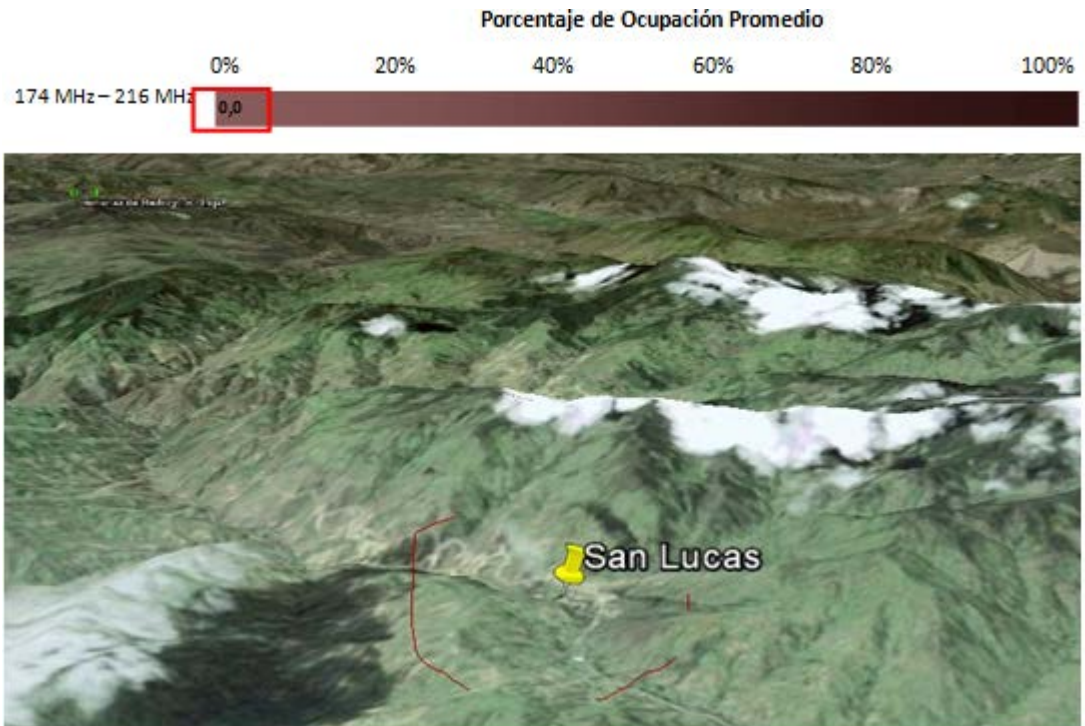
CHANTACO



TAQUIL



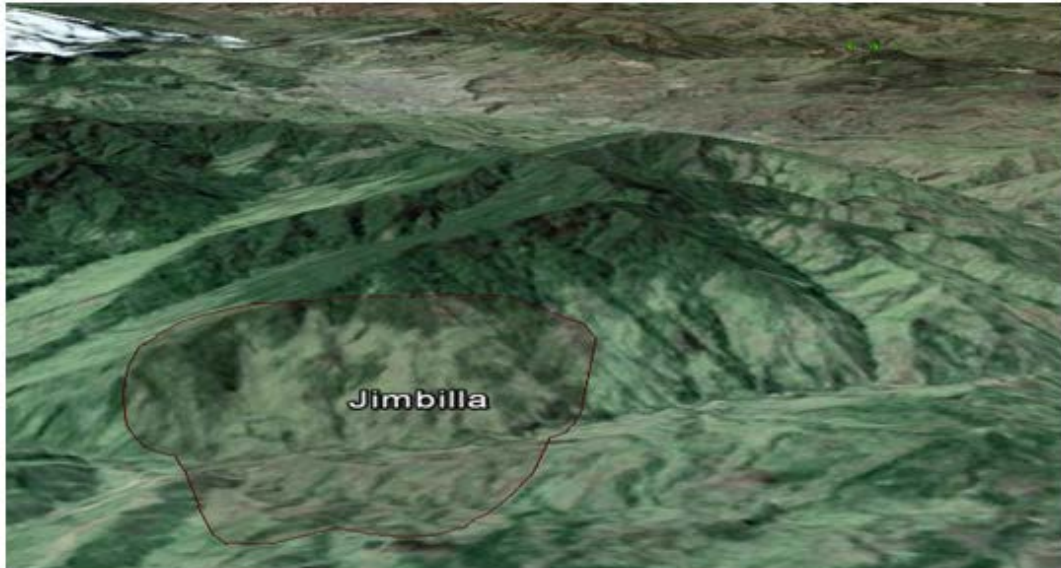
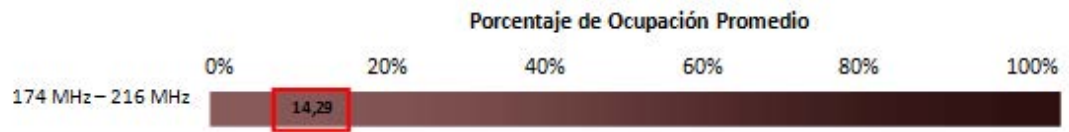
CHUQUIRIBAMBA



