

**UNIVERSIDAD PRIVADA ANTONOR ORREGO**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA**



---

**IDENTIFICACIÓN DE PUNTOS DE DESVANECIMIENTO EN FRECUENCIA,  
MEDIANTE SIMULACIONES REALIZADAS PARA UN CENTRO POBLADO  
RURAL EN DIFERENTES BANDAS DE ACCESO, LA LIBERTAD, 2020.**

---

TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO ELECTRÓNICO

**Área de investigación:**  
ANTENAS Y PROPAGACIÓN

**AUTORES:**

Br. Angulo Collantes, Dante Martín

Br. Barrena Ugaz, Luis Alfredo

**Jurado Evaluador:**

Presidente : Azabache Fernández, Filiberto Melchor

Secretario : León Cerna, Alejandro Martín

Vocal : De La Cruz Rodríguez, Oscar Miguel

**Asesor:**

Cerna Sánchez, Eduardo Elmer

**Código Orcid:** <https://orcid.org/0000-0001-5778-2259>

**TRUJILLO – PERÚ**

**2022**

**Fecha de sustentación: 2022/02/25**

## ACREDITACIONES

### “IDENTIFICACIÓN DE PUNTOS DE DESVANECIMIENTO EN FRECUENCIA, MEDIANTE SIMULACIONES REALIZADAS PARA UN CENTRO POBLADO RURAL EN DIFERENTES BANDAS DE ACCESO, LA LIBERTAD, 2020.”

Elaborado por:

Br. Angulo Collantes Dante Martín

Br. Barrena Ugaz Luis Alfredo

Aprobado por:



---

Ing. FILIBERTO AZABACHE FERNÁNDEZ  
PRESIDENTE  
CIP N° 97916



---

Ing. ALEJANDRO M. LEÓN CERNA  
SECRETARIO  
CIP N° 177967



---

Ing. OSCAR M. DE LA CRUZ RODRÍGUEZ  
VOCAL  
CIP N° 85598



---

Ing. EDUARDO ELMER CERNA SÁNCHEZ  
ASESOR  
CIP N° 80252

**UNIVERSIDAD PRIVADA ANTONOR ORREGO**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA**



---

**IDENTIFICACIÓN DE PUNTOS DE DESVANECIMIENTO EN FRECUENCIA,  
MEDIANTE SIMULACIONES REALIZADAS PARA UN CENTRO POBLADO  
RURAL EN DIFERENTES BANDAS DE ACCESO, LA LIBERTAD, 2020.**

---

TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO ELECTRÓNICO

**Área de investigación:**  
ANTENAS Y PROPAGACIÓN

**AUTORES:**

Br. Angulo Collantes, Dante Martín

Br. Barrena Ugaz, Luis Alfredo

**Jurado Evaluador:**

Presidente : Azabache Fernández, Filiberto Melchor

Secretario : León Cerna, Alejandro Martín

Vocal : De La Cruz Rodríguez, Oscar Miguel

**Asesor:**

Cerna Sánchez, Eduardo Elmer

**Código Orcid:** <https://orcid.org/0000-0001-5778-2259>

**TRUJILLO – PERÚ**

**2022**

**Fecha de sustentación: 2022/02/25**

## DEDICATORIA

*A mis padres, esposa e hijos por ser el pilar fundamental en todo lo que soy, en toda mi educación; tanto académica como de la vida y por su incondicional apoyo perfectamente mantenido a través del tiempo. Todo este trabajo ha sido posible gracias a ellos.*

*Dante Angulo*

*A mi madre, quién hasta el día de hoy, solo anhela verme conseguir mis sueños. Y a mi hermana, quién siempre ha sido mi mejor amiga.*

*Luis Barrena*

## **AGRADECIMIENTO**

Este trabajo de tesis realizado en la Universidad Privada Antenor Orrego refleja el crecimiento como profesional egresado de la Escuela de Ingeniería Electrónica, el cual se espera pueda aportar como conocimiento para futuras investigaciones.

Nuestra gratitud al asesor de Tesis, Ing. Eduardo Elmer Cerna Sánchez, por haber confiado en este trabajo, por su valiosa dirección en la culminación de esta tesis, y también por guiarnos como docente a lo largo de una exigente carrera universitaria.

También agradecer a las personas que, de alguna u otra manera, han sido claves en nuestra formación profesional, tales como los docentes de la Escuela Profesional de Ingeniería Electrónica.

## RESUMEN

El presente trabajo de investigación comprende un estudio sobre identificación de puntos de desvanecimiento en radiofrecuencia mediante simulaciones realizadas para un Centro Poblado Rural denominado Huacapongo en el Departamento de La Libertad en las bandas de acceso comprendidas entre 1900 MHz y 2600 MHz. Para ello se tomó como referencia 37 puntos alrededor de la zona del Centro Poblado de Huacapongo y se analizó el desvanecimiento de frecuencia en las bandas de acceso de 1900 MHz, 2100 MHz, 2300 MHz y 2600 MHz. El análisis se realizó a través de 37 curvas de respuesta de señal recibida en función de la frecuencia, para cada uno de los puntos evaluados. Los resultados muestran la persistencia de 09 emplazamientos con mayor incidencia y profundidad de desvanecimientos en todas las bandas de frecuencia. Las atenuaciones de señal identificadas van desde los 3 hasta los 20 dB, con desviaciones promedio de 04 dB. De todos los puntos evaluados es el punto 9.1 ubicado en la zona noreste del centro poblado, el cual reportó 18 desvanecimientos con fluctuaciones de señal en frecuencia de hasta 20 dB. Los resultados se presentan por cada banda en mapas de tipo drive test. Asimismo, a través de mapas de calor para el consolidado de todas las bandas evaluadas.

Palabras clave: desvanecimiento, selectivo, frecuencia, emplazamiento, estación base, rural

## **ABSTRACT**

The present research work includes a study on the identification of radiofrequency fading points through simulations carried out for a rural population town called Huacapongo in the Department of La Libertad in the access bands between 1900 MHz and 2600 MHz. For this, it was taken as reference 37 points around the area of Huacapongo and the frequency fading was analyzed in the access bands of 1900 MHz, 2100 MHz, 2300 MHz and 2600 MHz. The analysis was carried out through 37 signal response curves received as a function of frequency, for each of the evaluated points. The results show the persistence of 09 sites with the highest incidence and depth of fading in all frequency bands. The identified signal attenuations range from 3 to 20 dB, with average deviations of 04 dB. Of all the points evaluated, point 9.1 is located in the northeast area of Huacapongo, which reported 18 fadings with signal fluctuations in frequency of up to 20 dB. The results are presented for each band in drive test type maps. Likewise, through heat maps for the consolidation of all the evaluated bands.

Keywords: fading, selective, frequency, location, base station, rural.

## PRESENTACIÓN

Señores miembros del Jurado:

De conformidad y en cumplimiento de los requisitos estipulados en el Reglamento de Grados y Títulos de la Universidad Privada Antenor Orrego y el Reglamento Interno de la Carrera Profesional de Ingeniería Electrónica para obtener el Título Profesional de Ingeniero Electrónico, ponemos a vuestra disposición el presente Trabajo de Tesis titulado: **“IDENTIFICACIÓN DE PUNTOS DE DESVANECIMIENTO EN FRECUENCIA, MEDIANTE SIMULACIONES REALIZADAS PARA UN CENTRO POBLADO RURAL EN DIFERENTES BANDAS DE ACCESO, LA LIBERTAD, 2020”**.

Este trabajo, es el resultado de la aplicación de los conocimientos adquiridos en la formación profesional en la Universidad, excusándonos anticipadamente de los posibles errores involuntarios cometidos en su desarrollo.

Trujillo, febrero del 2022

Br. Dante Martín Angulo Collantes

Br. Barrena Ugaz Luis Alfredo



## Índice

ACREDITACIONES .....	ii
DEDICATORIA.....	iv
AGRADECIMIENTO.....	vi
RESUMEN .....	vii
ABSTRACT .....	viii
PRESENTACIÓN.....	viiiix
Índice de Figuras.....	xi
Índice de Tablas.....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b> ii
<i>I. INTRODUCCIÓN:</i> .....	1
1.1 <i>Problema de Investigación:</i> .....	1
a. Descripción de la Realidad Problemática: .....	1
b. Descripción del problema: .....	2
c. Formulación del problema: .....	3
1.2 <i>Objetivos de la investigación:</i> .....	3
a. General.....	3
b. Específicos .....	3
1.3 <i>Justificación del estudio</i> .....	4
a. Importancia de la investigación .....	4
b. Viabilidad de la investigación .....	4
c. Alcance y limitaciones .....	4
<i>II. MARCO DE REFERENCIA</i> .....	5
2.1 <i>Antecedentes de la Investigación:</i> .....	5
2.2 <i>Marco Teórico:</i> .....	8

2.3	<i>Marco conceptual</i> .....	16
2.4	<i>Hipótesis:</i> .....	188
III.	<i>METODOLOGÍA EMPLEADA</i> .....	222
3.1.	<i>Tipo y nivel de investigación</i> .....	222
3.2.	<i>Población y muestra</i> .....	222
3.3.	<i>Diseño de investigación</i> .....	233
3.3.1.	<i>Procedimiento:</i> .....	233
3.4.	<i>Técnicas e instrumentos de investigación</i> .....	244
3.5.	<i>Procesamiento y análisis de datos</i> .....	388
4.1.	<i>Análisis e interpretación de resultados</i> .....	5252
V.	<i>DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS:</i> .....	61
VI.	<i>CONCLUSIONES</i> .....	63
VII.	<i>RECOMENDACIONES</i> .....	64
VIII.	<i>REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS</i> .....	655
ANEXO 01	..... <b>¡Error! Marcador no definido.</b>	<b>7</b>
ANEXOS 02	..... <b>¡Error! Marcador no definido.</b>	<b>8</b>

## Índice de Figuras

FIGURA 1: BANDAS DE FRECUENCIA – SUBDIVISIÓN MÉTRICA Y ABREVIATURAS .....	8
FIGURA 2: DISTRIBUCIÓN REGIONAL DE FRECUENCIAS .....	9
FIGURA 3: DENSIDAD DE PROBABILIDAD DE R .....	13
FIGURA 4: UBICACIÓN GEOGRÁFICA DEL CENTRO POBLADO HUACAPONGO.....	255
FIGURA 5: UBICACIÓN SATELITAL CON SUS PRINCIPALES VÍAS DE ACCESO DEL CENTRO POBLADO HUACAPONGO.....	266
FIGURA 6: VISTA SATELITAL DESDE ESTACIÓN BASE (EBC NIÑO) Y HUACAPONGO .....	277
FIGURA 7: PERFIL DE ELEVACIÓN DE GOOGLE EARTH .....	288
FIGURA 8: PUNTOS DRIVE TEST SOBRE MAPA SATELITAL DE HUACAPONGO.....	30
FIGURA 9: TRANCEPTOR RBS 3900 HUAWEI.....	<b>¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.4</b>
FIGURA 10: PATRÓN DE RADIACIÓN (HORIZONTAL) – ANTENA ANDEW DBXLH-6565C .....	355
FIGURA 11: PATRÓN DE RADIACIÓN (VERTICAL) – ANTENA ANDEW DBXLH- 6565C .....	366
FIGURA 12: PATRONES DE RADIACIÓN DE ESTACIÓN MÓVIL .....	388
FIGURA 13: CONFIGURACIÓN DE HERRAMIENTA DE SIMULACIÓN .....	389

FIGURA 14: REPRESENTACIÓN PUNTOS DE ANÁLISIS EN ESCENARIO DE SIMULACIÓN .....	40
FIGURA 15: REPRESENTACIÓN DE TRAYECTORIAS DE INTERFERENCIAS RESULTANTES EN ESCENARIO DE SIMULACIÓN.....	4141
FIGURA 16:RANGOS DE CLASIFICACIÓN DE NIVELES DE RECEPCIÓN .....	45
FIGURA 17:PROCESAMIENTO DE LA BANDA DE 1900 MHZ .....	466
FIGURA 18: PROCESAMIENTO DE LA BANDA DE 2100 MHZ .....	477
FIGURA 19: PROCESAMIENTO DE LA BANDA DE 2300 MHZ .....	488
FIGURA 20: PROCESAMIENTO DE LA BANDA DE 2600 MHZ .....	499
FIGURA 21: EMPLAZAMIENTOS DE FRECUENCIA EN BANDA DE 1900 MHZ .....	5353
FIGURA 22: EMPLAZAMIENTOS DE FRECUENCIA EN BANDA DE 2100 MHZ	54
FIGURA 23: EMPLAZAMIENTOS DE FRECUENCIA EN BANDA DE 2300 MHZ .....	566
FIGURA 24: EMPLAZAMIENTOS DE FRECUENCIA EN BANDA DE 2600 MHZ .....	577
FIGURA 25: MAPA DE CALOR .....	599

## ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 1: OPERACIONALIZACIÓN DE LA VARIABLE INDEPENDIENTE .....	2020
TABLA 2: OPERACIONALIZACIÓN DE LA VARIABLE DEPENDIENTE .....	211
TABLA 3: TÉCNICAS DE RECOLECCIÓN DE DATOS .....	244
TABLA 4: RESULTADOS DRIVE TEST DE SEÑAL RECIBIDA – EBC NIÑO .....	299
TABLA 5: DIFERENTES BANDAS DE ACCESO (DE 800 MHZ A 2600 MHZ)....	322
TABLA 6: CARACTERÍSTICA DE TRANSCEPTOR RBS 3900 HUAWEI .....	344
TABLA 7: CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS EN DIFERENTES BANDAS DE FRECUENCIA .....	377
TABLA 8: CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DE ESTACIÓN MÓVIL HUACAPONGO.....	377
TABLA 9: REPORTE DE DATOS .....	433
TABLA 10: PUNTOS Y SUS NÚMEROS DE DESVANECIMIENTOS .....	511
TABLA 11: PUNTOS IMPORTANTES DE MAYOR CANTIDAD DE DESVANECIMIENTOS.....	588

## **I. INTRODUCCIÓN:**

### **1.1 Problema de Investigación:**

#### **a. Descripción de la Realidad Problemática:**

Según Hidalgo S. (2006), recién a partir de la década de los 90, Perú se ha visto impulsado por un aumento en las comunicaciones. Inicialmente con las comunicaciones fijas, pero pronto viéndose superado por las comunicaciones móviles. Es así que, en el 2012 se aprueba la Ley de Promoción de la Banda Ancha y Construcción de la Red Dorsal Nacional de Fibra Óptica, con el fin de optar por la inclusión social y desarrollo económico (Loaiza Flower & Jauregui, 2015).

