



**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE CUENCA**

CARRERA DE TELECOMUNICACIONES

**ANÁLISIS DEL EFECTO DE LA CAÍDA DE CENIZAS VOLCÁNICAS EN LAS
TELECOMUNICACIONES**

Trabajo de titulación previo a la obtención del
título de Ingeniero en Telecomunicaciones

AUTOR: LUIS MATEO ALVAREZ BERMEO
RENÉ RAFAEL OCHOA CALDERÓN
TUTOR: ING. MÓNICA KAREL HUERTA, PhD.

Cuenca – Ecuador

2023

CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Nosotros, Luis Mateo Alvarez Bermeo con documento de identificación N° 0107167231 y René Rafael Ochoa Calderón con documento de identificación N° 0105997688; manifestamos que:

Somos los autores y responsables del presente trabajo; y, autorizamos a que sin fines de lucro la Universidad Politécnica Salesiana pueda usar, difundir, reproducir o publicar de manera total o parcial el presente trabajo de titulación.

Cuenca, 13 de septiembre del 2023

Atentamente,



Luis Mateo Álvarez Bermeo

0107167231



René Rafael Ochoa Calderón

0105997688

**CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE
TITULACIÓN A LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA**

Nosotros, Luis Mateo Álvarez Bermeo con documento de identificación N° 0107167231 y René Rafael Ochoa Calderón con documento de identificación N° 0105997688, expresamos nuestra voluntad y por medio del presente documento cedemos a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que somos autores del Proyecto Técnico: “Análisis del Efecto de la Caída de Cenizas Volcánicas en las Telecomunicaciones” el cual ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingeniero en Telecomunicaciones, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En concordancia con lo manifestado, suscribimos este documento en el momento que hacemos la entrega del trabajo final en formato digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Cuenca, 13 de septiembre del 2023

Atentamente,

Luis Mateo Álvarez Bermeo

0107167231

René Rafael Ochoa Calderón

0105997688

CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Mónica Karel Huerta con documento de identificación N° 0151450426, docente de la Universidad Politécnica Salesiana, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: ANÁLISIS DEL EFECTO DE LA CAÍDA DE CENIZAS VOLCÁNICAS EN LAS TELECOMUNICACIONES, realizado por Luis Mateo Álvarez Bermeo con documento de identificación N° 0107167231 y René Rafael Ochoa Calderón con documento de identificación N° 0105997688, obteniendo como resultado final el trabajo de titulación bajo la opción Proyecto Técnico que cumple con todos los requisitos determinados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Cuenca, 13 de septiembre del 2023

Atentamente,



Ing. Mónica Karel Huerta, PhD

0151450426

AGRADECIMIENTOS

Agradecimientos de Luis Mateo Álvarez Bermeo

Quiero expresar mis más sinceros agradecimientos, primero que todo a mi familia, quienes estuvieron apoyándome y regañándome para verme crecer como persona. Mis padres, quienes fueron un pilar fundamental para lograr mis metas académicas y personales, quienes hicieron lo imposible para verme con una sonrisa en el rostro.

Mis hermanas, cuáles supieron hacerme ver el mundo de una manera más comprensible, que con sus experiencias de vida supieron guiarme con ayuda de mis padres. Mis cuñados Israel, Paul y Marco quienes supieron brindarme su sabiduría a través de consejos y se convirtieron en los mejores tutores en momentos donde la vida universitaria se puso difícil.

Es oportuno mencionar a los amigos que hice dentro y afuera del aula de clases en todo este trayecto, con los cuales me encuentro agradecido por estar presentes en mi vida. Leonardo, Rene, Carlos, Mishi, Pepe, Juan, Sebastián, Santiago, Valeria, ustedes se convirtieron en mis hermanos en estos últimos cuatro años, y siempre podrán contar conmigo para lo que sea, ya que sin su apoyo y su carisma no sería lo que hoy soy.

No quiero dejar afuera a mis docentes que me enseñaron que antes de ser un ingeniero tengo que ser una buena persona, siempre llevaré sus enseñanzas de vida y los conocimientos brindados. Quiero extender este homenaje a mis profesores del colegio que al pasar los años seguimos siendo amigos, en especial con el primer profesor que pude llamar amigo Sebastián Peñaherrera, quien supo guiarme y darme los mejores consejos en esa etapa de mi vida y aunque se encuentre lejos sabrá que

siempre será bienvenido por mi parte.

Quiero nombrar y agradecer a una persona muy especial de la cual recibí un apoyo particular por casi un año, lastimosamente por problemas personales entre nosotros no se encontró presente este último ciclo de mi vida universitaria. Aunque pase el tiempo siempre tendré el recuerdo de tu voz dándome apoyo en todo lo que quería realizar, sé que te hubieras sentido feliz de verme alcanzar mis metas, pero el destino no lo hizo así, siempre te estaré agradecido por el tiempo que estuviste conmigo y tendrás un lugar muy especial en mi corazón.

Esta etapa de mi vida estuvo llena de esfuerzo y perseverancia, por lo cual quiero agradecer a mi jugador favorito Cristiano Ronaldo, el cual me dejó enseñanzas de vida muy grandes. No importa que tan difícil se parezca la situación, siempre con esfuerzo y perseverancia se consiguen las metas. Aunque parezca que todo el mundo se encuentre en tu contra, siempre tendrás un pequeño grupo de personas por detrás apoyándote, que sonreirán cuando te vean sonreír y te brindarán el apoyo necesario para afrontar los problemas, y esas son todas las personas nombradas anteriormente. Agradezco profundamente a mi tutora de tesis, Ing. Mónica Karel Huerta, quien con su orientación, compromiso y paciencia permitió el desarrollo de este trabajo de titulación. De una manera muy especial quiero agradecer al grupo de investigación GITEL y el proyecto PLAGI quienes financiaron este proyecto. Estoy enormemente agradecido con los ingenieros Caicedo y Rivas, docentes de la Universidad de las Fuerzas Armadas, quienes no solo nos proporcionaron ayuda con los equipos, sino que nos brindaron una mano en fase de recolección de datos.

Por último, pero no menos importante, estoy agradecido con Dios por mantenerme con salud junto a las personas que quiero, por otorgarme el conocimiento, sabiduría y por permitirme tener un compañero de alto nivel académico como de persona, con el cual afronte esta etapa de mi vida.

Agradecimientos de René Rafael Ochoa Calderón

Quiero agradecer principalmente a mis padres darme la oportunidad de alcanzar un gran objetivo en mi vida, A mi compañero con el que afrontamos este reto. También a la ESPE y los docentes que nos ayudaron con los equipos y nos acompañaron a realizar las mediciones, quiero agradecer a la Ing. Mónica Karel Huerta por su tutela y paciencia para desarrollar este proyecto. Por último al grupo GITEL y el proyecto PLAGI quienes financiaron nuestro proyecto.

DEDICATORIAS

DEDICATORIA

Dedicatoria de Luis Mateo Álvarez Bermeo

Quiero dedicar este trabajo de titulación a mi familia, quienes son mi más grande inspiración, mis padres quienes algún día soñaron con ver al pequeño niño que corría por la casa convertirse en un ingeniero, los mismos que me guiaron por el camino del bien, quienes han velado por bienestar y han pasado hambre por verme feliz, espero que se sientan orgullosos de este logro que es por ustedes y estoy agradecido con

Dios de tenerlos a mi lado, los amo.

De la misma manera dedico esta tesis a mis hermanas Gaby, Daysi y Kate, quienes son mis consejeras de vida, las personas quienes confío todos mis secretos y siempre han sabido sacarme de situaciones difíciles y darme soporte moral en las épocas más difíciles.

Es oportuno nombrar a todas las personas que me han apoyado hasta este momento, familia, amigos. Es oportuno nombrar a todo el círculo de personas que me han otorgado su apoyo hasta este momento, familia y amigos. Pese a no poder nombrarlos a todos, se enmarcaron en mi alma con sus palabras, acciones y enseñanzas que me dejaron.

Dedicatoria de René Rafael Ochoa Calderón

Quiero dedicar este proyecto primeramente a mi familia, sobre todo a los seres más queridos para mí que son mis padres quienes me formaron para ser una buena persona y me enseñaron mis valores quienes me apoyaron y me dieron la oportunidad de estudiar esta carrera. También quiero dedicarlo a mis amigos Sebastian, Santiago, Juan y David que confiaron y me apoyaron durante 4 años y cuando no podía me motivaron a seguir adelante, A un amigo en especial, a mi compañero Mateo que a sido uno de los mejores amigos que he tenido y nunca me ha dejado solo. Y por último a todos mis profesores quienes fueron mis mentores y me han enseñado la importancia del trabajo duro, el esfuerzo y siempre a ser una buena persona. Sobre todo a mis profesores del colegio quienes fueron los que me encaminaron por este camino y que a pesar del tiempo continúan siendo mis amigos y siempre que necesito consejos o ayuda puedo contar con ellos.

Índice general

Agradecimientos	I
Dedicatorias	IV
Índice General	VI
Índice de figuras	XII
Índice de tablas	XIII
Resumen	XIV
Abstract	XV
1. Introducción	1
1.1. Antecedentes	1
1.2. Justificación	3
1.3. Objetivos	5
1.3.1. Objetivo General	5
1.3.2. Objetivos Específicos	5
2. Marco Teórico	6
2.1. Desastres Naturales y su Impacto	6
2.1.1. Volcanes: Causas y Comportamiento	8
2.1.2. Proceso de Emisión de los Volcanes	8
2.1.3. Causas de la Actividad Volcánica	9
2.1.4. Zonas Afectadas por Erupciones Volcánicas	11

2.1.5.	Medidas de Seguridad durante una Erupción Volcánica	12
2.2.	Interferencias, Atenuaciones y Pérdidas de las Señales	12
3.	Metodología	16
3.1.	Estudio de Frecuencias	16
3.1.1.	Redes Móviles	17
3.1.2.	Comunicaciones Satelitales	17
3.1.3.	Radiodifusión AM y FM	18
3.1.4.	Transmisiones Televisivas	18
3.1.5.	WIMAX	19
3.1.6.	WIFI	19
3.2.	Protocolo de Medición de Potencias de Señales	21
3.2.1.	Protocolo de medición de las Señales de Telecomunicaciones . . .	21
3.2.2.	Herramientas Utilizadas	21
3.3.	Diseños del Protocolo de Medición de Potencias de la Señal	23
3.3.1.	Proceso de Medición de las potencias de las señales	23
3.3.2.	Ubicación Geográfica de los Puntos de Medición.	25
3.3.3.	Configuración del Equipo	28
4.	Resultados	31
4.1.	Resultados Mirador el Calvario	31
4.1.1.	Rango de Alta Frecuencias (HF) 0 a 300 MHz - Mirador el Calvario	32
4.1.2.	Rango de Ultra Alta Frecuencias (UHF) 300 MHz a 3 GHz - Mirador el Calvario	34
4.1.3.	Rango de Ultra Alta Frecuencias (UHF) 2,5 a 3 GHz y Super Alta Frecuencias (SHF) 3 a 5 GHz - Mirador el Calvario	39
4.2.	Hacienda San Agustín de Callo.	41
4.2.1.	Rango de Alta Frecuencias (HF) 0 a 300 MHz - Hacienda San Agustín de Callo.	41
4.2.2.	Rango de Ultra Alta Frecuencias (UHF) 300 MHz a 3 GHz - Hacienda San Agustín de Callo.	44

4.2.3.	Rango de Ultra Alta Frecuencias (UHF) 2,5 a 3 GHz y Super Alta Frecuencias (SHF) 3 a 5 GHz - Hacienda San Agustín de Callo.	47
4.3.	Resultados Mirador Chasqui.	48
4.3.1.	Rango de Alta Frecuencias (HF) 0 a 300 MHz - Mirador Chasqui	49
4.3.2.	Rango de Ultra Alta Frecuencias (UHF) 300 MHz a 3 GHz - Mirador Chasqui	52
4.3.3.	Rango de Ultra Alta Frecuencias (UHF) 2,5 a 3 GHz y Super Alta Frecuencias (SHF) 3 a 5 GHz - Mirador Chasqui	54
4.4.	Resultados Mirador de Sinchaguasin.	57
4.4.1.	Rango de Alta Frecuencias (HF) 0 a 300 MHz - Mirador de Sinchaguasin	57
4.4.2.	Rango de Ultra Alta Frecuencias (UHF) 300 MHz a 3 GHz - Mirador de Sinchaguasin	60
4.4.3.	Rango de Ultra Alta Frecuencias (UHF) 2,5 a 3 GHz y Super Alta Frecuencias (SHF) 3 a 5 GHz - Mirador de Sinchaguasin	63
4.5.	Resultados Topa Monta (Mirador Los Gigles).	65
4.5.1.	Rango de Alta Frecuencias (HF) 0 a 300 MHz - Topa Monta (Mirador Los Gigles)	66
4.5.2.	Rango de Ultra Alta Frecuencias (UHF) 300 MHz a 3 GHz - Topa Monta (Mirador Los Gigles)	69
4.5.3.	Rango de Ultra Alta Frecuencias (UHF) 2,5 a 3 GHz y Super Alta Frecuencias (SHF) 3 a 5 GHz - Topa Monta (Mirador Los Gigles) .	71
5.	Conclusiones y Trabajos Futuros	75
5.1.	Conclusiones	75
5.2.	Recomendaciones	77
Glosario		79
Referencias		84

Índice de figuras

2.1. Propagación de onda. Imagen basada en [30]	14
3.1. Rango de Frecuencias[33]	17
3.2. Diagrama de Flujo del protocolo de medición.	24
3.3. Mapa con los puntos de Medición	25
3.4. Mapa del relieve con los puntos de Medición	25
4.1. FM Mirador el Calvario	32
4.2. FM en Cascada en Mirador el Calvario	33
4.3. Frecuencia de Televisión en el Mirador el Calvario	34
4.4. Frecuencias de comunicaciones móviles en el rango de 800 Mhz a 1 GHz, Mirador el Calvario	35
4.5. Frecuencias de comunicaciones móviles en el rango de 750 Mhz a 1 GHz, Mirador el Calvario	35
4.6. Frecuencias de comunicaciones móviles en el rango de 750 Mhz a 900 MHz, Mirador el Calvario en Cascada	36
4.7. Frecuencia en el rango de 750 Mhz a 2.25 GHz, Mirador el Calvario	36
4.8. Frecuencia en el rango de 750 Mhz a 2.25 GHz, Mirador el Calvario en cascada	37
4.9. Frecuencia en el rango de 1.6 GHz a 2.25 GHz, Mirador el Calvario	38
4.10. Frecuencia en el rango de 1.6 GHz a 2.25 GHz, Mirador el Calvario en Cascada	38
4.11. Rango de 2.3 GHz a 2.6 GHz, Mirador el Calvario	39
4.12. Rango de 5 GHz a 6 GHz, Mirador el Calvario	40
4.13. Rango de 5 GHz a 6 GHz, Mirador el Calvario en cascada	40
4.14. Frecuencia de Radio FM en la Hacienda San Agustín de Callo	42
4.15. Frecuencia de Radio FM en la Hacienda San Agustín de Callo en Cascada	42

4.16. Frecuencia en el Rango de 174 Mhz hasta 500 Mhz (Televisión) en la Hacienda San Agustín de Callo	43
4.17. en el Rango de 174 Mhz hasta 500 Mhz (Televisión) en la Hacienda San Agustín de Callo en cascada	44
4.18. Frecuencias de comunicaciones móviles en el rango de 800 Mhz a 2.25 GHz en la Hacienda San Agustín de Callo	45
4.19. Frecuencia de comunicaciones móviles en el rango de 800 Mhz a 2.25 GHz en la Hacienda San Agustín de Callo en cascada	45
4.20. Frecuencia de comunicaciones móviles en el rango de 800 MHz a 1 GHz en la Hacienda San Agustín de Callo	46
4.21. Frecuencia en el rango de 800 Mhz a 1 GHz en la Hacienda San Agustín de Callo en cascada	46
4.22. Rango de 2 GHz a 3 GHz en la Hacienda San Agustín de Callo	47
4.23. Rango de 4.1 GHz a 6.1 GHz en la Hacienda San Agustín de Callo	48
4.24. Frecuencia de Radio FM en el Mirador Chasqui	50
4.25. Frecuencia de Radio FM en el Mirador Chasqui en Cascada	50
4.26. Frecuencia en el Rango de 110 Mhz hasta 400 Mhz (Televisión) en el Mirador Chasqui .	51
4.27. Frecuencia en el Rango de 110 Mhz hasta 400 Mhz (Televisión) en el Mirador Chasqui en Cascada	52
4.28. Frecuencia de Comunicaciones Móviles en el Rango de 750 Mhz a 2.25 GHz en el Mirador Chasqui	53
4.29. Frecuencia de Comunicaciones Móviles en el Rango de 750 Mhz a 1 GHz en el Mirador Chasqui	53
4.30. Frecuencia de Comunicaciones Móviles en el Rango de 750 Mhz a 1 GHz en el Mirador Chasqui en Cascada	54
4.31. Rango de 5 GHz a 6 GHz en el Mirador Chasqui	55
4.32. Rango de 5 GHz a 6 GHz en el Mirador Chasqui en Cascada	55
4.33. Rango de 2.3 GHz a 2.6 GHz en el Mirador Chasqui	56
4.34. Rango de 2.3 GHz a 2.6 GHz en el Mirador Chasqui en Cascada	56
4.35. Frecuencia de Radio FM en el Mirador de Sinchaguasin	58
4.36. Frecuencia de Radio FM en el Mirador de Sinchaguasin en Cascada	58

4.37. Frecuencia en el Rango de 110 Mhz hasta 400 Mhz (Televisión) en el Mirador de Sinchaguasin	59
4.38. Frecuencia en el Rango de 110 Mhz hasta 400 Mhz (Televisión) en el Mirador de Sinchaguasin en Cascada	60
4.39. Frecuencia de Comunicaciones Móviles en el Rango de 750 MHz a 2.25 GHz en el Mirador de Sinchaguasin	61
4.40. Frecuencia de Comunicaciones Móviles en el Rango de 750 MHz a 2.25 GHz en el Mirador de Sinchaguasin en Cascada	61
4.41. Frecuencia de Comunicaciones Móviles en el Rango de 750 Mhz a 1 GHz en el Mirador de Sinchaguasin	62
4.42. Frecuencia de Comunicaciones Móviles en el Rango de 750 Mhz a 1 GHz en el Mirador de Sinchaguasin en Cascada	62
4.43. Frecuencia en el Rango de 2.3 GHz a 2.6 GHz en el Mirador de Sinchaguasin	63
4.44. Frecuencia en el Rango de 2.3 GHz a 2.6 GHz en el Mirador de Sinchaguasin en Cascada	64
4.45. Frecuencia en el Rango de 5 GHz a 6 GHz en el Mirador de Sinchaguasin	64
4.46. Frecuencia en el Rango de 5 GHz a 6 GHz en el Mirador de Sinchaguasin en Cascada	65
4.47. Frecuencias de Radio FM en Topa Monta	66
4.48. Frecuencias de radio FM en Topa Monta en Cascada	67
4.49. Frecuencia en el Rango de 110 Mhz hasta 400 Mhz (Televisión) en Topa Monta	68
4.50. Frecuencia en el Rango de 110 Mhz hasta 400 Mhz (Televisión) en Topa Monta en Cascada	68
4.51. Frecuencia de Comunicaciones Móviles en el Rango de 750 Mhz a 2.25 GHz en Topa Monta	69
4.52. Frecuencia de Comunicaciones Móviles en el Rango de 750 Mhz a 2.25 GHz en Topa Monta en Cascada	70
4.53. Frecuencia de Comunicaciones Móviles en el Rango de 750 Mhz a 1 GHz en Topa Monta	70
4.54. Frecuencia de Comunicaciones Móviles en el Rango de 750 Mhz a 1 GHz en Topa Monta en Cascada	71
4.55. Rango de 2.3 GHz a 2.6 GHz en Topa Monta	72
4.56. Rango de 2.3 GHz a 2.6 GHz en Topa Monta en Cascada	72
4.57. Rango de 5 GHz a 6 GHz en Topa Monta	73

4.58. Rango de 5 GHz a 6 GHz en Topa Monta en Cascada 73

Índice de tablas

2.1. Rango de frecuencias y su uso basado en la ITU [31].	15
3.1. Distribución de canales y frecuencias para transmisiones televisivas, basada en los datos entregados de la Arcotel [40]	20

Resumen

Diversos estudios han demostrado que la presencia de ceniza volcánica puede afectar la navegación aérea y la comunicación por radiofrecuencia durante erupciones volcánicas. Esta investigación analiza los efectos de la caída de ceniza volcánica en las telecomunicaciones y establece un protocolo de medición de la potencia de las señales. Se observan diferencias en el uso de tecnologías de comunicación en zonas urbanas y rurales, y se identifican desafíos en la infraestructura de telecomunicaciones durante eventos volcánicos. Este trabajo sienta las bases para futuros proyectos de monitoreo de las atenuaciones en la potencia de señales debido a la ceniza volcánica.

Palabras clave: Ceniza; Espectro; Frecuencia; Medición; Móviles; Potencia; Protocolo; Radio; Redes; Tecnología; Televisión; Volcánica; WIFI;

Abstract

Various studies have shown that the presence of volcanic ash can affect air navigation and radio frequency communication during volcanic eruptions. This research analyzes the effects of volcanic ash fall on telecommunications and establishes a signal power measurement protocol. Differences in the use of communication technologies in urban and rural areas are observed, and challenges in telecommunications infrastructure during volcanic events are identified. This work lays the foundation for future projects monitoring signal power attenuations due to volcanic ash

Keywords: Ash; Spectrum; Frequency; Frequency; Measurement; Mobile; Power; Protocol; Radio; Networks; Technology; Television; Volcanic; WIFI;

Capítulo 1

Introducción

1.1. Antecedentes

Los volcanes son formados por placas tectónicas en movimiento, potencialmente peligrosos por la expulsión de magma, nubes de ceniza y otros materiales, son básicamente grietas en la corteza terrestre siendo conocidos también como Lugares candentes donde el material candente emerge [1].

En la actualidad, existen 1350 volcanes activos en todo el mundo. Sin embargo, la mayor actividad volcánica y sísmica se concentra en una región conocida como el Anillo de Fuego del Pacífico [2], [3]. La longitud de este cinturón de fuego es aproximadamente 40,000 kilómetros y bordea las costas del océano Pacífico, por lo cual, esta zona geográfica se encuentra afectada por numerosas actividades sísmicas y volcánicas. Algunos países latinoamericanos que se encuentran en la costa del Océano Pacífico tienen una alta actividad volcánica y sísmica. Este es el caso de México, Guatemala, Nicaragua, Colombia, Perú, Ecuador, entre otros.

Ecuador cuenta con un total de 98 volcanes, entre activos e inactivos. Cabe destacar, que de esos 98 volcanes, 31 se encuentran entre las categorías de activos, potencialmente activos y en erupción, Estos volcanes son constantemente vigilados por el Instituto Ecuatoriano Geofísico (IGEPN) para la seguridad de la población ecuatoriana [2].

En una explosión volcánica se puede experimentar una variedad de peligros, entre ellos, los flujos y oleadas piroclásticas, colapsos sectoriales, lahares y bloqueos

balísticos, que se consideran los más peligrosos [4]. Sin embargo, no son los únicos problemas que podemos enumerar. También, se puede mencionar las nubes de ceniza volcánica. Debido a su amplia distribución, la caída de ceniza volcánica puede afectar grandes zonas, provocando distintos problemas en diferentes áreas. Puede llegar a afectar en las áreas de agricultura, aviación e infraestructuras. Por ejemplo, en la erupción del volcán que tuvo lugar en la Palma, localizado en el parque natural de cumbre vieja, el cual sus nubes de ceniza afectaron a todas las producciones de banano de la zona. La caída de ceniza se expandió sobre toda la isla e incluso llegó a islas vecinas de Tenerife y El Hierro [3]. En la aviónica, también hay que tener en cuenta este problema debido a la facilidad con la que las nubes de ceniza pueden viajar grandes distancias. Normalmente, los aviones se encuentran con estas nubes, lo que produce fallas en la infraestructura de la aeronave, así como en el sistema de navegación y de telecomunicaciones [5].

Los posibles impactos de las cenizas volcánicas en las telecomunicaciones son: Atenuación y pérdida de potencia de los enlaces de las diferentes tecnologías de telecomunicaciones, daño en la infraestructura de las antenas por el material de las cenizas que se acumula en ellas y sobrecarga de tráfico de datos en las redes debido a la alta demanda de los usuarios [4].

La caída de cenizas tiene un impacto en diversos sectores. La agricultura es uno de los campos más estudiados debido a la facilidad con la que las nubes de ceniza pueden viajar, pero hay que considerar que éstas pueden contener metales pesados, los cuales pueden ser tóxicos para los seres vivos [6]-[8]. Una investigación realizada sobre las erupciones del monte Tongariro en Nueva Zelanda en 2012 reveló que las cenizas eran ricas en nutrientes, pero contenían una gran cantidad de metales pesados, lo que representaba un peligro para la salud tanto de seres vivos [9]. Otro de los casos se presenta para la seguridad de la aviación y condiciones de difusión de las ondas de radio, donde se ha demostrado que la atenuación y el scattering de las ondas de radio en un rango de 1 a 36 GHz, que durante la presencia de las nubes de ceniza volcánica se ven más atenuadas y dispersas las ondas de radio de menor frecuencia en comparación a las de mayor frecuencia [10].

En la actualidad, con el fin de aprovechar la tecnología para el control y

monitoreo de los volcanes, se expone el caso del volcán Tungurahua en Ecuador. En este volcán se ha implementado un sistema de monitoreo basado en una red de sensores inalámbricos que permiten realizar lecturas de la actividad sísmica, la temperatura y otros parámetros. Estos datos se envían a una estación para su procesamiento y análisis con el fin de detectar posibles riesgos volcánicos [11].

En este sentido y de acuerdo con lo mencionado anteriormente, la presencia de nubes de ceniza volcánica puede representar problemas para las transmisiones de radiofrecuencia, como la atenuación de la señal enviada. Aunque existen pocos estudios sobre su impacto en las transmisiones de radiofrecuencia, se sabe que esto puede llevar a la pérdida de información y a una recepción deficiente del mensaje, especialmente en caso de una erupción de gran magnitud y caída de cenizas.

1.2. Justificación

Los desastres naturales son una amenaza presente en todo el mundo, y se ha catalogado como una problemática creciente. Sus consecuencias pueden llegar a ser catastróficas para las zonas afectadas. En la actualidad, el cambio climático ha afectado la magnitud y la cantidad de los desastres naturales, sobre todo aquellos relacionados con el clima [12]. Aunque el cambio climático ha afectado la magnitud y frecuencia de algunos desastres naturales, como inundaciones, sequías y huracanes, es importante tener en cuenta que existen otras causas, como los terremotos y la actividad volcánica. Estos fenómenos también pueden tener consecuencias devastadoras en las zonas afectadas [13].

Debido a que Ecuador se encuentra en una zona altamente volcánica, es importante analizar las posibles pérdidas en las transmisiones de radioenlaces, comunicaciones satelitales y redes móviles que pueden ocurrir debido a la presencia de nubes de ceniza volcánica. Es necesario tomar en cuenta que una erupción volcánica, especialmente del volcán Cotopaxi, que se encuentra cerca de áreas densamente pobladas, puede interrumpir las telecomunicaciones y tener consecuencias graves. Por lo tanto, es esencial garantizar un plan de Contingencia adecuado para minimizar los efectos de la actividad volcánica en las

telecomunicaciones y asegurar que el servicio se mantenga en caso de una erupción [14].

En el Ecuador existe un Plan de Contingencia para la gestión de riesgos y emergencias, con la finalidad de presentar procedimientos y acciones que se deberán tomar en caso de un desastre, donde se contempla la Priorización de la seguridad y la protección de la población, buscando minimizar los impactos sociales, económicos y ambientales [15]. La Agencia de Regulación y Control de las Telecomunicaciones (ARCOTEL) describe una normativa para la creación y divulgación de planes de contingencia, que ayudarán en la identificación, planificación de procedentes y acciones que deberán llevar los proveedores de servicios de Telecomunicaciones en el caso de emergencias en el Ecuador, para garantizar la calidad de esos servicios en todo el país [16].

Las telecomunicaciones están consideradas dentro de las áreas estratégicas de cualquier país del mundo, ya que permite coordinar de manera efectiva las acciones y respuestas ante los desastres naturales. Por esta razón, permite la comunicación entre las personas afectadas, los servicios de emergencia y distintos personajes involucrados en la gestión de la crisis, tomando en cuenta las áreas más lejanas o rurales. La cobertura que se brinda a estas zonas es limitada y durante estos fenómenos pueden quedar sin servicios de comunicación [17].

La buena difusión de información sobre este tipo de eventos puede influir en la destreza de los servicios de auxilio para responder a los desastres naturales, proporcionando información crítica la cual permita la comunicación y coordinación eficaz para hacer frente a una posible situación de catástrofe [18].

Por lo expuesto anteriormente, en este trabajo se analizará el impacto en las telecomunicaciones antes una posible caída de ceniza volcánica y se establecerá un protocolo de medición de la potencia de las señales afectadas por este factor físico. Adicionalmente, se busca determinar como afecta la caída de las cenizas en las telecomunicaciones y obtener valores de referencia ante la presencia de nubes de ceniza volcánica. Esto es necesario para prevenir posibles fallas o caídas en la transmisión de las señales y asegurar una respuesta eficiente de los servicios de emergencia ante los desastres naturales que puedan ocurrir durante este fenómeno.

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo General

- Analizar el efecto de la caída de cenizas volcánicas en las telecomunicaciones.

1.3.2. Objetivos Específicos

- Estudiar el proceso de emisión de cenizas y las tecnologías de medición de potencia de las señales de telecomunicaciones.
- Establecer un protocolo de medición de la potencia de las señales de telecomunicaciones ante la caída de cenizas.
- Analizar los datos obtenidos en la medición.

Capítulo 2

Marco Teórico

En el presente capítulo, se explica lo que son los desastres naturales y sus efectos dentro de la vida de los seres vivos e infraestructuras. Se expone los peligros de las erupciones volcánicas y los elementos que son expulsados por este fenómeno. Se mencionan las medidas de seguridad que tiene Ecuador en casos de erupciones volcánicas. Adicionalmente, se explican las interferencias, atenuaciones y pérdidas de las señales.

2.1. Desastres Naturales y su Impacto

Según la National Geographic. Los desastres naturales son sucesos catastróficos que son provocados por fenómenos naturales con una gran capacidad de destrucción a zonas y personas que estén en su camino. Estos son altamente impredecibles y extremos eventos ocurren alrededor de todo nuestro planeta. Los distintos tipos de catástrofes se agrupan en 4 categorías: Hidrológicos, Climáticos, Geológicos y Biológicos. Los desastres Geológicos tienden a producirse en la parte terrestre del planeta, puede ser en su superficie o en la parte interior terrestre. Como ejemplos podemos nombrar a los terremotos, deslizamiento de tierra, avalanchas, y erupciones volcánicas. La intensidad de estos eventos puede provocar efectos altamente nocivos en áreas como infraestructura, economía, salud y otros aspectos [19].

Las erupciones volcánicas, las cuales entran en la categoría de eventos catastróficos, tienen su origen cuando del interior de la tierra brota una mezcla

de elementos como metales, gases, magma y ceniza. Esto ocurre por la necesidad del planeta en liberar energía de su interior, dando como resultado la expulsión de lava, gases y ceniza. De los distintos peligros que representa esta liberación de energía se encuentran los flujos piroclásticos, avalanchas de rocas calientes, cenizas y gases tóxicos que descienden por las laderas. Siendo los flujos de lodo volcánico, también conocidos como lahares los que pueden ser extremadamente destructivos, ya que se desplazan rápidamente por los flancos de los volcanes y pueden sepultar comunidades enteras [19].

Según la organización panamericana de la salud (OPS) el impacto que provoca estos eventos catastróficos, sobre todo las erupciones volcánicas, en los seres humanos es alarmante. Entre los resultados más comunes provocados por las erupciones en la salud humana encontramos heridas traumáticas, quemaduras, dificultad respiratoria, enfermedades cutáneas, conjuntivitis e incluso la muerte. En otras áreas encontramos la contaminación del agua y alimentos, efectos nocivos en el ganado y las mascotas, cultivos y en el ecosistema. Estos problemas se reflejan en los servicios básicos, agua, movilidad y canales de comunicación, así como daños y colapsos de infraestructuras [20].

Hablando de daños materiales, pueden verse devastadas por las erupciones volcánicas las áreas urbanas y rurales por igual. Debido a que los flujos de lava tienen el potencial de arrasar construcciones y campos, la acumulación de ceniza volcánica afecta las infraestructuras, incluidos los sistemas eléctricos, carreteras y aeropuertos. Esto nos lleva a la necesidad de comprender y estudiar la magnitud de estos eventos y de esta manera diseñar planes efectivos de respuesta.