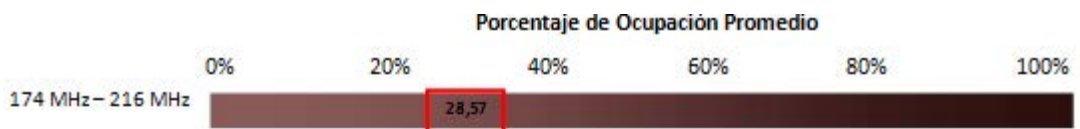
SAN LUCAS



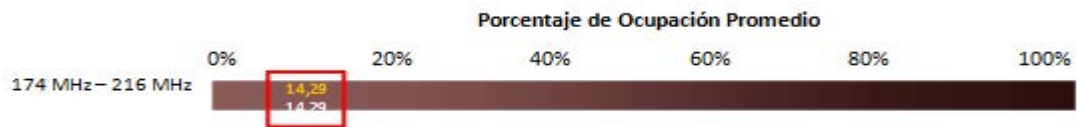
SANTIAGO



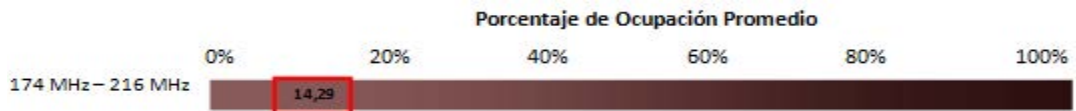
JIMBILLA



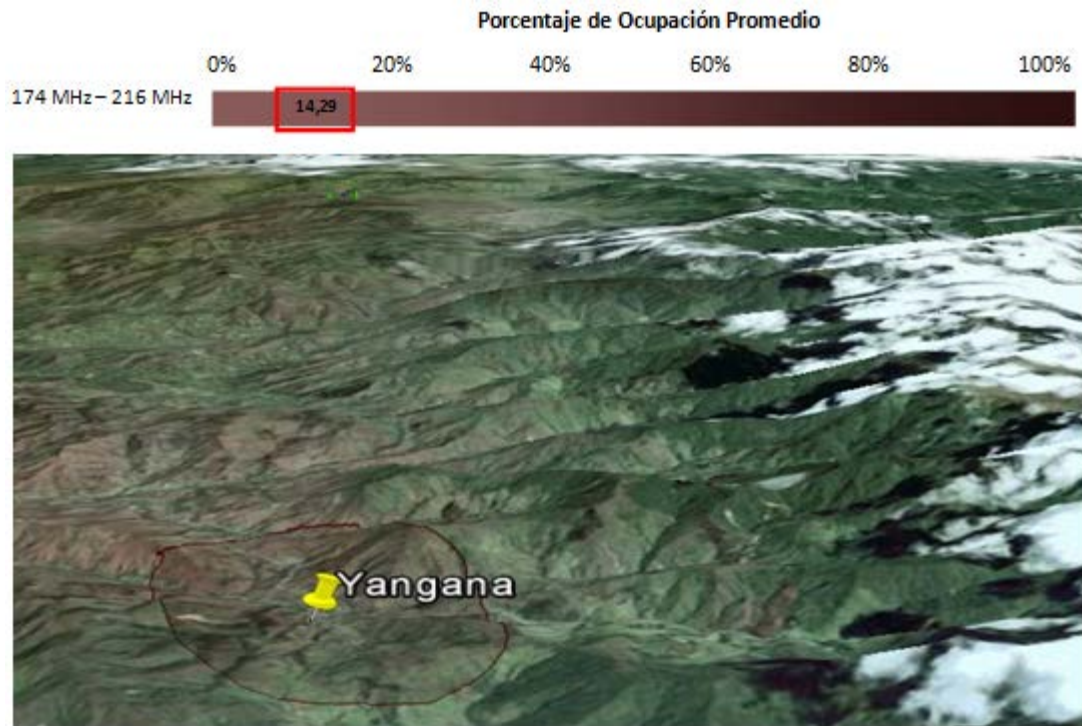
MALACATOS



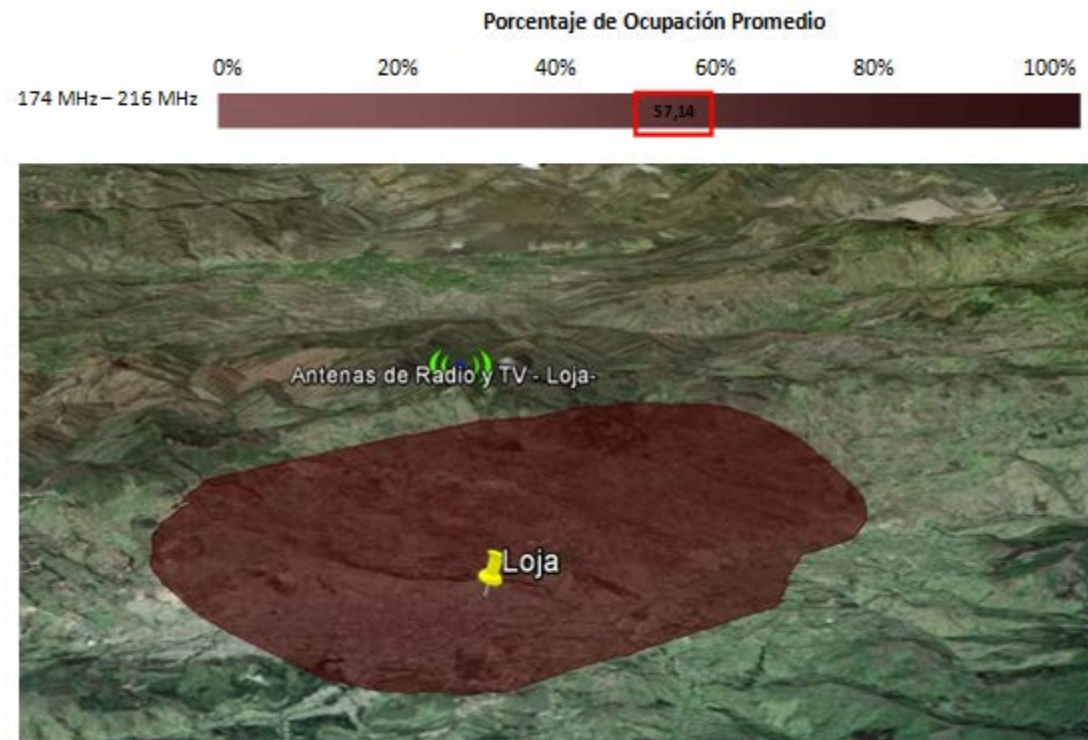
VILCABAMBA/SAN PEDRO DE VILCABAMBA