Esto ha generado que diferentes empresas de telecomunicaciones hayan llegado al país y con esto, la adecuada regulación de las diferentes bandas de frecuencia, las cuales han sido también implementadas para los actuales sistemas LTE y de banda ancha inalámbrica, los cuales según Saigua V. (2017), se han vuelto elementos de gran necesidad, más ahora que las comunicaciones móviles también involucran transmisión de voz, video y datos de diferente.

Sin embargo, pese a la evolución de los sistemas de comunicación inalámbrica fija y móvil, las señales que se intercambian con los usuarios, no dejan de ser ondas moduladas en radiofrecuencia, por lo cual evidentemente son afectadas por las mismas vulnerabilidades que experimenta toda onda de radio; tales como: atenuaciones, reflexiones y degradaciones en función de la frecuencia.

Los modelos tradicionales de propagación tales como el modelo de Friis proponen que la pérdida de propagación es básicamente estimable con base a la distancia del enlace y la frecuencia correspondiente, sin embargo,

otros autores como Manning, T. (2009), profundizan en el comportamiento de las pérdidas por trayecto, y respuesta en frecuencia, agregando otros factores tales como las alturas de antenas, factores climáticos y geografía del terreno. En particular la combinación de la variación en frecuencia con los factores geográficos puede llegar afectar considerablemente las reflexiones de señal recibida en el extremo distante generando fluctuaciones en función a la banda de frecuencia empleada.

Según MTC (2019), dentro de las bandas de acceso inalámbrico para servicios fijos y móviles, se encuentran los rangos correspondientes a 1900 MHz, 2100 MHz, 2300 MHz, y 2600 MHz. Para el caso de planificación acceso radio en este tipo de redes, el análisis del comportamiento de la señal recibida en función de la geografía del terreno y la frecuencia hace aún más exigente, el reto técnico de diseño dada la multiplicidad y variabilidad de cada trayecto radioeléctrico hacia los usuarios finales.

#### **b. Descripción del problema:**

Conforme el orden de ideas antes descrito, en el presente trabajo de investigación se consideró una importante oportunidad de investigación, la estimación del comportamiento de la señal recibida en función de la frecuencia, para diferentes bandas de acceso inalámbrico, identificando emplazamientos vulnerables a desvanecimiento en frecuencia en un centro poblado rural del Departamento de La Libertad, buscando con ello un aporte académico a los criterios de diseño de acceso radio en bandas de uso común en nuestro país..

**c. Formulación del problema:**

¿Cuáles son los emplazamientos en un centro poblado rural de la Libertad, que podrían ser vulnerables a desvanecimiento por frecuencia en diferentes bandas de acceso, al evaluarse mediante simulación?

**1.2 Objetivos de la investigación:**

**a. General**

- Identificar emplazamientos vulnerables a desvanecimiento por frecuencia en diferentes bandas de frecuencia mediante simulaciones en un centro poblado rural de la Libertad.

**b. Específicos**

- Identificar el emplazamiento de ubicación de una estación base de acceso inalámbrico y puntos de observación outdoor de la señal recibida en un centro poblado rural de la Libertad.
- Estimar los valores de desviación de señal recibida en cada emplazamiento para las bandas de frecuencia de 1900 MHz, 2100 MHz, 2300 MHz y 2600 MHz
- Identificar, por cada emplazamiento, curvas de recepción de señal que representen desvanecimientos en diferentes bandas de acceso inalámbrico
- Identificar en mapas de calor del centro poblado los emplazamientos que representen desvanecimientos dependientes de la frecuencia



### **1.3 Justificación del estudio**

#### **a. Importancia de la investigación**

El trabajo de investigación se justificó académicamente, al buscar caracterizar una problemática existente, aplicando conocimientos adquiridos en la formación de pre grado para relacionar una problemática actual de bandas de acceso e identificar su comportamiento en un centro poblado de la Libertad.

#### **b. Viabilidad de la investigación**

Se realizó un estudio en base de reportes de simulación. Contando con conocimiento de los principales emplazamientos de estación base, clientes, y bandas de acceso en un centro poblado de la Libertad, y los conocimientos requeridos para el desarrollo la tesis.

#### **c. Alcance y limitaciones**

La identificación de los emplazamientos que podrían ser vulnerables a desvanecimientos por frecuencia en diferentes bandas de acceso de un centro poblado de la Libertad fue obtenida a través de simulaciones de radiopropagación, y reportes de parámetros resultantes brindados por una herramienta de uso libre. Sólo se evaluaron 04 bandas de acceso disponibles para el departamento de la Libertad.

## II. MARCO DE REFERENCIA

### 2.1 Antecedentes de la Investigación:

- a. Hisham Elgannas & Ivica Kostanic (2015), en el trabajo denominado ***“Outdoor-to-indoor Propagation Characteristics of 1900 MHz Signals in Macro-cellular Environments for GSM and UMTS Systems”***, investigaron la pérdida de frecuencia cuando esta debe ingresar a edificios. Considerando que la propagación de exterior a interior es uno de los mayores puntos de interés en la transmisión de radiofrecuencias, realizaron mediciones de la pérdida de penetración en edificios para señales móviles dentro de las bandas de 850 y 1900 MHz. Estudiaron un conjunto de cuatro edificios con el objetivo de proporcionar estadísticas de primer orden de la cobertura de radio dentro de los edificios de señales que se transmiten en señales base exteriores. Considerando como variables de estudio: los efectos de la frecuencia operativa, la altura de la antena receptora, el ancho de banda y la presencia de líneas de visión. Concluyeron que la pérdida de señal es ligeramente variable; en algunos edificios es mayor la de banda ancha que banda estrecha y en otras, viceversa. Sin embargo, en ambas bandas de señal se presentan pérdidas. Concluyeron que, el promedio de pérdida tanto en banda estrecha como en banda ancha es de 16 dB con una desviación estándar de 4.5 dB.
  
- b. Choquehuanca G. (2018), en su tesis denominada ***“Análisis y diseño de un sistema basado en amplificadores bidireccionales para zonas oscuras de señal de telefonía móvil en la ciudad universitaria de la Universidad Nacional del Altiplano - Puno”***, estudió la falta de cobertura de señal móvil en la Universidad Nacional del Altiplano. Investigaron las causas de los desvanecimientos de frecuencia; dado que

existen dificultades al intentar realizar una comunicación a través de los datos móviles. Dentro de las posibles causas identificadas en el estudio, se señalaron a las obstrucciones que podría ejercer el ambiente. Se realizó un análisis y diseño de un sistema basado en amplificadores bidireccionales –un repetidor de cobertura-, para zonas oscuras sin señal móvil dentro de la Ciudad Universitaria. También se elaboraron simulaciones de radioenlace entre varios puntos, tomando coordenadas GPS y datos como la potencia y la frecuencia de la antena, todo eso dentro del programa Radio Mobile. Se obtuvieron datos con los que se discutieron los resultados de la presente investigación.

- c. Rainer, J., Huaman L., Postigo M. & Yanyachi P. (2020), en el estudio denominado ***“Measurements of 3G and 4G signal attenuation in adobe buildings structures”***, se analizaron los problemas que emergen en las localidades rurales peruanas que padecen por dificultades de cobertura 3G y 4G. Uno de las primeras razones que afectan la propagación de ondas electromagnéticas, son las construcciones de casas de adobe que suelen predominar en las zonas rurales. Analizaron la calidad de señal de las bandas tanto 3G como 4G de cobertura para edificios de adobe. Realizaron distintas mediciones, diseñando una Red Vector Analyzer (VNA) agregando antenas HyperLOG, realizando mediciones con un Samsung S8 con el software de TEMS Pocket 16.3.7.26. Mostrando una gran variación en la atenuación y calidad de la señal debido al material utilizado en adobe. Los autores obtuvieron como resultados que muestran una gran variación en la atenuación y calidad de la señal, dependiendo del tipo de uso de adobe en las paredes. Los datos servirán como referencia comparativa con los que se obtuvieron en el presente trabajo de investigación.

- d. Beltrán V., Degollado R. & López B. (2017), en su trabajo denominado **“Modelo de propagación simplificado para LTE en la frecuencia de 2.1 GHz”**, realizaron un análisis de las pérdidas de propagación de frecuencias por trayectoria y usan el método empírico de pérdidas simplificado, este posee menos dependencia de variables que suelen usar los modelos tradicionales y de datos que se obtienen en campo; además presentan mejor desempeño para la frecuencia de 2.130 GHz. Diseñaron ecuaciones del modelo simplificado y de dos áreas de la ciudad de México, las cuales ayudarán para un estudio de áreas similares. Los resultados apoyarán a desarrollar mejores modelos de estudio para la propagación de señales de frecuencia en LTE, derivadas de sus conclusiones que afirman que este método tradicional es más simple y se ajusta mucho mejor al trabajo de campo, lo cual sirvió como referencia de comparación en la presente investigación.
- e. Vaca. C. (2015), en su trabajo **“Simulación del modelo de propagación Cost 23 Walfisch-Ikegami para el canal móvil de bandas 4G”**, realizaron una simulación de bandas 4G utilizando el modelo de propagación COST 231 Walfisch-Ikegami, esto con el fin de establecer parámetros que permitan prever la calidad de la señal en transmisión y recepción. También elaboran un estudio teórico de modelos de propagación para sistemas de comunicación móvil utilizados en la actualidad. Dentro de sus resultados encontraron que en entornos urbanos se obtienen pérdidas de trayecto aceptables; pero estas pérdidas pueden verse aumentadas con el aumento de potencia de transmisión. Esto permite llevar sus resultados de su modelo COST 231WI a otras áreas como las rurales y obtener datos precisos en mediciones experimentales para determinar desvanecimientos de frecuencia; además de que este modelo es más preciso al considerar las orientaciones de las calles.

## 2.2 Marco Teórico:

### 2.2.1 Espectro Radioeléctrico

Bernardo F. (2005), la define como el conjunto de frecuencias utilizadas para transmitir información por vía radioeléctrica que se reparten en distintos servicios de telecomunicaciones. Es evidente, por esta definición, que es un recurso escaso, por lo que cada país debe gestionarlo y utilizarlo de manera correcta.

Según MTC (2020), el espectro radioeléctrico está dividido en nueve bandas de frecuencias, que se designan por números enteros, de orden mayor a menor. Ya que la unidad de frecuencia es el hertzio (Hz), tenemos las siguientes expresiones.

- Kilohertzios (kHz) hasta 3 000 kHz;
- Megahertzios (MHz) superior de 3 MHz hasta 3 000 MHz;
- Gigahertzios (GHz) superior de 3 GHz hasta 3 000 GHz;

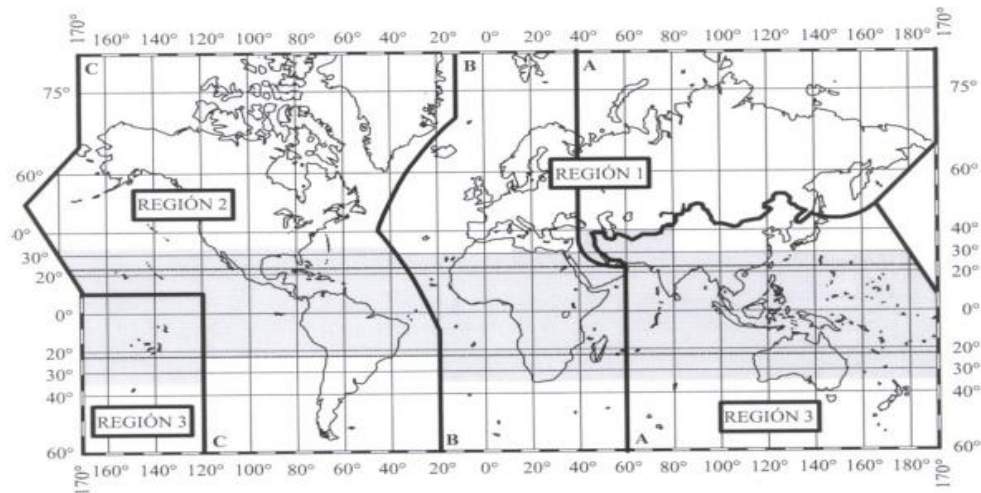
Número de la banda	Símbolos	Rango de frecuencias	Subdivisión métrica correspondiente	Abreviaturas para las bandas
4	VLf	3 a 30 kHz	Ondas miramétricas	B. Mam
5	LF	30 a 300 kHz	Ondas kilométricas	B. km
6	MF	300 a 3 000 kHz	Ondas hectométricas	B. hm
7	HF	3 a 30 MHz	Ondas decamétricas	B. dam
8	VHF	30 a 300 MHz	Ondas métricas	B. m
9	UHF	300 a 3 000 MHz	Onda decimétricas	B. dm
10	SHF	3 a 30 GHz	Ondas centimétricas	B. cm
11	EHF	30 a 300 GHz	Ondas milimétricas	B. mm
12	--	300 a 3 000 GHz	Ondas decimilimétricas	--

*Figura 1: Bandas de frecuencia – subdivisión métrica y abreviaturas*

*Fuente: MTC – 2020*

### 2.2.2 Atribución de las bandas de frecuencia

Como el espectro de radiocomunicación es un bien escaso, por lo que la Unión Internacional de Telecomunicaciones ha dividido al planeta en tres regiones de distribución. Los servicios de radiocomunicación deben cumplir lo establecido en el cuadro de atribuciones de bandas de frecuencias y sus notas adicionales.



*Figura 2: Distribución regional de frecuencias*

*Fuente: MTC - 2020*

Como se observa en la Figura 2, Perú se encuentra en la región 2. En esta región se hallan los países de las Américas, la cual comprender la zona limitada al este por la línea B y al oeste por la línea C. Por lo tanto, Perú se tiene una asignación de frecuencias de diferentes rangos. Estos rangos han sido administrados por el Ministerio de Transporte y Minas, creando su Sistema de Atribución de Frecuencias. (Ministerio de Transporte y Minas, 2008).

### 2.2.3 Sistemas de acceso inalámbrico existentes

Perú ha intentado adaptarse a los estándares 4G a nivel mundial. Este estándar se basa completamente en protocolo IP- Transmisión VoIP, datos y recepción de videos de 100Mbps en movimiento y 1Gbps en reposo. 4G utiliza la tecnología LTE, entre las que se puede hallar diferentes bandas de frecuencia que se pueden utilizar en Perú (Valera, 2015). Entre ellas se puede encontrar:

- **Banda 1900 Mhz:** Banda 2. Es utilizada para servicios 2G y 3G, pero América Móvil, esta que usa parte de este espectro para ofrecer servicios LTE.
- **Banda 2300:** Banda 40 TDD. Existen empresas que licitaron esta banda que podrían utilizarla para ofrecer servicios LTE-TDD como Americatel Perú.
- **Banda 2600:** Banda 38 y 41 TDD. Empresas de difusión televisiva, Nextel y OLO Perú tienen licitado espectro suficiente para poder ofrecer servicios LTE-TDD.