En lo que respecta a los daños materiales, las erupciones volcánicas pueden causar estragos tanto en áreas urbanas como rurales. Los flujos de lava tienen el potencial de destruir edificaciones y campos, mientras que la acumulación de ceniza volcánica afecta las infraestructuras, incluyendo sistemas eléctricos, carreteras y aeropuertos. Esto subraya la importancia de comprender y estudiar la magnitud de estos eventos para desarrollar estrategias de respuesta efectivas.

2.1.1. Volcanes: Causas y Comportamiento

La National Geographic nos da a conocer que el del 75% de los volcanes activos en todo el mundo se encuentran en el Cinturón de Fuego del Pacífico. En esta zona ocurre el evento de la colisión de las placas tectónicas del Pacífico y de Nazca con otras placas tectónicas. Dando como resultado la expulsión de magma y otros materiales hacia la superficie a través de diversos cráteres que se generan por este fenómeno. Dependiendo de la naturaleza de las explosiones, podemos agrupar las erupciones volcánicas en erupciones explosivas y efusivas, siendo las explosivas las más destructivas. Estas generan nubes de ceniza, material piroclástico y gases volcánicos, mientras que las efusivas producen flujos de lava que pueden cubrir grandes áreas [19].

2.1.2. Proceso de Emisión de los Volcanes

Un volcán es una estructura geológica, que a causa de la constante actividad de las placas tectónicas crea aberturas en la corteza terrestre, las cuales se encuentran conectadas a una cámara magmática, que presenta materias ardientes en forma de magma, lava, gas y fluidos a altas temperaturas que emergen y se depositan en la zona superficial terrestre desde el interior del planeta.

La formación de los volcanes se debe a la convergencia de dos placas tectónicas, estas pueden ser entre placas continentales y oceánicas, o dos placas oceánicas, la formación de volcanes de la última forma se la conoce como arco volcánico, un claro ejemplo son el conjunto de islas que conforman Japón.

La divergencia es otro método por el cual se forman los volcanes, en este escenario la corteza terrestre se fractura, la litosfera se vuelve menos resistente, resultando en la exposición del magma ubicado en el interior de la Tierra, estos volcanes por lo general tienen erupciones de baja explosividad, por ejemplo, el Valle del Rift en África.

Tipos de Volcanes

Los científicos clasifican cuatro tipos de volcanes:

- **Conos de escoria:** Un volcán común, suelen ser pequeños, su tamaño varía entre las decenas y centenas de metros, por ejemplo el Raricutin en México.
- **Estratovolcanes:** Estos son volcanes que alcanzan grandes elevaciones de altura, conformado por diversas capas de magma solidificado, entre uno de ellos el Monte Fuji en Japón.
- **Volcanes en Escudo:** Alcanzan grandes dimensiones, caracterizados una escasa pendiente debido a que la lava recorre hacia todas direcciones, por ejemplo, el Kilauea y Mauna Loa en Hawái.
- **Domos de lava:** Se forma como resultado de la presión ejercida por la lava de las capas subyacentes hacia la espesa lava superior, pueden alcanzar varias centenas de metros de altura, por lo habitual aparecen en las proximidades de grandes volcanes e incluso en sus cráteres, como ejemplo el volcán Santa María en Guatemala.

2.1.3. Causas de la Actividad Volcánica

Las causas de la actividad volcánica se genera en el momento en que el magma y otros elementos del interior de un volcán surgen en la capa superior se le conoce como una erupción volcánica. Debido al incremento de calor y presión de los gases en una acumulación de magma en el manto de nuestro planeta, debido a la variación de temperatura y la distinta densidad provoca que el magma comience a subir hasta que finalmente los materiales saliden hacia el exterior, lo que provoca una erupción volcánica [21].

Erupciones Volcánicas

Durante la erupción volcánica se ven liberados diversos materiales y factores característicos de la erupción. Los piroclastos son fragmentos sólidos del material volcánico expulsado, mayormente se encuentran compuestos por rocas ígneas volcánicas como basalto y andesita. Las cenizas volcánicas son partículas muy finas de piroclastos lanzados a una gran altura por el volcán. Cuando la roca se encuentra

fundida y se libera hacia la superficie, adquiere el nombre de lava, la cual fluye por las laderas del volcán. Cuando el magma se encuentra liberado produce gases volcánicos, sustancias como el vapor de agua, dióxido de carbono, dióxido de azufre están incluidas en la lista. Por otro lado, también se presentan sismos y tormentas eléctricas debido a que los gases emanados por el volcán producen que el aire conduzca la electricidad.

Las erupciones efusivas se originan por la emisión del gas provenientes del magma, lo que disminuye su densidad y provoca un desplazamiento vertical del magma. Las erupciones freatomagmáticas son resultado de la interacción entre el magma y una fuente de agua. Opuesto a las erupciones efusivas, las erupciones freatomagmáticas resultan de la disminución de tamaño provocado por el enfriamiento del magma seguida de la producción de grandes cantidades de vapor de agua. Por otro lado, las erupciones explosivas ocurren debido al magma en contacto no directo con agua, lo que genera una explosión de vapor, agua, cenizas y piroclastos por la alta presión que se genera debido a la evaporación rápida del agua [21].

Ceniza Volcánica

La ceniza volcánica son fragmentos sólidos de roca y cristales que se pulverizan durante una erupción volcánica y pueden transportarse a grandes distancias por el viento [22].

Diversos estudios realizados en los suelos de origen volcánicos y análisis en laborarlos han demostrado que la composición de las cenizas volcánicas en general contienen algunos componentes en común como sílice (dióxido de silicio), monóxido de aluminio, hierro, calcio, sodio, potasio, magnesio y titanio, cloro, etc [23].

La proporción de los componentes pueden variar entre los diferentes volcanes y áreas geológicas. Los terrenos que tienen su origen de cenizas volcánicas en Colombia presentan una gran variedad de elementos como silicio, aluminio, hierro, magnesio, calcio, sodio y potasio. Estos elementos se encuentran presentes en los suelos volcánicos debido a que la ceniza al asentarse en el suelo mezcla sus componentes, por lo tanto, los componentes antes mencionados se encuentran presentes en las cenizas volcánicas [24].

En experimento realizado en el informe [22] presenta la química de las cenizas volcánicas recolectadas en Argentina durante la erupción del volcán Puyehue en Chile en 2001, las cenizas volcánicas analizadas se encuentran principalmente compuestas por partículas de hierro, aluminio, sílice, calcio, sodio, estos elementos representan más de un 80% de la masa total. También, se encuentran presentes otros elementos como el magnesio, potasio y titanio en menores cantidades.

En el Ecuador uno de los volcanes de mayor relevancia es el Tungurahua, el cual por medio del estudio realizado en los suelos se puede concretar que los principales materiales transportados por la ceniza volcánica son sílice, hierro y aluminio [25].

2.1.4. Zonas Afectadas por Erupciones Volcánicas

Según una investigación de los Impactos de ceniza volcánica en infraestructura crítica. Los eventos volcánicos pueden originar a una variedad de peligros con un gran porcentaje de riesgos. Esto se da debido a los flujos piroclásticos, lahares, bloqueos balísticos y las cenizas volcánicas que cuentan con ser el producto con más facilidad de distribución. Los eventos de una erupción volcánica pueden llegar a desencadenar otros eventos como tsunamis, derretimiento de glaciares, derrumbes considerables, aluviones y la contaminación de la atmósfera [4].

Entre las consecuencias destructivas de una erupción volcánica podemos encontrar la destrucción de paisajes junto a los recursos naturales, poblados y ciudades. Además, estos eventos afectan la vida de los seres vivos, en ocasiones arrebatándoselas, también se menciona la descarga de la ceniza volcánica en la atmósfera, contribuyendo a la contaminación ambiental y bajo ciertos factores generando lluvia ácida, agravando aún más los impactos ambientales [26].

Sin embargo, las erupciones volcánicas también aportan con la transformación de paisajes, atrayendo el interés del turismo. Pueden enriquecer los suelos con nutrientes, volviéndolos más atractivos para la agricultura, pueden mejorar las condiciones de vida a las zonas afectadas gracias a la liberación de energía geotérmica. Aunque los efectos inmediatos de las erupciones son a menudo destructivos, a largo plazo, algunas áreas afectadas pueden experimentar beneficios y oportunidades

inesperadas[26].

2.1.5. Medidas de Seguridad durante una Erupción Volcánica

En Ecuador, la Secretaría de Gestión de Riesgos ofrece programas y servicios específicos para hacer frente a los fenómenos de erupciones volcánicas (referencia: [27]). Si las autoridades anuncian una alerta roja, es esencial que los residentes que se encuentren en zonas de alto riesgo sigan las instrucciones de evacuación. En tales situaciones, se recomienda tener un bolso de elementos de seguridad a la mano, equipada con artículos básicos que permitan sobrevivir fuera de sus casas. Para aquellos que habitan en zonas de menor peligro, la evacuación puede no ser necesaria, pero es fundamental tomar precauciones específicas relacionadas con la ceniza volcánica. Cuando se presente una caída de ceniza volcánica, es importante considerar los siguientes puntos:

- Para proteger sus ojos, utilice gafas; para su nariz y boca, un paño húmedo o una mascarilla.
- Use prendas que le cubra la mayor parte del cuerpo, para evitar problemas en la piel.
- Asegúrese de cubrir los alimentos y el agua que va a consumir para evitar la contaminación con ceniza
- Si tiene mascotas, aplique estas precauciones también a ellas.
- Bloquee las aberturas de puertas y ventanas para evitar que la ceniza ingrese a su hogar.

2.2. Interferencias, Atenuaciones y Pérdidas de las Señales

Una señal de radiofrecuencia se utiliza para transmitir información a través del aire o del espacio mediante el uso de ondas electromagnéticas. Ejemplos que se

pueden observar en el día a día son la radiodifusión, la televisión, radares, GPS, entre otros. Estas señales se genera, emite y transmite mediante una antena y un oscilador, el cual determina la frecuencia de operación, permitiendo que la transmisión genere diversas características como un mayor alcance, facilidad de generación y recepción, alta calidad de transmisión de información [28].

El proceso de transmitir una señal electromagnética desde un punto de origen, o transmisión, a uno de recepción, se denomina propagación, este proceso está influenciado por factores como la frecuencia de la señal, topología del suelo, condiciones climáticas, presencia de obstáculos, entre otras [28].

- **Propagación por onda directa:** En este tipo de propagación, es necesario la existencia de una línea de vista clara entre las antenas del transmisor y receptor. Estos tipos de comunicaciones suelen operar por encima de los 50 MHz debido a que los fenómenos atmosféricos tienen un menor impacto en las señales transmitidas. Las antenas con las cuales se trabajan son altamente direccionales, lo cual otorga una confiabilidad significativa en la información transmitida [29].
- **Propagación por onda terrestre:** Este tipo de propagación alcanza extensas distancias debido a las a que las ondas de radio siguen la curva de la tierra; son implementadas además para frecuencias inferiores a los MHz, dando a conocer que al mantener una frecuencia baja se alcanzara una cobertura más amplia. Es frecuente observar estos tipos de propagación en radiodifusión de media y larga onda. Estas cualidades de propagación son atribuidas por un fenómeno conocido como la difracción de la señal [29].
- **Propagación por onda refractada o ionosfera:** La atmosfera actúa como un reflector por medio de la ionosfera, misma que se encuentra compuesta por aire altamente ionizado debido a la radiación solar. La ionosfera se encuentra a una altura que oscila entre los 40 y 320 Km. Este tipo de propagación permite la conexión entre dos puntos sin necesidad de línea de vista directa, posibilitando distancias hasta 4000 Km, en caso de que las condiciones atmosféricas sean adecuadas se podría llegar a cualquier parte del planeta, gracias a la señal refractada de la ionosfera y reflejada por la tierra [29].

La Figura 2.1 representa un resumen de las formas de propagación de onda mencionadas anteriormente.

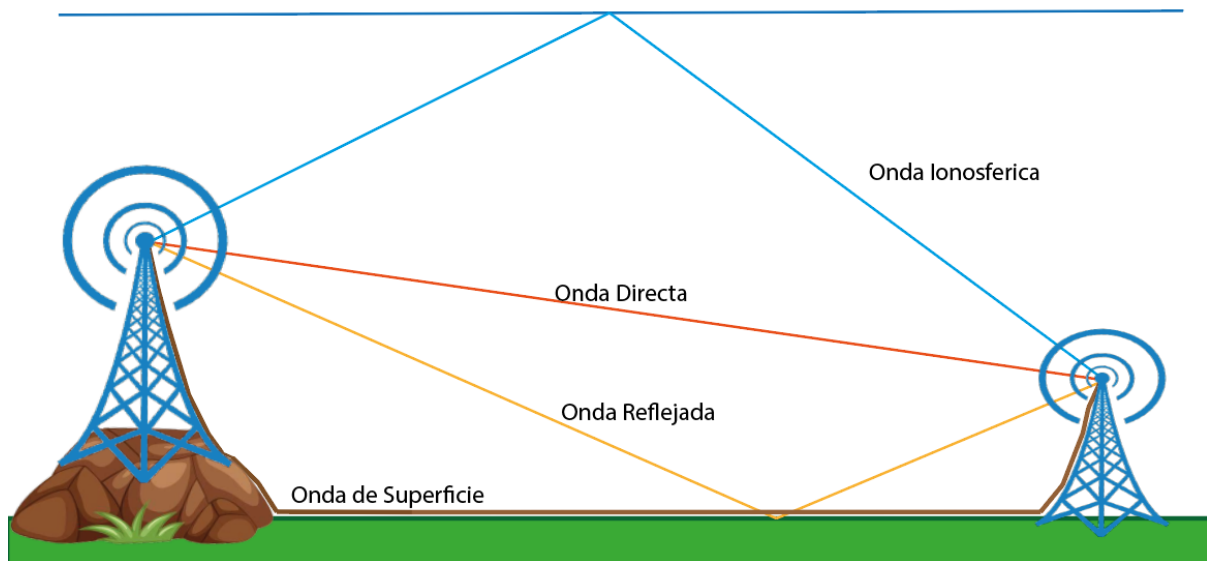


Figura 2.1: Propagación de onda. Imagen basada en [30]

La Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT) recalca que la propagación de ondas de radio se pueden ver afectada por atenuaciones debido a factores atmosféricos, reflexión, dispersión de los objetos y difracción de la señal. La interferencia de la señal de radio puede ser causada por una transmisión existente en la misma frecuencia, ruido eléctrico y fuentes de interferencia electromagnética.

La atenuación como la interferencia pueden afectar la calidad y confiabilidad de las comunicaciones por radio, en especial en condiciones atmosféricas adversas como la lluvia, neblina, etc. Por lo tanto, al diseñar un sistema de radiocomunicaciones es necesario tener en cuenta estos factores para mitigar sus efectos.

La ITU presenta rangos de frecuencias para el uso de tecnologías de áreas de la investigación, navegación y comunicación, las cuales se encuentran resumidas la Tabla 2.1.

Tabla 2.1: Rango de frecuencias y su uso basado en la ITU [31].

Banda de Frecuencia	Uso asignado
ELF(3 – 30 Hz)	Comunicación con submarinos
SLF(30 – 300 Hz)	Navegación, localización de objetos sumergidos
ULF (300 – 3000 Hz)	Investigación geofísica, estudios sobre la ionosfera
VLF (3 – 30kHz)	Radiodifusión, navegación, estudios de la ionosfera
LF(30 – 300kHz)	Radiodifusión, navegación, comunicaciones militares
MF (300 – 3000 kHz)	Radiodifusión, navegación, comunicaciones aeronáuticas
HF(3 – 30MHz)	Radiodifusión, comunicaciones móviles, comunicaciones aeronáuticas, comunicaciones marítimas
VHF (30 – 300 MHz)	Radiodifusión, televisión, comunicaciones móviles, comunicaciones aeronáuticas, comunicaciones marítimas
UHF (300 – 3000 MHz)	Radiodifusión, televisión, comunicaciones móviles, comunicaciones satelitales
SHF (3 – 30GHz)	Comunicaciones satelitales, enlaces de microondas de larga distancia, radares
EHF (30 – 300 GHz)	Comunicaciones satelitales, estudios científicos, investigación médica

Capítulo 3

Metodología

En el presente capítulo, se expone en detalle diseño del protocolo que se utilizara para llevar a cabo para la medición de la potencia de las señales. En este proceso, se efectúa el estudio de las frecuencias implementadas por las distintas tecnologías de comunicación en las cuales se realizaran las respectivas mediciones. Además, se especificará la configuración del analizador de espectros N9912A FieldFox RF Analyzer y las antenas EMC bicónicas y HyperLOG 60180, siendo estas las herramientas utilizadas para la obtención de datos en este protocolo

3.1. Estudio de Frecuencias

Para llevar a cabo el análisis de frecuencias, es esencial considerar el espectro radioeléctrico, el cual está sujeto a regulaciones de la Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT/ITU) y a las normativas de cada país.

Este espectro radioeléctrico engloba la totalidad de las frecuencias de radiación electromagnética que existen, abarcando desde las ondas de radio hasta los rayos gamma. Cada parte del espectro se caracteriza por su frecuencia o longitud de onda particular, y cada una de ellas tiene aplicaciones específicas. Este espectro electromagnético es fundamental en diversas áreas, como las comunicaciones, la medicina, la investigación y otras aplicaciones [32].

La Figura 3.1 representa el espectro radioeléctrico donde se determinarán las frecuencias de interés para las respectivas mediciones.

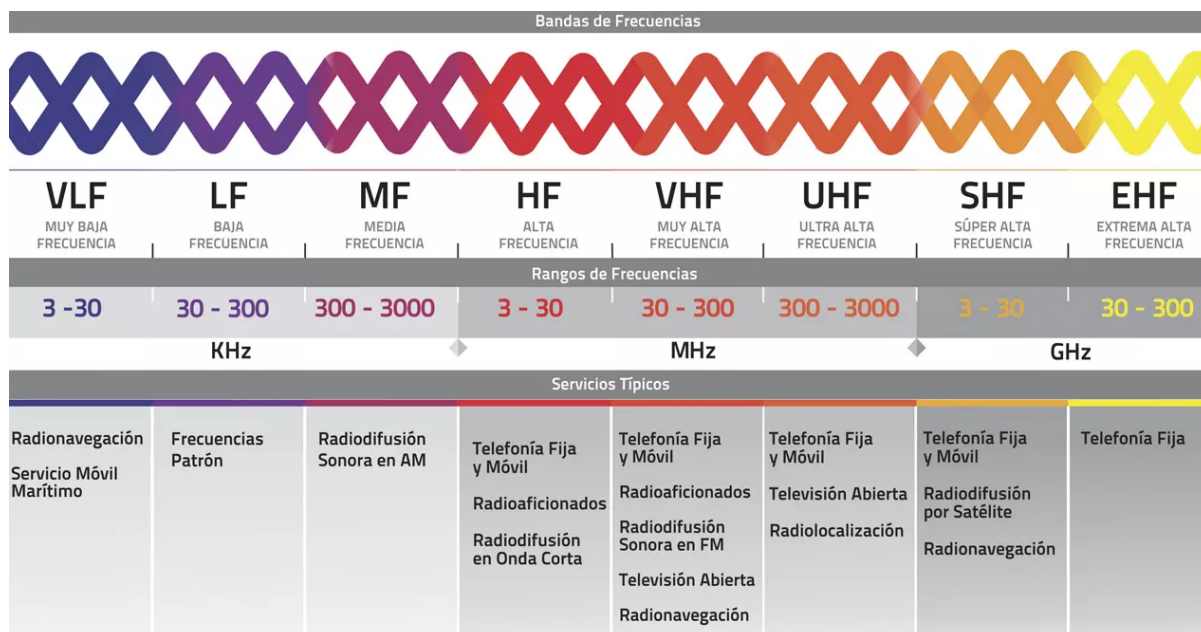


Figura 3.1: Rango de Frecuencias[33]

3.1.1. Redes Móviles

Una red móvil es diseñada para permitir la comunicación entre dispositivos, utiliza tecnologías como 3G, 4G y 5G para proporcionar servicios que incluyen voz, mensajería y transmisión de datos a los usuarios. Las redes móviles se han convertido una parte muy importante en las telecomunicaciones en todo el mundo debido a su importancia, que permitió el crecimiento de comercio de dispositivos móviles, comercio electrónico y acceso a internet [34].

En el Ecuador las dos empresas más grandes de telefonía móvil son Movistar y Claro las cuales operan en las bandas de 850 MHz y 1900 MHz, adicionando la banda de 1700/2100 MHz en la operadora de Claro [35].

3.1.2. Comunicaciones Satelitales

La comunicación satelital es un método de comunicación utilizado por los satélites que orbitan alrededor de la Tierra para el envío y recepción de información a cualquier ubicación en el planeta. Esta comunicación es utilizada en tecnologías como televisión satelital, GPS, telefonía móvil, comunicación militar, etc [36].

Las comunicaciones satelitales en el Ecuador se encuentran presentes en las

bandas Ku, C y Ka. Las cuales usan las frecuencias de 10.7-12.75 GHz, 3.7-4.2 GHz, 17.7-21.2 GHz para enlaces descendentes y 12.5-14.5 GHz, 5.925-6.425 GHz, 27.5-31.0 GHz para enlaces ascendentes respectivamente [16].

3.1.3. Radiodifusión AM y FM

La comunicación por radio en amplitud modulada (AM) y frecuencia modulada (FM) son técnicas de variar una señal portadora para la transmisión de información. AM consta en la variación de la amplitud de la señal portadora, la cual permite un alcance mayor y lograr penetrar obstáculos como edificios. FM es la variación de la frecuencia de la portadora para la transmisión de información, presentando una mejor calidad en el audio, menos susceptibles a interferencia y ruidos [37].

En el Ecuador la radiodifusión en Amplitud Modulada (AM) opera en el rango de frecuencias de 530 kHz a 1700 kHz, por otro lado, las estaciones de Frecuencia Modulada (FM) se encuentran en operación bajo el rango de 76 MHz a 180 MHz [16].

3.1.4. Transmisiones Televisivas

La televisión analógica, como su nombre indica, utiliza señales analógicas para la transmisión de imágenes y sonidos a través del aire. La señal de imagen transmitida consta de una señal lumínica, es decir de blanco y negro. Por otra parte, la señal cromática lleva componentes de color [38].

Las señales de audio y video se combinan y se modulan en amplitud (AM) o frecuencia (FM), formando una señal modulada, la cual se transmite por el aire por medio de una antena. Esta señal llega a la antena receptora del televisor, el cual procesa la señal captada para reproducir la imagen y sonido mediante la pantalla [38].

La calidad de la señal recibida puede verse afectada por interferencias u otros factores, lo cual puede resultar en una baja calidad en el audio y video. Además del problema de la calidad existe una limitación por la cantidad de canales y servicios que se puedan ofrecer. En respuesta a las desventajas mencionadas, se presenta la televisión digital presente (TDT), mismo que transforma la información en bits,

permitiendo mitigar las desventajas de la televisión analógica[39].

La Tabla 3.1 presenta las frecuencias permitidas por la Arcotel utilizadas para la transmisión televisiva, teniendo en cuenta que los canales operativos en la zona de medición son: 2, 4, 5, 8, 10, 12, 15, 22, 24, 26, 28, 30, 32, 34, 36, 39, 41, 43, 45, 47, 49, 51 [40].

3.1.5. WIMAX

WIMAX es una tecnología inalámbrica que ofrece conectividad de alta velocidad diseñada para proporcionar acceso a Internet. Fue desarrollada como una tecnología de última milla que permite transportar IP, T1/E1, TDM, ATM y voz. Brinda servicios de MIR/CIR dando la posibilidad de ofrecer al suscriptor diferentes velocidades de datos [41] [42].

Sus principales características son:

- La cobertura puede cubrir hasta los 70km aproximadamente
- El ancho de banda del canal va en el rango de 1.25 MHz a 20 MHz
- Bajo circunstancias óptimas puede llegar a tener una velocidad de 70 Mbit/s
- Sus bandas de operación en Centroamérica y Sudamérica son 2.5, 3.5 y 5.8 GHz

3.1.6. WIFI

WIFI es una tecnología inalámbrica que permite que varios dispositivos se comuniquen entre sí y les permite una interacción con el internet. Utiliza ondas de radio para la transmisión de datos de esta manera eliminando la necesidad de conectarse mediante cables para tener acceso a una red.

Sus principales características son:

- La cobertura que cubre hasta los 100m aproximadamente.
- El ancho de banda del canal puede variar dependiendo de la versión de WIFI que se utilice, dando anchos de banda en el rango de 20 MHz hasta los 160MHz en WIFI 6

Tabla 3.1: Distribución de canales y frecuencias para transmisiones televisivas, basada en los datos entregados de la Arcotel [40]

BANDA DE FRECUENCIAS	CANAL	RANGO DE FRECUENCIAS (MHz)	PORTADORA DE VIDEO (MHz)	PORTADORA DE AUDIO (MHz)
VHF (54-72MHz)	2	54 – 60	55.25	59.75
VHF (54-72MHz)	3	60 – 66	61.25	65.75
VHF (54-72MHz)	4	66 – 72	67.25	71.75
VHF (76-88MHz)	5	76 – 82	77.25	81.75
VHF (76-88 MHz)	6	82 – 88	83.25	87.75
VHF (174-216MHz)	7	174 – 180	175.25	179.75
VHF (174-216MHz)	8	180 – 186	181.25	185.75
VHF (174-216MHz)	9	186 – 192	187.25	191.75
VHF (174-216MHz)	10	192 – 198	193.25	197.75
VHF (174-216MHz)	11	198 – 204	199.25	203.75
VHF (174-216MHz)	12	204 – 210	205.25	209.75
VHF (174-216MHz)	13	210 – 216	211.25	215.75
UHF (470-482MHz)	14	470 – 476	471.25	475.75
UHF (470-482MHz)	15	476 – 482	477.25	481.75
UHF (512-608MHz)	21	512 – 518	513.25	517.75
UHF (512-608MHz)	22	518 – 524	519.25	523.75
UHF (512-608MHz)	23	524 – 530	525.25	529.75
UHF (512-608MHz)	24	530 – 536	531.25	535.75
UHF (512-608MHz)	25	536 – 542	537.25	541.75
UHF (512-608MHz)	26	542 – 548	543.25	547.75
UHF (512-608MHz)	27	548 – 554	549.25	553.75
UHF (512-608MHz)	28	554 – 560	555.25	559.75
UHF (512-608MHz)	29	560 – 566	561.25	565.75
UHF (512-608MHz)	30	566 – 572	567.25	571.75
UHF (512-608MHz)	31	572 – 578	573.25	577.75
UHF (512-608MHz)	32	578 – 584	579.25	583.75
UHF (512-608MHz)	33	584 – 590	585.25	589.75
UHF (512-608MHz)	34	590 – 596	591.25	595.75
UHF (512-608MHz)	35	596 – 602	597.25	601.75
UHF (512-608MHz)	36	602 – 608	603.25	607.75
UHF (614-644MHz)	38	614 – 620	615.25	619.75
UHF (614-644MHz)	39	620 – 626	621.25	625.75
UHF (614-644MHz)	40	626 – 632	627.25	631.75
UHF (614-644MHz)	41	632 – 638	633.25	637.75
UHF (614-644MHz)	42	638 – 644	639.25	643.75
UHF (644-698MHz)	43	644 – 650	645.25	649.75
UHF (644-698MHz)	44	650 – 656	651.25	655.75
UHF (644-698MHz)	45	656 – 662	657.25	661.75
UHF (644-698MHz)	46	662 – 668	663.25	667.75
UHF (644-698MHz)	47	668 – 674	669.25	673.75
UHF (644-698MHz)	48	674 – 680	675.25	679.75
UHF (644-698MHz)	49	680 – 686	681.25	685.75
UHF (644-698MHz)	50	686 – 692	687.25	691.75
UHF (644-698MHz)	51	692 – 698	693.25	697.75

- Su velocidad varía dependiendo de la versión de WIFI que se utilice, dándonos velocidades desde los 11 Mbps hasta 1.2 Gbps (con una sola banda) o más de 2.4 Gbps (con bandas duales) en WIFI 6.

3.2. Protocolo de Medición de Potencias de Señales

Un protocolo de medición puede entenderse como un conjunto de procedimientos y técnicas para medir y evaluar la calidad de los servicios. En las telecomunicaciones esto puede referirse a un conjunto de procedimientos y técnicas con el propósito de medir y valorar la calidad de los servicios de telecomunicaciones [43].

3.2.1. Protocolo de medición de las Señales de Telecomunicaciones

Un protocolo de medición busca proporcionar una medida relativa de la señal de potencia recibida por un dispositivo receptor, uno de los protocolos más utilizados en la medición de potencia de señales es Received Signal Strength Indication (RSSI) traducida como Indicación de la Intensidad de la Señal Recibida. Con este protocolo se puede estimar la potencia de una comunicación inalámbrica, por lo generalmente se encuentra expresada en decibelios (dB), lo cual permitirá evaluar la calidad de la conexión, ajustar potencias y ganancias en los equipos, se puede encontrar sus valores en negativos, lo cual indica que mientras más cerca este el valor a cero la potencia recibida será más fuerte [44].

3.2.2. Herramientas Utilizadas

Analizador de espectros

El analizador de espectros es un dispositivo utilizado para medir la potencia de señales de radiofrecuencia en un rango específico de frecuencias. Este dispositivo filtra y amplifica las señales dentro de ese rango con el fin de visualizarlas con mayor claridad [45].

Para utilizar un analizador de espectros, es necesario definir previamente la gama de frecuencias de importancia, la resolución del equipo y el ancho de banda de frecuencia deseado. En la pantalla del analizador, se muestra una línea o traza que representa la intensidad de la señal [45].

Para esta investigación, se utilizará un analizador de espectros, el N9912A FieldFox RF Analyzer, el cual presenta las siguientes características clave:

- Rango de Frecuencia: Abarca desde 100 KHz hasta 18 GHz.
- Consumo de Energía: Requiere aproximadamente 14 W de potencia, proporcionando una duración de la batería de hasta 3.5 horas con una sola carga.
- Funcionalidades: Ofrece diversas capacidades de análisis, incluyendo análisis de cable y antena, análisis de red vectorial, análisis de espectro, análisis de interferencia, medición vectorial de voltaje y medición de potencia.

Estas características hacen del N9912A FieldFox RF Analyzer una herramienta versátil y poderosa para llevar a cabo la investigación propuesta.

Antenas

Las antenas son componentes que desempeña el papel de convertir energía eléctrica en ondas electromagnéticas y viceversa, misma que son utilizadas para el envío y recibimiento de datos de información de los distintos medios de comunicación [46].

En la presente investigación se utilizaron las siguientes antenas.

- Antena EMC bicónicas de banda ancha.

Son un tipo de antenas con la forma de cono invertido en ambos extremos, la cual permite la radiación y recepción de señales de una variada gama de frecuencias.

Las características principales de la antena que utilizamos son las siguientes:

- Utiliza un rango de frecuencias de 20 MHz a 3 GHz.
- Es una antena omnidireccional.

3.3. DISEÑOS DEL PROTOCOLO DE MEDICIÓN DE POTENCIAS DE LA SEÑAL²³

- Tiene una alta ganancia.
- Antena HyperLOG 60180

Esta antena presenta un diseño logarítmico, eficiente para cubrir una amplia gama de frecuencias. Es comúnmente utilizada para medir la radiación de dispositivos y para evaluar la calidad de señales de radiofrecuencia, debido a que puede captar señales de múltiples direcciones. Las características principales de la antena que utilizamos son las siguientes:

- Utiliza un rango de frecuencias de 680 MHz a 18 GHz.
- Es una antena omnidireccional.
- Cuenta con una alta ganancia.

3.3. Diseños del Protocolo de Medición de Potencias de la Señal

Un protocolo de medición de potencia de las señales nos puede brindar con precisión y fiabilidad el cómo medir las señales de radiodifusión, con el fin de garantizar la potencia de las señales y permitirnos acondicionar estas potencias en ambientes adversos.

3.3.1. Proceso de Medición de las potencias de las señales

En la Figura 3.2 se muestra el diagrama de flujo propuesto para el proceso de medición de las potencias de las señales, partiendo desde la llegada a la zona de medición, la elección de las antenas y la recolección de los datos.