QUINARA

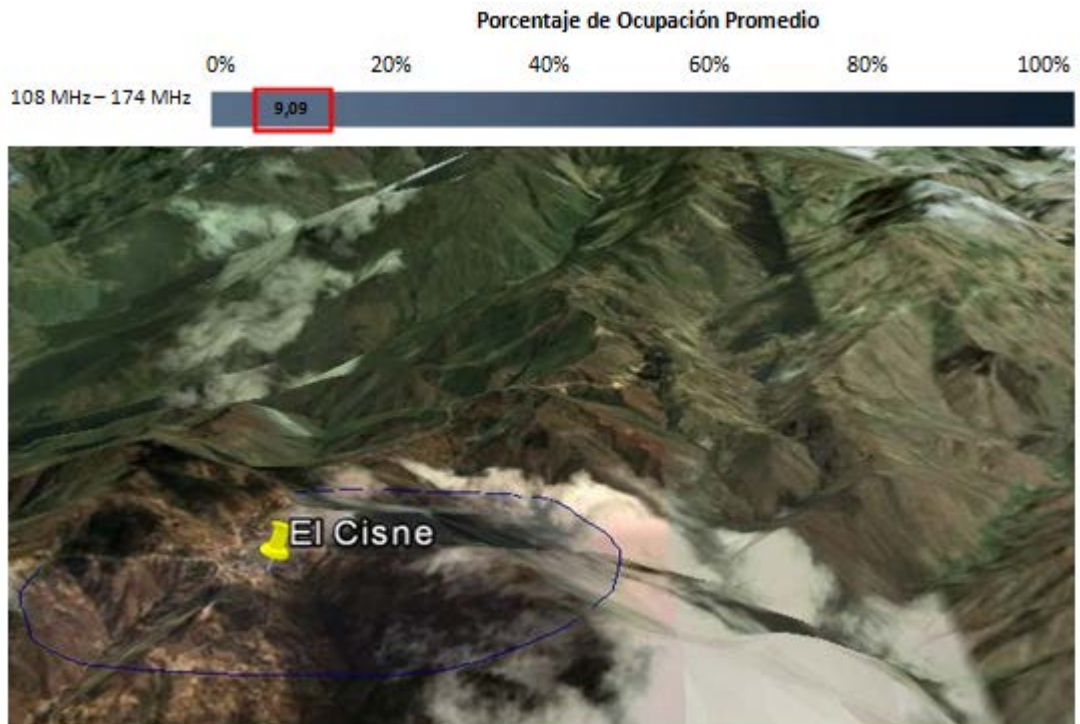


YANGANA



LOJA

Sub-banda 2: 108MHz a 174MHz



EL CISNE



GUALEL



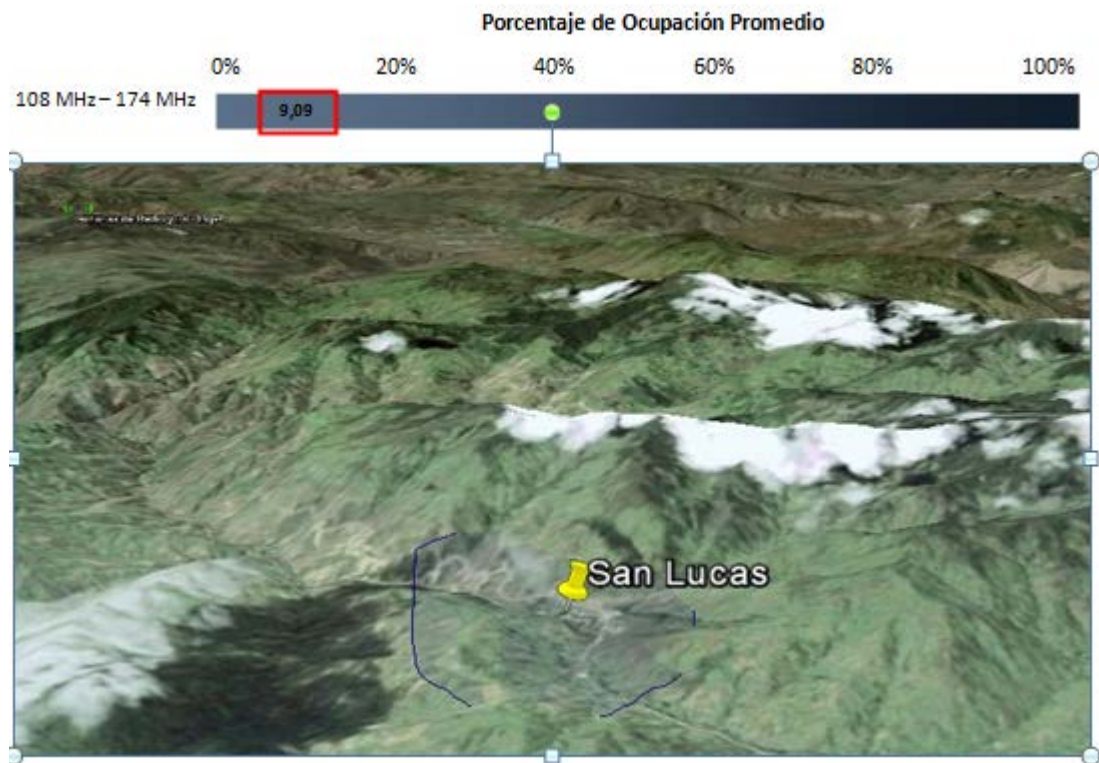
CHANTACO



TAQUIL



CHUQUIRIBAMBA



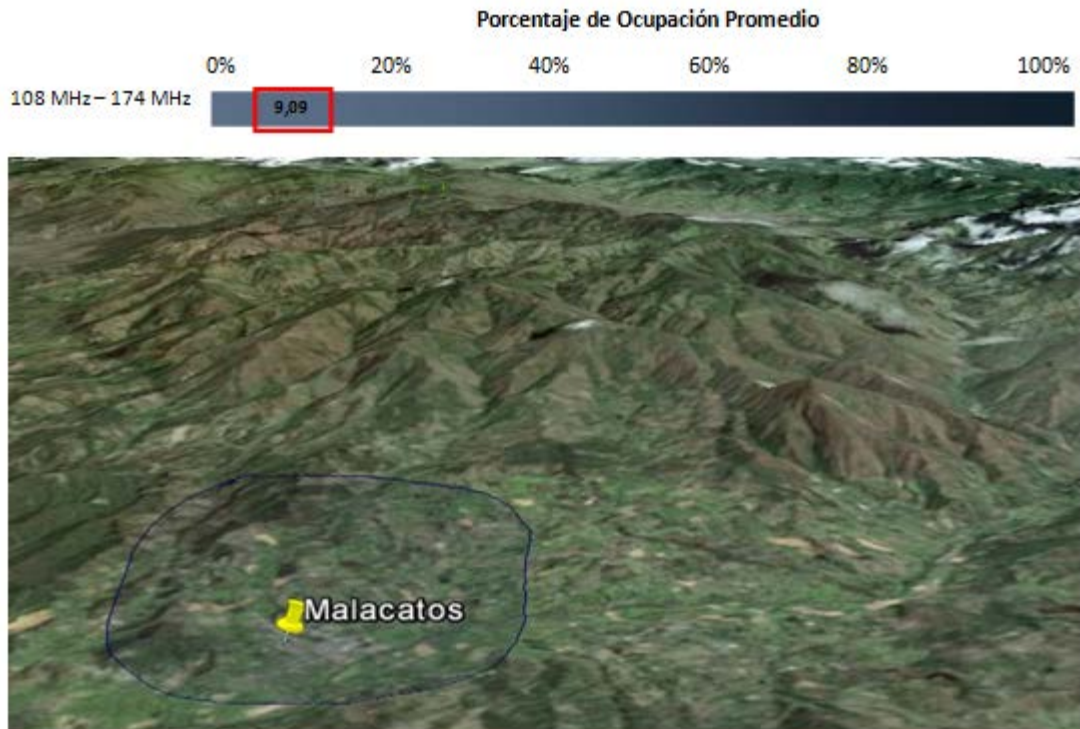
SAN LUCAS