Las empresas de telefonía que trabajan en el Perú son las siguientes:

- Telefónica Móviles S.A. (marca Movistar)
- América Móvil Perú S.A.C. (marca Claro)
- Entel Perú S.A.C. (antes Nextel del Perú S.A.)
- Viettel Perú S.A.C. (marca Bitel)

Aunque pareciese que, con cuatro empresas de telecomunicaciones y las bandas dadas, ya se podría cubrir todas las necesidades actuales de accesibilidad; sin embargo, todavía falta mucho para eso.

Según La Agencia Peruana de Noticias (2018), la ministra de Transportes y Comunicaciones, María Jara, indicó que habría un reordenamiento en las bandas de frecuencia 2.3 GHz y 2.5 Ghz,

permitiendo con esto el ingreso de nuevos operadores en el servicio de telefonía móvil transmisión de datos. El propósito de esto es que los servicios de telecomunicaciones puedan llegar adecuadamente al ciudadano, mejorando los servicios de salud y educación.

#### **2.2.4 Desvanecimiento de la señal en función de la frecuencia**

Según Organismo de las Naciones Unidas (1990), Las fluctuaciones de las señales recibidas en función del tiempo y de la frecuencia que se manifiestan aleatoriamente de corta duración, variaciones de larga duración y variaciones de mediana duración; a este fenómeno se le suele denominar “desvanecimiento”. Las causas de desvanecimiento son de varios tipos, tales como:

##### **2.2.4.1. Desvanecimiento por interferencia**

- Es causada por la interferencia entre dos o más ondas que recorren trayectos diferentes. Las causas pueden ser:
- Interferencia entre la onda ionosférica y la onda de superficie
- Interferencia entre ondas ionosféricas tras reflexiones múltiples
- Interferencia entre las dos componentes magnetoiónicas inversamente polarizadas: la onda ordinaria y la onda extraordinaria.
- Interferencia entre varias pequeñas ondas dispersas por dirección en distintos centros de dispersión, causadas bien por la deriva horizontal uniforme de las irregularidades presentes en la ionosfera, bien por su movimiento aleatorio, o por ambos fenómenos.

##### **2.2.4.2. Desvanecimiento de polarización**

Es el resultado de cambios de la dirección de polarización de la onda descendente con relación a la orientación de la antena receptora, debidos a fluctuaciones aleatorias de la densidad de electrones a lo largo del trayecto de propagación



#### **2.2.4.3. Desvanecimiento de absorción**

Lo causa la variación e la absorción de la onda radioeléctrica propagada por la ionosfera, consecuencia de los cambios de la densidad de ionización. Suele durar más, pasando en ocasiones, de una hora

#### **2.2.4.4. Desvanecimiento de zona de silencio**

Puede observarse este tipo de desvanecimiento en los lugares de recepción cercanos a la zona de silencio, aproximadamente en el ocaso del sol, cuando por la inestabilidad de la densidad de ionización de la ionósfera, puede oscilar la MUF de un trayecto de transmisión alrededor de la frecuencia real.

#### **2.2.4.4. Desvanecimiento selectivo**

Ocurre a veces en una portadora modulada que las componentes de frecuencia de las bandas laterales se desvanecen de manera diferente e independientemente, originando una distorsión de la envolvente de ondulación. Esto es lo que se denomina “desvanecimiento selectivo”

### **2.2.5 Característica del desvanecimiento**

Pueden hallarse dos características predominantes en el desvanecimiento, relacionadas con las características de la variación de la amplitud de la señal recibida

#### **2.2.5.1. Profundidad de desvanecimiento**

Este tipo de desvanecimiento se mide por la distribución de la amplitud o función de la probabilidad.

### 2.2.5.1.1. Análisis de la profundidad de desvanecimiento

Es la variación en el tiempo de la señal recibida, llamado  $R$  a la amplitud de la onda descendente en un tiempo  $t$ . En este cambio de  $R$  en  $t$  aparece la función de la densidad de probabilidad de  $R$ . Esta función describe la envolvente de una señal con desvanecimiento. Obteniéndose de este modo, una de las tres curvas estadísticas:

#### Distribución de Rayleigh

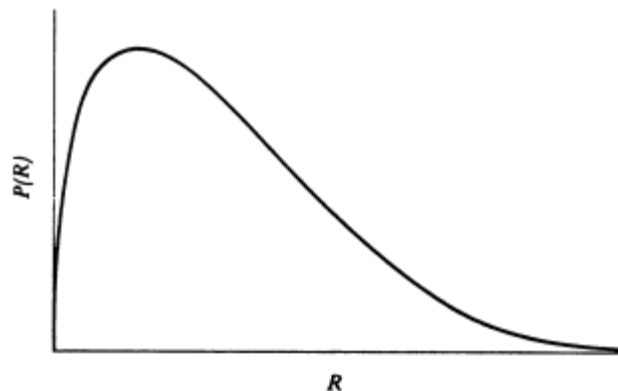
Está formada por un gran número de ondas dispersas e irregulares, que se desplazan aleatoriamente, la amplitud resultante de esta señal en el tiempo  $t$ , será la suma de los vectores de las ondas dispersas. Entonces, la densidad de probabilidad de la resultante,  $R$ , de la envolvente, se muestra como la distribución de Rayleigh:

$$P(R) = (R/\Psi)\exp(-R^2/\Psi)$$

**Donde:**

$R$ : amplitud en cualquier instante

$\Psi$ : densidad en el espectro de potencia



*Figura 3: Densidad de probabilidad de R*

*Fuente: ITU – I. 304-3 P.79*

### **2.2.6 Desvanecimiento de frecuencia en entornos móviles**

El canal de transmisión de los entornos móviles se caracteriza por recibir múltiples señales. La refracción en la ionósfera es un método de propagación que consiste en diversas capas de partículas cargadas encima de la superficie terrestre. Esto trae como consecuencia de que la señal que se dirige al receptor vaya por diferentes caminos de propagación con diferentes retardos. Estos diversos caminos se les denomina ***componentes multicamino***. Esto, generalmente posee diferentes emplazamientos de fase; por lo tanto, pueden sumarse destructivamente, este suceso es llamado desvanecimiento de la señal.

En consecuencia, este tipo de desvanecimiento es un resultado de la propagación multicamino; caracterizado por una fase de señal y una amplitud que varían aleatoriamente. Esto causa una degradación de la red.

Muchos otros son los factores que afectan la transmisión de las señales. Su intensidad se ve afectada cuando hay precipitaciones: lluvia, escarcha, nieve. Mientras más alta sea la frecuencia, la atenuación será mayor; por ende, mayor la pérdida de señal.

#### **2.2.6.1. Desvanecimiento LONG-TERM**

Este tipo de desvanecimiento es la envolvente de la señal desvanecida. También denominada media local, debido a que a lo largo del desvanecimiento cada valor es el promedio de la intensidad de campo de cada punto.

Este desvanecimiento es originado por la configuración del terreno y las construcciones entre la estación base y la unidad móvil. Dado esto, se puede tener clasificaciones como:

- Terreno Llano
- Área abierta
- Área Montañosa
- Terreno ondulado

Y el medio edificado por el hombre:

- Área suburbana
- Área rural
- Área urbana
- Área cuasi-suburbana

Estos tipos de terreno originan el desvanecimiento **long-term**, y el medio levantado por el hombre causa la atenuación.

#### **2.2.6.2. Desvanecimiento SHORT-TERM**

Este tipo de desvanecimiento es originado por las reflexiones multitrayectoria de la onda que se transmite debido a las dispersiones que se crean por causa de estructuras locales como edificios, casas, postes, etc.; también pueden ser causados por estructuras naturales como bosques o relieves elevados de terreno.

#### **2.2.6.3. Desvanecimiento en GRAN ESCALA**

Este desvanecimiento constituye el promedio de la atenuación referente a la potencia de la señal en áreas grandes. La característica de los modelos de propagación a gran escala es que logran predecir el comportamiento medio para distancias mayores a la longitud de onda. Representa cambios de valor en donde la señal del transmisor y receptor varían considerablemente.

#### **2.2.6.4. Desvanecimiento en pequeña escala**

Se caracteriza por la acelerada fluctuación de la fase y la amplitud de una señal de radiofrecuencia en un periodo corto o durante el recorrido de esta; todo esto en una distancia corta comparada con la longitud de onda.

Este tipo de desvanecimiento es originado por la interferencia destructiva y constructiva entre varias (dos o más), transcripciones de la señal que se transmite cuando llega al receptor, todo esto en un corto tiempo de diferencia. Este tipo de señales tienen la denominación de: **señales de multitrayectoria**. Las cuales se juntan en la antena receptora y crean una señal resultante la que, podría cambiar en amplitud (35 a 40 dB) y fase, esto variando según el nivel de intensidad y su distribución. Otros valores que influyen en este desvanecimiento son el ancho de banda de la señal transmitida y el tiempo de propagación de las ondas.

### **2.3 Marco conceptual**

Se definen conceptualmente los principales términos que serán utilizados en la investigación: desvanecimiento de frecuencia, atenuación, bandas de acceso, modelo Longley-Rice.

- **Desvanecimiento de frecuencia**

Se entiende como desvanecimiento de frecuencia a las fluctuaciones de las señales recibidas en función del tiempo y de la frecuencia que se manifiestan aleatoriamente de corta duración, variaciones de larga duración y variaciones de mediana duración.

- **Atenuación**

Se entiende por atenuación, a la pérdida de potencia que se da al transmitir una señal de frecuencia por cualquier medio de transmisión.

- **Bandas de acceso de frecuencia**

Se entiende como bandas de acceso de frecuencia, como los intervalos de frecuencia del espectro electromagnético, dichas bandas de acceso poseen una asignación respecto a su uso dentro de las radiocomunicaciones.

- **Modelo Longley Rice**

Se entiende como modelo Longley Rice, es un modelo empírico-estadístico el cual predice la mediana de la atenuación de una señal radioeléctrica. Es aplicable para frecuencias de 20 Mhz a 20 GHz

- **Señal de multitrayectoria**

Proceso por el que la señal enviada realiza múltiples reflexiones y difracciones de onda con un gran poder de penetrabilidad, que es gracias a las altas frecuencias utilizadas.

## **2.4 Hipótesis:**

### **2.4.1 General:**

El desvanecimiento de señal recibida en función de la radiofrecuencia puede ser identificado en más del 20% de emplazamientos exteriores en un centro poblado rural de la Libertad, al evaluarse en diferentes bandas de acceso radio mediante proceso de simulación.

### **2.4.2 Variables e indicadores**

#### **2.4.2.1 Variable Independiente**

- Radio frecuencia

#### **Definición Conceptual:**

Es la frecuencia en el orden de 1900 a 2100 MHz con la que se realiza la transmisión y recepción de señales moduladas en una red de acceso radio fija o móvil

#### **Indicadores:**

- Bandas de radio frecuencia asignadas a servicios públicos
- Rangos de inicio y fin de bandas
- Rangos de guarda
- Separación transmisión - recepción

### **2.4.2.2 Variable Dependiente**

- Desvanecimiento de señal recibida

#### **Definición Conceptual:**

Es la variación de la señal recibida en distintos valores de frecuencia pertenecientes a las diferentes bandas de acceso radio, obtenidos a partir de un proceso de simulación en un centro poblado rural del Departamento de la Libertad.

#### **Indicadores:**

- Variación ascendente en función de la frecuencia
- Variación descendente en función de la frecuencia
- Variación selectiva en función de la frecuencia
- Emplazamientos con identificación de variaciones de señal



### 2.4.2.3 Operacionalización de las variables

Tabla 1: Operacionalización de la Variable Independiente

<b>VARIABLE INDEPENDIENTE</b>	<b>DEFINICIÓN OPERACIONAL</b>	<b>INDICADORES</b>	<b>INSTRUMENTO</b>	<b>UNIDAD DE MEDIDA</b>
Radio frecuencia	Los diferentes valores de radiofrecuencia generan bandas de acceso radio duplexadas en diferentes rangos, con valores de inicio y fin y respetando guardas por adyacencias	Bandas de radio frecuencia asignadas a servicios públicos	Guía de observación	N° bandas
		Rangos de inicio y fin de bandas	Guía de observación	MHz
		Rangos de guarda	Guía de observación	MHz
		Separación transmisión - recepción	Guía de observación	MHz

Tabla 2:Operacionalización de la Variable Dependiente

<b>VARIABLE DEPENDIENTE</b>	<b>DEFINICIÓN OPERACIONAL</b>	<b>INDICADORES</b>	<b>INSTRUMENTO</b>	<b>UNIDAD DE MEDIDA</b>
Desvanecimiento de señal recibida	Se identifica la ocurrencia de desvanecimientos cuando el nivel de señal posee variación ascendente, descendente o localizada en un rango de frecuencia, para cada emplazamiento evaluado	Variación ascendente en función de la frecuencia	Reporte de simulación	dB
		Variación descendente en función de la frecuencia	Reporte de simulación	dB
		Variación selectiva en función de la frecuencia	Reporte de simulación	dB
		Emplazamientos con identificación de variaciones de señal	Estimación analítica	N° emplazamientos

### **III. METODOLOGÍA EMPLEADA**

#### **3.1. Tipo y nivel de investigación**

El tipo de la presente investigación es aplicada, puesto que se tiene una base de recomendaciones y teorías preliminares que se van aplicar en la identificación de los emplazamientos que podrían ser vulnerables a desvanecimiento en un centro rural de la Libertad.

El nivel de investigación propuesto en el presente trabajo de investigación es de tipo descriptiva. Se indagó al respecto sobre los emplazamientos a fin de poder identificar y describir las condiciones que podrían afectar a estos en un centro poblado rural de la Libertad.

#### **3.2. Población y muestra**

##### **3.2.1. Población**

La población está constituida por todos los emplazamientos de un centro poblado rural del Departamento de La Libertad, donde sea posible evaluar e identificar desvanecimientos de señal recibida en función de la radiofrecuencia, en base a un proceso de simulación.

##### **3.2.2. Muestra**

Por tratarse de una condición no determinística no existe un número finito de emplazamientos factibles de definir. Sin embargo, conforme a las capacidades de la herramienta de simulación y resolución de la cartografía digital a emplear se podrán evaluar para efectos de simulación 37 emplazamientos ubicados en el centro poblado Huacapongo, Virú, La Libertad, lo cual constituye la muestra a emplear. Sobre cada emplazamiento se realizarán 34 variaciones de frecuencia, con lo cual se generarán 1258 estimaciones que serán el punto de partida de la presente investigación. Los autores con ello, justifican la presencia de 02 investigadores para el posterior proceso y análisis de los datos generados.