3.3. DISEÑOS DEL PROTOCOLO DE MEDICIÓN DE POTENCIAS DE LA SEÑAL24

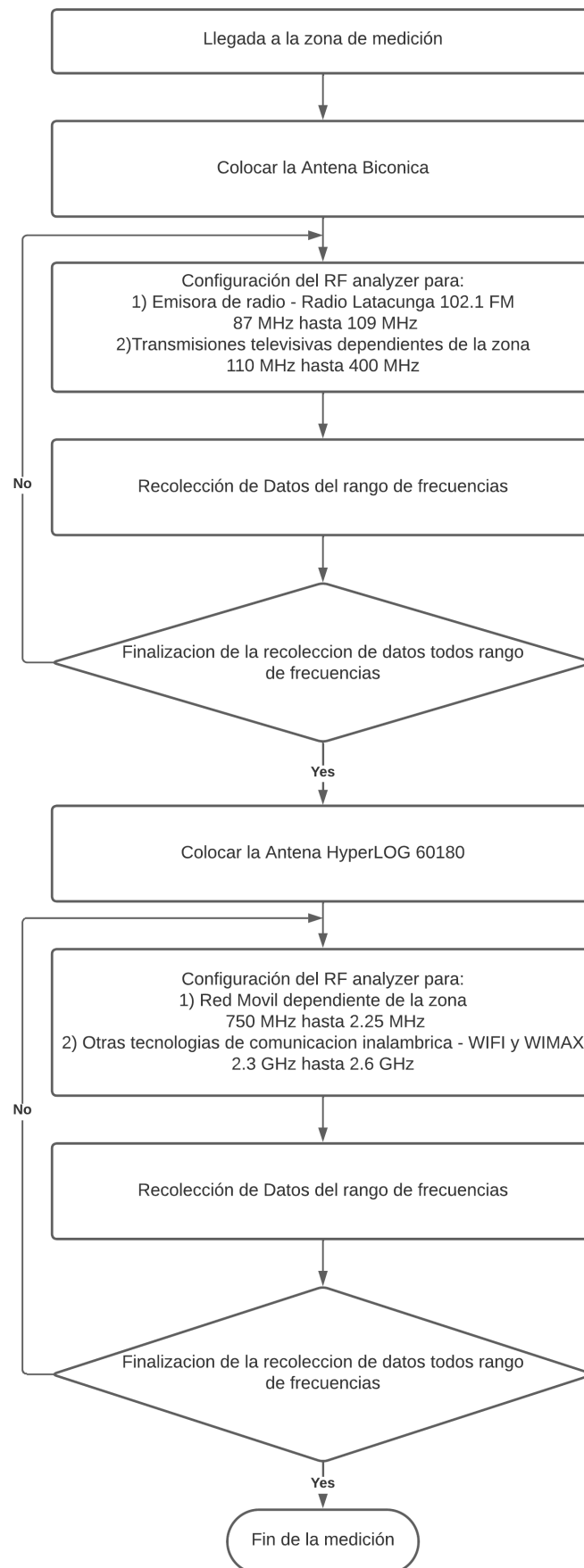


Figura 3.2: Diagrama de Flujo del protocolo de medición.

3.3. DISEÑOS DEL PROTOCOLO DE MEDICIÓN DE POTENCIAS DE LA SEÑAL25

3.3.2. Ubicación Geográfica de los Puntos de Medición.

En las Figuras 3.3 y 3.4, se muestran las zonas escogidas para llevar a cabo la investigación del espectro de frecuencias de cada uno de los servicios contemplados en el protocolo.

Las ubicaciones seleccionadas en el presente protocolo se eligieron debido a la necesidad de captar datos de la ciudad de Latacunga debido a su alta densidad poblacional, siendo este un punto crítico en los casos de la presencia de emisión de ceniza. Se ha incluido puntos cercanos a la falda del volcán y la vía principal de acceso hacia la ciudad, en caso de una evacuación de zonas aledañas o cierre de vías en caso de emergencia.

Por último, se ubicó un punto en una zona más alejada, es decir en las ciudades cercanas a Latacunga, para tener un análisis de los efectos de la ceniza volcánica en las zonas más alejadas del volcán.

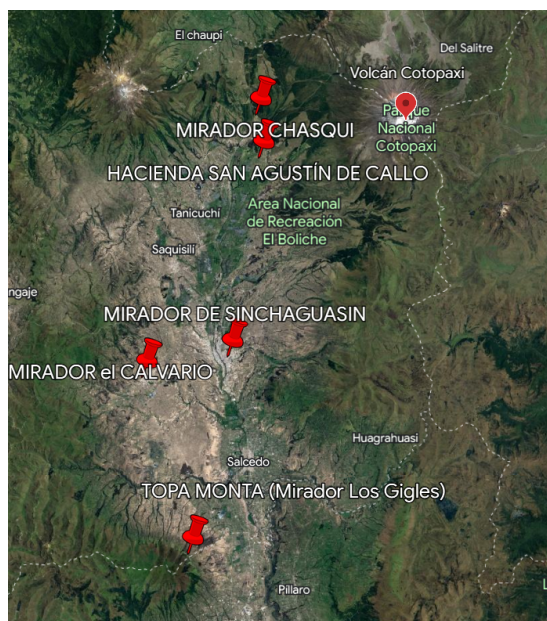


Figura 3.3: Mapa con los puntos de Medición

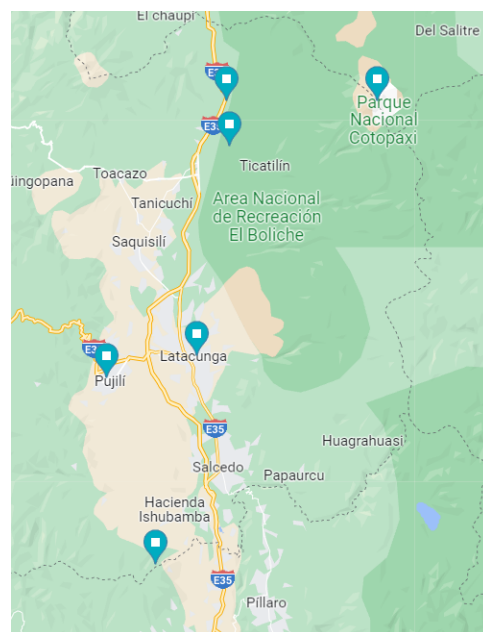


Figura 3.4: Mapa del relieve con los puntos de Medición

■ Mirador el Calvario

- Altitud: 2813.88208 m s. n. m.
- Latitud: 0° 55' 56.2"S

3.3. DISEÑOS DEL PROTOCOLO DE MEDICIÓN DE POTENCIAS DE LA SEÑAL26

- Longitud: 78° 36' 43.7"W
- Distancia al volcán: 33.43 km.
- Característica de la medición.
 - Hora: 8:06:16
 - Características Climatológicas:
 - ◇ Clima: Cielo nublado
 - ◇ Humedad: 96 %
 - ◇ Viento: SSE 1 mi/ h
 - ◇ Temperatura: 11,11 °C
- Hacienda San Agustín de Callo
 - Altitud: 3106.190186 m s. n. m.
 - Latitud: 0° 43' 38.0"S
 - Longitud: 78° 34' 47.1"W
 - Distancia al volcán: 17.23 km.
 - Característica de la medición.
 - Hora: 10:18:39
 - Características Climatológicas:
 - ◇ Clima: Llovizna
 - ◇ Humedad: 84 %
 - ◇ Viento: S 5 mi/ h
 - ◇ Temperatura: 11,11 °C
- Mirador Chasqui
 - Altitud: 3266.398682 m s. n. m.r.
 - Latitud: 0° 40' 58.9"S
 - Longitud: 78° 34' 57.7"W
 - Distancia al volcán: 17.48 km.

3.3. DISEÑOS DEL PROTOCOLO DE MEDICIÓN DE POTENCIAS DE LA SEÑAL27

- Característica de la medición.
 - Hora: 11:28:53
 - Características Climatológicas:
 - ◇ Clima: Cielo nublado
 - ◇ Humedad: 75 %
 - ◇ Viento: S 6 mi/ h
 - ◇ Temperatura: 12,22 °C

- Mirador de Sinchaguasin
 - Altitud: 3091.942871 m s. n. m.
 - Latitud: 0° 57' 12.5"S
 - Longitud: 78° 42' 01.2"W
 - Distancia al volcán: 41.55 km.
 - Característica de la medición.
 - Hora: 13:35:00
 - Características Climatológicas: Cielo parcialmente despejado
 - ◇ Clima: Llovizna
 - ◇ Humedad: 72 %
 - ◇ Viento: S 14 mi/ h
 - ◇ Temperatura: 13,88 °C

- Topa Monta (Mirador Los Gigles)
 - Altitud: 3795.661377 m s. n. m.
 - Latitud: 1°08'05.2"S
 - Longitud: 78°39'08.1"W
 - Distancia al volcán: 54.77 km.
 - Característica de la medición.
 - Hora: 16:12:19

3.3. DISEÑOS DEL PROTOCOLO DE MEDICIÓN DE POTENCIAS DE LA SEÑAL28

- Características Climatológicas:
 - ◇ Clima: Soleado y cielo despejado
 - ◇ Humedad: 72 %
 - ◇ Viento: S 13 mi/ h
 - ◇ Temperatura: 12,77 °C

3.3.3. Configuración del Equipo

Para utilizar el analizador de espectros es necesario primero conectar la antena correspondiente a la frecuencia que se va a analizar. Asegurarnos de que el equipo este en medición de espectros, se puede optar por habilitar la función de espectrograma en caso de que sea necesario, el cual nos permite apreciar el uso del espectro en ese momento. Se le asigna una frecuencia de inicio y una frecuencia de fin. Si se busca apreciar con mayor detalle los resultados se le puede ajustar la resolución, escalad de amplitud y tiempo de barrido, no obstante, se le puede dejar esos parametros en configuración de automatico.

Para este proyecto la configuración del Analizador de espectros (N9912A FieldFox RF Analyzer) fue la siguiente para cada servicio:

- Red móvil disponible en la zona.
 - Establecer el equipo en modo spectrum analyzer.
 - Montaje de la antena HyperLOG 60180
 - El rango de barrido de frecuencia se encontrará desde 750 MHz hasta 2.25 GHz.
 - La configuración de los parámetros del ancho de banda de resolución, duración de barrido y escalas de amplitud, deberán encontrarse en automático.
 - Realizada la respectiva medición se procederá a examinar las amplitudes de potencia de las frecuencias de estudio, dependiendo de la generación de tecnología de servicio móvil presente en la zona.

3.3. DISEÑOS DEL PROTOCOLO DE MEDICIÓN DE POTENCIAS DE LA SEÑAL²⁹

- Transmisiones televisivas dependientes de la zona.
 - Establecer el equipo en modo spectrum analyzer.
 - Montaje de la antena EMC bicónicas de banda ancha
 - El rango de barrido de frecuencia se encontrará desde 110 MHz hasta 400 MHz.
 - La configuración de los parámetros del ancho de banda de resolución, duración de barrido y escalas de amplitud, deberán encontrarse en automático.
 - Realizada la respectiva medición se procederá a examinar las amplitudes de potencia de las emisoras televisivas presentes en la zona.

- Emisora de radio - Radio Latacunga 102.1 FM
 - Establecer el equipo en modo spectrum analyzer.
 - Montaje de la antena EMC bicónicas de banda ancha
 - El rango de barrido de frecuencia se encontrará desde 87 MHz hasta 109 MHz.
 - La configuración de los parámetros del ancho de banda de resolución, duración de barrido y escalas de amplitud, deberán encontrarse en automático.
 - Realizada la respectiva medición se procederá a examinar la amplitud de potencia de la emisora de interés (102.1 FM).

- Otras tecnologías de comunicación inalámbrica - WIFI y WIMAX
 - Establecer el equipo en modo spectrum analyzer.
 - Montaje de la antena HyperLOG 60180
 - El rango de barrido de frecuencia se encontrará desde 2.3 GHz hasta los 2.6 GHz.
 - La configuración de los parámetros del ancho de banda de resolución, duración de barrido y escalas de amplitud, deberán encontrarse en automático.

3.3. DISEÑOS DEL PROTOCOLO DE MEDICIÓN DE POTENCIAS DE LA SEÑAL30

- Realizada la respectiva medición se procederá a examinar las amplitudes de potencia dependiente de la frecuencia que use la tecnología presente en la zona.

Capítulo 4

Resultados

En el presente capítulo se detallarán los resultados obtenidos del protocolo de medición. Se analizarán las potencias registradas en las frecuencias de las tecnologías de interés especificadas por el espectro radioeléctrico, considerando los aspectos climáticos y geológicos de las zonas de donde se obtuvieron los resultados.

4.1. Resultados Mirador el Calvario

El punto de medición actual se encuentra en una zona urbana de la ciudad de Latacunga, a una altitud de 2813.882 metros sobre el nivel del mar (m s. n. m.). Los datos se recopilaron a las 8:06:16 en condiciones de cielo nublado, con una humedad del 96 % y una temperatura de 11.1 °C.

En este lugar, se llevaron a cabo mediciones basadas en el espectro radioeléctrico, tal como se muestra en la Figura 3.1, teniendo en cuenta las condiciones climáticas. Las mediciones se realizaron utilizando un analizador de espectros y arrojaron los siguientes resultados:

- Se detectó una emisora de radio FM que opera en la frecuencia de 102.1 MHz.
- Se identificaron comunicaciones móviles en un rango de frecuencias que abarca desde 750 MHz hasta 1 GHz.
- Se encontraron frecuencias asignadas a la transmisión de televisión.

- Se registraron otras frecuencias relacionadas con redes inalámbricas como WIFI y WIMAX.

Estos resultados proporcionan una visión general de las señales presentes en la zona de Mirador El Calvario y son fundamentales para el estudio del espectro radioeléctrico en esta ubicación.

4.1.1. Rango de Alta Frecuencias (HF) 0 a 300 MHz - Mirador el Calvario

Las Figuras 4.1 y 4.2 permiten observar las emisoras de radios presentes en la zona, dado que la ubicación se encuentra en un entorno urbano se puede observar la amplia gama de emisoras presentes. Al enfocar el marcador en la respectiva emisora (Radio Latacunga) cuya frecuencia es 102.1 MHz, se puede notar una potencia estimada de -54.11 dBm.

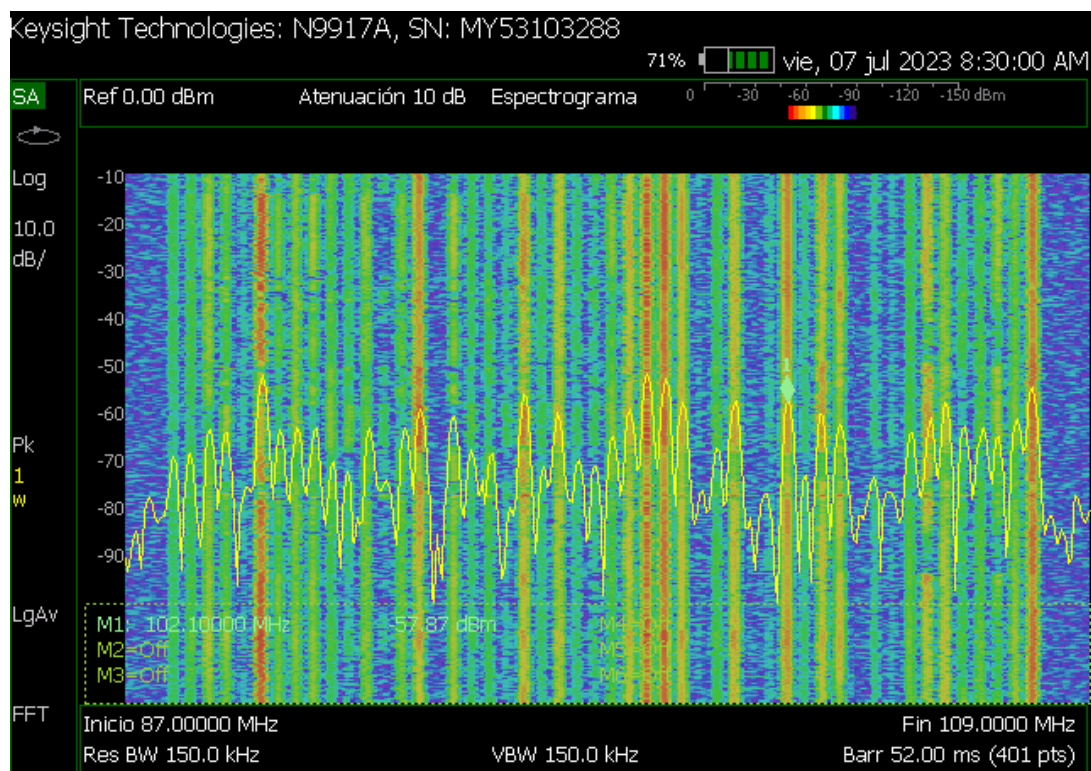


Figura 4.1: FM Mirador el Calvario

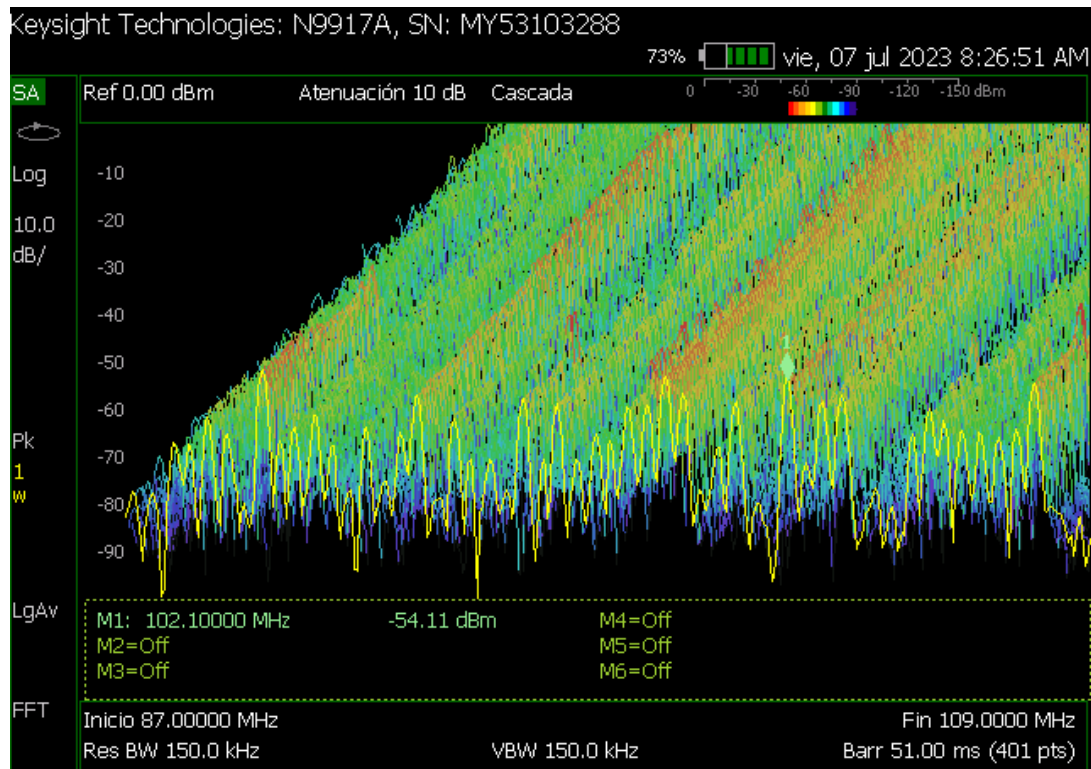


Figura 4.2: FM en Cascada en Mirador el Calvario

En la Figura 4.3 se observa un barrido desde la frecuencia de 50 Mhz hasta los 400 Mhz. En la parte izquierda se observa la banda de radio FM, la cual esta en el rango de frecuencia de los 87 Mhz hasta los 109 Mhz. En esta zona debido a la ubicación y las características de las antenas con sus ganancias, no fue posible captar transmisiones de televisión. En cambio, en el rango que va desde los 222 Mhz hasta los 232 Mhz, según el Plan Nacional de Frecuencias del Ecuador, se puede observar lo que son los servicios de radiolocalización 5.241 el cual es un servicio de localización de dispositivos móviles utilizando la tecnología GNSS. El servicio EQA.25 que es un servicio de radiodifusión de datos. Así como los servicios de radio Móvil y fija. Siempre que los tres servicios cumplan con ciertos requisitos estos pueden coexistir en el mismo intervalo de frecuencias. Entre los rangos de frecuencia mencionados se observa un ligero uso del espectro el cual puede pertenecer a las comunicaciones aeronáuticas.

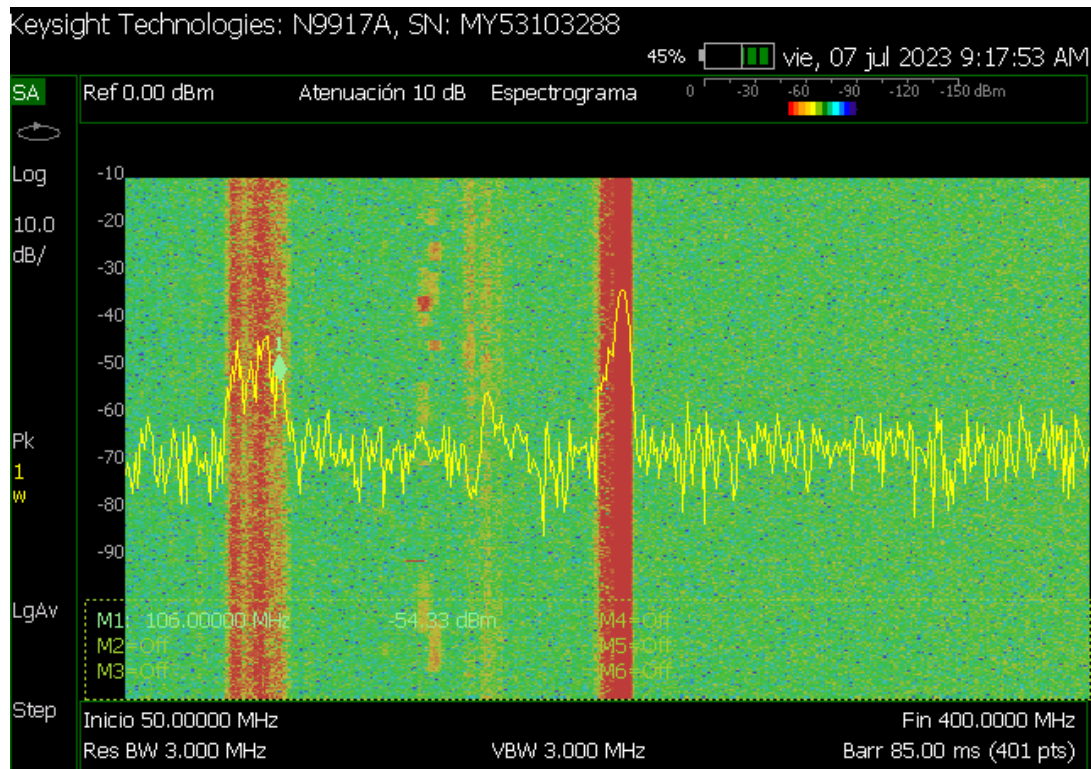


Figura 4.3: Frecuencia de Televisión en el Mirador el Calvario

4.1.2. Rango de Ultra Alta Frecuencias (UHF) 300 MHz a 3 GHz - Mirador el Calvario

Las Mediciones han permitido distinguir el tipo de generación de tecnología presente en la zona, considerando que el punto de medición se encuentre en una área poblada. En la Figura 4.4 se realiza un barrido desde los 800 MHz hasta 1 GHz para verificar la existencia de una tecnología de segunda generación (2G) e incluso de tercera generación (3G), en el espectrograma se puede observar que la banda de 800 MHz se encuentra en uso, por lo tanto, la medida inicial se decide ajustar la medida inicial desde los 750 MHz, lo que permitió observar de mejor manera el espectro como muestra las Figuras 4.5, 4.6.

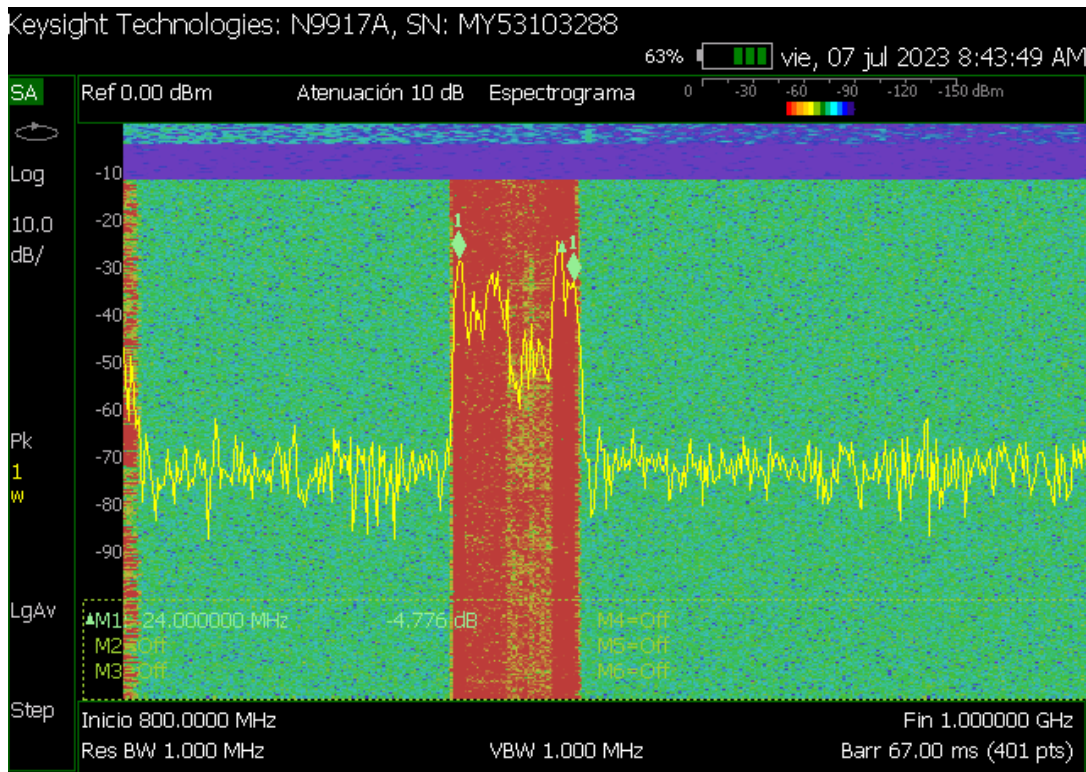


Figura 4.4: Frecuencias de comunicaciones móviles en el rango de 800 Mhz a 1 GHz, Mirador el Calvario

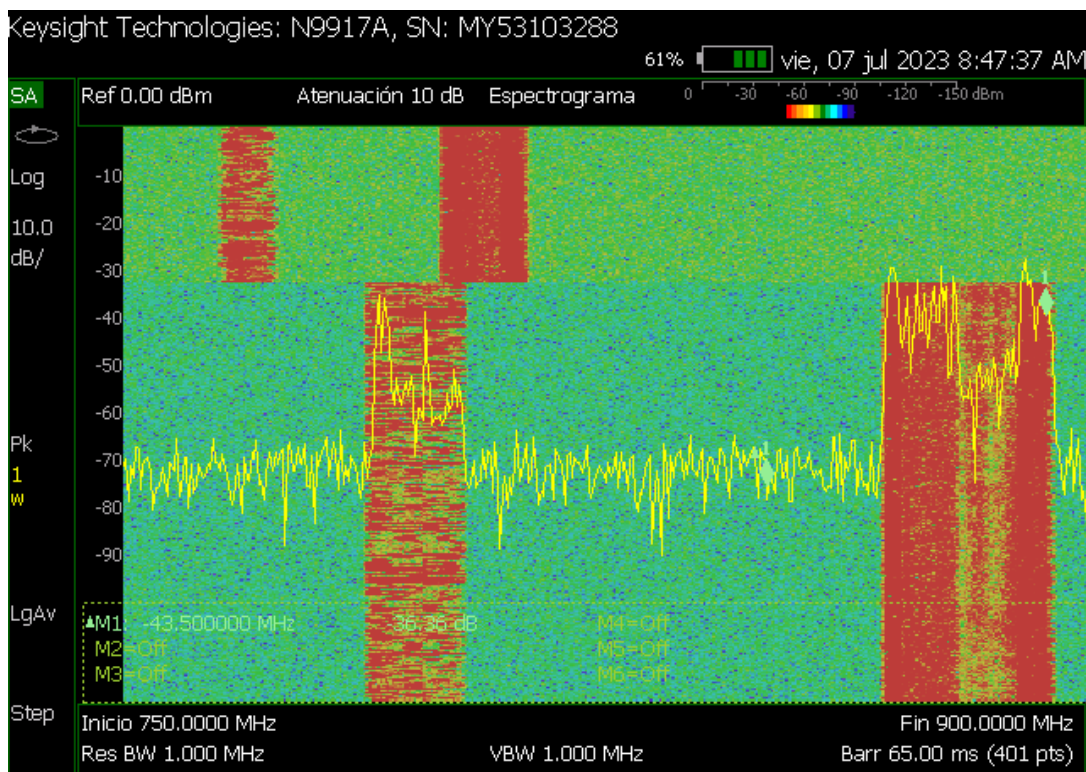


Figura 4.5: Frecuencias de comunicaciones móviles en el rango de 750 Mhz a 1 GHz, Mirador el Calvario

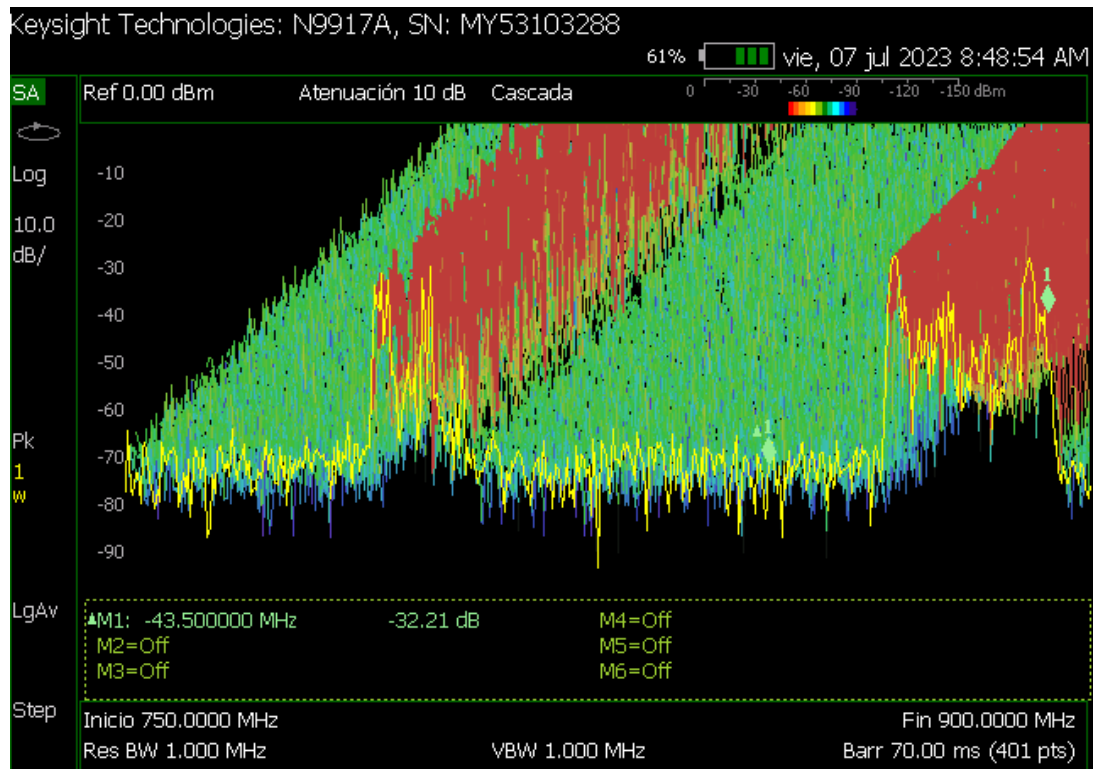


Figura 4.6: Frecuencias de comunicaciones móviles en el rango de 750 Mhz a 900 MHz, Mirador el Calvario en Cascada