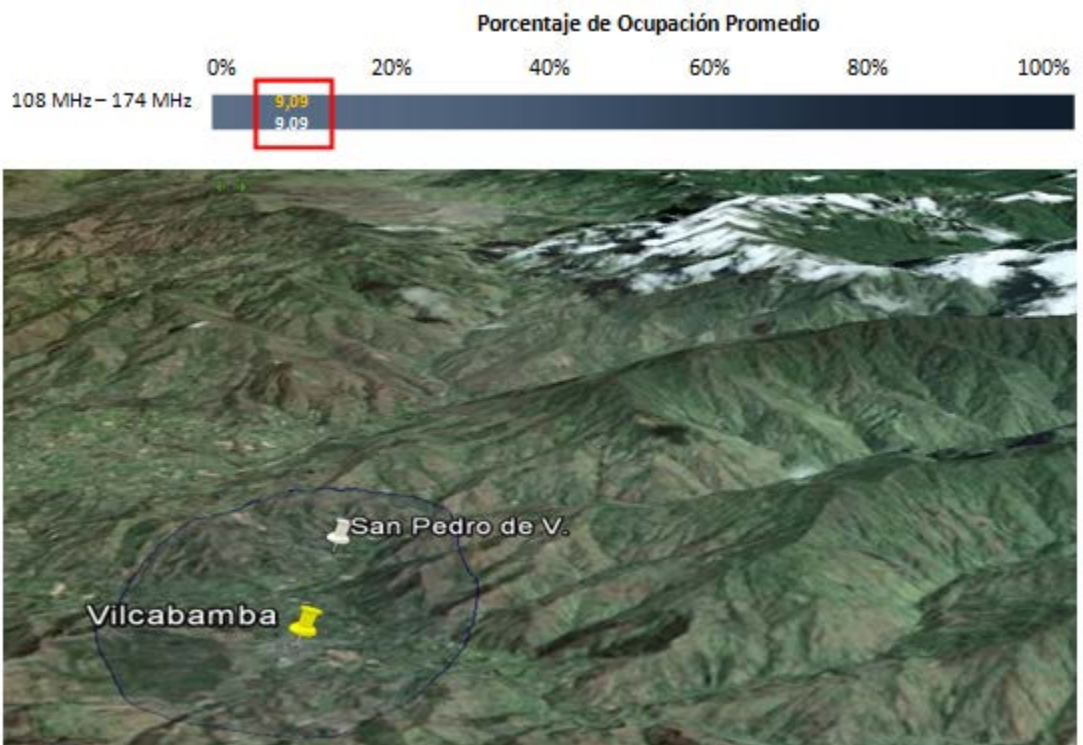
SANTIAGO



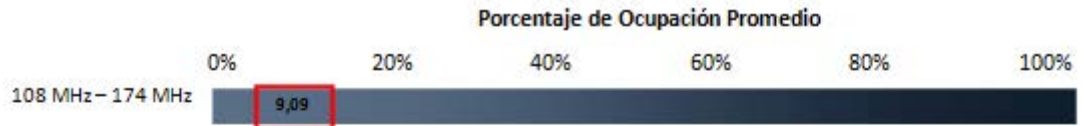
JIMBILLA



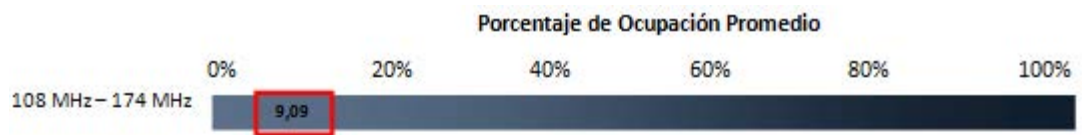
MALACATOS



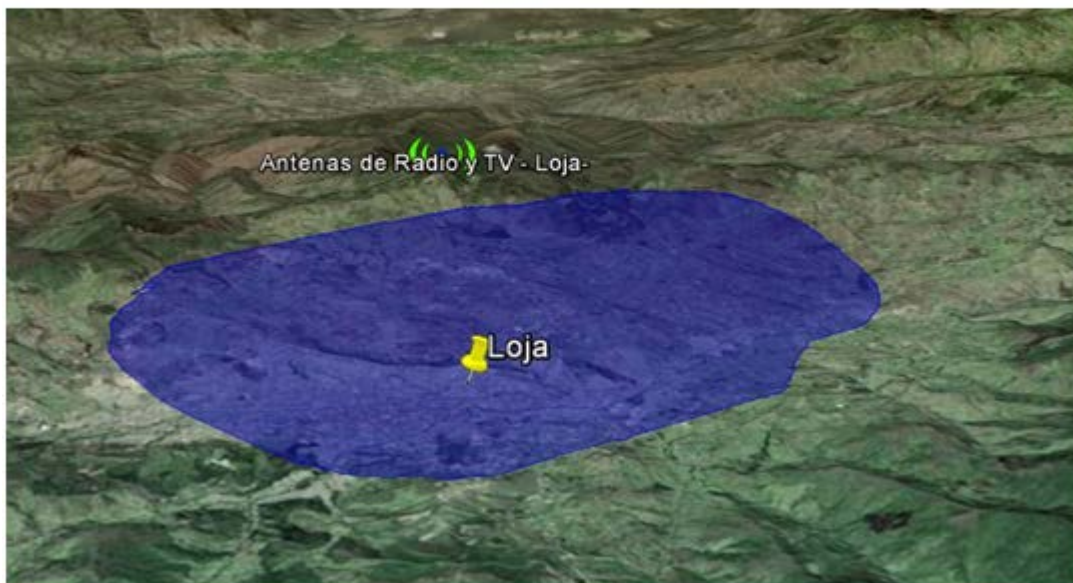
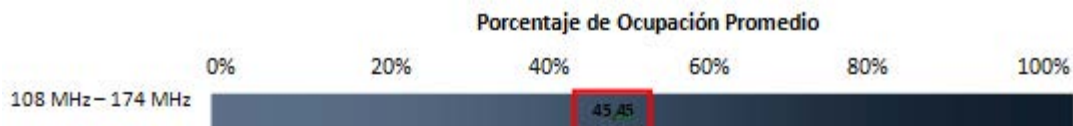
VILCABAMBA/SAN PEDRO DE VILCABAMBA