### **3.2.3. Unidad de análisis**

Comportamiento de la señal recibida en función de la frecuencia en emplazamientos de un Centro Poblado Rural del Departamento de La Libertad.

### **3.3. Diseño de investigación**

El diseño de investigación del presente trabajo es de tipo documental. Se indagó respecto al comportamiento de la señal recibida en función de la frecuencia de operación, a fin de identificar desvanecimientos de señal en diferentes emplazamientos, buscando con ello obtener explicaciones sobre las áreas más favorables y menos favorables para la propagación acceso radio

#### **3.3.1. Procedimiento:**

- Identificación y selección de parámetros técnicos típicos de estación base y receptores en bandas de acceso radio usadas en Perú.
- Configuración y calibración de parámetros de simulación, a fin de reproducir un escenario cercano a implementación en un Centro Poblado Rural del Departamento de La Libertad.
- Obtención de reportes de simulación y elaboración de tablas de variación de potencia recibida en función de la frecuencia para emplazamientos outdoor en un Centro Poblado Rural del Departamento de La Libertad.
- Identificación de emplazamientos con fluctuación de señal ascendente, descendente y localizada como resultado del proceso de simulación.
- Obtención de Mapas de Calor e identificación de zonas con mayor presencia de desvanecimientos en el Centro Poblado.

### 3.4. Técnicas e instrumentos de investigación

#### 3.4.1. Técnicas

La Tabla 03 muestra las técnicas de investigación empleadas en la presente investigación.

Tabla 3:Técnicas de recolección de datos

<b>Técnica</b>	<b>Forma de aplicación</b>	<b>Forma de obtención</b>
Análisis de documentos	Identificación de parámetros de radiofrecuencia de estaciones base y de usuario en las bandas de 1900 MHz, 2100 MHz, 2300 MHz y 2600 MHz.	Obtención directa de valores de parámetros RF de estaciones base y de usuario, tales como potencia de transmisión, margen de calidad, ganancia de antenas, pérdidas internas.
Simulación	Simulación de valores de potencia recibida para cada emplazamiento exterior en las bandas de frecuencia de 1900 MHz, 2100 MHz 2300 MHz y 2600 MHz del centro poblado Huacapongo, La Libertad.	Obtención directa de valores de potencia recibida en reportes de simulación

### 3.4.2. Instrumentos

Reportes, Fichas de recolección de datos y reportes de simulación de señal recibida en 35 puntos outdoor para 34 valores de frecuencias pertenecientes a las bandas de 1900 MHz, 2100 MHz, 2300 MHz y 2600 MHz en el centro poblado de Huacapongo, La Libertad.

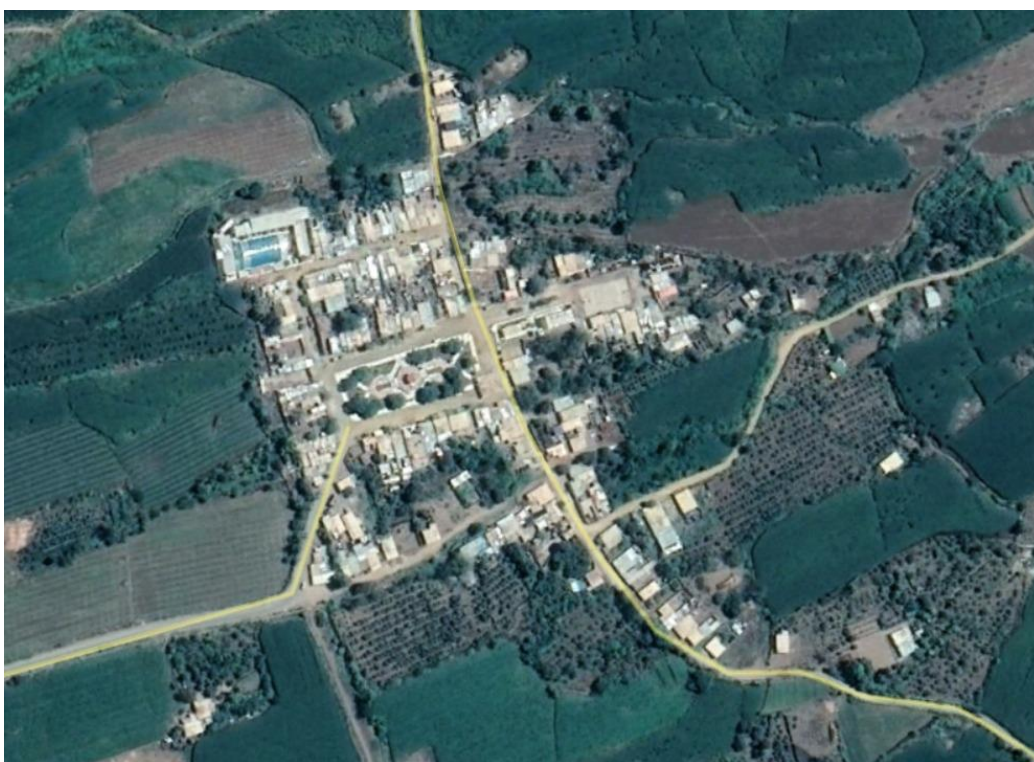
### 3.4.3. Recolección de información sobre el centro poblado Huacapongo

Desde el inicio de las redes de telecomunicación en las bandas GSM, ciertos centros poblados alejados se ven relegados de actualizaciones o de tecnología innovadora. Este es el caso del centro poblado de Huacapongo, el cual fue elegido para este estudio debido a la falta de una estación que brinde servicios móviles o de Telecomunicaciones a la población. En la Figura 4 se puede observar la ubicación geográfica del Centro Poblado Huacapongo, perteneciente a la provincia de Virú.



Figura 4: Ubicación geográfica del Centro Poblado Huacapongo

Huacapongo tiene como actividades principales a la agricultura, crianza de animales, comercio y otros. Cuentan con el centro educativo principal: Colegio San Juan y un centro de salud con el mismo nombre: Huacapongo. La Figura 05 muestra una vista satelital del Centro Poblado Huacapongo ubicado a 315 m.s.n.m. Se debe destacar que Huacapongo es un centro poblado principalmente rural, dedicado a la ganadería y agricultura como principal estructura económica.



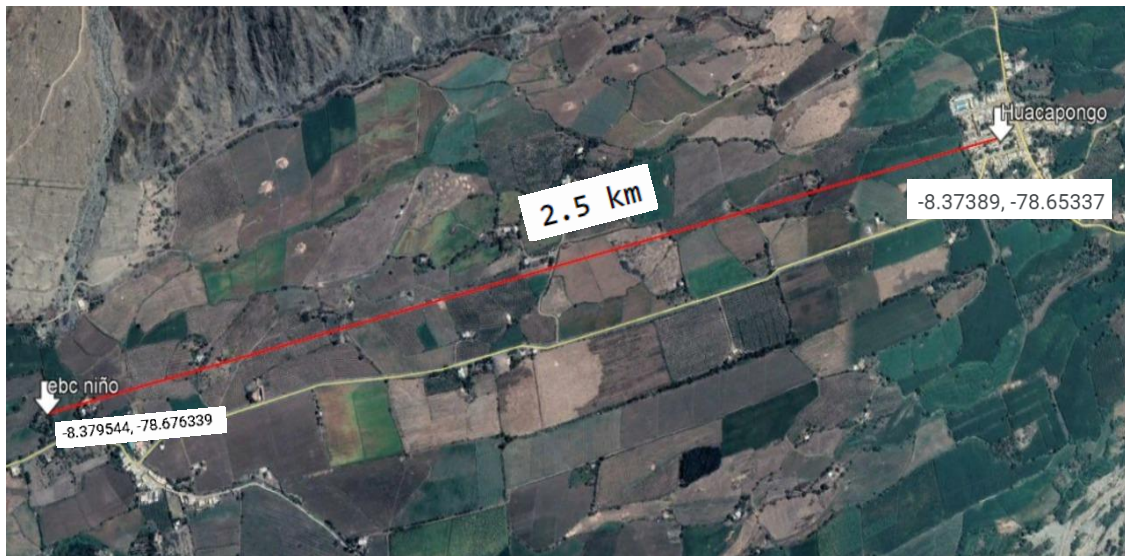
*Figura 5: Ubicación satelital con sus principales vías de acceso del centro poblado Huacapongo*

#### **3.4.4. Servicios de telecomunicaciones de Huacapongo**

La estación más cercana de telefonía móvil que brinda cobertura al centro poblado, corresponde al operador Movistar, y se encuentra a 2.5 Km de distancia del centro poblado, por lo cual el servicio móvil presenta deficiencias con una cobertura incipiente en este servicio.

El perfil del enlace para obtener cobertura, es ascendente, es decir el Centro Poblado Huacapongo se encuentra por un nivel de terreno superior a donde se encuentra ubicada la estación base más cercana (EBC Niño).

Se puede apreciar en la Figura 6 una toma satelital de la ubicación de la estación de cobertura más cercana (estación base celular Niño), ubicado a 2.5 km de distancia; con lo cual se puede apreciar en el perfil de elevación de Google Earth. Se visualiza que es un perfil ascendente y dada la distancia se justifica que la señal celular sea de un nivel bajo y así, estar expuesta a distintos desvanecimientos pudiendo llegar de una manera deficiente al Centro Poblado Huacapongo.



*Figura 6: Vista satelital desde estación base (EBC niño) y Huacapongo*

Conforme reporte de RadioMobile se puede apreciar que Huacapongo se encuentra a mayor altura que el emplazamiento EBC Niño. De la misma manera lo muestra el perfil de elevación de Google Earth en la Figura 7.



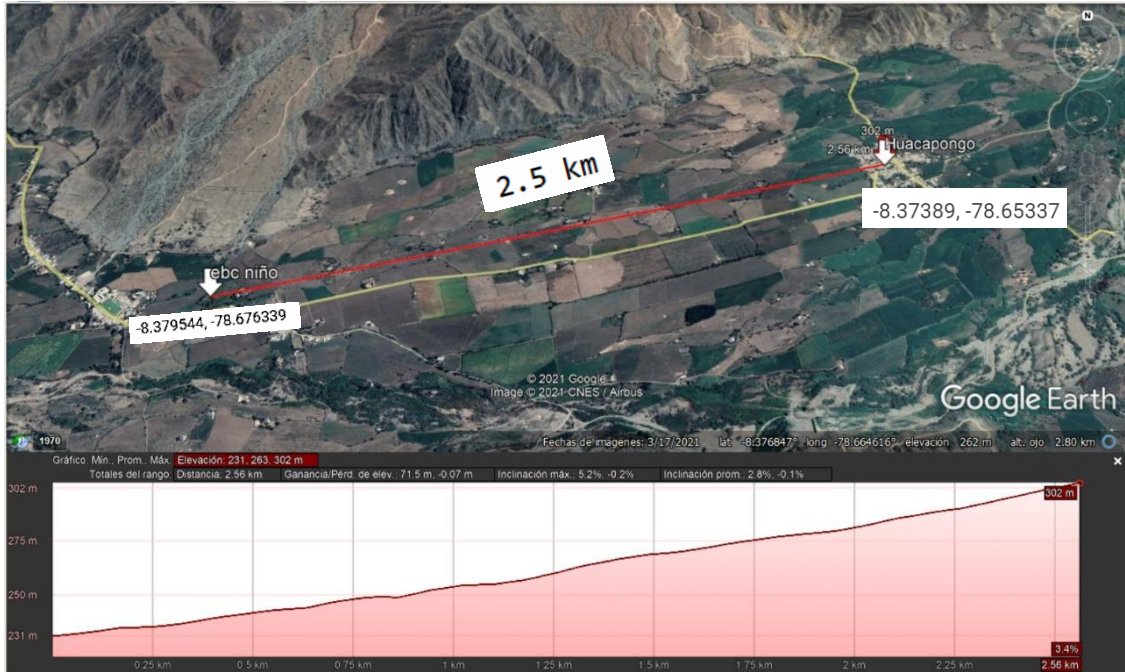


Figura 7: Perfil de elevación de Google Earth

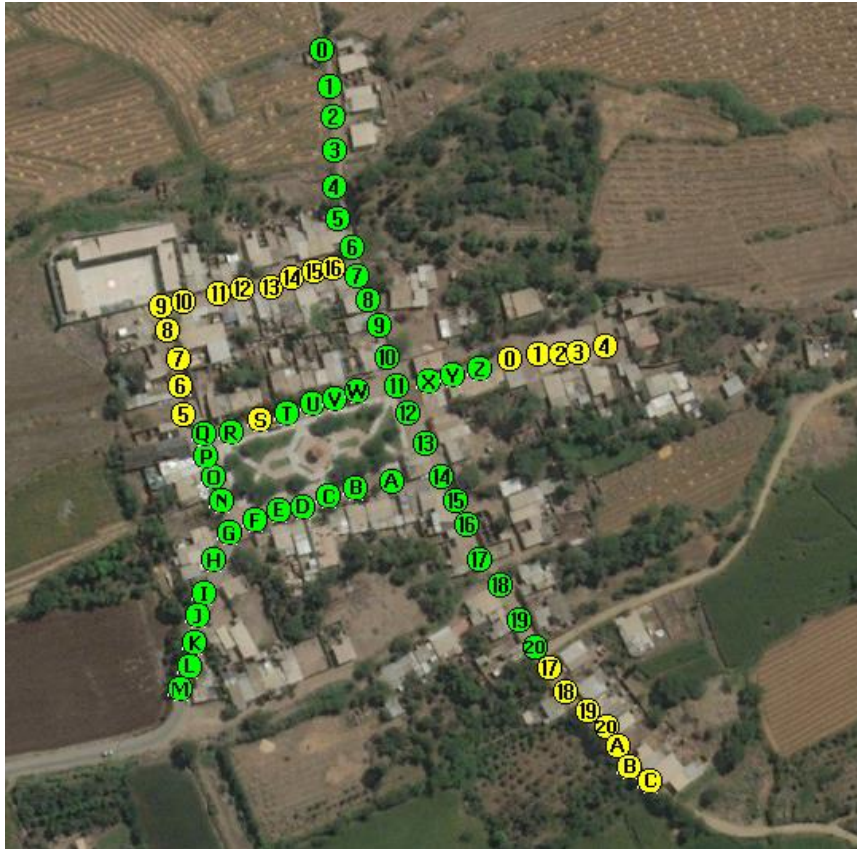
### 3.4.5. Mediciones de referencia drive test, centro poblado Huacapongo

Con el fin de tener una referencia en cuanto a la condición real de la señal que se está recibiendo proveniente de la estación EBC Niño, se realizó un drive test tomando datos de la señal recibida de dicha estación, cuyos datos se muestran en la Tabla 04.