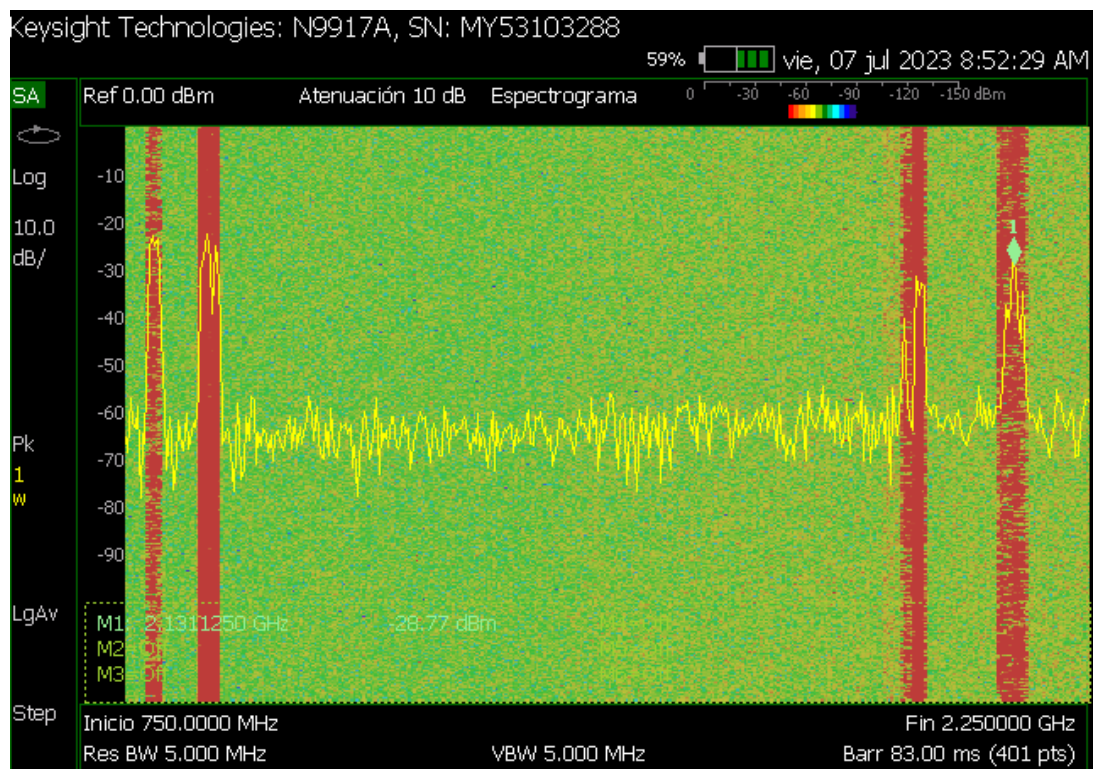


Figura 4.7: Frecuencia en el rango de 750 Mhz a 2.25 GHz, Mirador el Calvario

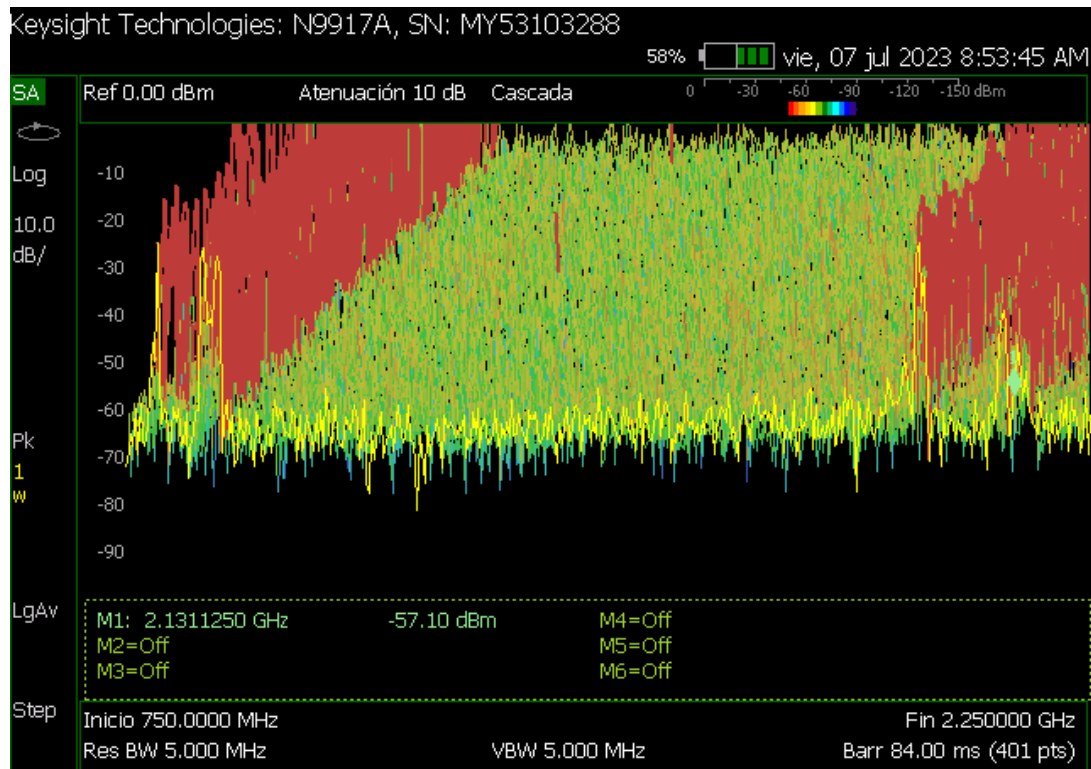


Figura 4.8: Frecuencia en el rango de 750 Mhz a 2.25 GHz, Mirador el Calvario en cascada

Las Figuras 4.9 y 4.10 se encuentran ajustadas en un rango de frecuencia que va desde 1.6 GHz hasta 2.25 GHz. Esto permitió identificar la presencia de tecnología de cuarta generación (4G), donde Claro opera en la banda B4 (1700/2100) y Movistar en la banda B2 (1900).

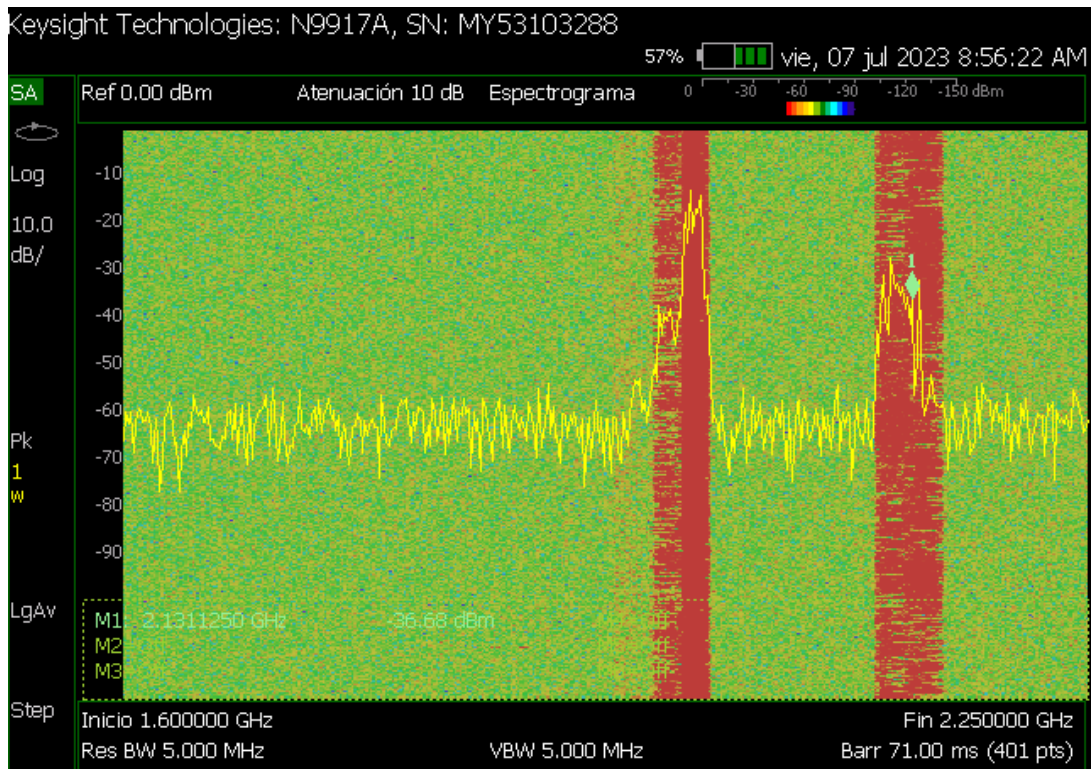


Figura 4.9: Frecuencia en el rango de 1.6 GHz a 2.25 GHz, Mirador el Calvario

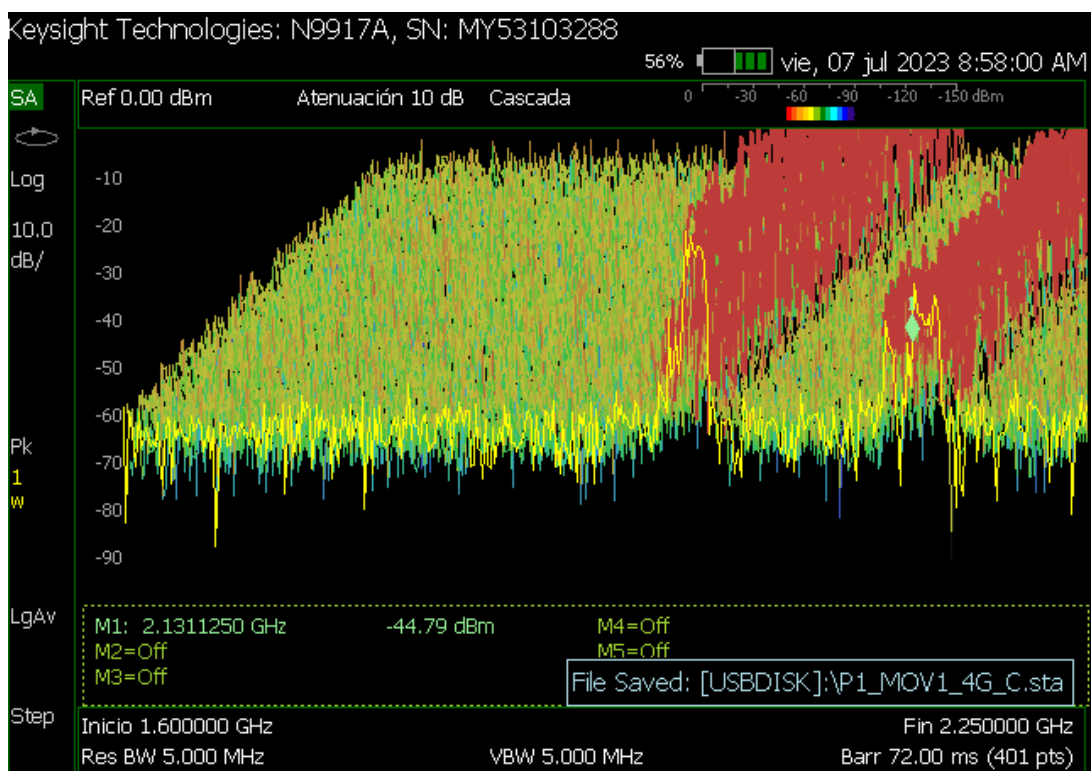


Figura 4.10: Frecuencia en el rango de 1.6 GHz a 2.25 GHz, Mirador el Calvario en Cascada

En el rango de frecuencias de las Figuras 4.7 y 4.8, permite observar todas las

bandas presentes, B5 (850), B4 y B2. Por lo cual se deduce que la tecnología presente en la zona es 4G.

4.1.3. Rango de Ultra Alta Frecuencias (UHF) 2,5 a 3 GHz y Super Alta Frecuencias (SHF) 3 a 5 GHz - Mirador el Calvario

Las Figuras 4.11, 4.12 y 4.13 permiten identificar la presencia de conexiones WIFI en las bandas de 2.4 GHz y 5 GHz, con niveles de señal alcanzando picos de -57 dBm y -53 dBm, respectivamente. La detección de potencia en estas bandas se atribuye a la ubicación del punto de medición, ya que al tratarse de una zona urbana, se captaron las redes WIFI de las viviendas cercanas.

En cuanto a WIMAX en la frecuencia de 2.5 GHz, no se evidencia su presencia, lo que sugiere su inexistencia en esta área. Esto puede deberse a la predominancia de otras tecnologías de transmisión inalámbrica de datos en la zona.

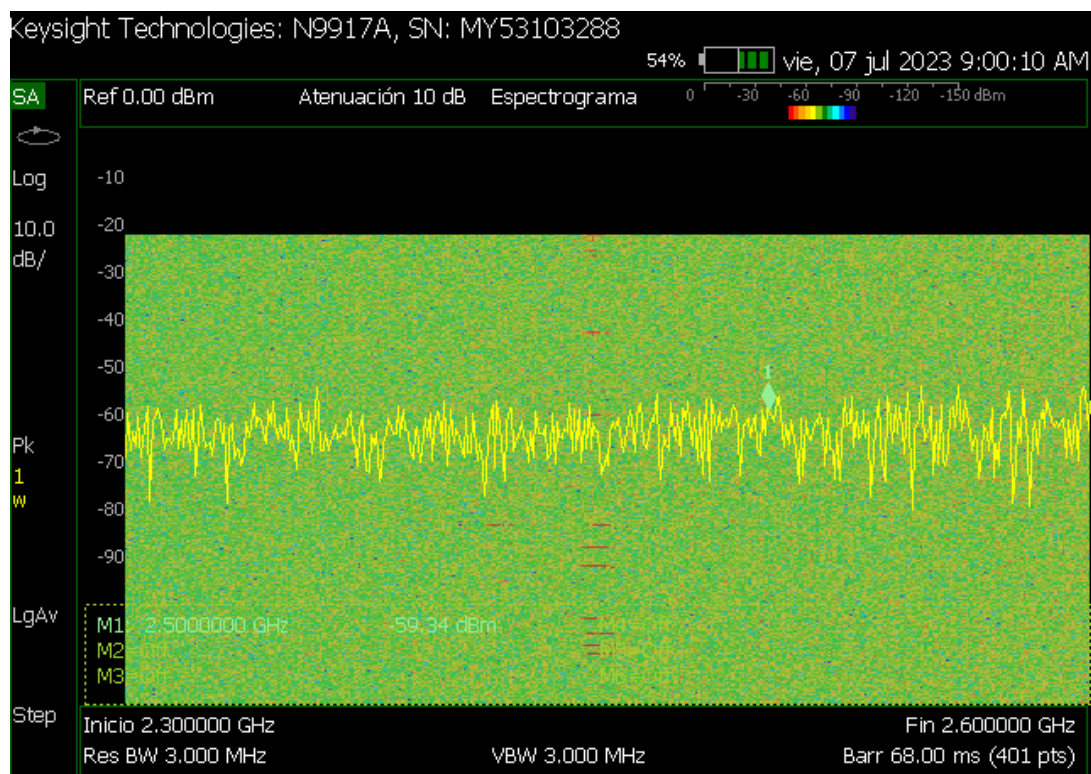


Figura 4.11: Rango de 2.3 GHz a 2.6 GHz, Mirador el Calvario

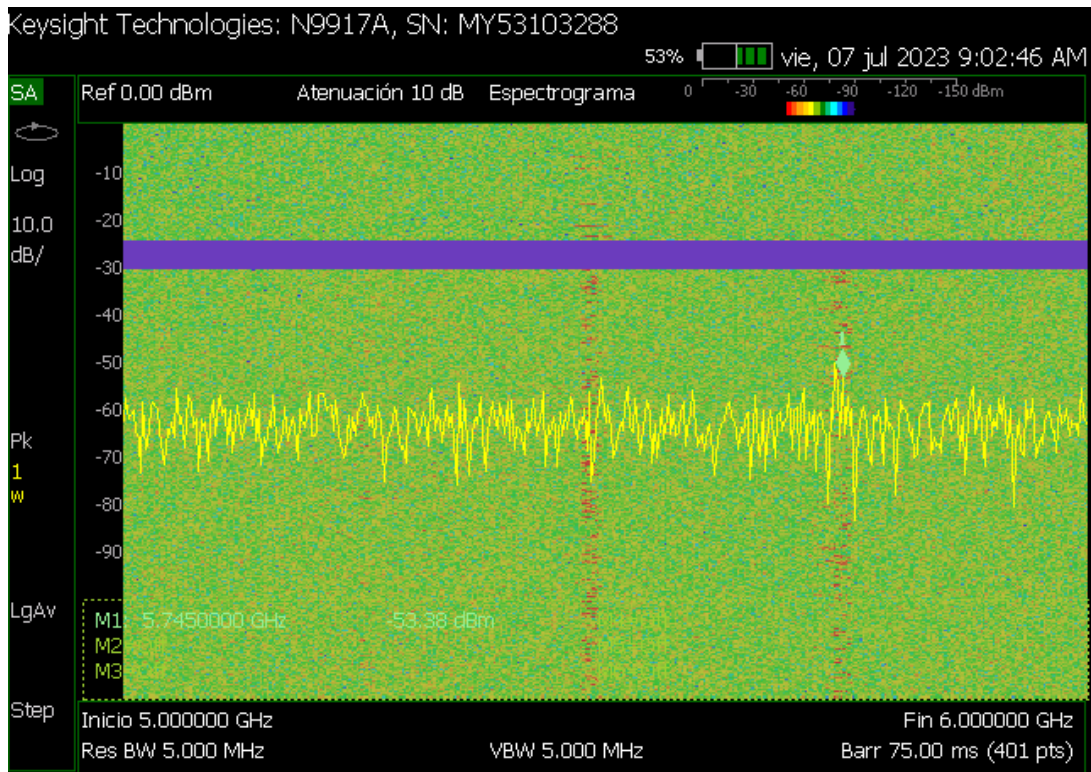


Figura 4.12: Rango de 5 GHz a 6 GHz, Mirador el Calvario

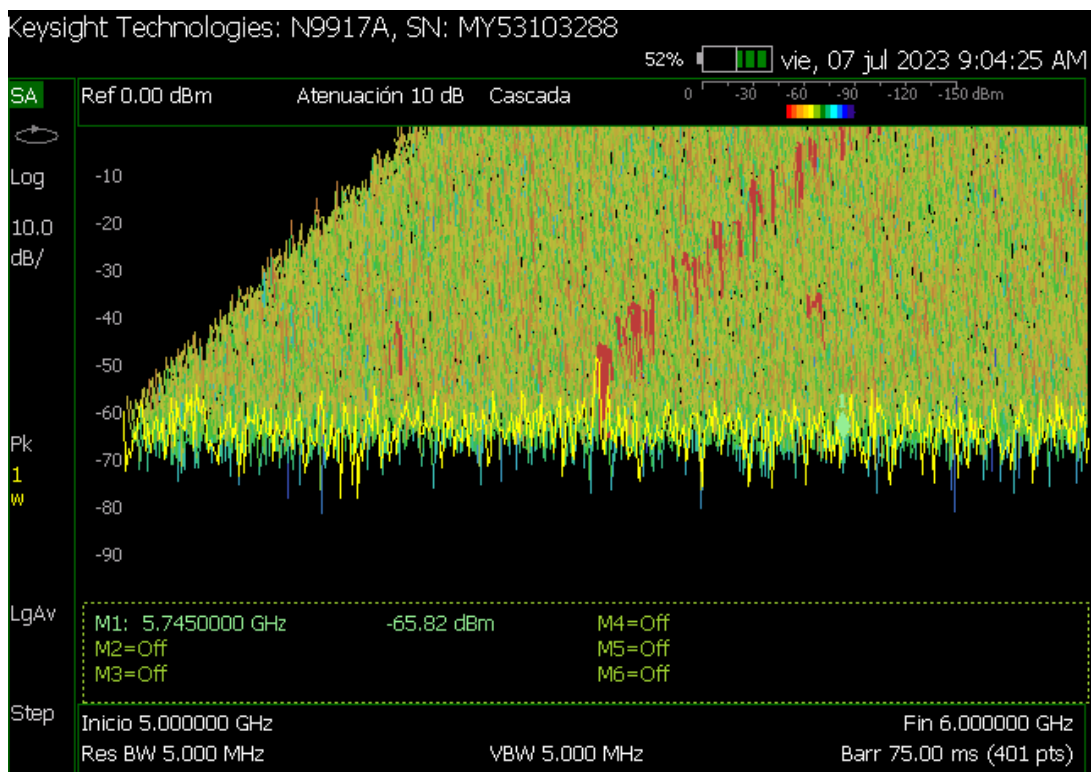


Figura 4.13: Rango de 5 GHz a 6 GHz, Mirador el Calvario en cascada

4.2. Hacienda San Agustín de Callo.

La hacienda San Agustín de Callo se ubica en una zona rural, cerca de los pies del volcán Cotopaxi, a una altitud de 3106.190 (m s. n. m.). La obtención de datos se efectuó a las 10:18:19 en presencia de lloviznas, con una humedad del 84% y una temperatura de 11.11 °C.

Bajo las condiciones climáticas mencionadas y utilizando el analizador de espectros se obtuvieron los siguientes resultados:

- Se detectó el ligero uso de la emisora de radio FM que opera en la frecuencia de 102.1 MHz.
- Se aprecian comunicaciones móviles en un rango de frecuencias que abarca únicamente desde 800 MHz hasta 1 GHz.
- No se encontraron frecuencias asignadas a la transmisión de televisión.
- Se registraron otras frecuencias relacionadas con redes inalámbricas como WIFI y WIMAX.

4.2.1. Rango de Alta Frecuencias (HF) 0 a 300 MHz - Hacienda San Agustín de Callo.

El punto de medición al encontrarse en una zona rural, a las cercanías de la falda del volcán Cotopaxi. Las Figuras 4.14 y 4.15 permiten dar por entender que las señales provenientes de las repetidoras experimentan significativas atenuaciones, incluso se puede mencionar la ausencia de algunas emisoras presentes en la primera zona de medición, como se puede apreciar en la Figura 4.1, siendo esta una zona urbana.

Las Figuras antes mencionadas permiten captar la frecuencia de estudio, Radio Latacunga, cuya frecuencia es 102.1 MHz, estimando una potencia de -72 dBm, misma que al compararla con la primera medición presenta una atenuación de alrededor de 18 dBm.

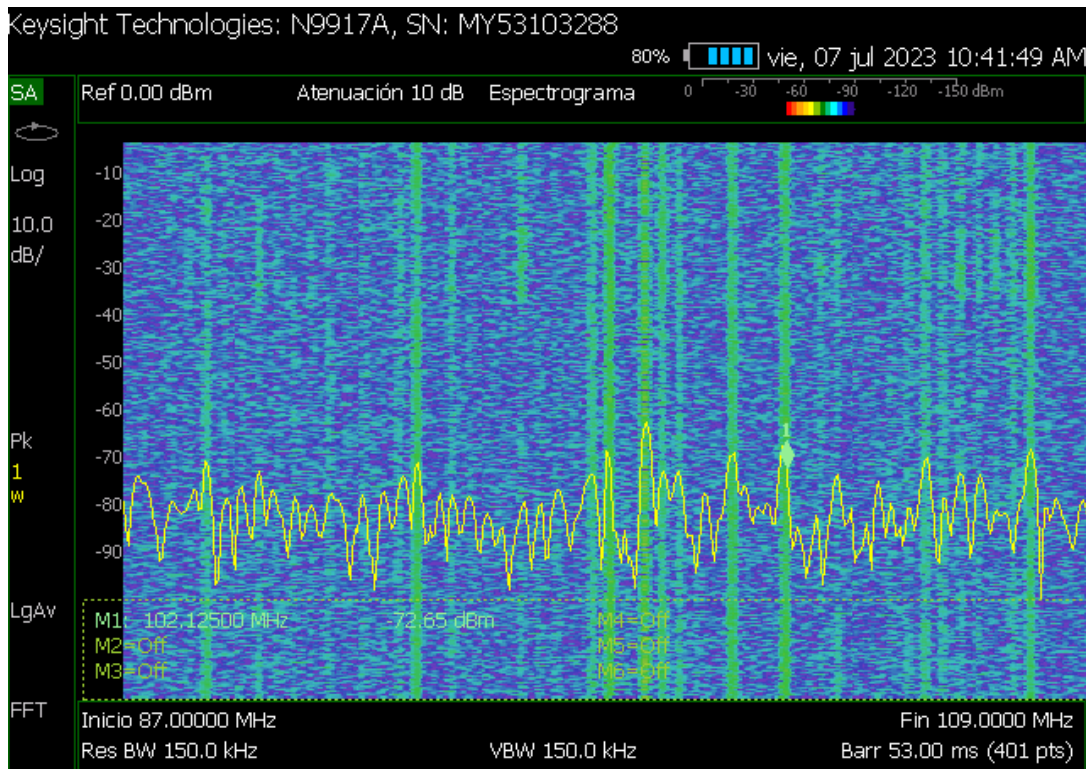


Figura 4.14: Frecuencia de Radio FM en la Hacienda San Agustín de Callo

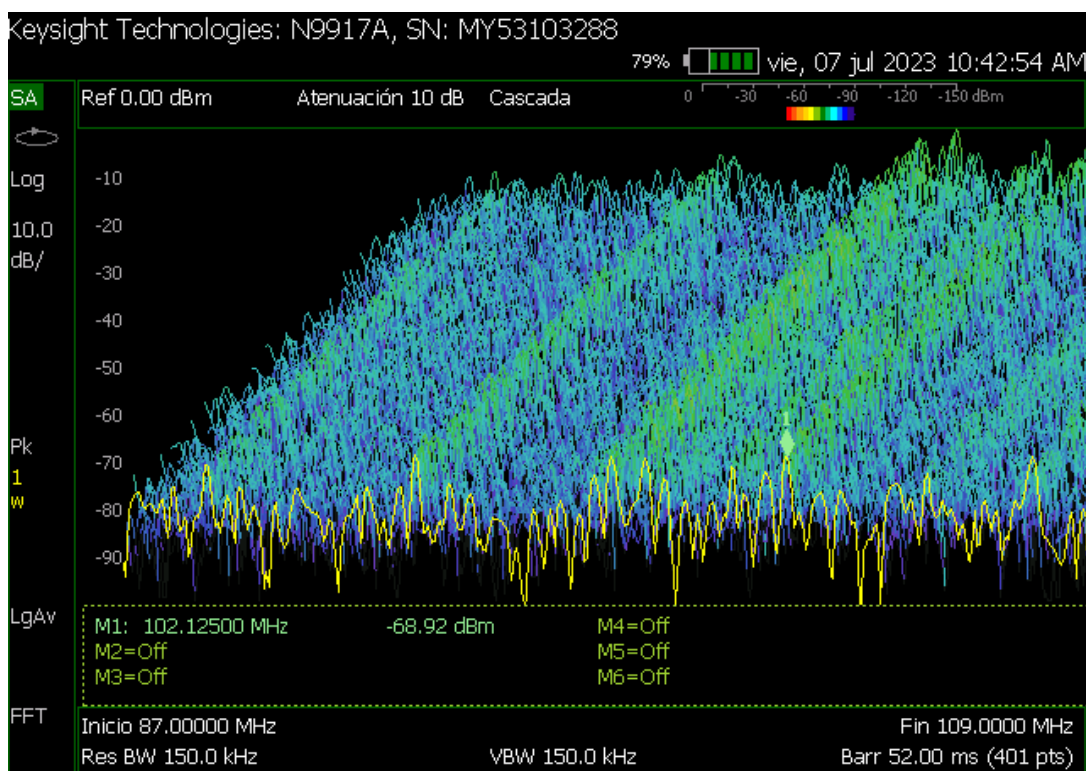


Figura 4.15: Frecuencia de Radio FM en la Hacienda San Agustín de Callo en Cascada

En las Figuras 4.16 y 4.17 se puede observar que no existen señales en el rango

de 174 Mhz hasta 500 Mhz, correspondiente a televisión. Debido a que se trata de un lugar rural y uno de los más distantes de las antenas y repetidoras, por ello, no se detectan señales en el espectro a comparación con los resultados obtenidos en el Mirador el Calvario como se puede observar en la Figura 4.3. Se captó el de la frecuencia de 423.39 Mhz con una potencia de -57.85 dBm. Esta señal pertenece al Plan Nacional de Frecuencias del Ecuador como parte de los servicios de radiolocalización o los servicios de radiodifusión de datos (EQA.25).

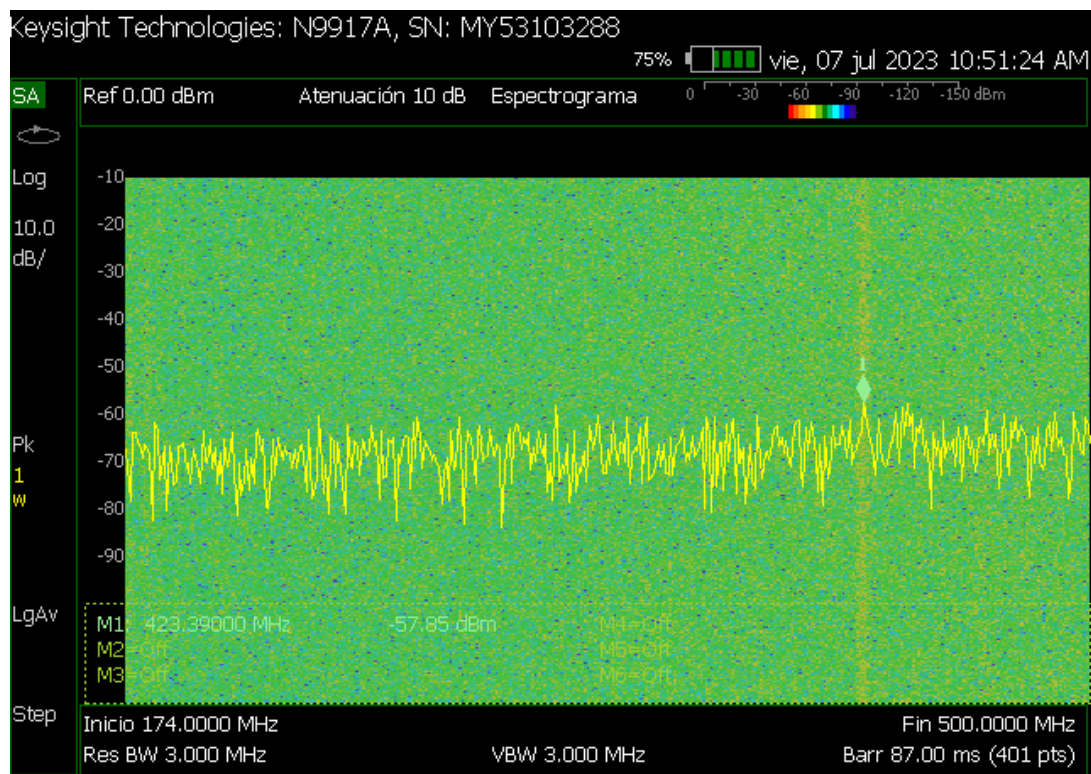


Figura 4.16: Frecuencia en el Rango de 174 Mhz hasta 500 Mhz (Televisión) en la Hacienda San Agustín de Callo

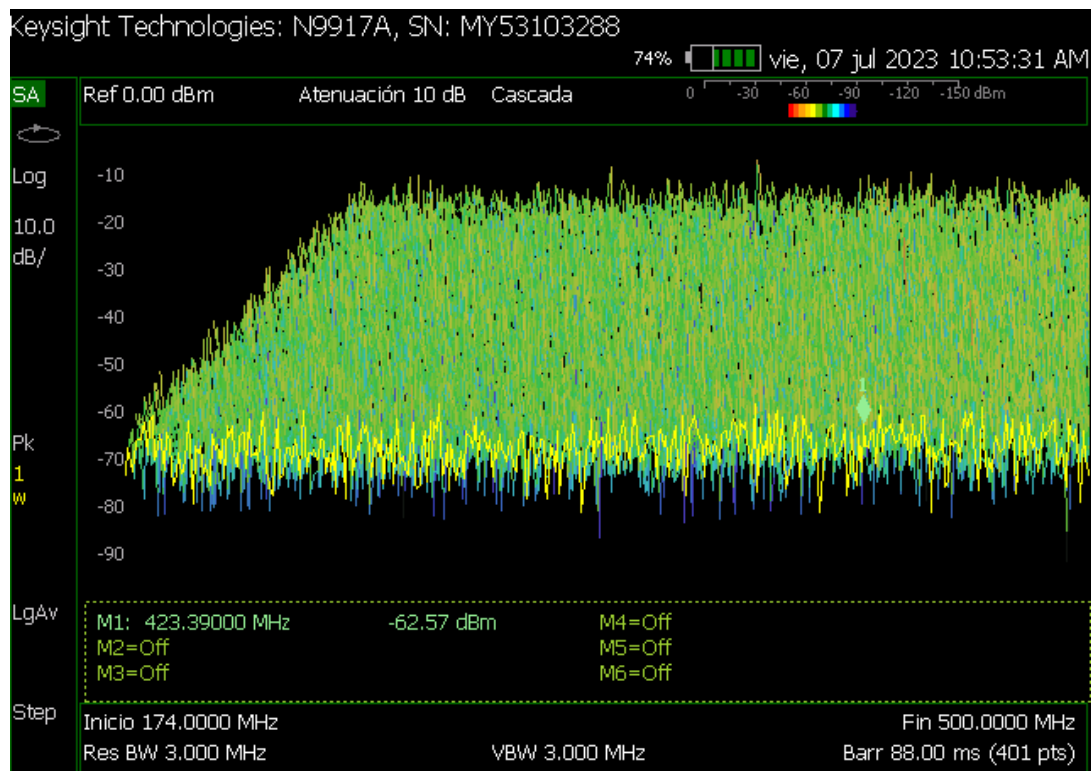


Figura 4.17: en el Rango de 174 Mhz hasta 500 Mhz (Televisión) en la Hacienda San Agustín de Callo en cascada

4.2.2. Rango de Ultra Alta Frecuencias (UHF) 300 MHz a 3 GHz - Hacienda San Agustín de Callo.

El espectro de las Figuras 4.18 y 4.19 abarca todas las bandas de frecuencias de uso en las redes de comunicaciones móviles, proporcionando resultados en centrados aproximadamente la banda B5 de 850 MHz. En las Figuras 4.20 y 4.21 se centran en la banda en específico, revelando el uso de una tecnología de segunda generación con una potencia de -50 dBm. En la Figura 4.18, se puede identificar una tecnología de tercera generación, que ocupa la banda B2 de 1900 MHz, al estar presente esta banda se puede evidenciar un mínimo uso de la misma.