QUINARA

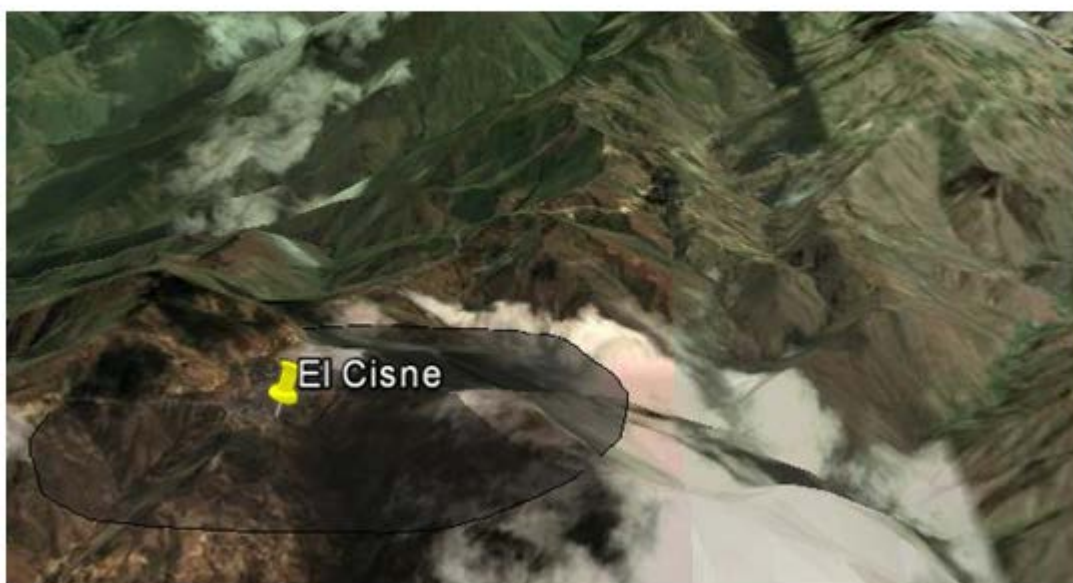
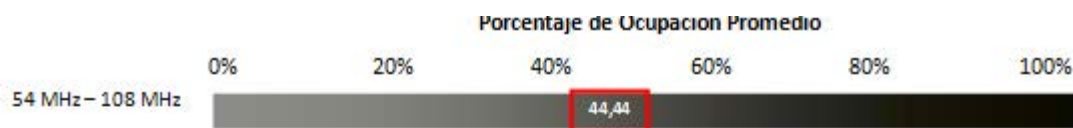