Tabla 4: Resultados Drive Test de señal recibida – EBC Niño

N°	Pto. Medic.	Nivel de Recepcion (dBm)	N°	Pto. Medic.	Nivel de Recepcion (dBm)
1	0	-111	36	O	-108
2	1	-101	37	P	-108
3	2	-105	38	Q	-101
4	3	-101	39	R	-103
5	4	-97	40	S	-102
6	5	-101	41	T	-100
7	6	-95	42	U	-97
8	7	-97	43	V	-97
9	8	-93	44	W	-93
10	9	-100	45	X	-96
11	10	-91	46	Y	-93
12	11	-97	47	Z	-95
13	12	-91	48	0	-91
14	13	-103	49	1	-97
15	14	-99	50	2	-92
16	15	-98	51	3	-98
17	16	-101	52	4	-97
18	17	-103	53	5	-101
19	18	-101	54	6	-101
20	19	-101	55	7	-103
21	20	-93	56	8	-102
22	A	-99	57	9	-98
23	B	-102	58	10	-103
24	C	-100	59	11	-102
25	D	-99	60	12	-103
26	E	-100	61	13	-102
27	F	-93	62	14	-107
28	G	-95	63	15	-101
29	H	-101	64	16	-102
30	I	-112	65	17	-99
31	J	-101	66	18	-97
32	K	-107	67	19	-101
33	L	-101	68	20	-104
34	M	-110	69	A	-102
35	N	-98	70	B	-103
			71	C	-103

A partir de la Tabla 04, se han representado en las mismas condiciones los puntos sobre el Centro Poblado Huacapongo que se muestran en la Figura 8.



*Figura 8: Puntos Drive Test sobre mapa satelital de Huacapongo*

Toda esta información recolectada sirvió para poder ajustar las condiciones de simulación y lograr adaptar el algoritmo de Radio Mobile a las condiciones de propagación medidas en el drive test tomado como referencia. Cabe destacar que los círculos de color amarillo y verde no representan la calidad de recepción; sino que son íconos representativos de la herramienta de simulación.

#### **3.4.6. Datos técnicos bandas de acceso móvil**

Conforme los datos obtenidos por el Ministerio de Transporte y Comunicaciones, se han resumido los datos de las diferentes bandas de frecuencias, correspondientes de 900 MHz, 1700 MHz, 1800 MHz, 2500 MHz y 2600 MHz. Todos estos datos se presentan a continuación en la tabla 05, donde se muestra un resumen de todas las bandas de frecuencia que fueron evaluadas con la simulación realizada. También se muestran las operadoras que tienen las concesiones de las bandas de acceso; Además de ello se presenta las regiones a las que se han asignado a esos operadores: a nivel nacional y en el Departamento de La Libertad que es lo que interesa para este estudio en particular. La Tabla completa con todas las asignaciones disponibles actualmente conforme información disponible por el Ministerio de Transportes y Comunicaciones, puede ser consultada en el Anexo 01.

Tabla 5:Diferentes bandas de acceso (de 800 Mhz a 2600 Mhz)

Banda / canal	Rango de Frecuencias (MHz)				Empresa	Asignación
	Ida		Retorno			
A	824.0	835.0	869.0	880.0	Movistar	A Nivel Nacional
	845.0	846,5	890.0	891,5		
B	835.0	845.0	880.0	890.0	Claro	A Nivel Nacional
	846,5	849.0	891.0	894.0		
CH01	894.0	898.0	939.0	943.0	Telefónica del Perú S.A.A.	A Nivel Nacional
CH02	898.0	902.0	943.0	947.0	Telefónica del Perú S.A.A.	A Nivel Nacional
CH01	902.0	915.0	947.0	960.0	Viettel Perú S.A.C.	A Nivel Nacional
A	1850.0	1865.0	1930.0	1945.0	América Móvil Perú S.A.C.	A Nivel Nacional
D	1865.0	1870.0	1945.0	1950.0	Entel Perú S.A.	A Nivel Nacional
B	1870.0	1882,5	1950.0	1962,5	Telefónica del Perú S.A.A.	A Nivel Nacional
E	1882,5	1895.0	1962,5	1975.0	Entel Perú S.A.	A Nivel Nacional
F	1895.0	1897.5	1975.0	1977.5	América Móvil Perú S.A.C.	A Nivel Nacional
C	1897.5	1910.0	1977,5	1990.0	Viettel Perú S.A.C.	A Nivel Nacional
CH01	1710.0	1715.0	2110.0	2115.0	TdP	La Libertad
CH02	1715.0	1720.0	2115.0	2120.0	TdP	La Libertad
CH03	1720.0	1725.0	2120.0	2125.0	TdP	La Libertad
CH04	1725.0	1730.0	2125.0	2130.0	TdP	La Libertad
CH05	1730.0	1735.0	2130.0	2135.0	Entel	La Libertad
CH06	1735.0	1740.0	2135.0	2140.0	Entel	La Libertad
CH07	1740.0	1745.0	2140.0	2145.0	Entel	La Libertad
CH08	1745.0	1750.0	2145.0	2150.0	Entel	La Libertad
CH09	1750.0	1755.0	2150.0	2155.0	-	La Libertad
CH10	1755.0	1760.0	2155.0	2160.0	-	La Libertad
CH11	1760.0	1765.0	2160.0	2165.0	-	La Libertad
CH12	1765.0	1770.0	2165.0	2170.0	-	La Libertad
CH13	1770.0	1775.0	2170.0	2175.0	-	La Libertad
CH14	1775.0	1780.0	2175.0	2180.0	-	La Libertad
CH01	2300.0	2305.0	2300.0	2305.0	-	La Libertad
CH02	2305.0	2310.0	2305.0	2310.0	-	La Libertad
CH03	2310.0	2315.0	2310.0	2315.0	-	La Libertad
CH04	2315.0	2320.0	2315.0	2320.0	-	La Libertad
CH05	2320.0	2325.0	2320.0	2325.0	-	La Libertad
CH06	2325.0	2330.0	2325.0	2330.0	-	La Libertad
CH07	2330.0	2335.0	2330.0	2335.0	-	La Libertad
CH08	2335.0	2340.0	2335.0	2340.0	-	La Libertad
CH09	2340.0	2345.0	2340.0	2345.0	-	La Libertad
CH10	2345.0	2350.0	2345.0	2350.0	-	La Libertad
CH11	2350.0	2355.0	2350.0	2355.0	-	La Libertad
CH12	2355.0	2360.0	2355.0	2360.0	-	La Libertad
CH13	2360.0	2365.0	2360.0	2365.0	DirecNet	La Libertad
CH14	2365.0	2370.0	2365.0	2370.0	DirecNet	La Libertad
CH15	2370.0	2375.0	2370.0	2375.0	DirecNet	La Libertad
CH16	2375.0	2380.0	2375.0	2380.0	DirecNet	La Libertad
CH17	2380.0	2385.0	2380.0	2385.0	DirecNet	La Libertad
CH18	2385.0	2390.0	2385.0	2390.0	DirecNet	La Libertad
CH19	2390.0	2395.0	2390.0	2395.0	-	La Libertad
CH20	2395.0	2400.0	2395.0	2400.0	-	La Libertad
CH01	2500.0	2505.0	2620.0	2625.0	OLO	La Libertad
CH02	2505.0	2510.0	2625.0	2630.0	OLO	La Libertad
CH03	2510.0	2515.0	2630.0	2635.0	OLO	La Libertad
CH04	2515.0	2520.0	2635.0	2640.0	OLO	La Libertad
CH05	2520.0	2525.0	2640.0	2645.0	OLO	La Libertad
CH06	2525.0	2530.0	2645.0	2650.0	OLO	La Libertad
CH07	2530.0	2535.0	2650.0	2655.0	Viettel Perú S.A.C.	La Libertad exc. Trujillo
CH08	2535.0	2540.0	2655.0	2660.0	Viettel Perú S.A.C.	La Libertad exc. Trujillo
CH09	2540.0	2545.0	2660.0	2665.0	Viettel Perú S.A.C.	La Libertad exc. Trujillo
CH10	2545.0	2550.0	2665.0	2670.0	Viettel Perú S.A.C.	La Libertad exc. Trujillo
CH11	2550.0	2555.0	2670.0	2675.0	-	La Libertad
CH12	2555.0	2560.0	2675.0	2680.0	-	La Libertad
CH13	2560.0	2565.0	2680.0	2685.0	-	La Libertad
CH14	2565.0	2570.0	2685.0	2690.0	-	La Libertad
CH15	2570.0	2575.0	2615.0	2620.0	-	La Libertad
CH16	2575.0	2580.0	2620.0	2625.0	-	La Libertad
CH17	2580.0	2585.0	2625.0	2630.0	-	La Libertad
CH18	2585.0	2590.0	2630.0	2635.0	-	La Libertad
CH19	2590.0	2595.0	2635.0	2640.0	-	La Libertad
CH20	2595.0	2600.0	2640.0	2645.0	OLO	La Libertad
CH21	2600.0	2605.0	2645.0	2650.0	OLO	La Libertad
CH22	2605.0	2610.0	2650.0	2655.0	OLO	La Libertad
CH23	2610.0	2615.0	2655.0	2660.0	OLO	La Libertad

### **3.4.7. Emplazamiento de referencia propuesto para EBC Huacapongo**

Para ubicar un emplazamiento de referencia se ha elegido un emplazamiento en las afueras del centro poblado, en una parte muy cercana a la zona de ubicación de viviendas donde puede existir un sitio ideal para que haya una cobertura con una condición sectorial hacia Huacapongo, esto debido a que una cobertura omnidireccional desperdiciaría cobertura a los alrededores. El haz de radiación horizontal en este caso es considerado a  $65^\circ$ , y respecto de las coordenadas se tiene Latitud:  $-8^\circ 22' 24.6''$  y Longitud:  $-78^\circ 39' 17.5''$ .

### **3.4.8. Características Técnicas referenciales EBC Huacapongo**

Para la estación celular se ha tomado como referencia una estación típica de uso en operadores nacionales como la RBS 3900 Huawei (mostrada en la Figura 9), la cual consta de dos unidades: una unidad indoor de banda base donde se genera todo el procesamiento de señal celular, para luego mediante un cable de fibra óptica llevar la señal a las unidades de radio frecuencia denominadas RRU. Estas unidades reciben la señal en banda base, la elevan a frecuencia intermedia, y finalmente al rango final de radio frecuencia para acoplarse a las antenas de cobertura para el área de servicio. En caso del presente trabajo de investigación, solo se tomó como referencia un sector alumbrando cobertura al centro poblado. La Tabla 6 presenta un resumen de las características técnicas del transceptor RBS 3900 Huawei.

## DBS3900

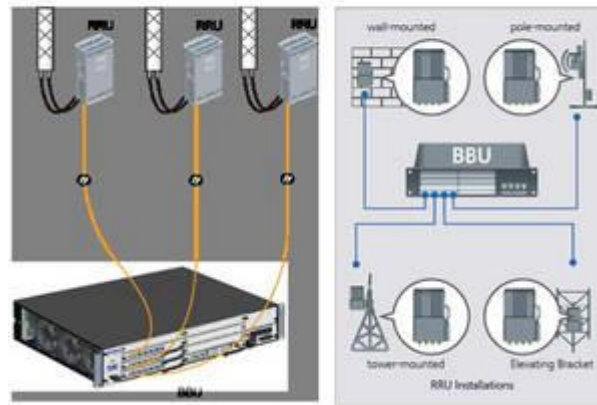


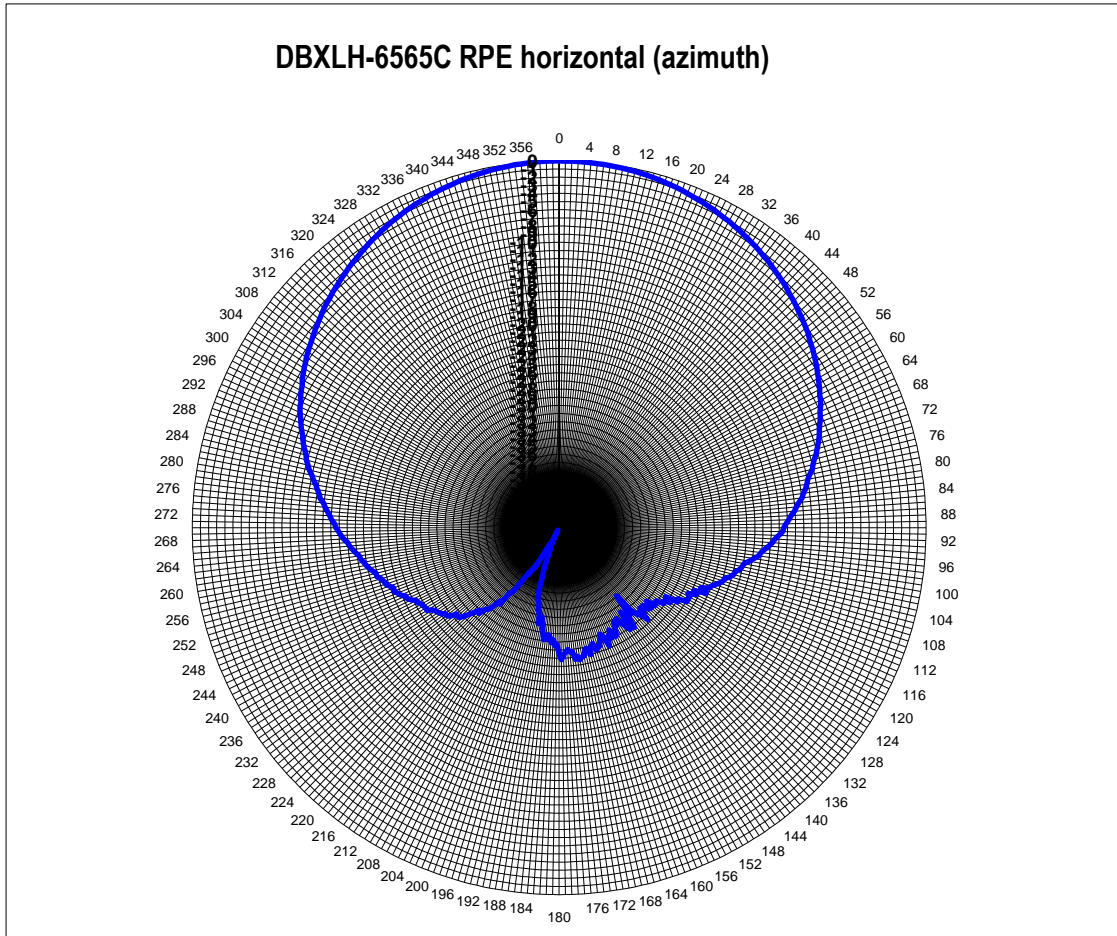
Figura 9: Transceptor RBS 3900 Huawei

Tabla 6: Características del Transceptor RBS 3900 Huawei

Transceptor	
Transceptor	RRU (unidad radio)
Ptx	30 dBm
Umbral Rx	-90 dBm
Linternas	1.5dBm