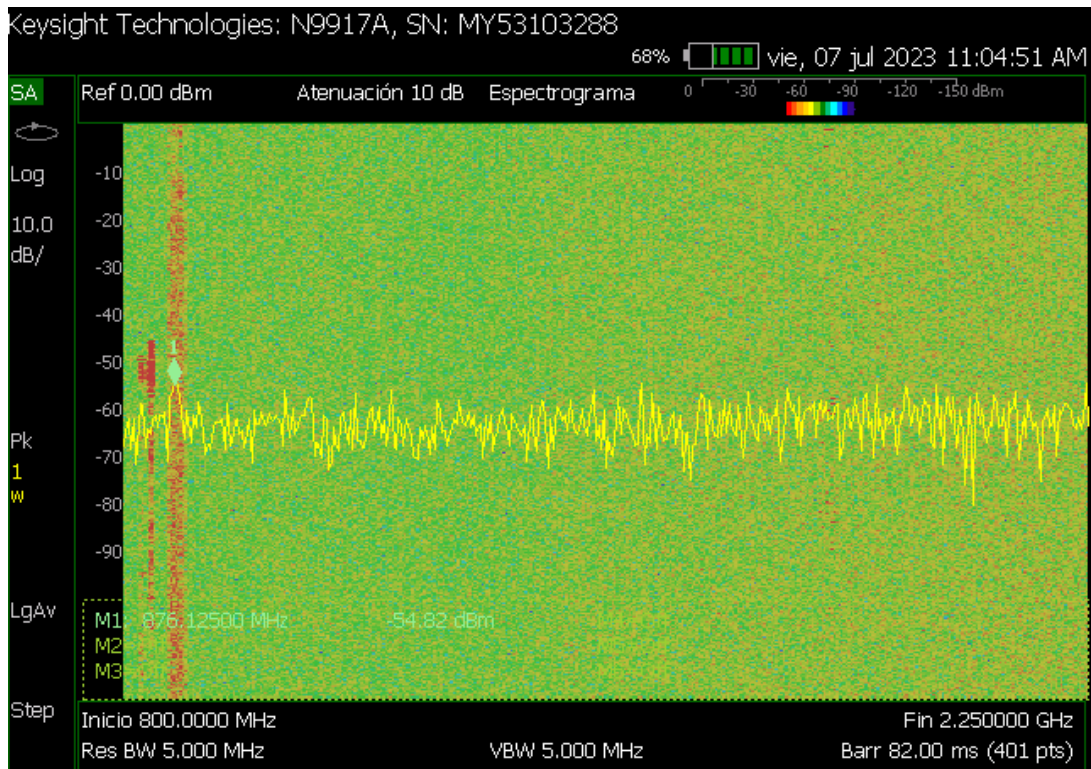


Figura 4.18: Frecuencias de comunicaciones móviles en el rango de 800 Mhz a 2.25 GHz en la Hacienda San Agustín de Callo

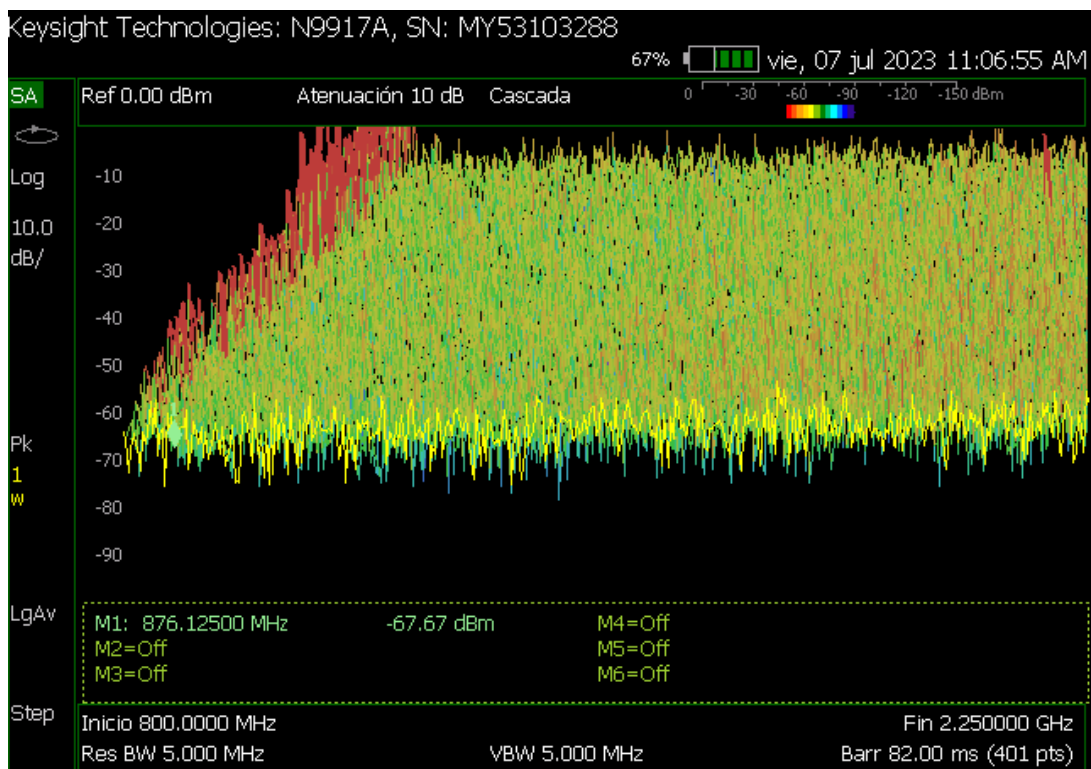


Figura 4.19: Frecuencia de comunicaciones móviles en el rango de 800 Mhz a 2.25 GHz en la Hacienda San Agustín de Callo en cascada

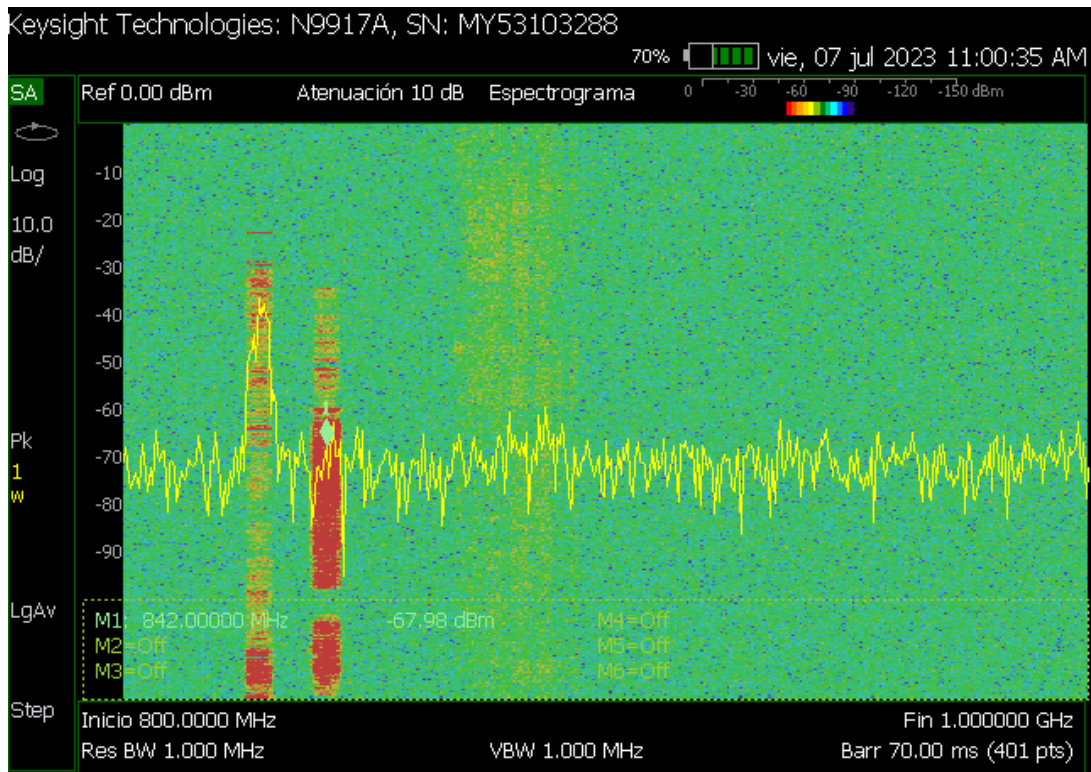


Figura 4.20: Frecuencia de comunicaciones móviles en el rango de 800 MHz a 1 GHz en la Hacienda San Agustín de Callo

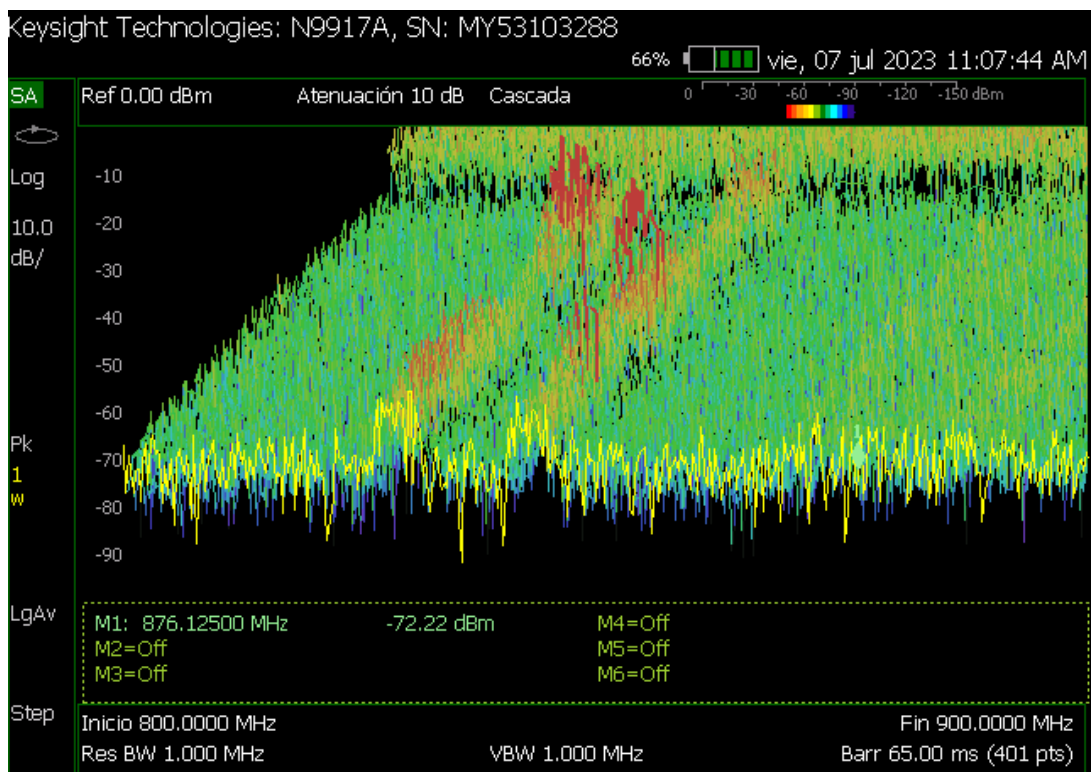


Figura 4.21: Frecuencia en el rango de 800 Mhz a 1 GHz en la Hacienda San Agustín de Callo en cascada

Al comparar los resultados mostrados en la Figura 4.5 con los de la Figura 4.20, se puede observar la atenuación de la potencia, aproximadamente 20 dBm. Además, es notorio el uso de tecnologías de generaciones anteriores, debido a la baja concentración de clientes del lugar, dando como resultado el uso de las bandas B5 y B2.

4.2.3. Rango de Ultra Alta Frecuencias (UHF) 2,5 a 3 GHz y Super Alta Frecuencias (SHF) 3 a 5 GHz - Hacienda San Agustín de Callo.

En la figura 4.23, se puede observar un escaso tráfico de redes WIFI en la banda de 5 GHz. Es importante destacar que la captura de la imagen tuvo lugar antes de completar el espectrograma. Por otro lado, en la figura 4.22, se aprecia un ligero uso de la banda de 2.4 GHz por parte de la comunidad cercana a la hacienda.

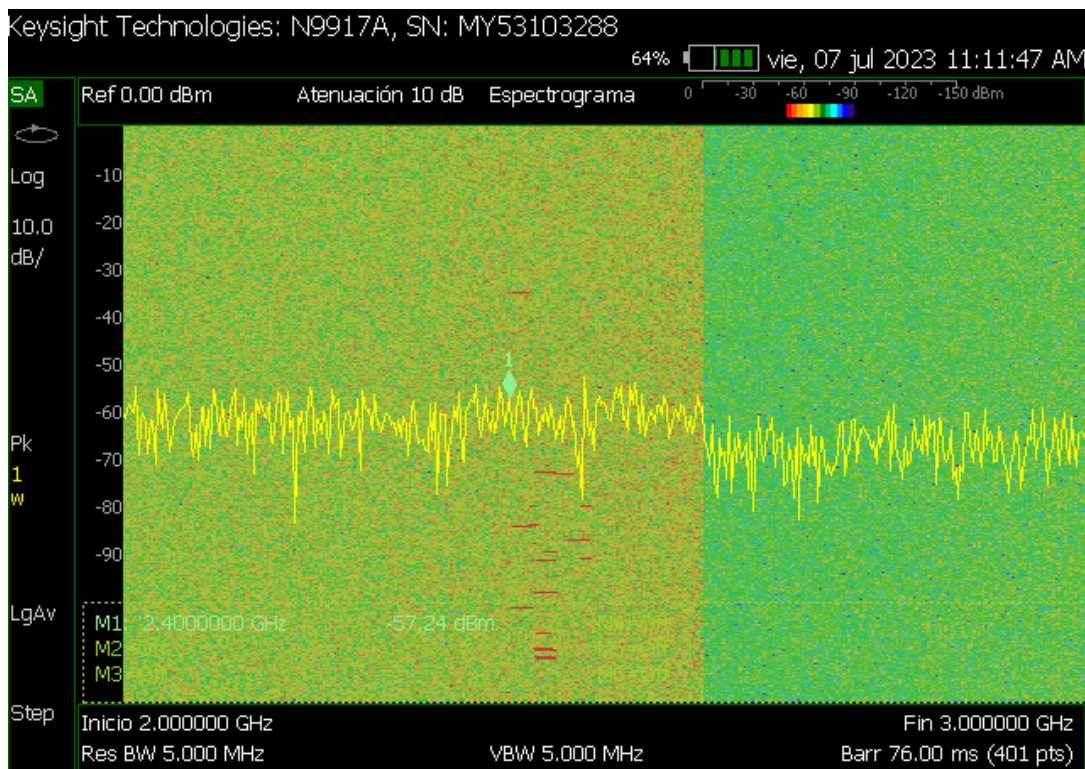


Figura 4.22: Rango de 2 GHz a 3 GHz en la Hacienda San Agustín de Callo

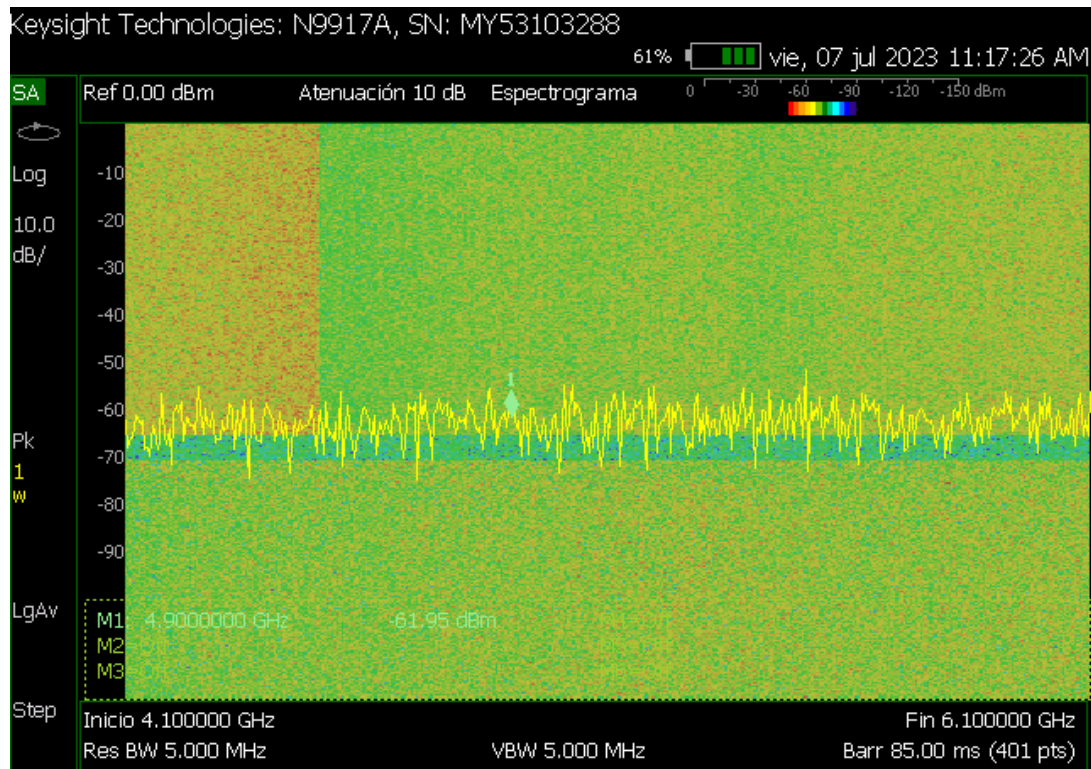


Figura 4.23: Rango de 4.1 GHz a 6.1 GHz en la Hacienda San Agustín de Callo

Además, desde la perspectiva de la tecnología WiMAX, se podría suponer la presencia de esta tecnología en las bandas de 2.5 GHz y 5.8 GHz, aunque de manera limitada. Esto se debe al difícil acceso y la ausencia de postes para una distribución por fibra óptica o cobre, lo que podría haber llevado a la adopción de WiMAX como una solución de conectividad en estas áreas.

4.3. Resultados Mirador Chasqui.

El mirador Chasqui se encuentra ubicado en una zona rural, a una altura de 3266.398 (m s. n. m.). Los datos se recolectaron a las 11:28:53 en presencia de un cielo nublado, con una humedad del 75 % y una temperatura de 12.22 °C.

Con las condiciones climáticas mencionadas y utilizando el analizador de espectros se obtuvieron los siguientes resultados:

- Se detectó el uso de la emisora de radio FM que opera en la frecuencia de 102.1 MHz y varias emisoras más en las frecuencias de 98.9 MHz, 100.9 MHz y 107.7 MHz.

- Se aprecian comunicaciones móviles en un rango de frecuencias que abarca únicamente desde 750 MHz hasta 1 GHz.
- Se llega apreciar el uso de las frecuencias asignadas a la transmisión de televisión y se logra encontrar la portadora de audio y video de una sola transmisión.
- No se registró el uso de frecuencias relacionadas con redes inalámbricas como WIFI y WIMAX.

4.3.1. Rango de Alta Frecuencias (HF) 0 a 300 MHz - Mirador Chasqui

Las Figuras 4.24 y 4.25 ofrece una perspectiva del espectro de frecuencias de emisoras de radio en la tercera zona, entregando una mayor presencia de emisoras en comparación a la segunda zona. Al analizar estas imágenes, se destaca que la emisora de interés (Radio Latacunga 102.1 FM), presenta una intensidad superior a las emisoras vecina, con una potencia aproximada de -54.89 dBm. En esta ubicación se destaca que la potencia de la frecuencia de estudio se ha encontrado por encima de las demás emisoras por primera vez.

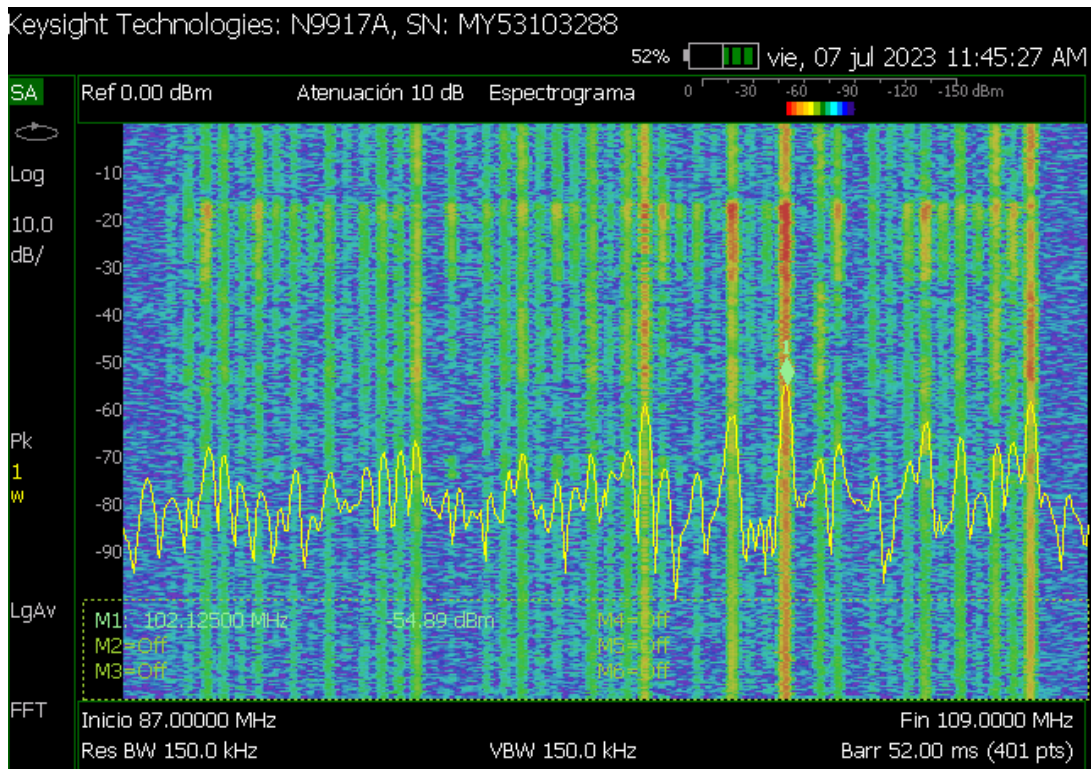


Figura 4.24: Frecuencia de Radio FM en el Mirador Chasqui

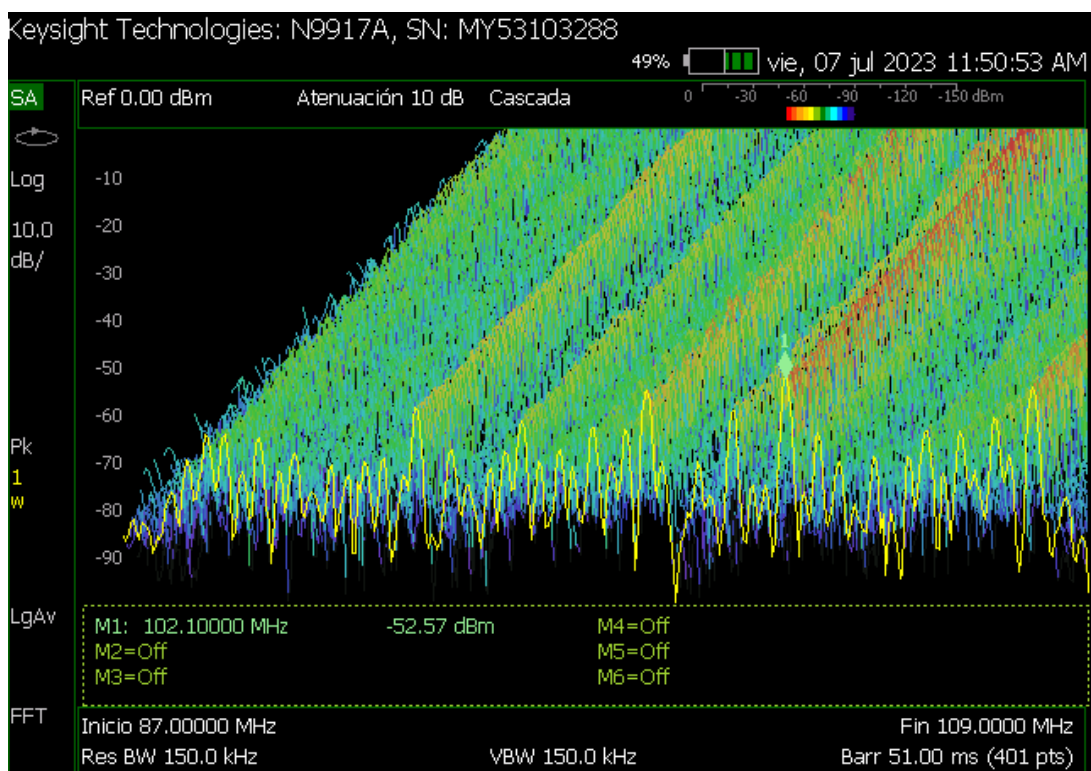


Figura 4.25: Frecuencia de Radio FM en el Mirador Chasqui en Cascada

En las Figuras 4.26 y 4.27 se muestra de manera leve el espectro por parte de los

canales 7, 8, 9, 10 en los rangos de frecuencia de 174-180 Mhz, 180-186 Mhz, 186-192 Mhz y 192-198 Mhz respectivamente. Teniendo en cuenta que el canal 7 es el que cuenta con una mejor potencia de -62.59 dBm. Los demás canales cuentan con una potencia de -68.57 dBm, -70.27 dBm, y -70.86 dBm, respectivamente. En este punto no parece existir el uso de algún otro servicio, como fue el caso del Mirador el Calvario y de la Hacienda San Agustín de Callo.

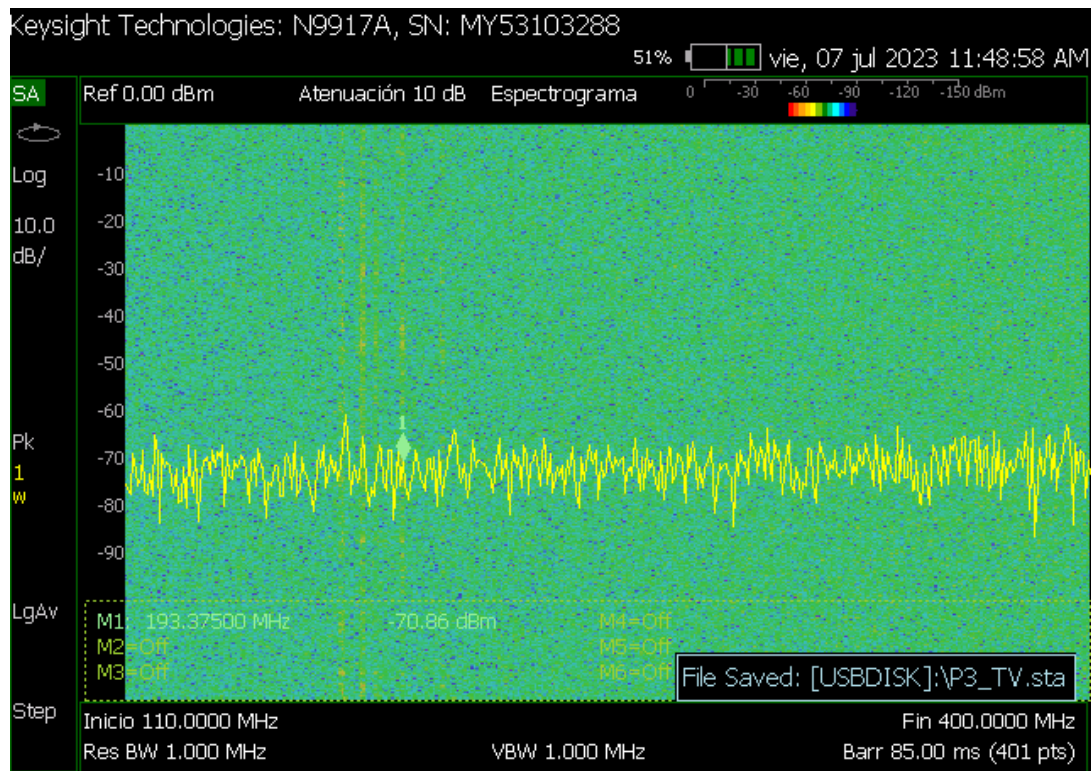


Figura 4.26: Frecuencia en el Rango de 110 Mhz hasta 400 Mhz (Televisión) en el Mirador Chasqui

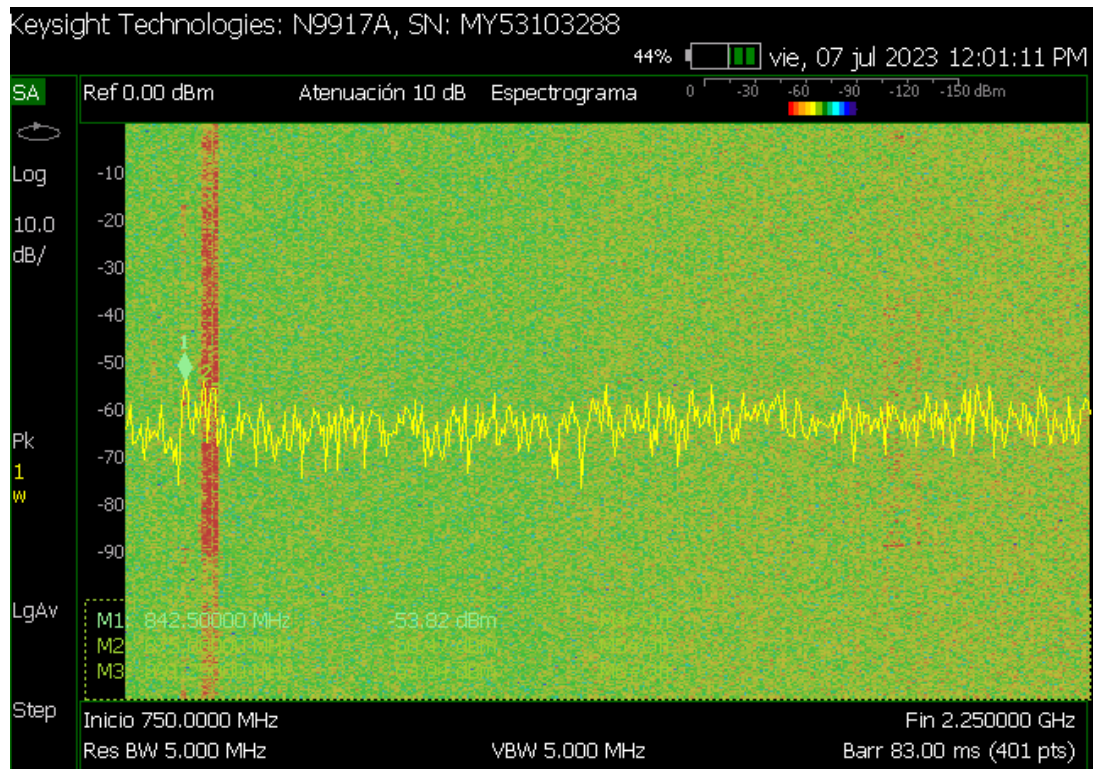


Figura 4.28: Frecuencia de Comunicaciones Móviles en el Rango de 750 Mhz a 2.25 GHz en el Mirador Chasqui