YANGANA

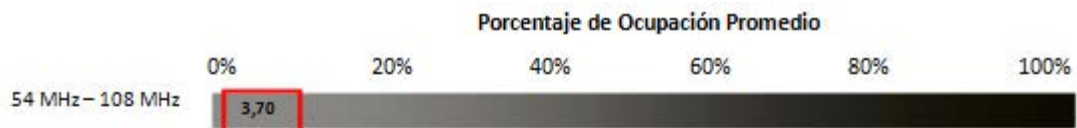


LOJA

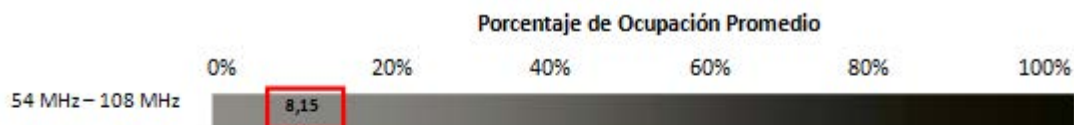
Sub-banda 1: 54MHz a 108MHz



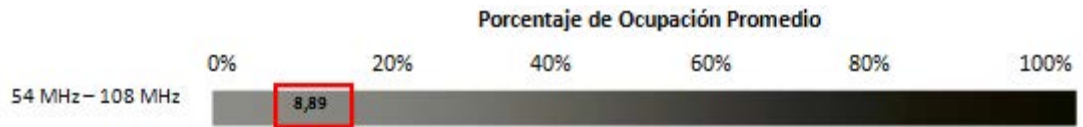
EL CISNE



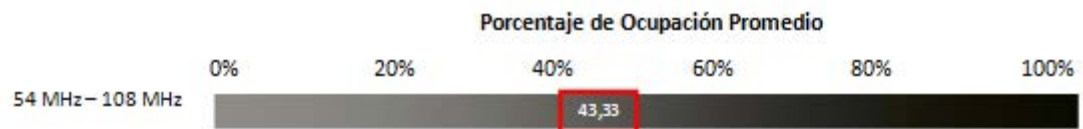
GUALEL



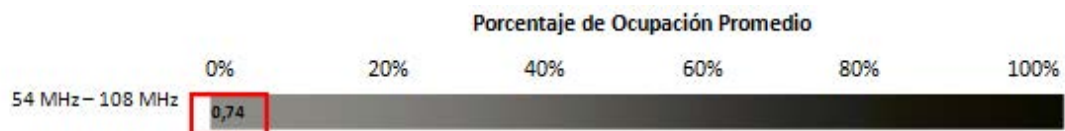
CHANTACO



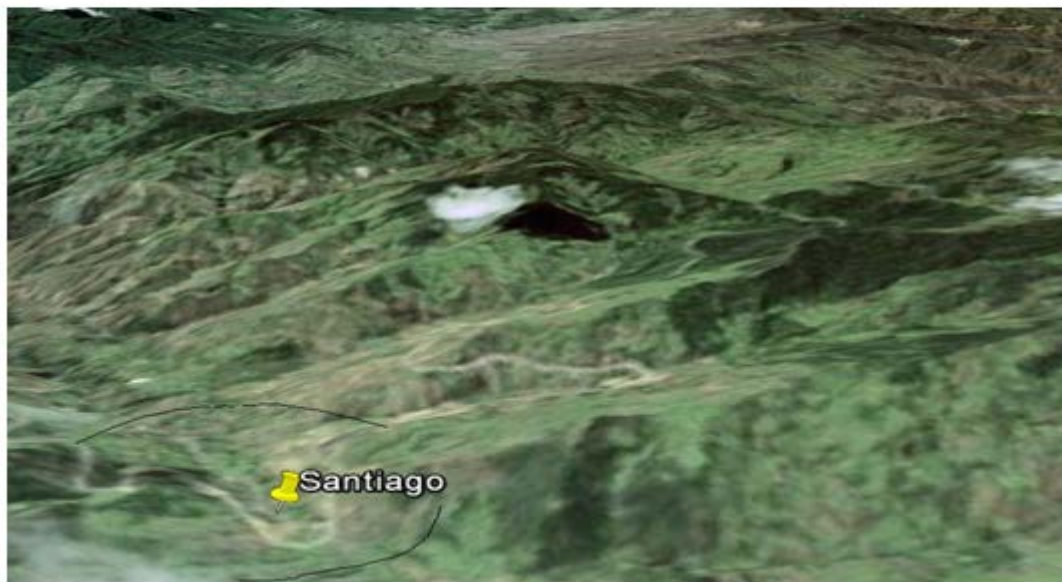
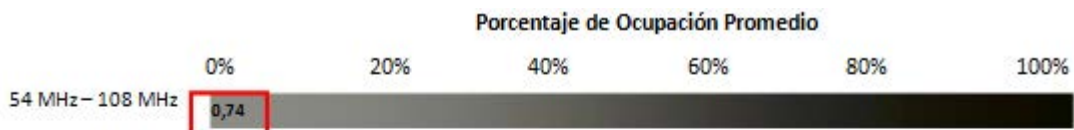
TAQUIL



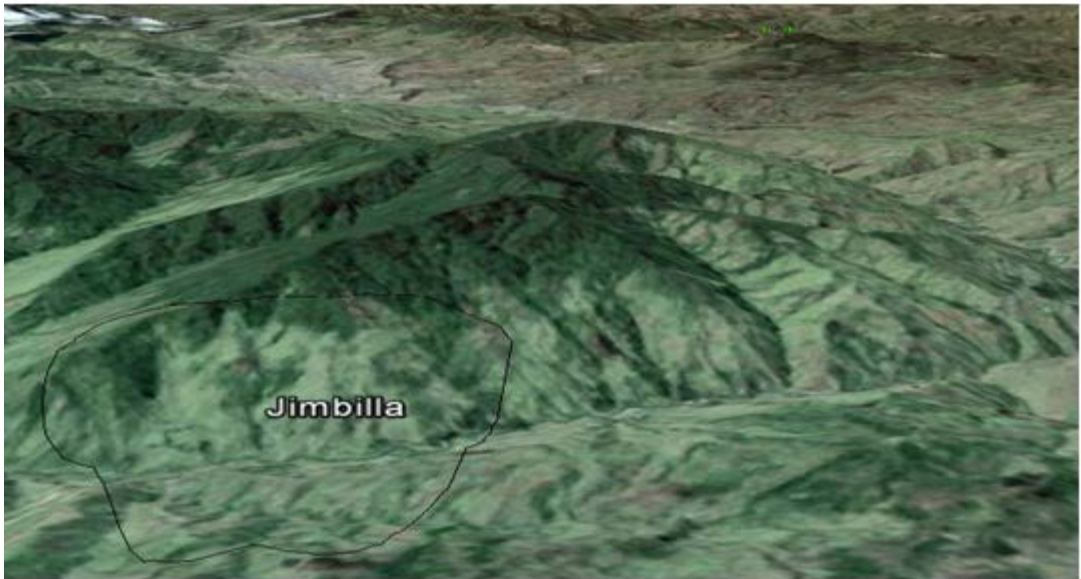
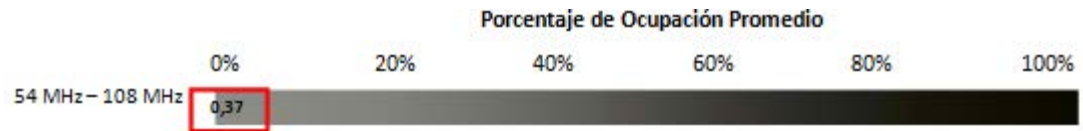
CHUQUIRIBAMBA



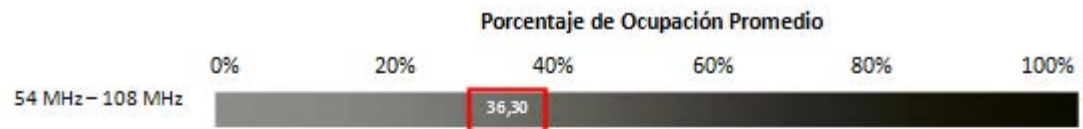
SAN LUCAS



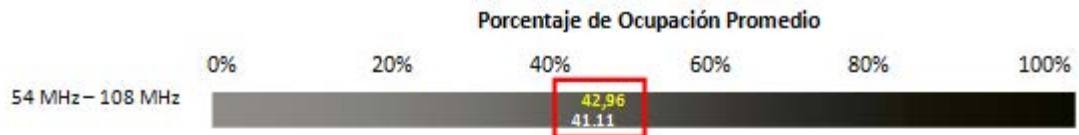
SANTIAGO



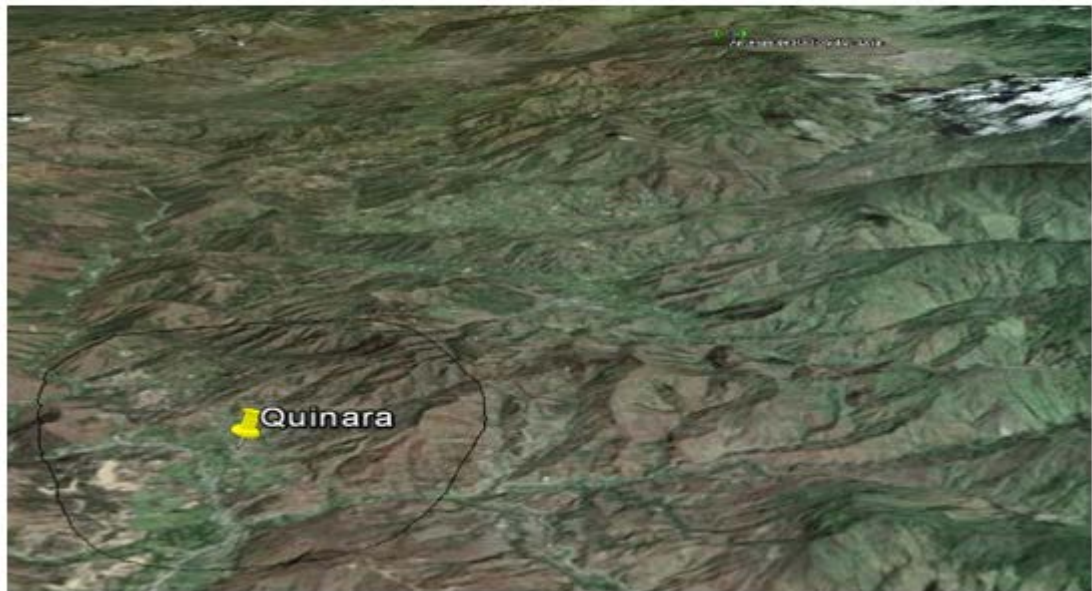
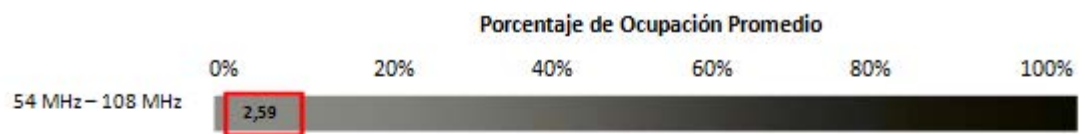
JIMBILLA