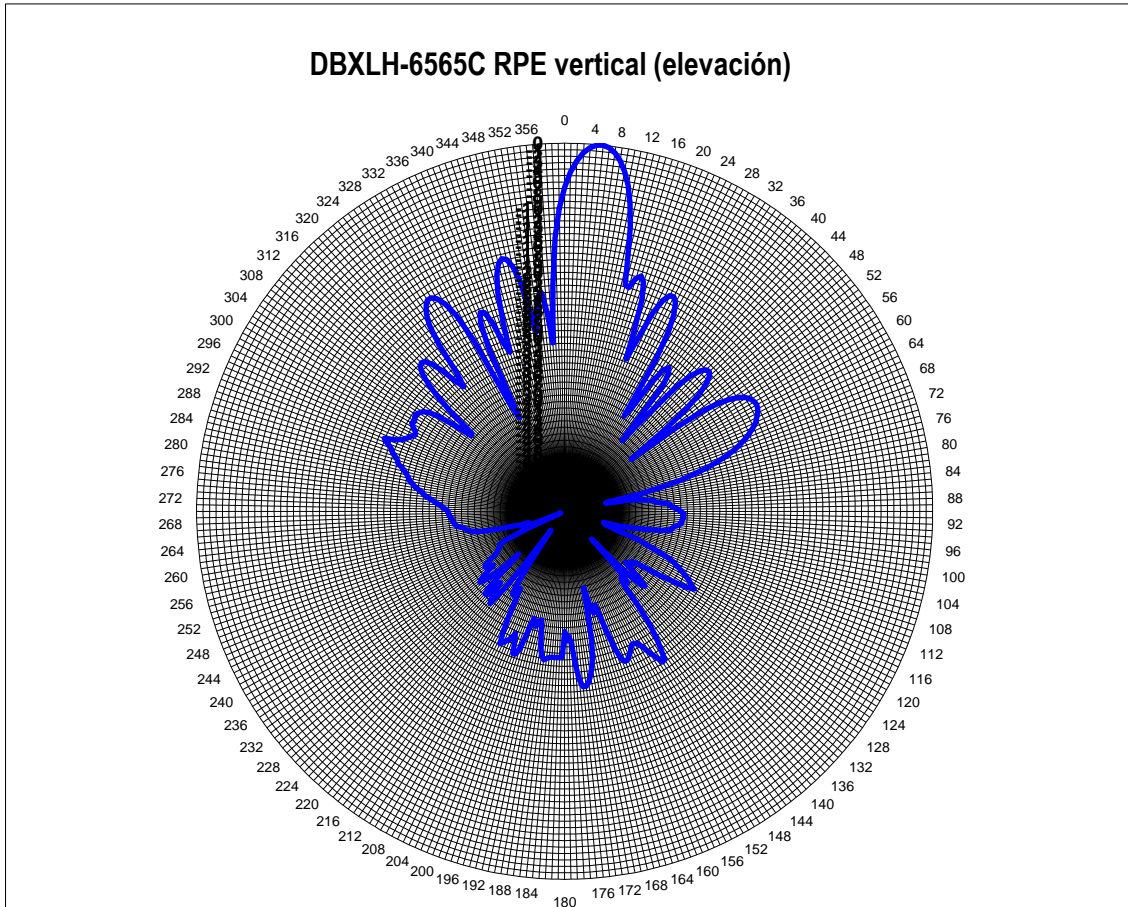
### Antena

Respecto del equipamiento típicamente utilizado por los operadores se suelen emplear antenas sectoriales de polarización cruzada (XPOL) con ángulo de apertura de  $65^\circ$ , esto es debido a que la señal llega “despolarizada” desde el móvil a la antena de la BTS. Se ha tomado como referencia la antena Andrew DBXLH-6565C. Se ha usado los datos técnicos de la antena Andrew para modelar el patrón de radiación en Radio Mobile, mostrado en la Figura 10 para el patrón horizontal (azimutal) y la Figura 11 para el patrón vertical (elevación).



*Figura 10: Patrón de radiación (Horizontal) – Antena Andrew DBXLH-6565C*





*Figura 11: Patrón de radiación (vertical) – Antena Andew DBXLH-6565C*

En la Tabla 7 se presenta un resumen de las principales características técnicas RF de la antena DBXLH-6565C, dentro de sus principales características se pueden señalar la operación en tres bandas de frecuencia, ganancia 18 dBi, ancho de haz entre 60 a 66° dependiente de la banda de frecuencia, con capacidad de variación de ángulo tilt desde 0 hasta 6°.

Tabla 7: Características DBXLH-6565C en diferentes Bandas de Frecuencia

<b>Frequency Band, MHz</b>	<b>1710–1880</b>	<b>1850–1990</b>	<b>1920–2180</b>
Gain, dBi	18.5	18.7	18.3
Beamwidth Horizontal	66	62	60
Beamwidth Vertical	4.9	4.6	4.3
Beam Tilt	0–6	0–6	0–6
USLS (First Lobe), dB	15	15	15
F/B Ratio at 180°, dB	32	32	28

### 3.4.9. Características Técnicas de referencia estación móvil Huacapongo

Para el modelamiento de la estación móvil, se utilizaron como referencia algunos patrones de radiación propuestos por Krayni, A. et al (2016) donde, se modela el comportamiento de RPEs sobre la base de una comunicación típica de una llamada de voz, tal como se muestra en la Figura 11. La radiación ideal está marcada como un círculo azul visto desde la parte superior (Plano xy) o visto desde un costado (plano xz), si una persona se encuentra sentada es el color verde y el modelamiento de una persona de pie, es de color rojo el cuál se ha utilizado. Estos patrones se han incluido en Radio Mobile para una mejor simulación. Las características técnicas para el modelamiento de la estación móvil se presentan en la Tabla 8.

Tabla 8: Características Técnicas de Estación móvil Huacapongo

<b>Estación móvil - Huacapongo</b>	
Ptx:	20 dBm
Umbral Rx	-90 dBm
Line Loss	8 dB
Patrones de radiación	voice-Standing
Ganancia de antena	0 dBi

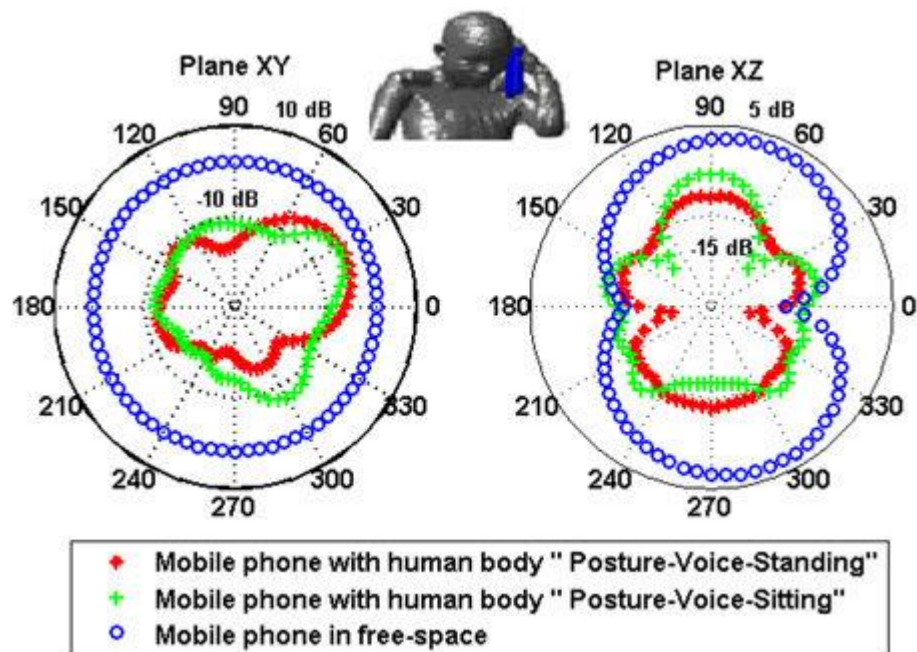


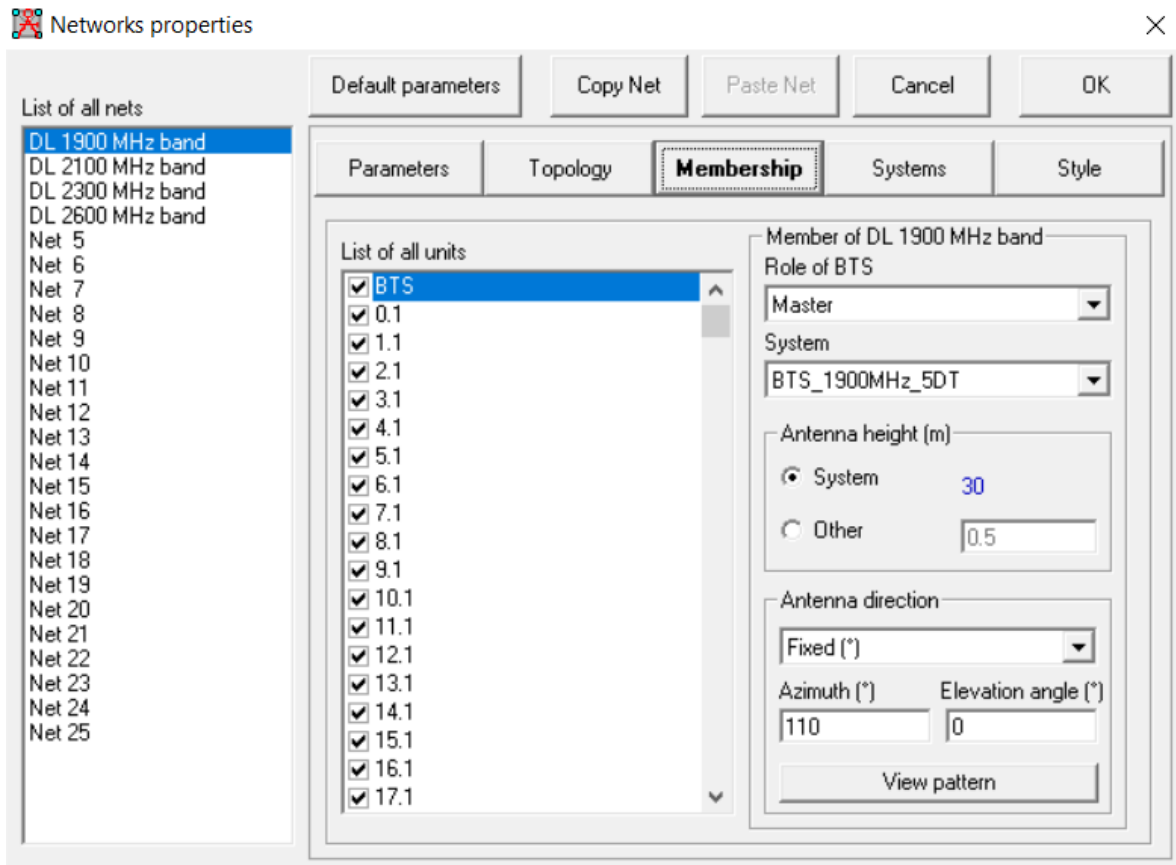
Figura 12: Patrones de radiación de estación móvil

### 3.5. Procesamiento y análisis de datos

#### 3.5.1. Simulación de señal móvil recibida en centro poblado Huacapongo

En los apartados anteriores se ha presentado tal como, ubicación de las estaciones, características técnicas de la estación celular, características del receptor móvil, bandas de frecuencia. Con toda esta información recopilada y sobre la base de las mediciones de drive test de EBC Niño, se ha realizado la simulación y estimación del nivel de señal recibido en las diferentes bandas de frecuencias analizadas: 1900 MHz, 2100 MHz, 2300 MHz y 2600 MHz.

La Figura 13 presenta una captura de pantalla de la configuración de la herramienta de simulación RadioMobile. Se puede apreciar que la configuración de BTS y estaciones móviles se repite para las 04 bandas de frecuencia.



*Figura 13: Configuración de herramienta de simulación*

Cabe destacar que en la simulación se buscó equilibrar los parámetros de pérdida en el algoritmo de Radio Mobile, de tal manera que los cálculos se acerquen a las mediciones del drive test. En la Figura 14 se pueden observar todos los puntos outdoor considerados en el Centro Poblado, Huacapongo, en tanto que en la Figura 15 se muestran las trayectorias de los radioenlaces resultantes, en las cuales se analizó la variabilidad de la señal, en las diversas frecuencias para las bandas correspondientes.