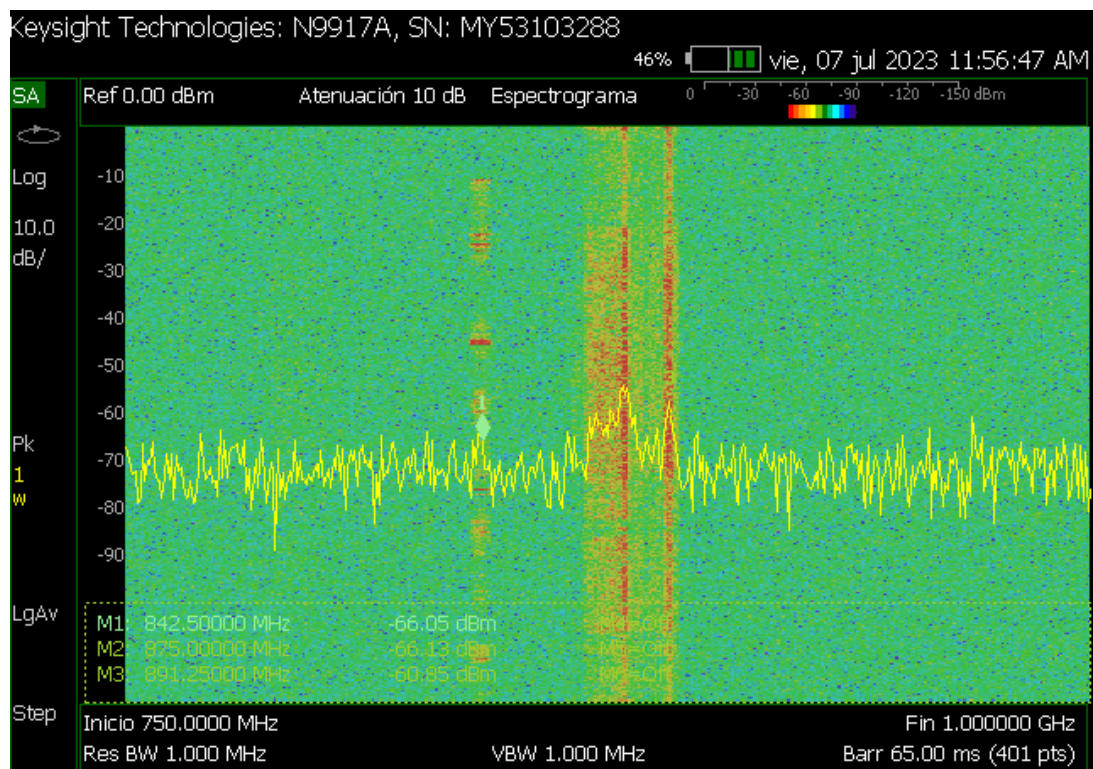


Figura 4.29: Frecuencia de Comunicaciones Móviles en el Rango de 750 Mhz a 1 GHz en el Mirador Chasqui

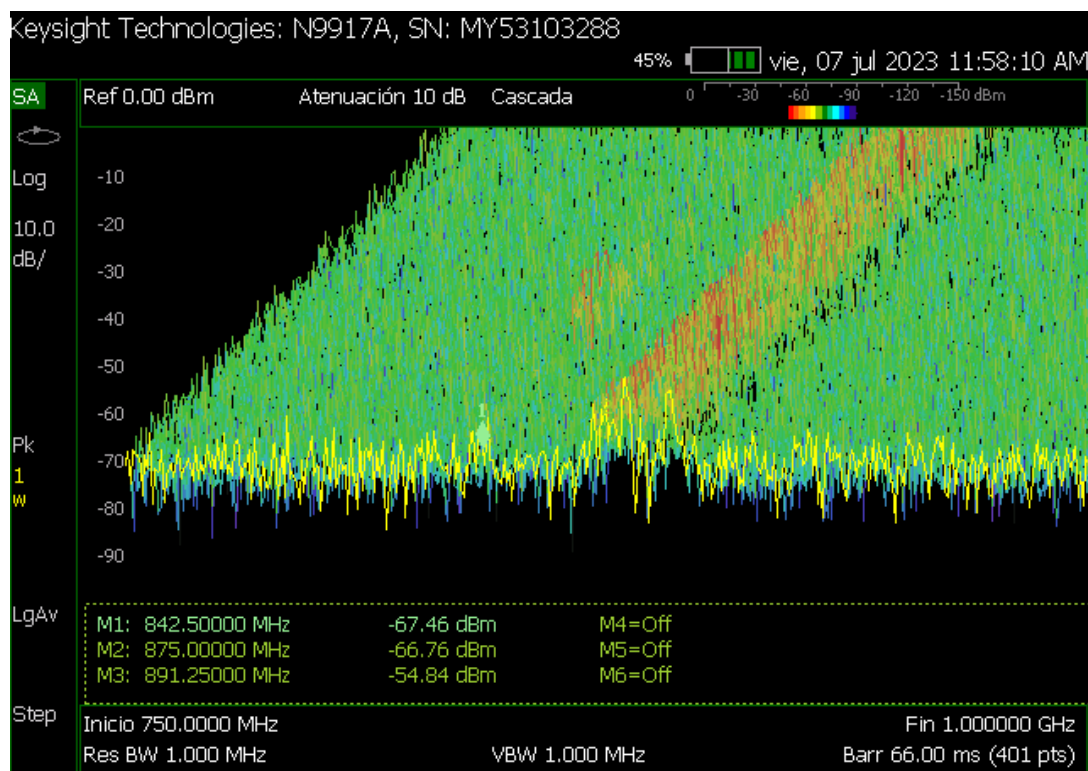


Figura 4.30: Frecuencia de Comunicaciones Móviles en el Rango de 750 Mhz a 1 GHz en el Mirador Chasqui en Cascada

Al comparar los datos obtenidos en la Hacienda San Agustín del Callo, presentan el uso de la misma generación de tecnología (3G), debido a que ambas zonas son rurales y con una relativa cercana.

4.3.3. Rango de Ultra Alta Frecuencias (UHF) 2,5 a 3 GHz y Super Alta Frecuencias (SHF) 3 a 5 GHz - Mirador Chasqui

Las Figuras 4.31 y 4.32 muestran la ausencia de uso de la banda de 5 GHz para WIFI. En contraste, en las Figuras 4.33 y 4.34, se observa un ligero uso de la frecuencia de 2.4 GHz. Este uso limitado se debe a la presencia de dos restaurantes en la zona, los cuales se encontraban cerrados en el momento de la medición. Dado que los proveedores de internet tienen fácil accesibilidad a la fibra óptica o al cobre en este sector, se podría concluir que la presencia de tecnología WiMAX es nula en la zona.

4.4. Resultados Mirador de Sinchaguasin.

El mirador Sinchaguasin se ubica en una parte urbana de de la localidad de Latacunga, a una altitud de 3091.942 (m s. n. m.). La recolección de datos se efectuó a las 13:35:00 en presencia de lloviznas, con una humedad del 72 %, y una temperatura de 13.88 °C.

De acuerdo con lo mencionado acerca del clima y utilizando el analizador de espectros se obtuvieron los siguientes resultados:

- Se detectó la potencia más alta de la emisora de radio FM que opera en la frecuencia de 102.1 MHz.
- Se aprecian comunicaciones móviles en un rango de frecuencias que abarca únicamente desde 750 MHz hasta 2.25 GHz.
- Se encontraron varias frecuencias asignadas a la transmisión de televisión.
- No se registraron otras frecuencias relacionadas con redes inalámbricas como WIFI y WIMAX.

4.4.1. Rango de Alta Frecuencias (HF) 0 a 300 MHz - Mirador de Sinchaguasin

En las Figuras 4.35 y 4.36, se puede observar la presencia de canales de radio con una mayor potencia. Esto se debe a la proximidad de la ubicación de medición con una zona urbana. En particular, la emisora de análisis (Radio Latacunga 102.1 FM) en esta área muestra una potencia de -46 dBm, lo que representa la potencia más alta registrada en esta emisora.

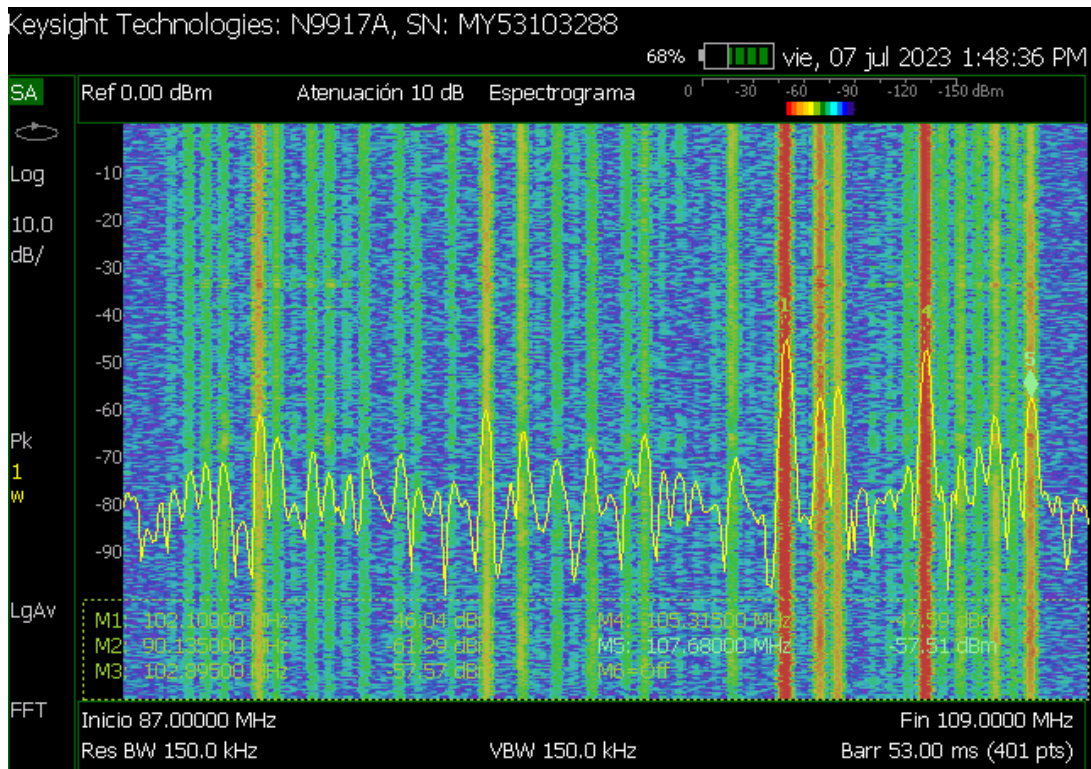


Figura 4.35: Frecuencia de Radio FM en el Mirador de Sinchaguasin

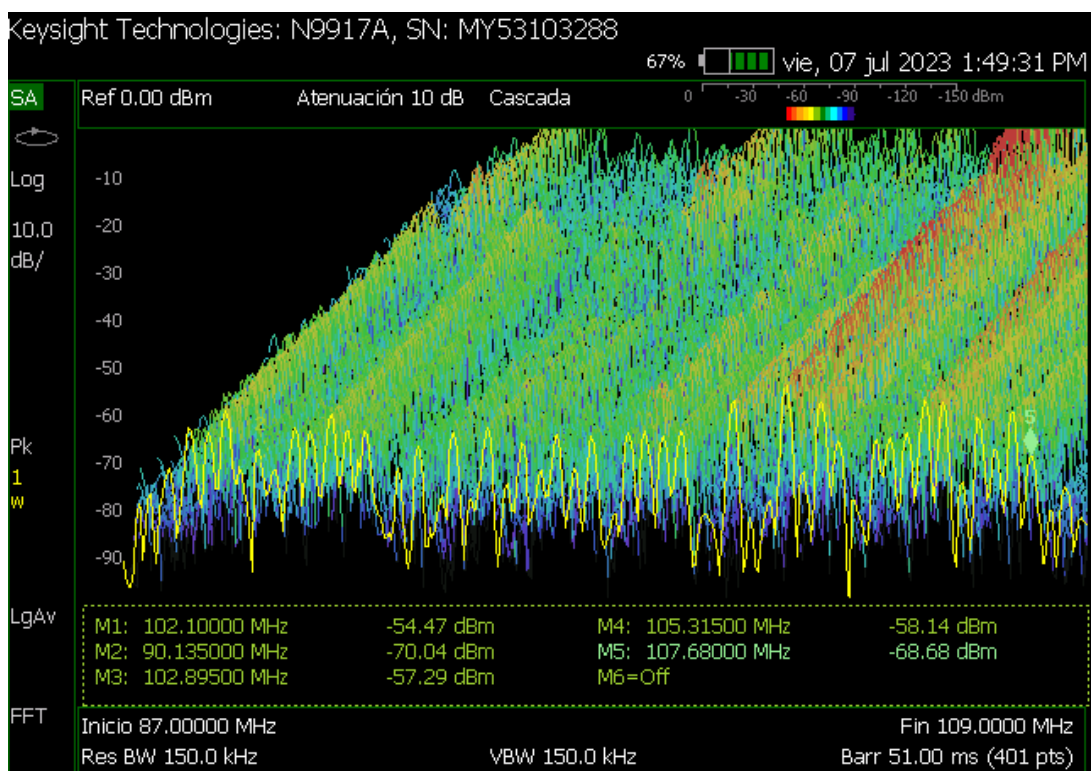


Figura 4.36: Frecuencia de Radio FM en el Mirador de Sinchaguasin en Cascada

En las Figuras 4.37 y 4.38 se aprecia un mayor uso del espectro por parte de

los canales de televisión. En este punto se encuentran los canales 7, 8, 10 y el canal 12. El canal 7 se encuentra en el rango de frecuencia de 174-180 Mhz con una potencia de -61.30 dBm. El canal de televisión asignado al 8 se sitúa dentro del espectro de frecuencias de 180-186 Mhz en el que se nota el uso de su portadora de video con una potencia de -65.32 dBm y la portadora de audio con una potencia de -63.30 dBm. El canal 10 se localiza en la banda de frecuencias de 186-192 Mhz y dispone de una potencia de -61.23 dBm. En el caso del canal 12 que sitúa en el intervalo de frecuencias de 192-198 Mhz que posee una potencia de -59 dBm. No se identifica el uso de otro servicio, como fue el caso del Mirador el Calvario y la Hacienda San Agustin de Callo.

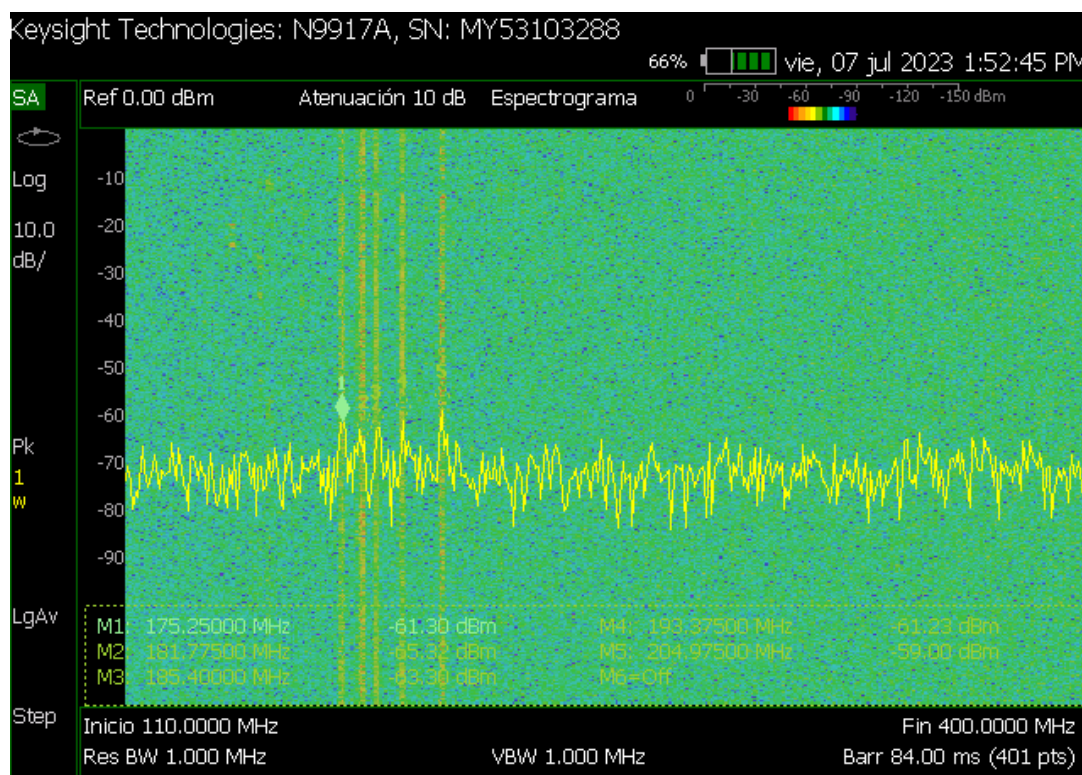


Figura 4.37: Frecuencia en el Rango de 110 Mhz hasta 400 Mhz (Televisión) en el Mirador de Sinchaguasin

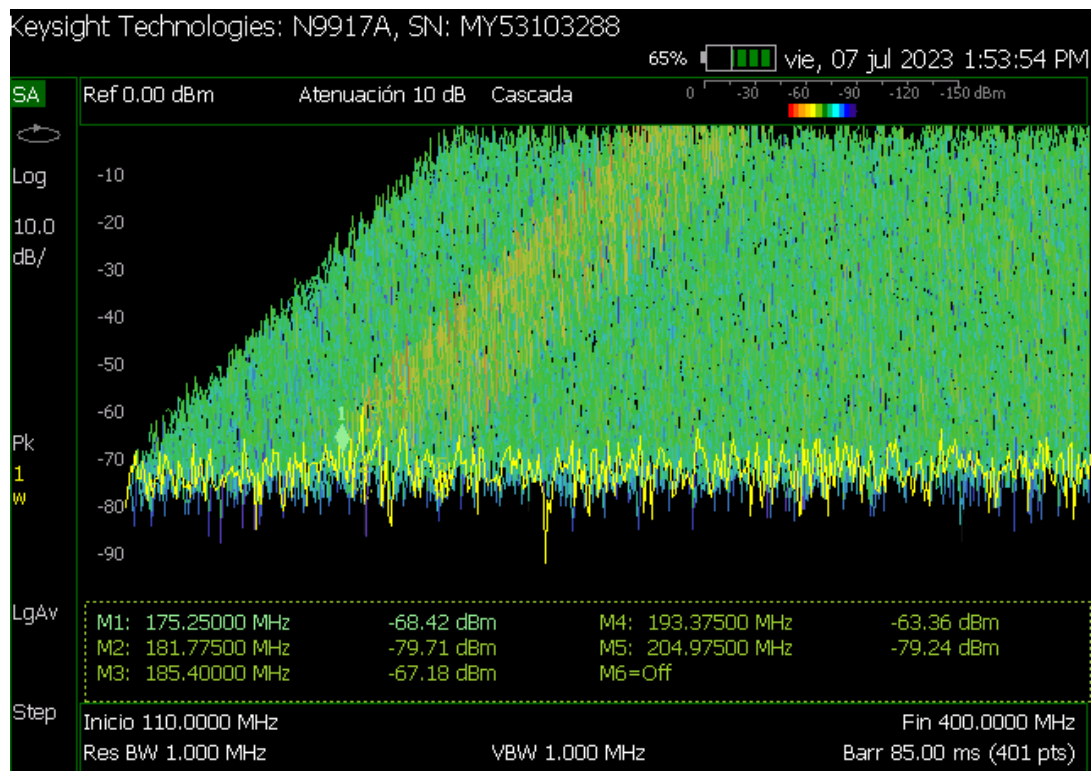


Figura 4.38: Frecuencia en el Rango de 110 Mhz hasta 400 Mhz (Televisión) en el Mirador de Sinchaguasin en Cascada

4.4.2. Rango de Ultra Alta Frecuencias (UHF) 300 MHz a 3 GHz - Mirador de Sinchaguasin

Las Figuras 4.39 y 4.40 muestran el uso de las bandas B2, B4, B5, B28. Por otro lado, las Figuras 4.41 y 4.42 ofrecen una vista más detallada de la banda B2. En la zona de medición se evidencia la presencia y la aplicación de tecnologías de tercera y cuarta generación. Tanto esta zona como en el Mirador el Calvario presentan tecnología 4G, debido a su ubicación dentro o cerca de una zona urbana.

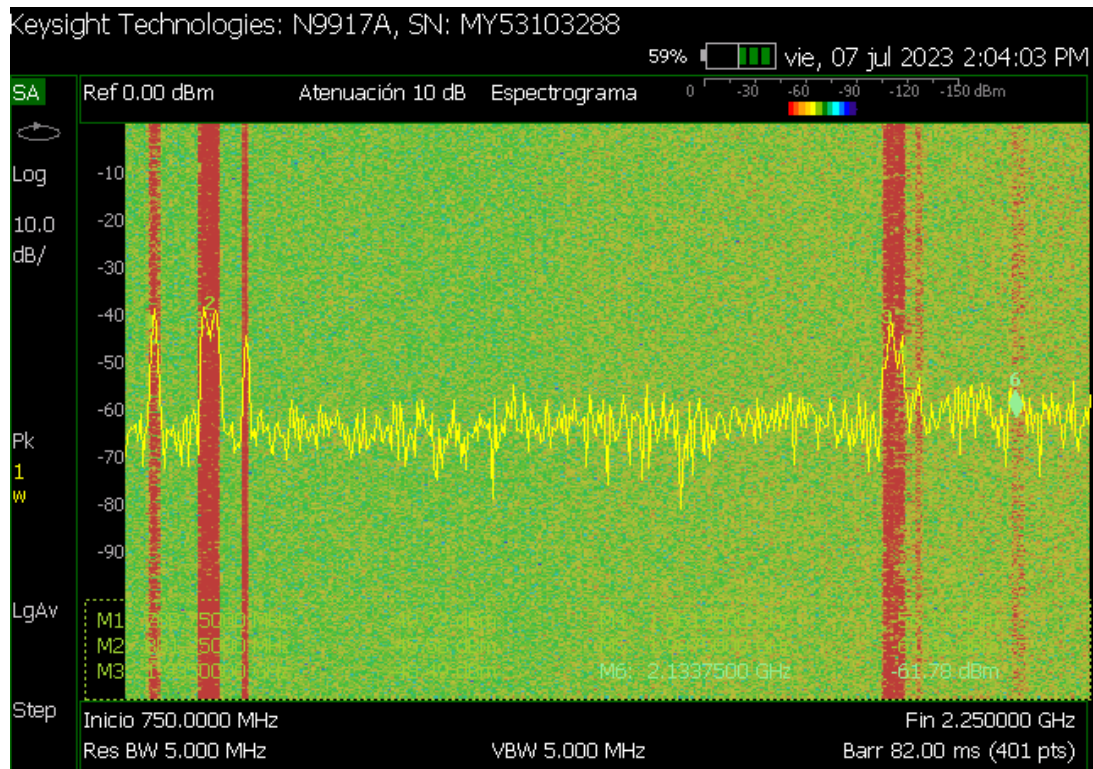


Figura 4.39: Frecuencia de Comunicaciones Móviles en el Rango de 750 MHz a 2.25 GHz en el Mirador de Sinchaguasin

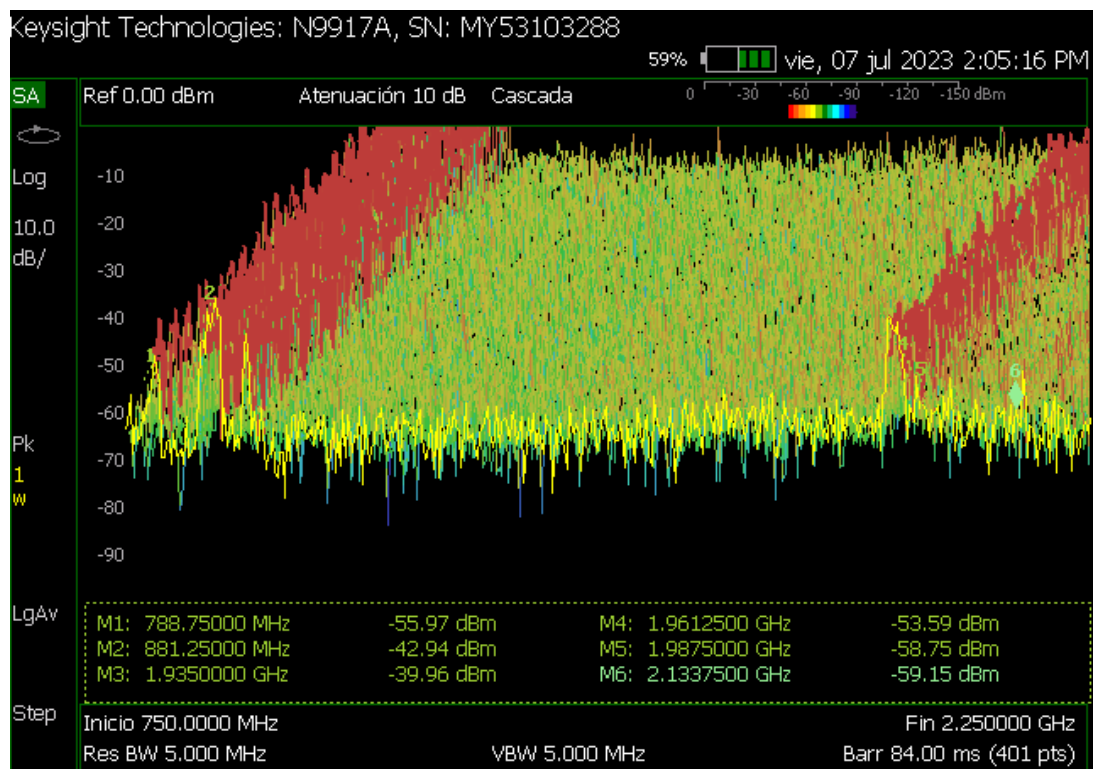


Figura 4.40: Frecuencia de Comunicaciones Móviles en el Rango de 750 MHz a 2.25 GHz en el Mirador de Sinchaguasin en Cascada

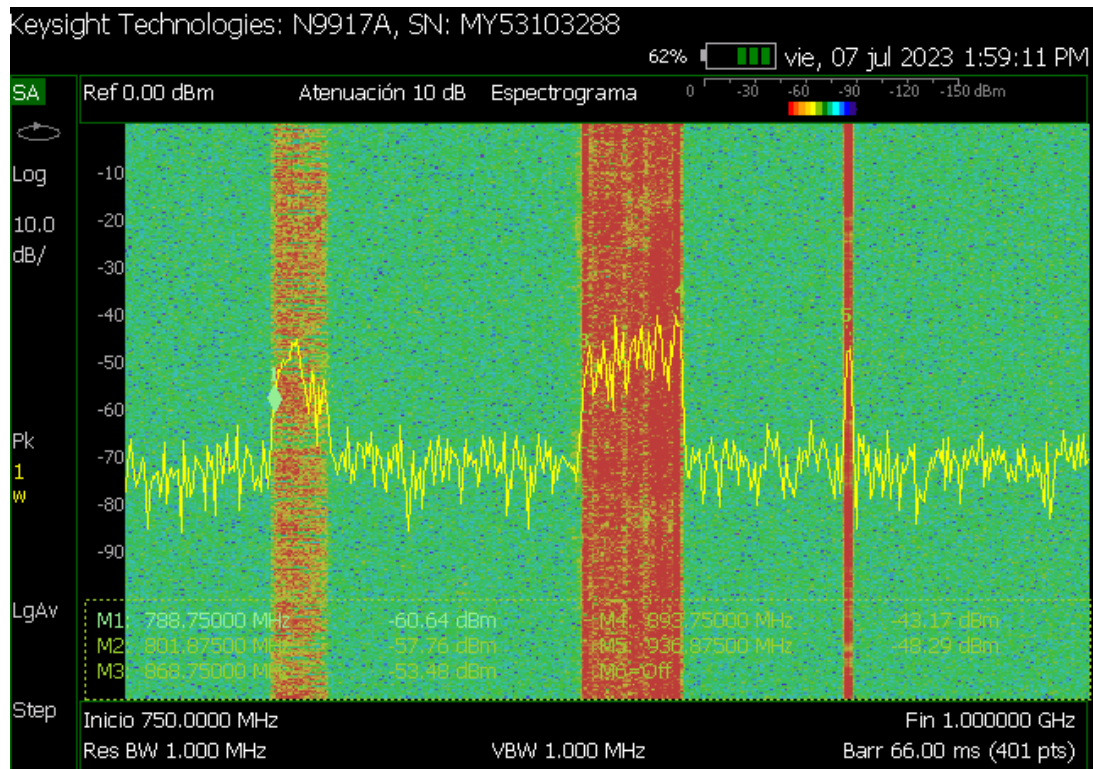


Figura 4.41: Frecuencia de Comunicaciones Móviles en el Rango de 750 Mhz a 1 GHz en el Mirador de Sinchaguasin

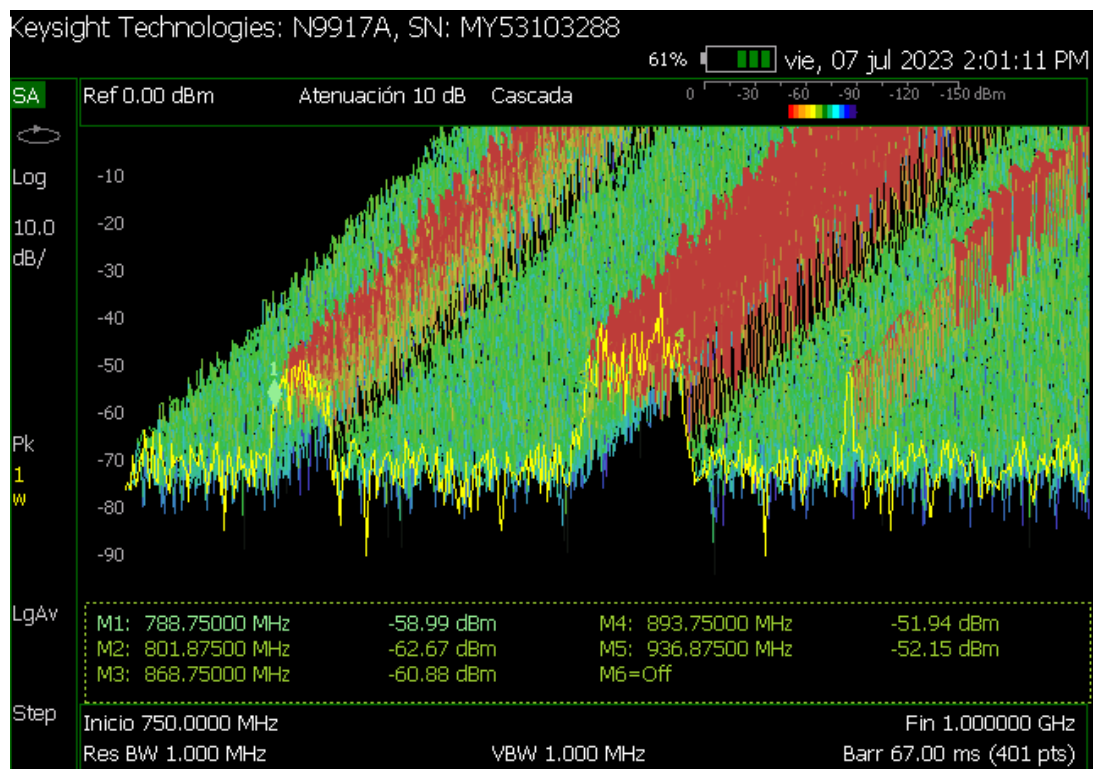


Figura 4.42: Frecuencia de Comunicaciones Móviles en el Rango de 750 Mhz a 1 GHz en el Mirador de Sinchaguasin en Cascada

4.4.3. Rango de Ultra Alta Frecuencias (UHF) 2,5 a 3 GHz y Super Alta Frecuencias (SHF) 3 a 5 GHz - Mirador de Sinchaguasin

Las Figuras 4.43 y 4.44 muestran la ausencia de uso de la tecnología WIFI en las bandas de 2.4 y 5 GHz, al igual que en la banda de 5 GHz, como se evidencia en las Figuras 4.45 y 4.46. Esta falta de señales WIFI en la zona se debe a la escasa concentración de viviendas en el punto de medición. La tecnología WIFI prevalece en la zona debido a la facilidad de acceso de los proveedores de internet a través de fibra óptica o cobre, lo que ha desplazado el uso de WIMAX.