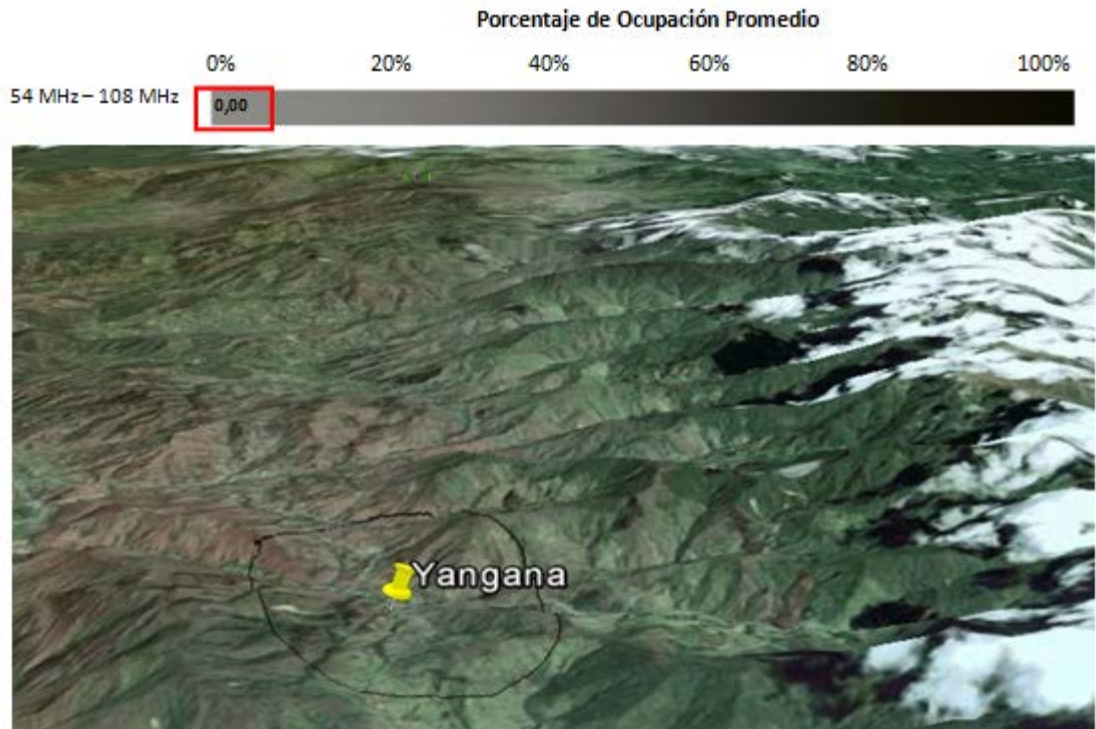
MALACATOS



VILCABAMBA/SAN PEDRO DE VILCABAMBA



QUINARA



YANGANA



LOJA

CONCLUSIONES Y TRABAJO FUTURO

- ✚ La evaluación espectral efectuada a las parroquias rurales y urbanas del cantón Loja, demuestra que pese al acelerado uso y ocupación del espectro radioeléctrico a nivel mundial y nacional, zonas geográficas especialmente rurales muestran muy baja utilización e incluso desocupación de bandas frecuenciales concesionadas en el rango de 54MHz a 1000MHz; de esta manera la posibilidad de poder aplicar redes de telecomunicaciones alternativas y con prestaciones técnicas robustas en las parroquias rurales y urbanas del cantón Loja se hace promisoría.
- ✚ Las redes de Radio Cognitiva se convierten en un potencial sistema de telecomunicaciones capaz de brindar diferentes servicios de comunicación a las distintas parroquias rurales del cantón Loja, sus características de oportunidad para el acceso al espectro radioeléctrico la convierten en ideal para aplicaciones dentro de estas zonas, las mismas que, por su especial geografía, y considerable distancia al principal centro de desarrollo de la región sur del país (ciudad de Loja) son escasamente atendidos por las tecnologías de telecomunicaciones.
- ✚ Alrededor de todo el cantón Loja y específicamente en sus cabeceras parroquiales, existen un promedio de ancho de banda de 820MHz subutilizados y que pueden convertirse en útiles para una eventual aplicación de estándares basados en la técnica de Radio Cognitiva; el IEEE 802.22 podría desplegarse como una tecnología de banda ancha brindando

velocidades de comunicación de upstream/downstream de 1,5 Mbps/0,384Mbps como por ejemplo.

- ✚ En varios estudios realizados por entidades gubernamentales involucradas en el marco legal y técnico de las telecomunicaciones del Ecuador, se muestra un análisis incompleto sobre el uso del espectro radioeléctrico y su real grado de ocupación; la caracterización del nivel de utilización del espectro podría conllevar a escenarios claros para las posibilidades de despliegue de nuevas tecnologías de telecomunicaciones incluidas las redes de Radio Cognitiva.

- ✚ Es evidente que para el cantón Loja el porcentaje de desocupación aún es amplio (valor promedio de 86,72%), por tanto, el presente estudio ha limitado su investigación a conocer la disponibilidad o vacancia del espectro radioeléctrico con fines de aplicación de redes de Radio Cognitiva; el estudio técnico para el despliegue de estos sistemas, ubicación de torres y demás sistemas de transmisión e infraestructura quedan como una alternativa de trabajo futuro.