Figura 14: Representación puntos de análisis en escenario de simulación

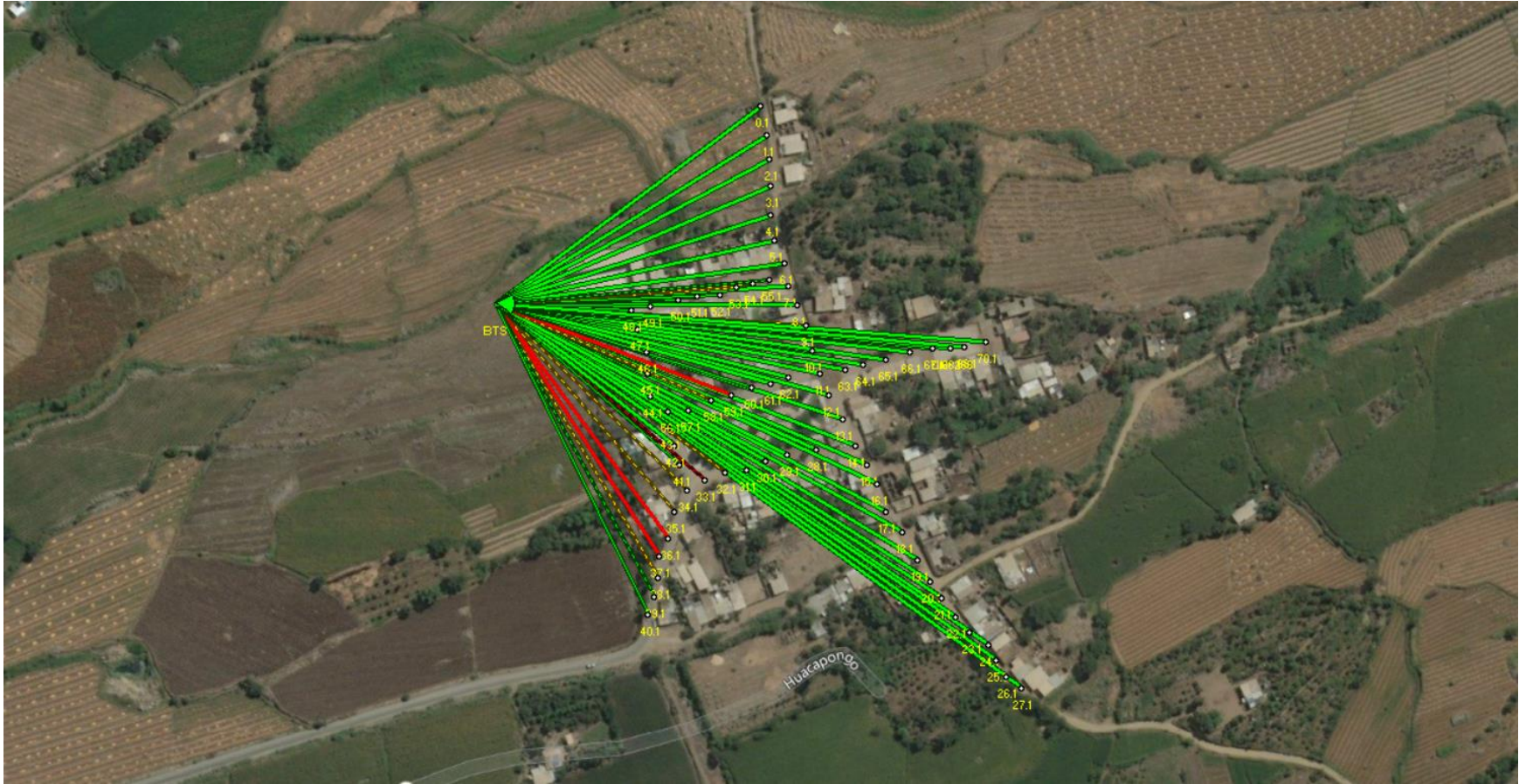


Figura 15: Representación de trayectorias de propagación resultantes en escenario de simulación

### **3.5.2. Reportes obtenidos en puntos de recepción móvil**

La simulación se hizo con un total de 34 frecuencias que variaron en el intervalo de 1930 MHz a 2690 MHz, las cuales se presentaron previamente en la Tabla 06. Se consideraron 37 puntos, sobre los cuales se estimó la potencia recibida en las diferentes bandas. La Tabla 9 muestra los niveles obtenidos del proceso de simulación. En la parte inferior de la tabla se pueden apreciar diversos parámetros estimados tales como valores promedio, máximos, mínimos, y de variación, que sirvieron como referencia para la clasificación de los niveles de potencia, así como para el análisis e identificación de las fluctuaciones en cada punto.

Cabe destacar, que los parámetros tales como desviación, varianza y coeficiente de variación son los parámetros que permiten identificar los puntos con mayor fluctuación, sin embargo, estas fluctuaciones pueden darse dentro de un rango de señal alto, medio o bajo. Asimismo, el análisis debe ser individualizado por banda de frecuencia, dado que las concesiones de servicio son otorgadas por banda o incluso por canal o canales dentro de la banda asignada.

Tabla 9:Reporte de datos de simulación

	PTO	PTO	PTO	PTO	PTO	PTO	PTO	PTO	PTO	PTO	PTO	PTO	PTO	PTO	PTO	PTO	PTO	PTO
FREQ. (MHz)	P 00.1	P 01.1	P 03.1	P 05.1	P 07.1	P 09.1	P 11.1	P 13.1	P 15.1	P 17.1	P 19.1	P 21.1	P 23.1	P 25.1	P 27.1	P 29.1	P 31.1	P 33.1
1930	-68.8	-68.2	-67.6	-67	-64.5	-80.2	-59.2	-57.6	-59.2	-55.4	-57.8	-63.2	-66	-64.7	-66.8	-62.7	-69.4	-87.9
1940	-68.7	-68.2	-67.7	-66.8	-64.5	-84.7	-59.1	-57.8	-59.4	-55.5	-57.7	-62.9	-66.3	-64.5	-66.5	-62.6	-69.5	-87.2
1950	-68.6	-68.1	-67.8	-66.6	-64.6	-76.5	-58.9	-58	-59.6	-55.6	-57.5	-62.5	-66.6	-64.3	-66.2	-62.4	-69.6	-86.5
1960	-68.6	-68.1	-68	-66.5	-64.7	-79.6	-58.7	-58.2	-59.8	-55.8	-57.4	-62.2	-66.9	-64.1	-65.8	-62.3	-69.7	-87.5
1970	-68.5	-68	-68.1	-66.3	-64.8	-86.4	-58.5	-58.3	-59.9	-55.9	-57.3	-61.8	-67	-63.9	-65.6	-62.2	-69.7	-85.1
1980	-68.5	-68	-68.2	-66.2	-64.9	-76.8	-58.3	-58.5	-60.1	-56	-57.1	-61.5	-67.1	-63.7	-65.3	-62	-69.7	-84.4
1990	-68.4	-67.9	-68.3	-66.2	-65	-79.1	-58.2	-58.6	-60.1	-56.2	-57.1	-61.2	-67.1	-63.5	-65	-61.9	-69.6	-83.8
2110	-68.3	-67.8	-69.5	-67.3	-66.4	-77.9	-57.9	-58	-59.5	-59.1	-56.7	-58.7	-63.6	-61.6	-62.5	-61	-67.4	-80.5
2120	-68.3	-67.9	-69.6	-67.6	-66.6	-91.2	-58.1	-57.9	-59.4	-59.4	-56.8	-58.5	-63.3	-61.5	-62.3	-60.9	-67.2	-80.4
2130	-68.3	-67.9	-69.6	-67.8	-66.7	-79	-58.2	-57.8	-59.3	-59.7	-56.8	-58.4	-62.9	-61.4	-62.2	-60.9	-67.1	-80.4
2140	-68.4	-67.9	-69.7	-68.1	-66.8	-77.8	-58.4	-57.7	-59.1	-60.1	-56.9	-58.3	-62.6	-61.3	-62	-60.9	-66.9	-80.5
2150	-68.4	-68	-69.7	-68.4	-66.9	-89.5	-58.6	-57.6	-59	-60.4	-57	-58.2	-62.3	-61.2	-61.9	-60.9	-66.8	-80.5
2160	-68.4	-68	-69.7	-68.7	-67	-79.7	-58.8	-57.6	-58.9	-60.8	-57	-58.1	-62.1	-61.1	-61.7	-60.8	-66.6	-80.7
2170	-68.5	-68.1	-69.7	-69	-67.1	-77.7	-59	-57.6	-58.8	-61.1	-57.1	-58.1	-61.8	-61	-61.6	-60.8	-66.5	-80.8
2180	-68.5	-68.1	-69.8	-69.3	-67.2	-87.8	-59.2	-57.5	-58.7	-61.5	-57.2	-58	-61.6	-60.9	-61.5	-60.8	-66.4	-81
2300	-69.4	-68.9	-69.4	-70.5	-68	-83.1	-60.4	-58.6	-58.1	-63.7	-59.3	-58	-59.5	-60.1	-60.4	-61.4	-66.2	-85.9
2310	-69.5	-69	-69.4	-70.3	-68	-84.3	-60.3	-58.8	-58.1	-63.6	-59.5	-58	-59.4	-60	-60.3	-61.5	-66.3	-86.6
2320	-69.6	-69.1	-69.4	-70.2	-68	-78	-60.3	-58.9	-58.1	-63.5	-59.7	-58.1	-59.3	-60	-60.2	-61.6	-66.4	-87.3
2330	-69.7	-69.2	-69.3	-70	-68	-82.4	-60.2	-59.1	-58.1	-63.3	-60	-58.1	-59.3	-59.9	-60.2	-61.6	-66.5	-87.9
2340	-69.8	-69.3	-69.3	-69.8	-68	-85.6	-60.1	-59.3	-58.2	-63.1	-60.3	-58.2	-59.2	-59.9	-60.1	-61.7	-66.6	-88.6
2350	-69.9	-69.4	-69.3	-69.6	-68	-78.2	-60	-59.4	-58.2	-62.8	-60.6	-58.3	-59.1	-59.9	-60.1	-61.8	-66.7	-89.2
2360	-70	-69.5	-69.2	-69.4	-68	-81.7	-59.9	-59.6	-58.3	-62.6	-60.8	-58.4	-59.1	-59.8	-60	-62	-66.8	-89.6
2370	-70.1	-69.6	-69.2	-69.2	-68	-87.1	-59.7	-59.7	-58.3	-62.3	-61.1	-58.5	-59	-59.8	-60	-62.1	-67	-89.8
2380	-70.2	-69.7	-69.2	-69.1	-67.9	-78.4	-59.6	-59.9	-58.4	-62.1	-61.5	-58.6	-59	-59.8	-59.9	-62.2	-67.1	-89.9
2390	-70.2	-69.7	-69.2	-68.9	-67.9	-81.2	-59.6	-60	-58.5	-61.8	-61.8	-58.8	-58.9	-59.7	-59.9	-62.3	-67.3	-89.7
2400	-70.3	-69.8	-69.2	-68.8	-67.9	-88.7	-59.5	-60	-58.6	-61.6	-62.1	-58.9	-58.9	-59.7	-59.8	-62.4	-67.4	-89.4
2620	-72.1	-71.6	-70.1	-70.5	-67.4	-82.4	-61.6	-59.1	-61.2	-58.7	-65	-64.2	-60.4	-59.9	-59.7	-65.2	-71	-82.6
2630	-72.1	-71.6	-70.2	-70.7	-67.4	-79.3	-61.6	-59.1	-61.3	-58.7	-64.7	-64.5	-60.5	-60	-59.8	-65.3	-71	-82.7
2640	-72.1	-71.6	-70.3	-70.9	-67.4	-87.2	-61.7	-59.2	-61.4	-58.7	-64.5	-64.9	-60.7	-60	-59.8	-65.4	-71	-82.8
2650	-72.2	-71.6	-70.4	-71	-67.5	-83.2	-61.8	-59.3	-61.4	-58.8	-64.2	-65.2	-60.9	-60	-59.8	-65.4	-70.9	-82.9
2660	-72.2	-71.7	-70.5	-71.2	-67.5	-79.3	-61.8	-59.4	-61.5	-58.8	-63.9	-65.5	-61	-60.1	-59.9	-65.5	-70.9	-83.1
2670	-72.2	-71.7	-70.6	-71.3	-67.5	-86.1	-61.8	-59.5	-61.5	-58.8	-63.7	-65.8	-61.2	-60.1	-59.9	-65.5	-70.8	-83.3
2680	-72.2	-71.7	-70.7	-71.4	-67.6	-84.1	-61.7	-59.7	-61.5	-58.9	-63.4	-66.1	-61.4	-60.2	-59.9	-65.6	-70.7	-83.5
2690	-72.2	-71.7	-70.8	-71.5	-67.6	-79.4	-61.6	-59.8	-61.6	-59	-63.2	-66.4	-61.6	-60.2	-60	-65.6	-70.6	-83.8
Rxmax	-68.30	-67.80	-67.60	-66.20	-64.50	-76.50	-57.90	-57.50	-58.10	-55.40	-56.70	-58.00	-58.90	-59.70	-59.70	-60.80	-66.20	-80.40
Rxmin	-72.20	-71.70	-70.80	-71.50	-68.00	-91.20	-61.80	-60.00	-61.60	-63.70	-65.00	-66.40	-67.10	-64.70	-66.80	-65.60	-71.00	-89.90
Rxprom	-69.80	-69.31	-69.37	-69.00	-66.92	-82.16	-59.77	-58.74	-59.50	-59.80	-59.90	-60.77	-61.93	-61.11	-61.66	-62.56	-68.33	-84.88
desv.s	1.48	1.46	0.87	1.69	1.23	4.08	1.28	0.83	1.23	2.65	2.86	3.03	2.82	1.65	2.36	1.71	1.82	3.33
var	2.19	2.13	0.76	2.85	1.51	16.61	1.64	0.69	1.51	7.00	8.21	9.16	7.93	2.73	5.55	2.92	3.33	11.09
coef.var	-0.02	-0.02	-0.01	-0.02	-0.02	-0.05	-0.02	-0.01	-0.02	-0.04	-0.05	-0.05	-0.05	-0.03	-0.04	-0.03	-0.03	-0.04