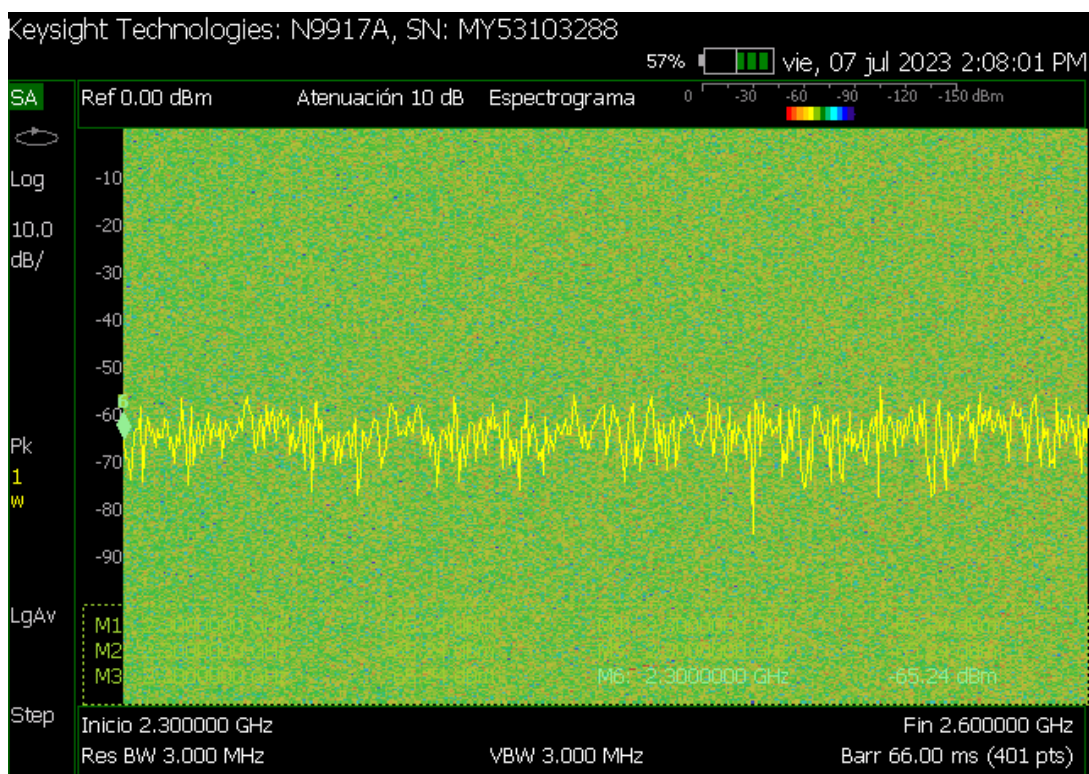


Figura 4.43: Frecuencia en el Rango de 2.3 GHz a 2.6 GHz en el Mirador de Sinchaguasin

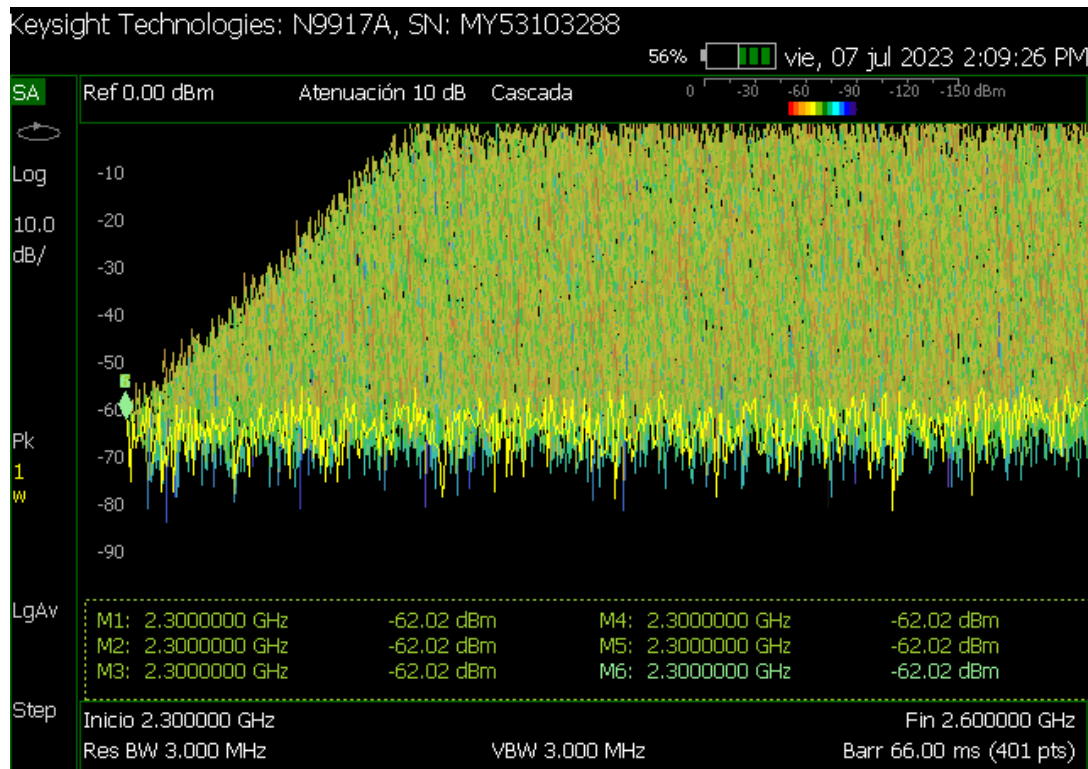


Figura 4.44: Frecuencia en el Rango de 2.3 GHz a 2.6 GHz en el Mirador de Sinchaguasin en Cascada

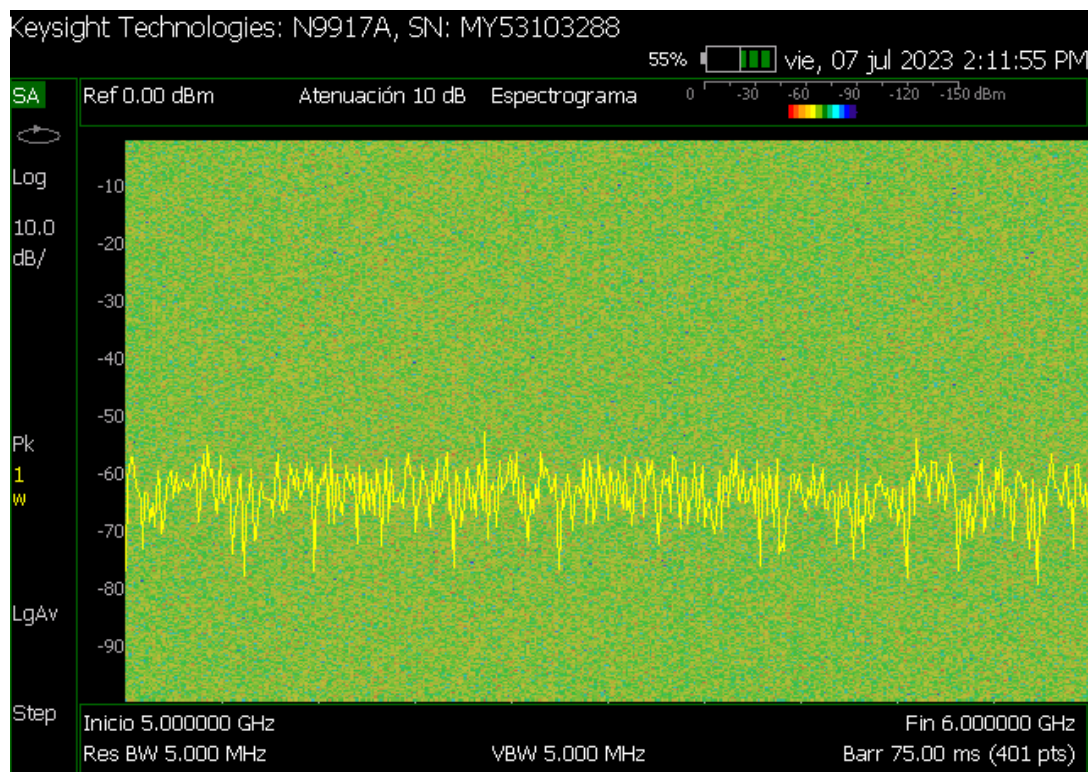


Figura 4.45: Frecuencia en el Rango de 5 GHz a 6 GHz en el Mirador de Sinchaguasin

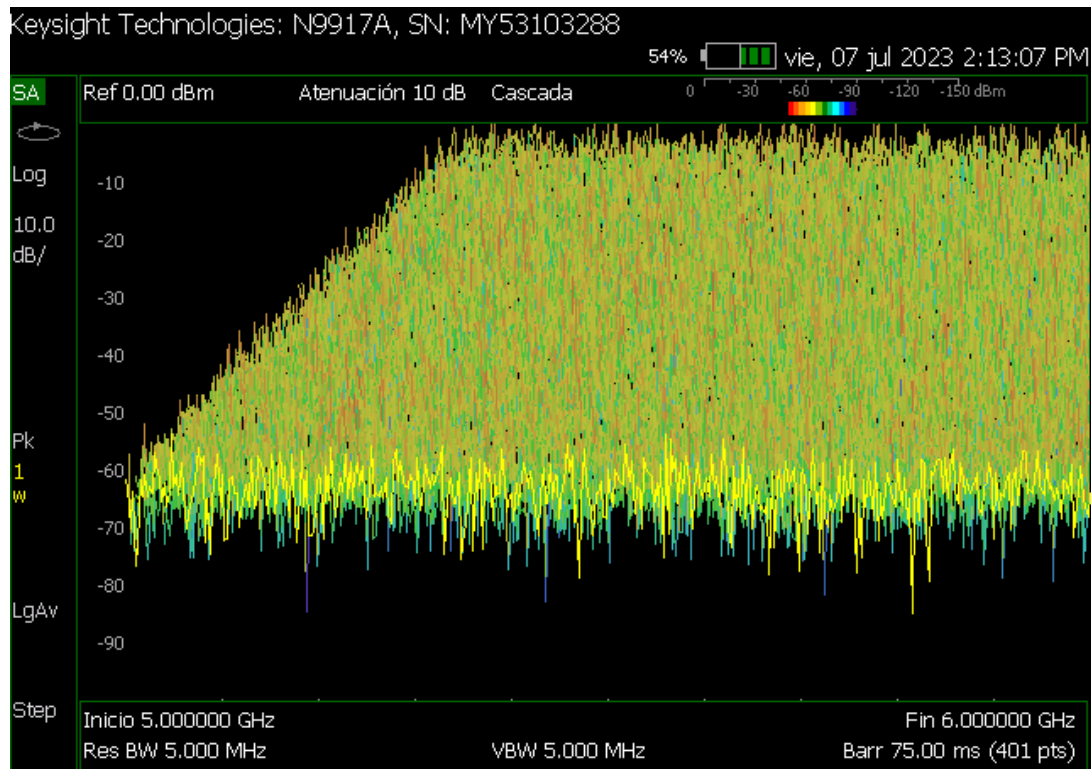


Figura 4.46: Frecuencia en el Rango de 5 GHz a 6 GHz en el Mirador de Sinchaguasin en Cascada

4.5. Resultados Topa Monta (Mirador Los Gigles).

Topa Monta se encuentra situada en una zona rural, a una altura de 3795.661 (m s. n. m.). La obtención de datos se realizó a las 16:12:19 en presencia de un clima soleado y cielo despejado, con una humedad del 72 % y una temperatura de 12.77 °C.

De acuerdo a las condiciones meteorológicas y utilizando el analizador de espectros se obtuvieron los siguientes resultados:

- Se detectó una buena potencia de las emisoras de radio FM que operan en las frecuencias de 95.3 MHz, 102.1 MHz y 105.3 MHz. Tomando en cuenta que la mejor potencia pertenece a la emisora de 102.1 MHz con una potencia de -50 dBm.
- Se aprecian comunicaciones móviles en un rango de frecuencias desde 750 MHz hasta 1 GHz y un ligero uso en un rango de frecuencias desde 2 GHz hasta 2.25 GHz.

- Se encontraron frecuencias asignadas a la transmisión de televisión y algún otro servicio.
- Se registraron poco uso de otras frecuencias relacionadas con redes inalámbricas como WIFI y WIMAX.

4.5.1. Rango de Alta Frecuencias (HF) 0 a 300 MHz - Topa Monta (Mirador Los Gigles)

Las Figuras 4.47 y 4.48 permiten observar las emisoras de radio presentes en la zona, sobresaliendo tres de ellas sobre el resto: 95.3 MHz, 102.1 MHz y 105.3 MHz, con una potencia de -53 dBm, -50 dBm y -55 dBm respectivamente. Donde, la emisora de interés es la que presenta una mayor potencia en la zona de medición. Además, este es el punto rural con mayor potencia recibida en comparación con las demás zonas rurales mencionadas previamente donde se realizaron mediciones (Hacienda San Agustín de Callo y Mirador de Sinchaguasin).

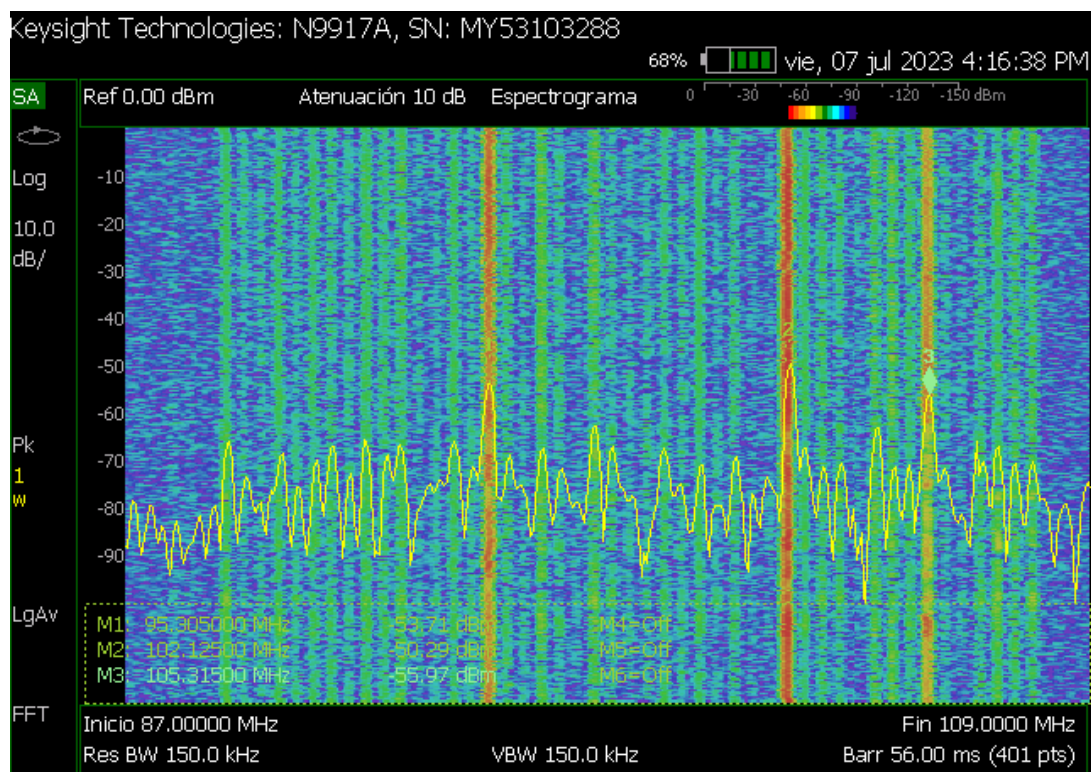


Figura 4.47: Frecuencias de Radio FM en Topa Monta

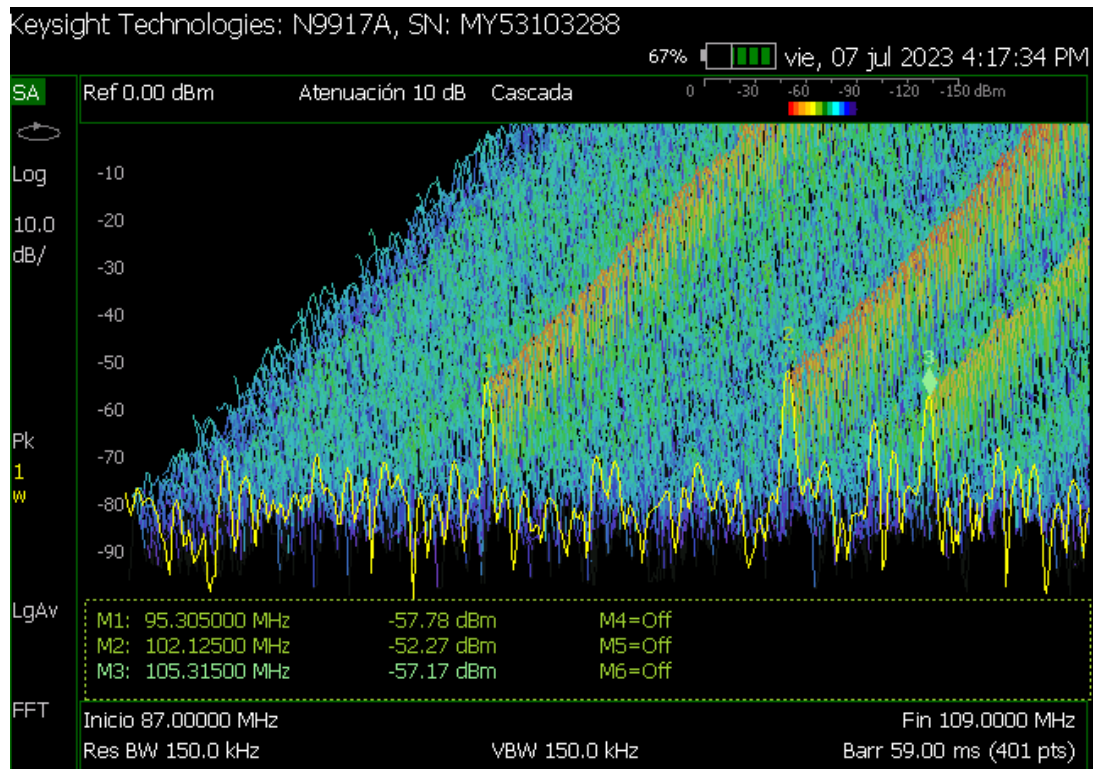


Figura 4.48: Frecuencias de radio FM en Topa Monta en Cascada

En el espectro de las Figuras 4.49 y 4.50, es evidente que se utiliza el canal de televisión 10, el cual tiene una potencia de -66.45 dBm. También se observa que en la frecuencia de 228.9 MHz, con una potencia equivalente de -69.61 dBm, podría atribuirse a los servicios EQA.25 o los servicios de radio MÓVIL y FIJA. Según el Plan Nacional de Frecuencias del Ecuador, estas frecuencias pueden utilizarse en el rango de 225-235 MHz.

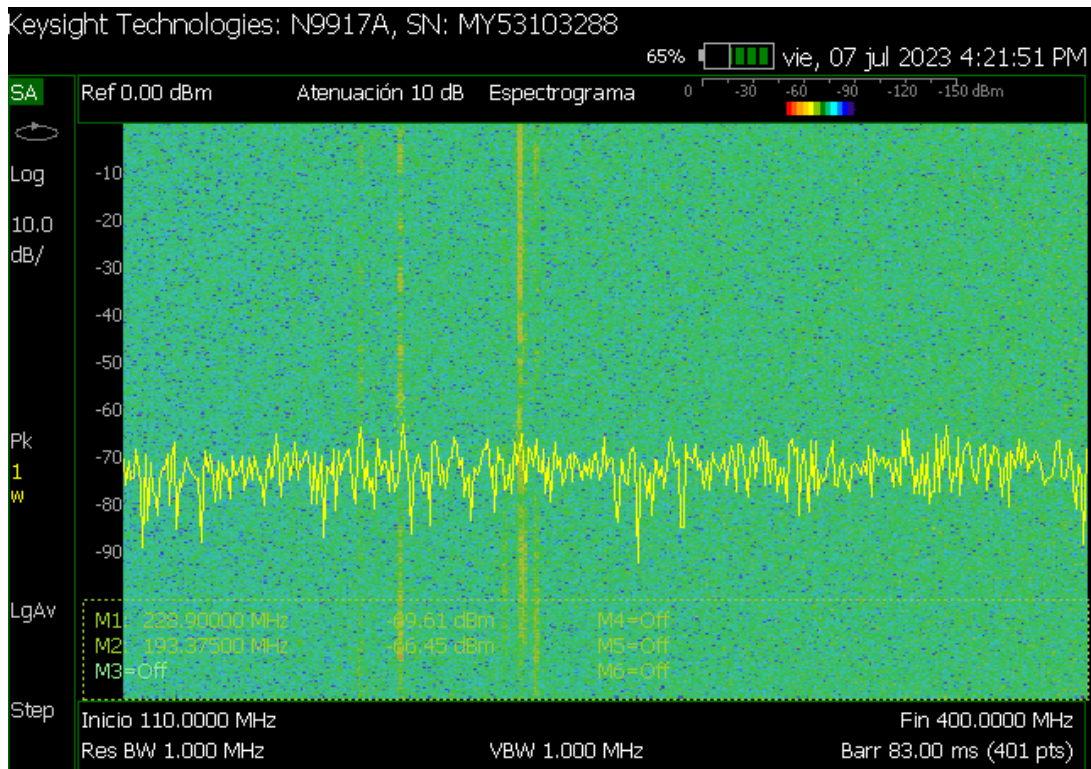


Figura 4.49: Frecuencia en el Rango de 110 Mhz hasta 400 Mhz (Televisión) en Topa Monta

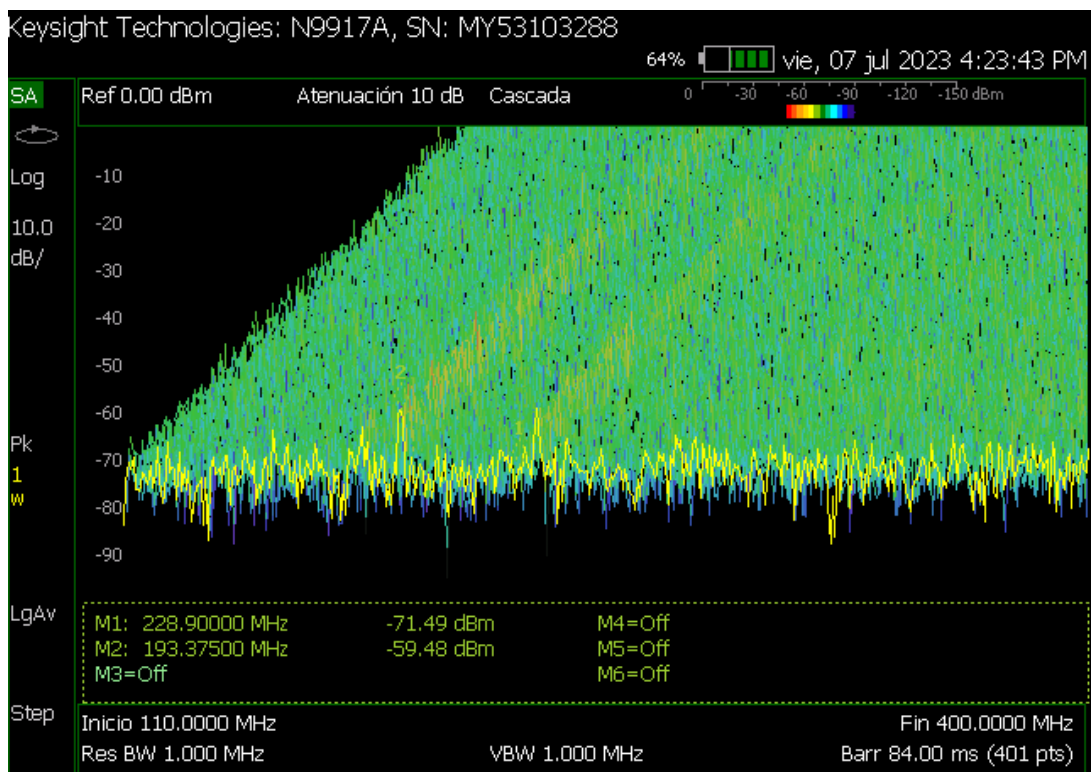


Figura 4.50: Frecuencia en el Rango de 110 Mhz hasta 400 Mhz (Televisión) en Topa Monta en Cascada

4.5.2. Rango de Ultra Alta Frecuencias (UHF) 300 MHz a 3 GHz - Topa Monta (Mirador Los Gigles)

Las Figuras 4.51 y 4.51 muestran las bandas B2, B4, B5, mismas que son importantes para las comunicaciones móviles. Sin embargo, las Figuras 4.53 y 4.54 ofrecen una mejor percepción de la banda B5. En esta zona rural se puede apreciar el uso de tecnologías de tercera y cuarta generación, en comparación con las mediciones realizadas en otras zonas rurales como son los miradores Chasqui y Sinchaguasin, donde no se detectaba la banda B4, es decir 4G.

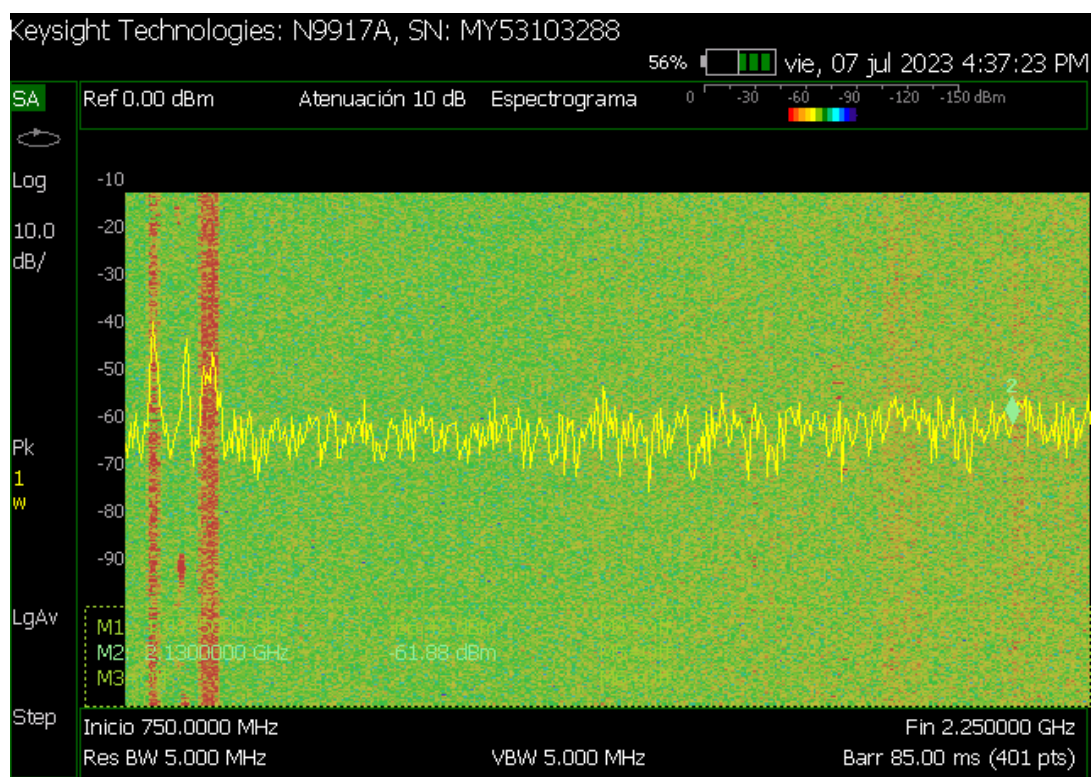


Figura 4.51: Frecuencia de Comunicaciones Móviles en el Rango de 750 Mhz a 2.25 GHz en Topa Monta

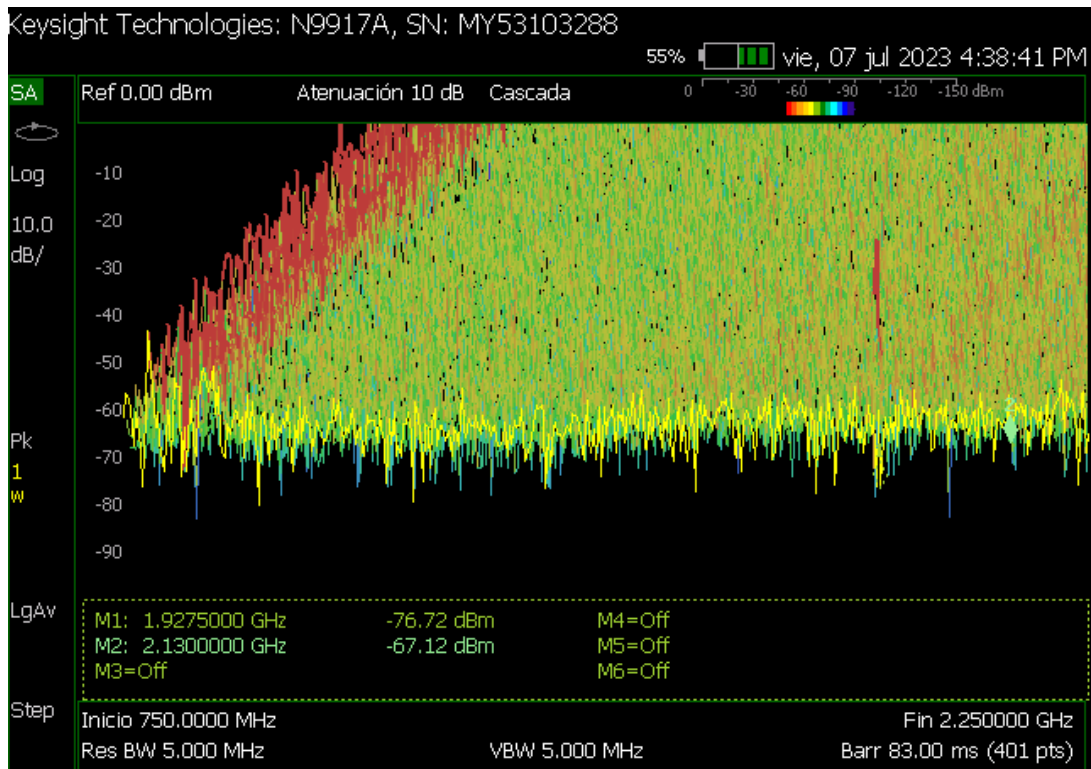


Figura 4.52: Frecuencia de Comunicaciones Móviles en el Rango de 750 Mhz a 2.25 GHz en Topa Monta en Cascada

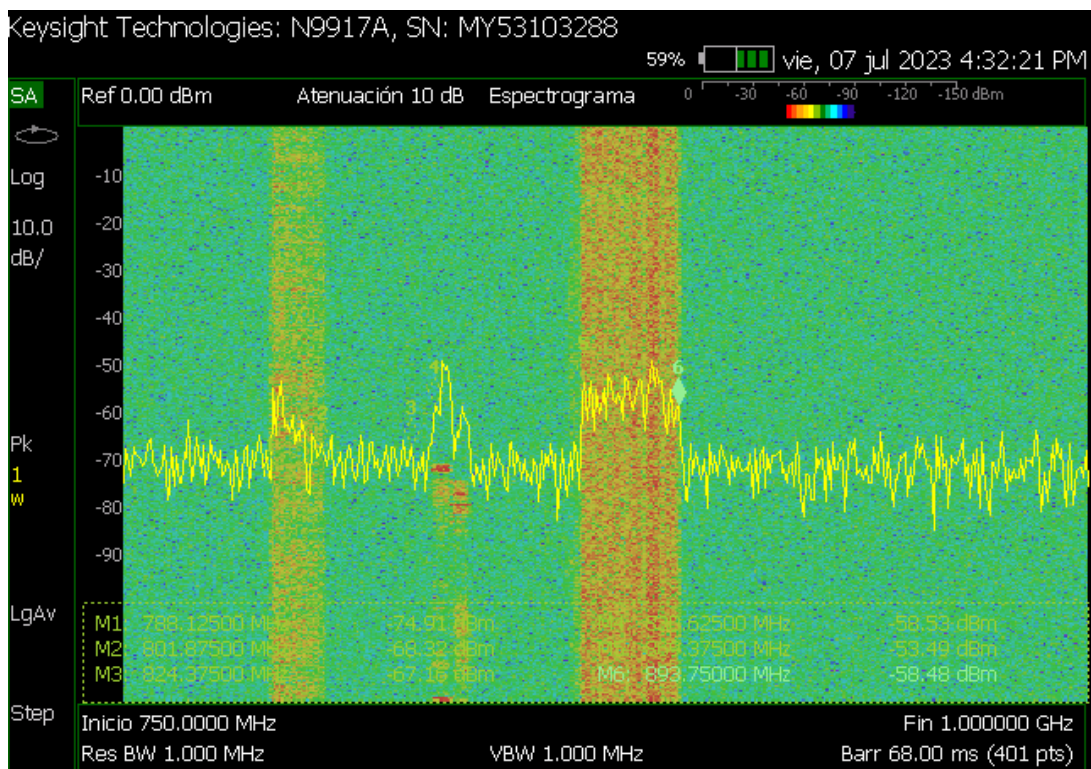


Figura 4.53: Frecuencia de Comunicaciones Móviles en el Rango de 750 Mhz a 1 GHz en Topa Monta

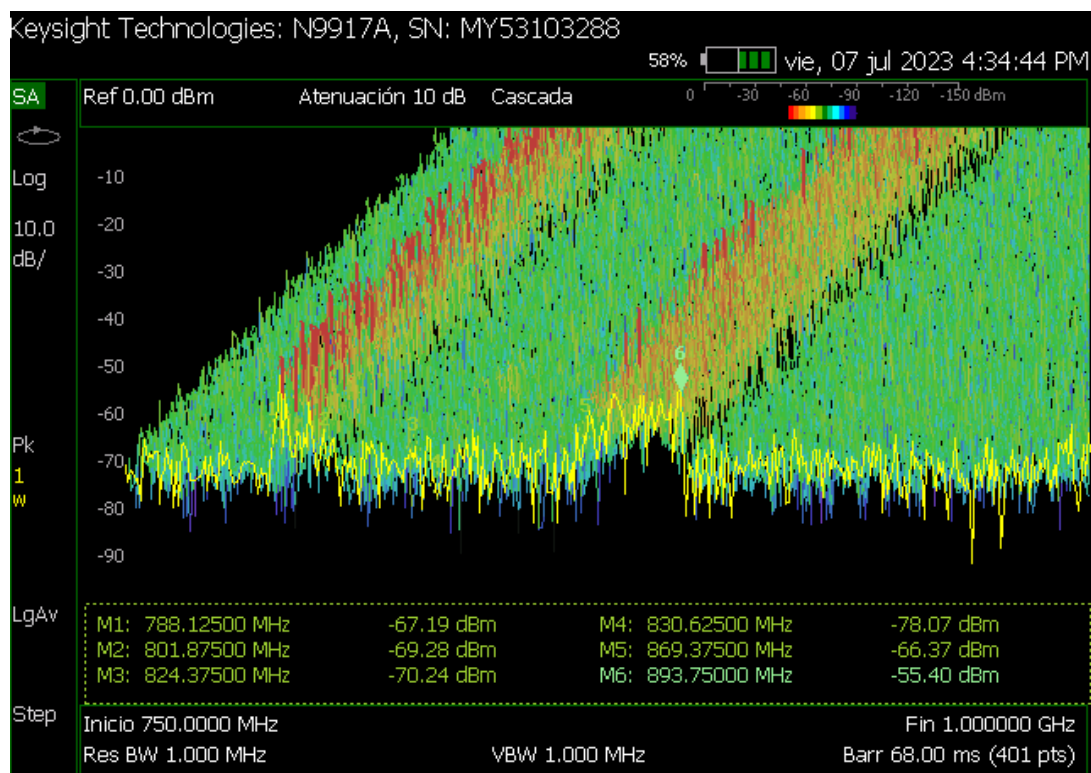


Figura 4.54: Frecuencia de Comunicaciones Móviles en el Rango de 750 Mhz a 1 GHz en Topa Monta en Cascada

4.5.3. Rango de Ultra Alta Frecuencias (UHF) 2,5 a 3 GHz y Super Alta Frecuencias (SHF) 3 a 5 GHz - Topa Monta (Mirador Los Gigles)

Las Figuras 4.55 y 4.56 muestran el uso de la banda de 2.4 y 2.5 GHz, se observa un bajo consumo del espectro de frecuencias, con cortas ráfagas de potencias captadas. Siendo un hecho interesante debido a la ausencia de proveedores de internet por medio de fibra óptica u cobre. Por otro lado, la banda de 5 GHz se encuentra libre como lo muestran las Figuras 4.57 y 4.58.