- ✚ Para las evaluaciones espectrales se considero un único punto geográfico de análisis dentro de cada una de las parroquias; dicho punto ha sido tomado en función de la importancia política, social y económica de cada uno de estas ciudades, de ahí que el total de las evaluaciones obedecen a las radiaciones obtenidas para los puntos de mayor densidad poblacional de todas las parroquias. Esto brinda nuevas alternativas de investigación en las cuales se considere mayor cantidad de lugares o sitios pertenecientes a un mismo

poblado y cuyos resultados seguramente brindarían un mayor énfasis a la realidad del consumo del espectro radioeléctrico.

Actualmente los sistemas de Radio Cognitiva se encuentran especificados bajo estándares y parámetros técnicos para su funcionamiento en las bandas dedicadas exclusivamente a las emisiones de radio y televisión. La posibilidad de su uso no involucra los espacios radioeléctricos dedicados a otros menesteres de telecomunicaciones diferentes a radio FM y, televisión VHF y UHF; por tanto trabajos de investigación posteriores podrían aportar con desarrollo tecnológico y aplicaciones técnicas de Redes Cognitivas en bandas de frecuencia distintas a radio FM y, televisión VHF y UHF.

El presente trabajo presenta resultados del actual uso del espectro radioeléctrico en el rango de 54MHz a 1GHz en el cantón Loja, la posibilidad de evaluación de nuevos rangos de frecuencia es posible; de esta forma, en actividades posteriores se podría efectuar nuevas evaluaciones de ocupación espectral en nuevos rangos de frecuencia donde se desarrollan múltiples de sistemas de telecomunicaciones.

RECOMENDACIONES

Para estudios similares es importante efectuar una evaluación previa de los sitios de estudio, con ello conocer su estado actual y reales necesidades frente a los sistemas de telecomunicaciones aportaría a una mejor visión y ejecución de estudios y, medidas técnicas de campo.

✚ El presente estudio involucra un amplio número de poblaciones o sitios geográficos a ser visitados; esto representa un vasto esfuerzo en disponibilidad de tiempo y recursos es por tanto que un estudio espectral en zonas más reducidas podrían establecer resultados con mayor detalle técnico y específico para cada poblado.

REGISTRO BIBLIOGRÁFICO

- [1] Molina, S. (2009). *Análisis y caracterización de la ocupación espectral en entornos urbanos exteriores e interiores en el contexto de redes Cognitive Radio de acceso dinámico al espectro*. (Tesis de Maestría), Universidad Politécnica de Cataluña. Recuperado de <http://upcommons.upc.edu/pfc/bitstream/2099.1/7614/1/Susana%20Molina%20Corbacho.pdf>
- [2] Hinostroza, V. & Barraza, A. (2012). *Uso de Radio Cognitiva para Asignación Dinámica de Espectro en Bandas no Licenciadas*. (Tesis inédita de maestría) Universidad Autónoma de Ciudad Juárez.
- [3] Mitola, III. & Maguire, Jr. (1999). Cognitive Radio: Making Software Radios More Personal. *Personal Communications IEEE*, 4(6), 13-18. doi: 10.1109/98.788210
- [4] Petrin, A. & Steffes, P.G. (2004). Measurement and Analysis of Urban Spectrum Usage, *International Symposium on Advanced Radio Technologies NTIA Special Publication*, pp. 45-48.
- [5] Aguilar, J. & Navarro, A. (2011). Radio cognitiva – Estado del arte. *Sistemas y Telemática*. 9(16), 31-53. Recuperado de http://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:KRCZbzkNapOJ:www.icesi.edu.co/revistas/index.php/sistemas_telematica/article/download/1028/1053+&cd=1&hl=es-419&ct=clnk&gl=ec
- [6] Ceballos, C. & Betancour, L. SDR: La alternativa para la evolución inalámbrica a nivel físico, Recuperado de <http://roboticslab.uc3m.es/publications/Articulo1.pdf>

- [7] Simancas, E. (2006). *Análisis del Estándar IEEE 802.22 (Wireless Regional Area Network (WRAN) y su posible implementación en el Ecuador*, (Tesis de Ingeniería), Escuela Politécnica Nacional. Recuperado de <http://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/287/1/CD-0253.pdf>
- [8] Superintendencia de Telecomunicaciones. (2013). Estadísticas Fijo Móvil Terrestre. Ocupación del espectro VHF (138 - 144 y 148 - 174MHz) por provincias en (MHz). (Enero 2013). Recuperado de http://www.conatel.gob.ec/site_conatel/index.php?option=com_content&view=article&id=1541&Itemid=581
- [9] Superintendencia de Telecomunicaciones. (2013). Estadísticas Fijo Móvil Terrestre. Ocupación del espectro UHF - Sub-bandas. Recuperado de http://www.conatel.gob.ec/site_conatel/index.php?option=com_content&view=article&id=1541&Itemid=581
- [10] Vivanco, A. (2009). IEEE802.22. Recuperado de http://dspace.universia.net/bitstream/2024/223/1/ieee802.22_trabajo.pdf
- [11] Comisión Nacional de Comunicaciones Argentina. (2004). Resolución CNC 3690/2004. Recuperado de <http://www.cnc.gov.ar/ciudadanos/espectro/>
- [12] Consejo Nacional de Telecomunicaciones. (2012). Plan Nacional de Frecuencias del Ecuador. *Dirección General de Gestión del Espectro Radioeléctrico*. Recuperado de http://www.conatel.gob.ec/site_conatel/index.php?option=com...doc.
- [13] Tenesaca, L. (2005). *Estudio de Factibilidad para la implementación del servicio de Televisión DVB - T (DIGITAL VIDEO BROADCASTING - TERRESTRIAL) en el Ecuador*, (Tesis de Ingeniería). Escuela Politécnica del Ejercito, Recuperado de <http://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/84/1/T-ESPE-027543.pdf>

[14] Superintendencia de Telecomunicaciones. (2012). Situación de Operación de las estaciones de Radiodifusión, televisión y audio y video por suscripción. Recuperado de http://www.supertel.gob.ec/pdf/estadisticas/frecuencia_modulada.pdf

FECHA DE ENTREGA DE LA TESIS

El presente documento fue entregado en la Dirección de Postgrados, reposando en la Escuela Politécnica del Ejército desde:

Sangolquí, 16 de septiembre del 2013

Ing. Andy Vega León
Autor

Ing. Rodrigo Silva Tapia
Coordinador MRIC