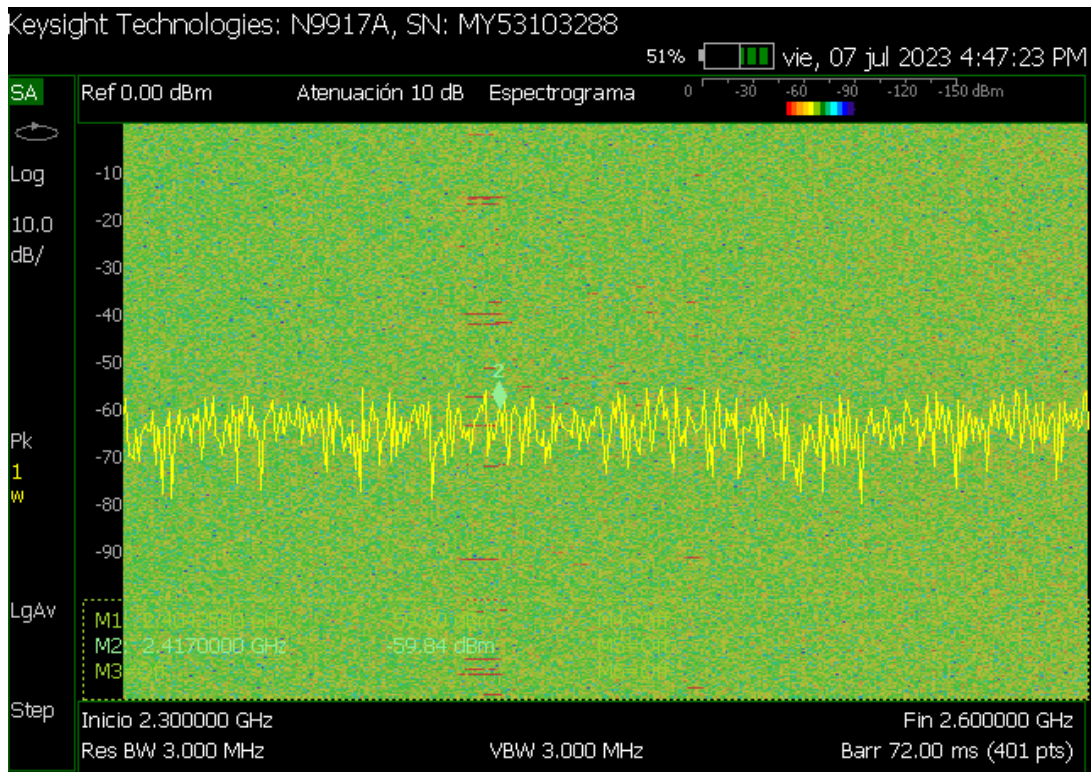


Figura 4.55: Rango de 2.3 GHz a 2.6 GHz en Topa Monta

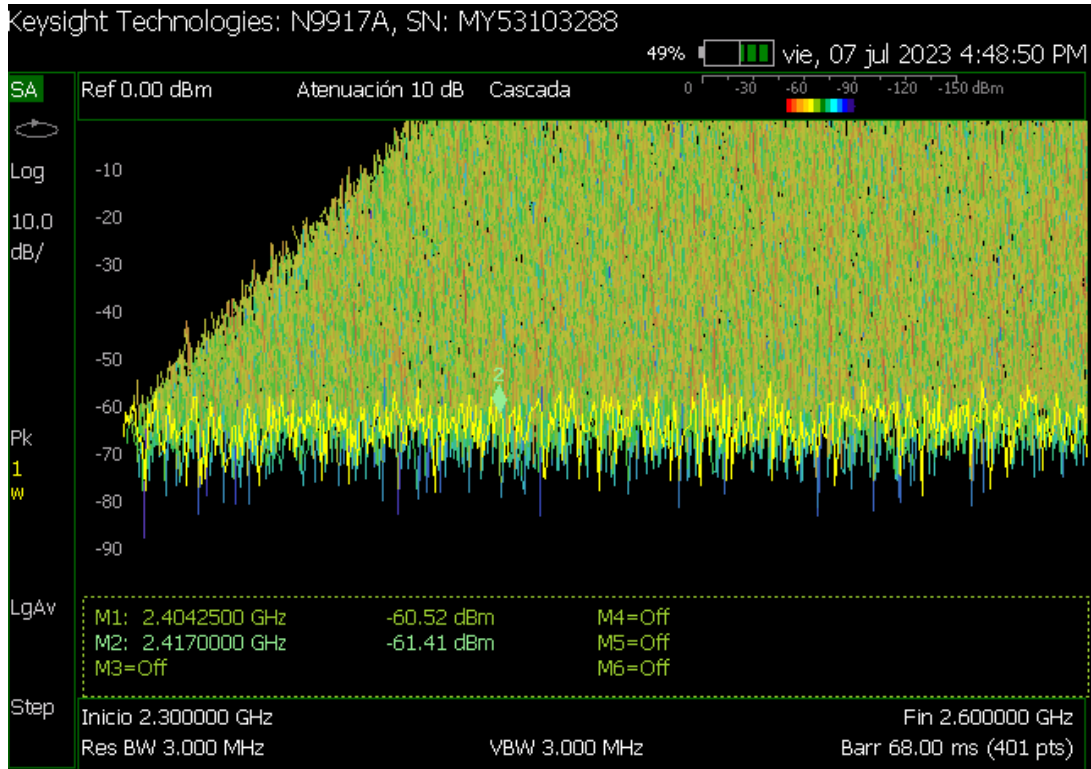


Figura 4.56: Rango de 2.3 GHz a 2.6 GHz en Topa Monta en Cascada

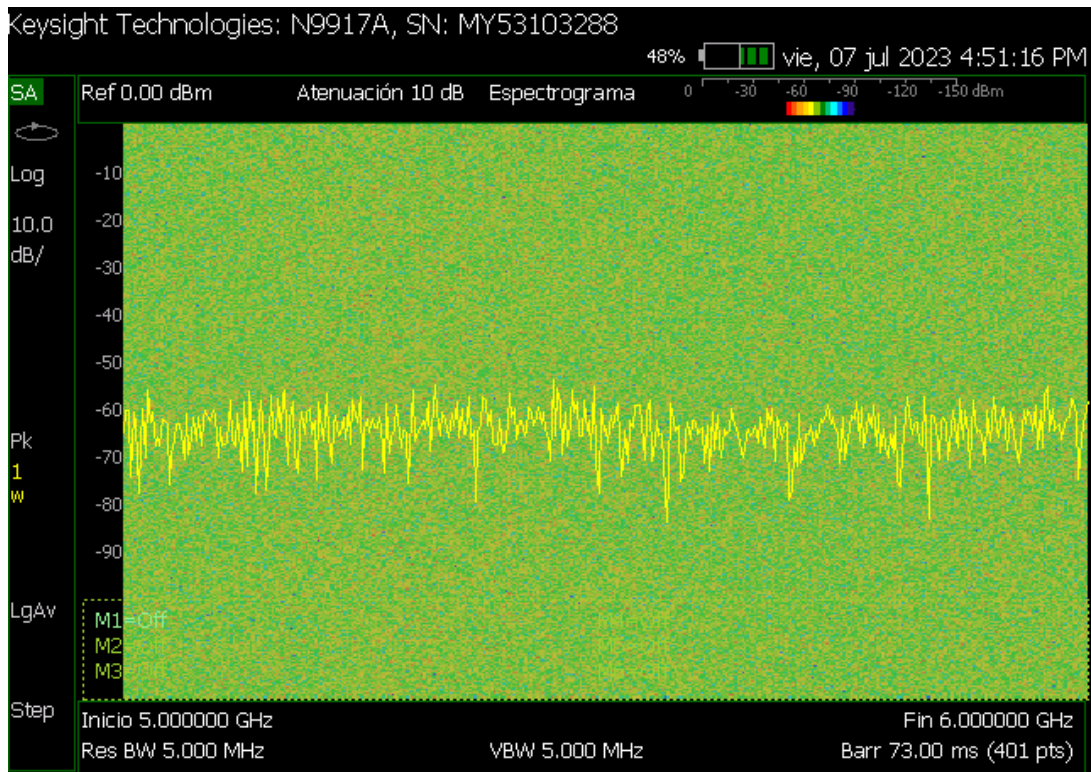


Figura 4.57: Rango de 5 GHz a 6 GHz en Topa Monta

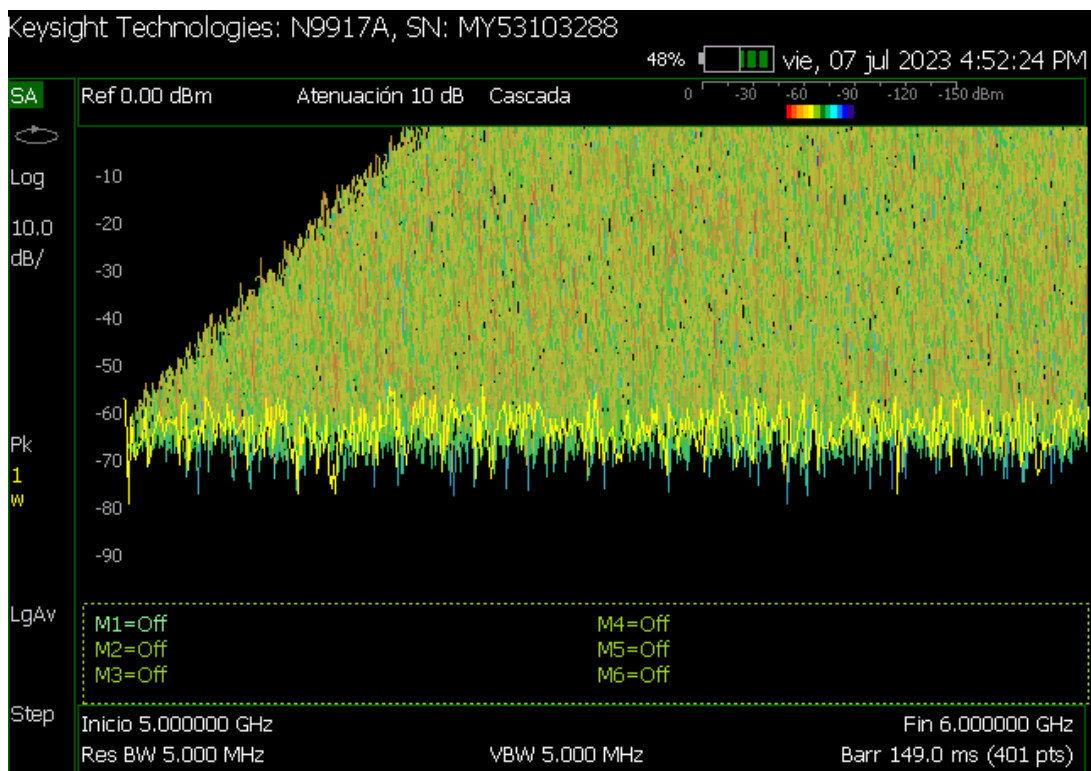


Figura 4.58: Rango de 5 GHz a 6 GHz en Topa Monta en Cascada

Esta área de medición sería ideal para establecer un enlace mediante WiMAX

debido a la ausencia de postes. Esto ha resultado en una conectividad nula con las viviendas de la zona.

Capítulo 5

Conclusiones y Trabajos Futuros

5.1. Conclusiones

- Se logró un análisis del efecto de la caída de cenizas volcánicas en las telecomunicaciones.
- Al estudiar el proceso de emisión de la ceniza volcánica se percató que debido a su composición puede alcanzar grandes distancias afectando áreas como la agricultura, salud e infraestructuras.
- Se estableció un protocolo de medición de potencia de las señales de las telecomunicaciones, tomando cinco puntos estratégicos entre áreas urbanas, rurales, cercanas y lejanas al volcán Cotopaxi. En el protocolo se encuentran presentes frecuencias de radio, televisión, comunicaciones móviles, WIFI y WIMAX, de tal manera de en un futuro mantener un monitoreo constante de más de una sola tecnología de comunicación que se encuentre con los efectos de la ceniza volcánica.
- Se logró analizar que existe una mayor concentración de emisoras FM en las zonas urbanas como por ejemplo el Mirador del Calvario, también en la más alejada del volcán como fue el caso de Topa Monta donde la potencia de todas sus emisoras rondaba los -50 dBm. En el Mirador de Sinchaguasin presentó la mayor potencia en la emisora de análisis (102.1 MHz) con -46 dBm. Esto es

debido a que está próxima a una zona urbana y es la ubicación que se encuentra en medio de todas las zonas de medición.

- En las zonas de El mirador del Calvario, La Hacienda San Agustín de Callo y Topa Monta, dentro del espectro de televisión se logró captar en adición a los canales de televisión, el uso de frecuencias que posiblemente estén asociados a servicios de radiodifusión, radio móvil y fija. Esto puede atribuirse al aeropuerto que se ubica en la ciudad de Latacunga.
- El análisis del rango de UHF de 300 MHz a 3 GHz reveló diferencias significativas entre las zonas rurales y urbanas en cuanto a la tecnología móvil disponible. En las áreas rurales, donde la densidad de usuarios es baja, se limitó el acceso a tecnología de hasta la tercera generación. En contraste, en las zonas urbanas, pudimos identificar el uso de tecnología de cuarta generación. Un hallazgo particular ocurrió en la zona de Topa Monta, a pesar de su ubicación remota y rural, se detectaron frecuencias de comunicaciones móviles de cuarta generación.
- Los resultados señalan un mayor consumo de servicios de WiFi en El Mirador del Calvario en el rango de UHF de 2,5 a 3 GHz y SHF. Esto se debe a que esta área, al ser una zona urbana, se midieron las redes WiFi de las viviendas cercanas. En contraste, en el resto de las áreas de medición, que son zonas rurales, se observó un uso limitado de estas tecnologías.
- Uno de los resultados más sorprendentes fue en la zona de Topa Monta que al ser uno de los lugares más aislados, fue la zona rural que más servicios presento. Dejándonos con la duda de ¿Cuál es la razón de este fenómeno?. Debido a la ausencia de proveedores de internet por medio de fibra óptica u cobre, y teniendo un número de pobladores muy pobre en la zona de medición.
- En el caso de una catástrofe con presencia de este fenómeno, la comunicación de alertas se encuentran bajo riesgo, por lo cual mediante una tecnología de medición, específicamente un analizador de espectros, permite observar cambios en las potencias de las señales de telecomunicaciones, de tal manera de evitar y

corregir cualquier problema de la radiodifusión de alertas de riesgo.

5.2. Recomendaciones

- Usar antenas específicas para cada frecuencia de los servicios de comunicación.
- Realizar revisiones previas del plan de frecuencias de la zona para un tener mejor entendimiento de las potencias captadas por el analizador de espectros.
- Probar el protocolo de propuesto en zonas que se encuentran bajo actividad volcánica, o esta sea de manera más continua.
- Se recomienda que mediante el uso de analizadores de espectros de desarrollo propio de la Universidad Politécnica Salesiana con líneas de código liberadas en internet, mantener un monitoreo continuo de dicha frecuencia, de tal manera de obtener una mejor visión del efecto de la ceniza volcánica en las telecomunicaciones.

Glosario

2G Segunda Generación – Second generation.

3G Tercera Generación – Third generation.

4G Cuarta Generación – Fourth generation.

AM Amplitud Modulada – Modulated amplitude.

ARCOTEL Agencia de Regulación y Control de las Telecomunicaciones –
Telecommunications Regulation and Control Agency.

EQA.2 servicio de radiodifusión de dato – data broadcasting service.

FM Frecuencia Modulada – Modulated frequency.

GNSS Sistema mundial de navegación por satélite – Global Navigation Satellite
System.

GPS Sistema de Posicionamiento Global – Global Positioning System.

HF Alta Frecuencias – high frequency.

IGEPN Instituto Ecuatoriano Geofísico – Ecuadorian Geophysical Institute.

ITU Unión Internacional de Telecomunicaciones – International Telecommunication
Union.

m. s. n. m. metros sobre el nivel del mar – meters above sea level.

OPS organización panamericana de la salud – Pan American Health Organization.

Radiolocalización 5.241 Servicio de ubicación de dispositivos móviles, utiliza la tecnología GNSS para definir la posición de un dispositivo en tiempo real.

SHF Super alta frecuencia – Super high frequency.

TDT Television Digital Terrestre – Digital Terrestrial Television.

UHF Ultra alta frecuencia – Ultra high frequency.

WIFI Fidelidad inalámbrica – Wireless Fidelity.

WIMAX Interoperabilidad mundial para acceso por microondas – Worldwide Interoperability for Microwave Access.

Referencias

- [1] N. Geographic, «Volcanes: qué son y cómo se forman,» *National Geographic*, no especificado. dirección: https://www.nationalgeographic.com/es/ciencia/volcanes-que-son-y-como-se-forman_18140.
- [2] E. Comercio. «Mapa interactivo de los volcanes activos y extintos del Ecuador.» (2015), dirección: <https://especiales.elcomercio.com/2015/09/mapa-volcanes/>.
- [3] Á. Rodríguez-Hernández, R. Díaz-Díaz, M. Zumbado et al., «Impact of chemical elements released by the volcanic eruption of La Palma (Canary Islands, Spain) on banana agriculture and European consumers,» *Chemosphere*, vol. 293, pág. 133 508, 2022.
- [4] T. M. Wilson, C. Stewart, V. Sword-Daniels et al., «Volcanic ash impacts on critical infrastructure,» *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C*, vol. 45-46, págs. 5-23, ene. de 2012, ISSN: 14747065. DOI: 10.1016/j.pce.2011.06.006. dirección: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1474706511001112>.
- [5] R. R. Nunes, C. Christmann, T. Ebus y H. Oertel, «Volcanic Ash Effects on Avionics – Identification of Electromagnetic Hazards And Design of Test Bench,» IEEE, mayo de 2019, págs. 1-6, ISBN: 978-9-0826-8478-0. DOI: 10.23919/AeroEMC.2019.8788969. dirección: <https://ieeexplore.ieee.org/document/8788969/>.
- [6] T. Wilson, J. Cole, C Stewart, S. Cronin y D. Johnston, «Ash storms: impacts of wind-remobilised volcanic ash on rural communities and agriculture following the 1991 Hudson eruption, southern Patagonia, Chile,» *Bulletin of Volcanology*, vol. 73, págs. 223-239, 2011.
- [7] T. M. Wilson y J. W. Cole, «Potential impact of ash eruptions on dairy farms from a study of the effects on a farm in eastern Bay of Plenty, New Zealand; implications for hazard mitigation,» *Natural Hazards*, vol. 43, págs. 103-128, 2007.

- [8] M. Erazo-Rodas, M. Sandoval-Moreno, S. Muñoz-Romero, M. Huerta, D. Rivas-Lalaleo y J. L. Rojo-Álvarez, «Multiparametric monitoring in equatorial tomato greenhouses (III): Environmental measurement dynamics,» *Sensors*, vol. 18, n.º 8, pág. 2557, 2018.
- [9] S. Cronin, C. Stewart, A. Zernack et al., «Volcanic ash leachate compositions and assessment of health and agricultural hazards from 2012 hydrothermal eruptions, Tongariro, New Zealand,» *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, vol. 286, págs. 233-247, oct. de 2014, ISSN: 03770273. DOI: 10.1016/j.jvolgeores.2014.07.002.
- [10] J. Bredow, R. Porco, M. Dawson, C. Betty, S. Self y T. Thordarson, «A multifrequency laboratory investigation of attenuation and scattering from volcanic ash clouds,» *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, vol. 33, págs. 1071-1082, 4 jul. de 1995, ISSN: 01962892. DOI: 10.1109/36.406693. dirección: <http://ieeexplore.ieee.org/document/406693/>.
- [11] R. Lara-Cueva, D. Benítez, A. Caamano, M. Zennaro y J. L. Rojo-Alvarez, «Performance evaluation of a volcano monitoring system using wireless sensor networks,» en *2014 IEEE Latin-America Conference on Communications (LATINCOM)*, IEEE, 2014, págs. 1-6.
- [12] C. E. P. A. L. y el Caribe, *La consecuencia poco natural de los desastres naturales*, es, <https://www.cepal.org/es/enfoques/la-consecuencia-poco-natural-desastres-naturales>, Accessed: 2023-4-4, abr. de 2017.
- [13] S. Dumont, S. Custódio, S. Petrosino, A. M. Thomas y G. Sottili, «Tides, earthquakes, and volcanic eruptions,» *A Journey Through Tides*, págs. 333-364, 2023.
- [14] M. Saltos, A. Velásquez, M. Aguirre, A. Villamarín, D. Ortiz y R. Haro, «Planificación Óptima de Recursos Energéticos Distribuidos para Mejorar la Resiliencia de Sistemas de Distribución de Energía Eléctrica frente a Desastres Naturales: Caso en Lahares Volcánicos,» *Revista Técnica.energía*, vol. 18, n.º 2, págs. 13-24, 2022.
- [15] Secretaría de Gestión de Riesgos, *Plan Nacional de Respuesta - SGR RespondeEC*, 2018. dirección: <https://www.gestionderiesgos.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2018/08/Plan-Nacional-de-Respuesta-SGR-RespondeEC.pdf>.
- [16] Agencia de Regulación y Control de las Telecomunicaciones (ARCOTEL), *Proyecto Normativo - Planes de Contingencia*, 2017. dirección: https://www.arcotel.gob.ec/wp-content/uploads/2017/03/PROYECTO_-NORMATIVO_PLANES_DE_CONTINGENCIA-v2.pdf.

- [17] J. E. Blumenstock, N. Eagle y M. Fafchamps, «Airtime transfers and mobile communications: Evidence in the aftermath of natural disasters,» *Journal of Development Economics*, vol. 120, págs. 157-181, mayo de 2016, ISSN: 03043878. DOI: 10.1016/j.jdeveco.2016.01.003.
- [18] A. Marshall, C.-A. Wilson y A. Dale, «Telecommunications and natural disasters in rural Australia: The role of digital capability in building disaster resilience,» *Journal of Rural Studies*, vol. 100, pág. 102 996, mayo de 2023, ISSN: 07430167. DOI: 10.1016/j.jrurstud.2023.03.004.
- [19] National Geographic, *La erupción del volcán de La Palma vivida por un fotógrafo de National Geographic*, nov. de 2021.
- [20] *Erupciones volcánicas*, es, <https://www.paho.org/es/temas/erupciones-volcanicas>, Accessed: 2023-8-21.
- [21] H. Rodríguez, «Erupciones volcánicas: qué son, qué efectos tienen y por qué son tan peligrosas,» es, *Natl. Geogr. Mag.*, ago. de 2023.
- [22] U. N. de Córdoba, *Informe Cenizas*, 2021. dirección: <http://www.cienciasdelasalud.edu.ar/cenizas/InformeCenizas.pdf>.
- [23] J. Marti, O. Font, C. Gomez et al., «Volcanic ash as a natural resource for silicon production,» *Journal of Cleaner Production*, vol. 277, pág. 123 174, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.123174>. dirección: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652620324911>.
- [24] A. Lizcano, H. Herrera y J. C. Santamarina, *Suelos derivados de cenizas volcánicas en Colombia*, 2006. dirección: https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/61951474/2006_Lizcano_Herrera_y_Santamarina20200131-81599-8useo5-libre.pdf.
- [25] D. Risco, A. Tapia, C. Armas, A. Piedra, E. Arévalo y R. Orellana, *Caracterización física y química de suelos de origen volcánico con actividad agrícola próximos al volcán Tungurahua*, 2016. dirección: https://www.researchgate.net/profile/David-Risco-2/publication/307917624_Caracterizacion_fisica_y_quimica_de_suelos_de_origen_volcanico_con_actividad_agricola_proximos_al_volcan_Tungurahua/links/57d197fc08ae5f03b48ab793/Caracterizacion-fisica-y-quimica-de-suelos-de-origen-volcanico-con-actividad-agricola-proximos-al-volcan-Tungurahua.pdf.

- [26] T. V. Ferra, *Erupción de Volcanes: [Causas, Efectos y Consecuencias]*, en, <https://energiatoday.com/volcanes/erupcion/>, Accessed: 2023-8-21, feb. de 2020.
- [27] *Erupciones Volcánicas – Secretaría de Gestión de Riesgos*, es, <https://www.gestionderiesgos.gob.ec/erupciones-volcanicas/>, Accessed: 2023-8-21.
- [28] LibreTexts, *Ingeniería de RF y Microondas*, n.d. dirección: [https://espanol.libretexts.org/Ingenieria/Diseño_de_microondas_y_RF_I_-_Sistemas_de_radio_\(Steer\)/01%3A_Introducción_a_los_sistemas_de_RF_y_microondas/1.02%3A_Ingeniería_de_RF_y_Microondas](https://espanol.libretexts.org/Ingenieria/Diseño_de_microondas_y_RF_I_-_Sistemas_de_radio_(Steer)/01%3A_Introducción_a_los_sistemas_de_RF_y_microondas/1.02%3A_Ingeniería_de_RF_y_Microondas).
- [29] A. S. Peredo, *Capítulo 1 - Introducción*, 2007. dirección: http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lem/peredo_a_s/capitulo1.pdf.
- [30] *Acta, Ciencias y Tecnología*, 2017. dirección: https://www.acta.es/medios/articulos/ciencias_y_tecnologia/062017.pdf.
- [31] International Telecommunication Union (ITU), «Frequency arrangements for implementation of the terrestrial component of International Mobile Telecommunications-2000 (IMT-2000) in the bands 806-960 MHz, 1 710-2 025 MHz, 2 110-2 200 MHz and 2 500-2 690 MHz,» inf. téc., 2003. dirección: https://www.itu.int/dms_pubrec/itu-r/rec/m/R-REC-M.1036-2-200306-S!!PDF-S.pdf.
- [32] J.-M. Chaduc y G. Pogorel, *The radio spectrum*. Wiley Online Library, 2008.
- [33] *Qué es el espectro radioeléctrico y para qué sirve*, <https://www.redeszone.net/reportajes/tecnologias/que-es-espectro-radioelectrico/>, 2021.
- [34] S. Costello. «1G vs. 2G vs. 2.5G vs. 3G vs. 4G: Comparing Generations of Cellular Network Technology.» (2021), dirección: <https://www.lifewire.com/1g-vs-2g-vs-2-5g-vs-3g-vs-4g-578681>.
- [35] *TeleSemana - Panorama de Mercado: Ecuador*, <https://www.telesemana.com/panorama-de-mercado/ecuador/>, Accedido en: 5 abril 2023.
- [36] V. Global. «¿Qué es la comunicación por satélite y por qué es importante para las empresas?» (s.f.), dirección: <https://www.verasatglobal.com/que-es-la-comunicacion-por-satelite-y-porque-es-importante-para-las-empresas/>.
- [37] Significados. «AM y FM.» (s.f.), dirección: <https://www.significados.com/am-y-fm/>.
- [38] R. Millán, *Televisión Digital Terrestre: Guía y Tutorial*, n.d. dirección: <https://www.ramonmillan.com/tutoriales/televisiondigitalterrestre.php>.

- [39] Concepto.de, *Televisión Digital*, n.d. dirección: <https://concepto.de/television-digital/>.
- [40] Agencia de Regulación y Control de las Telecomunicaciones (ARCOTEL), *Norma Técnica de Televisión Analógica*, 2015. dirección: <https://www.arcotel.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2015/06/Norma-Tecnica-de-Television-Analogica.pdf>.
- [41] A. Enríquez, J. Ortiz y B. Ahmed, *Banda Ancha Inalámbrica: WiMAX*. OmniaScience, 2014, ISBN: 9788494187223. dirección: <https://books.google.com.ec/books?id=HQq3AgAAQBAJ>.
- [42] C. Galarza y O. Washington, «Diseño de una red inalámbrica utilizando la tecnología Wimax para proveer servicio de internet en la zona urbana de la ciudad de Latacunga,» es, Tesis doct., 2017.
- [43] «El protocolo de investigación VII. Validez y confiabilidad de las mediciones,» *Revista Alergia México*, dirección: https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2448-91902018000400414.
- [44] Huawei, *Indicador de Intensidad de Señal RSSI*, n.d. dirección: <https://forum.huawei.com/enterprise/es/indicador-de-intensidad-de-se%C3%B1al-rssi/thread/997779-100239>.
- [45] S. Herasimov, M. Borysenko, E. Roshchupkin, V. I. Hrabchak e Y. Nastishin, «Spectrum Analyzer Based on a Dynamic Filter,» *Journal of Electronic Testing*, vol. 37, págs. 357-368, 3 jun. de 2021, ISSN: 0923-8174. DOI: 10.1007/s10836-021-05954-0.
- [46] C. A. Balanis, *Antenna Theory: Analysis and Design*, 4th. Wiley, 2005.