	PTO	PTO	PTO	PTO	PTO	PTO	PTO	PTO	PTO	PTO	PTO	PTO	PTO	PTO	PTO	PTO	PTO	PTO	PTO
FREQ. (MHz)	P 35.1	P 37.1	P 39.1	P 41.1	P 43.1	P 45.1	P 47.1	P 49.1	P 51.1	P 53.1	P 55.1	P 57.1	P 59.1	P 61.1	P 63.1	P 65.1	P 67.1	P 69.1	P 70.1
1930	-87.8	-85.6	-70.2	-71.1	-64.9	-71.7	-72.3	-72	-65.1	-76.3	-73	-67.4	-86.7	-62.8	-57.3	-58	-58	-58.2	-59.8
1940	-87.4	-86.3	-70.1	-70.8	-65	-71.2	-72.5	-72.3	-65.2	-76	-72.9	-67.4	-86.8	-62.9	-57.3	-58.1	-58	-58.3	-59.8
1950	-86.8	-87.2	-70.1	-70.6	-65	-70.8	-72.7	-72.5	-65.3	-75.8	-72.7	-67.5	-86.9	-63.1	-57.4	-58.2	-57.9	-58.5	-59.8
1960	-86.1	-88.1	-70.1	-70.4	-65.1	-70.4	-72.9	-72.6	-65.5	-75.6	-72.6	-67.6	-87	-63.2	-57.4	-58.3	-57.9	-58.6	-59.8
1970	-85.3	-89.1	-70.1	-70.2	-65.3	-70.2	-73.1	-72.7	-65.7	-75.4	-72.4	-67.6	-87.1	-63.4	-57.5	-58.4	-57.9	-58.7	-59.8
1980	-84.6	-90.2	-70.1	-70	-65.4	-70	-73.3	-72.6	-65.9	-75.3	-72.3	-67.7	-87.1	-63.6	-57.5	-58.5	-57.9	-58.8	-59.8
1990	-83.9	-91.4	-70.2	-69.9	-65.6	-69.9	-73.5	-72.4	-66.2	-75.2	-72.2	-67.8	-87.2	-63.8	-57.6	-58.6	-57.9	-58.9	-59.8
2110	-78.5	-88.6	-72.9	-69.8	-69.6	-73.7	-73.3	-71.8	-69.7	-75.6	-71.9	-69.6	-86.9	-65.5	-59	-59.1	-58	-60	-59.8
2120	-78.3	-87.8	-73.4	-69.9	-69.9	-73.8	-73.2	-72	-69.6	-75.8	-72	-69.7	-86.8	-65.6	-59.1	-59.1	-58	-60.1	-59.8
2130	-78.1	-87.1	-73.9	-70.1	-70.1	-73.7	-73.1	-72.3	-69.5	-76	-72.1	-69.8	-86.1	-65.6	-59.3	-59.1	-58.1	-60.1	-59.9
2140	-77.9	-86.4	-74.4	-70.2	-70.3	-73.5	-73	-72.6	-69.3	-76.2	-72.2	-70	-86.7	-65.6	-59.4	-59	-58.1	-60.1	-59.9
2150	-77.8	-85.8	-75	-70.4	-70.4	-73.2	-72.9	-72.9	-69	-76.5	-72.3	-70.1	-86.7	-65.5	-59.5	-59	-58.2	-60.1	-59.9
2160	-77.6	-85.3	-75.7	-70.6	-70.4	-72.8	-72.9	-73.1	-68.8	-76.8	-72.4	-70.2	-86.6	-65.5	-59.6	-59	-58.2	-60.1	-59.9
2170	-77.5	-84.8	-76.5	-70.8	-70.4	-72.4	-72.8	-73.3	-68.5	-77	-72.5	-70.3	-86.6	-65.4	-59.8	-58.9	-58.3	-60.1	-59.9
2180	-77.4	-84.4	-77.3	-71.1	-70.2	-72.1	-72.8	-73.4	-68.2	-77.3	-72.6	-70.4	-86.5	-65.4	-59.9	-58.9	-58.3	-60.1	-59.9
2300	-78	-81.4	-83.6	-75.2	-67.5	-72.8	-74.3	-72.2	-67.2	-79.4	-74.6	-70.6	-86.4	-64.6	-60.3	-58.5	-59.2	-59.7	-60
2310	-78.1	-81.4	-82.3	-75.5	-67.4	-73.2	-74.5	-72.3	-67.3	-79.3	-74.8	-70.6	-86.4	-64.6	-60.2	-58.5	-59.3	-59.7	-60
2320	-78.3	-81.3	-81	-75.9	-67.3	-73.5	-74.7	-72.4	-67.5	-79.2	-75	-70.5	-86.4	-64.6	-60.2	-58.5	-59.4	-59.7	-60
2330	-78.5	-81.3	-80	-76.2	-67.2	-73.9	-74.9	-72.7	-67.7	-79.1	-75.1	-70.4	-86.4	-64.7	-60.1	-58.5	-59.5	-59.6	-60.1
2340	-78.8	-81.2	-79	-76.5	-67.2	-74.1	-75	-72.9	-67.9	-78.9	-75.3	-70.4	-86.5	-64.7	-60.1	-58.5	-59.6	-59.6	-60.1
2350	-79	-81.2	-78.1	-76.7	-67.2	-74.2	-75.1	-73.2	-68.1	-78.8	-75.4	-70.3	-86.5	-64.8	-60	-58.5	-59.7	-59.6	-60.1
2360	-79.3	-81.3	-77.4	-76.9	-67.2	-74.3	-75.2	-73.5	-68.4	-78.6	-75.5	-70.2	-86.6	-64.9	-59.9	-58.5	-59.8	-59.6	-60.1
2370	-79.6	-81.3	-76.7	-77	-67.2	-74.2	-75.2	-73.8	-68.7	-78.4	-75.6	-70.2	-86.6	-65	-59.9	-58.6	-59.9	-59.5	-60.1
2380	-80	-81.3	-76.1	-77	-67.3	-74	-75.2	-74	-68.9	-78.3	-75.7	-70.1	-86.7	-65.1	-59.8	-58.6	-60	-59.5	-60.1
2390	-80.3	-81.4	-75.6	-77	-67.4	-73.7	-75.2	-74.2	-69.2	-78.1	-75.7	-70.1	-86.7	-65.2	-59.8	-58.6	-60.1	-59.5	-60.1
2400	-80.7	-81.4	-75.1	-76.9	-67.5	-73.5	-75.2	-74.2	-69.5	-77.9	-75.8	-70	-86.8	-65.3	-59.7	-58.7	-60.2	-59.5	-60.2
2620	-86.7	-89.1	-73.3	-72.3	-71	-74.5	-75.1	-75	-68.7	-78.7	-74.8	-71	-89.1	-66.7	-60.4	-60.7	-61.5	-60.8	-60.7
2630	-86	-89.9	-73.6	-72.3	-70.9	-74.3	-75.3	-75	-68.8	-78.9	-75.8	-71.1	-89.2	-66.6	-60.5	-60.8	-61.5	-60.9	-60.7
2640	-85.5	-90.8	-73.8	-72.3	-70.8	-74.1	-75.5	-74.9	-68.8	-79	-74.7	-71.2	-89.2	-66.5	-60.6	-60.9	-61.5	-61	-60.8
2650	-84.9	-91.7	-74.1	-72.2	-70.6	-73.9	-75.7	-74.7	-68.9	-79.2	-74.7	-71.4	-89.3	-66.4	-60.8	-61	-61.5	-61.1	-60.8
2660	-84.4	-92.7	-74.5	-72.3	-70.4	-73.7	-75.9	-74.5	-69	-79.4	-74.7	-71.5	-89.3	-66.4	-60.9	-61.1	-61.5	-61.2	-60.8
2670	-83.9	-93.7	-74.9	-72.3	-70.3	-73.6	-76.1	-74.3	-69.1	-79.5	-74.7	-71.6	-89.4	-66.3	-61	-61.2	-61.5	-61.3	-60.9
2680	-83.4	-94.8	-74.3	-72.3	-70.1	-73.4	-76.2	-74.1	-69.2	-79.7	-74.7	-71.8	-89.4	-66.2	-61.2	-61.3	-61.5	-61.4	-60.9
2690	-83	-95.7	-75.7	-72.4	-69.9	-73.4	-76.3	-73.9	-69.4	-79.8	-74.7	-71.9	-89.4	-66.1	-61.3	-61.3	-61.5	-61.5	-61
Rxmax	-77.40	-81.20	-70.10	-69.80	-64.90	-69.90	-72.30	-71.80	-65.10	-75.20	-71.90	-67.40	-86.10	-62.80	-57.30	-58.00	-57.90	-58.20	-59.80
Rxmin	-87.80	-95.70	-83.60	-77.00	-71.00	-74.50	-76.30	-75.00	-69.70	-79.80	-75.80	-71.90	-89.40	-66.70	-61.30	-61.30	-61.50	-61.50	-61.00
Rxprom	-81.57	-86.50	-74.97	-72.80	-68.29	-72.99	-74.26	-73.24	-68.05	-77.68	-73.92	-69.94	-87.29	-65.05	-59.54	-59.19	-59.39	-59.86	-60.15
desv.s	3.58	4.50	3.55	2.70	2.11	1.37	1.26	0.96	1.44	1.57	1.42	1.36	1.15	1.11	1.22	1.08	1.40	0.91	0.40
var	12.82	20.22	12.58	7.31	4.47	1.88	1.60	0.93	2.08	2.46	2.02	1.84	1.31	1.24	1.48	1.16	1.97	0.82	0.16
coef.var	-0.04	-0.05	-0.05	-0.04	-0.03	-0.02	-0.02	-0.01	-0.02	-0.02	-0.02	-0.02	-0.01	-0.02	-0.02	-0.02	-0.02	-0.02	-0.01

### 3.5.3. Curvas de recepción por banda de frecuencia

En las figuras a presentarse a continuación se muestran mediante gráficas, los datos obtenidos de los reportes de simulación. Las Figuras 17, 18, 19 y 20 muestran para las 04 bandas de frecuencia analizadas, la forma en que la señal varía para los diferentes puntos exteriores evaluados.

Se debe indicar que a pesar de que en algún punto pueda identificarse una variación importante por ejemplo mayor o igual a 3dB, la curva resultante puede aún mantenerse en un nivel clasificable como alto. Del mismo modo, esta fluctuación podría mantenerse o darse en un rango clasificable como medio o bajo, o inclusive pasar de un rango de clasificación a otro. Es por ello que en el procesamiento de las curvas se ha considerado un rango identificación de colores de acuerdo al nivel de recepción, el cual es presentado en la Figura 16.




RANGO DE VALORES	CLASIFICACIÓN	COLOR
-20 dBm to -69 dBm	Nivel Nrx alto	
-70 dBm to -80 dBm	Nivel Nrx medio	
-81 dBm to -100 dBm	Nivel Nrx bajo	

Figura 16: Rangos de clasificación de niveles de recepción dBm

### 3.5.4. Curvas obtenidas en banda de 1900 MHz

Conforme el orden de ideas descrito en el apartado anterior, en la Figura 17 se presentan las curvas de fluctuación de señal para la banda de 1900 MHz. Se puede apreciar en líneas discontinuas las curvas correspondientes a los puntos con niveles altos, medios o bajos que han presentado fluctuaciones despreciables o menores a 3 dB. Asimismo, se puede apreciar, resaltadas en líneas continuas, las curvas donde se han identificado fluctuaciones mayores o iguales a 3dB, el color en el que se han resaltado las curvas se ha elegido de acuerdo a los rangos de clasificación predominantes. En este, sentido dentro del rango de señal alto aparecen 03 puntos de variación ascendente en función de la frecuencia, dentro del rango medio aparece 01 punto con variación ascendente en frecuencia, y dentro del rango bajo

aparecen 04 puntos con variación ascendente, descendente y fluctuante en frecuencia. En este sentido los puntos 9.1, 33.1, 35.1 y 37.1 son los que presentan el rango de señal más bajo junto con la mayor fluctuación.

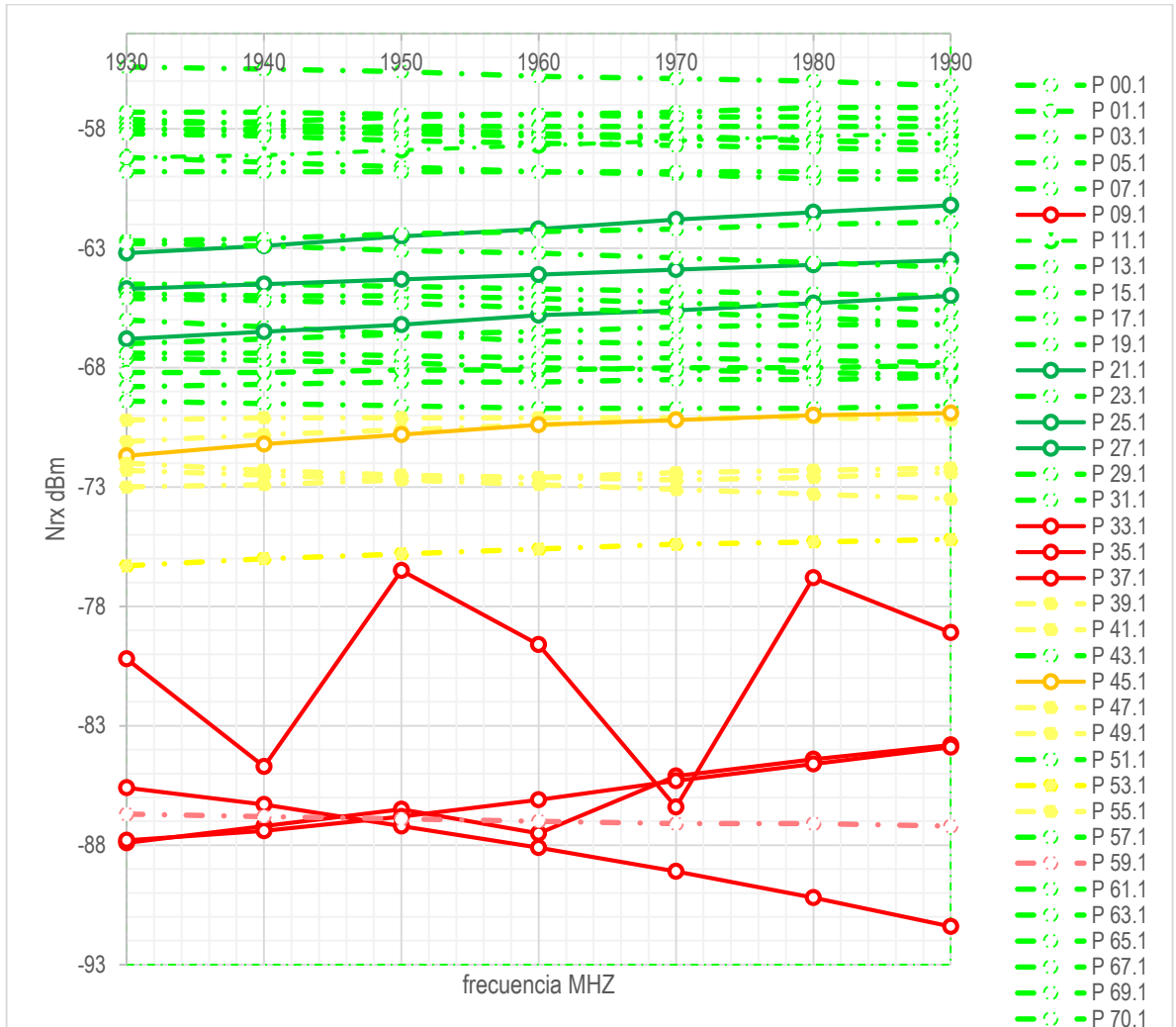


Figura 17: Procesamiento de la banda de 1900 MHz

### 3.5.5. Curvas obtenidas en banda de 2100 MHz

En la Figura 18 se muestran las curvas de fluctuación de señal para la banda de 2100 MHz. Se puede apreciar, en líneas continuas resaltadas, 05 puntos en rango de señal alto y 02 puntos en rango de señal medio con variación ascendente y descendente en frecuencia con mayor profundidad que la observada en la banda de 1900 MHz. Asimismo, en el rango de señal bajo, se observan 02 puntos con variación ascendente, y fluctuante en frecuencia con mayor profundidad que la presentada en la banda de 1900 MHz.

En este sentido el punto 9.1, representa el emplazamiento con mayor fluctuación, en tanto que el punto 37.1 invierte su comportamiento, con una variación ascendente.

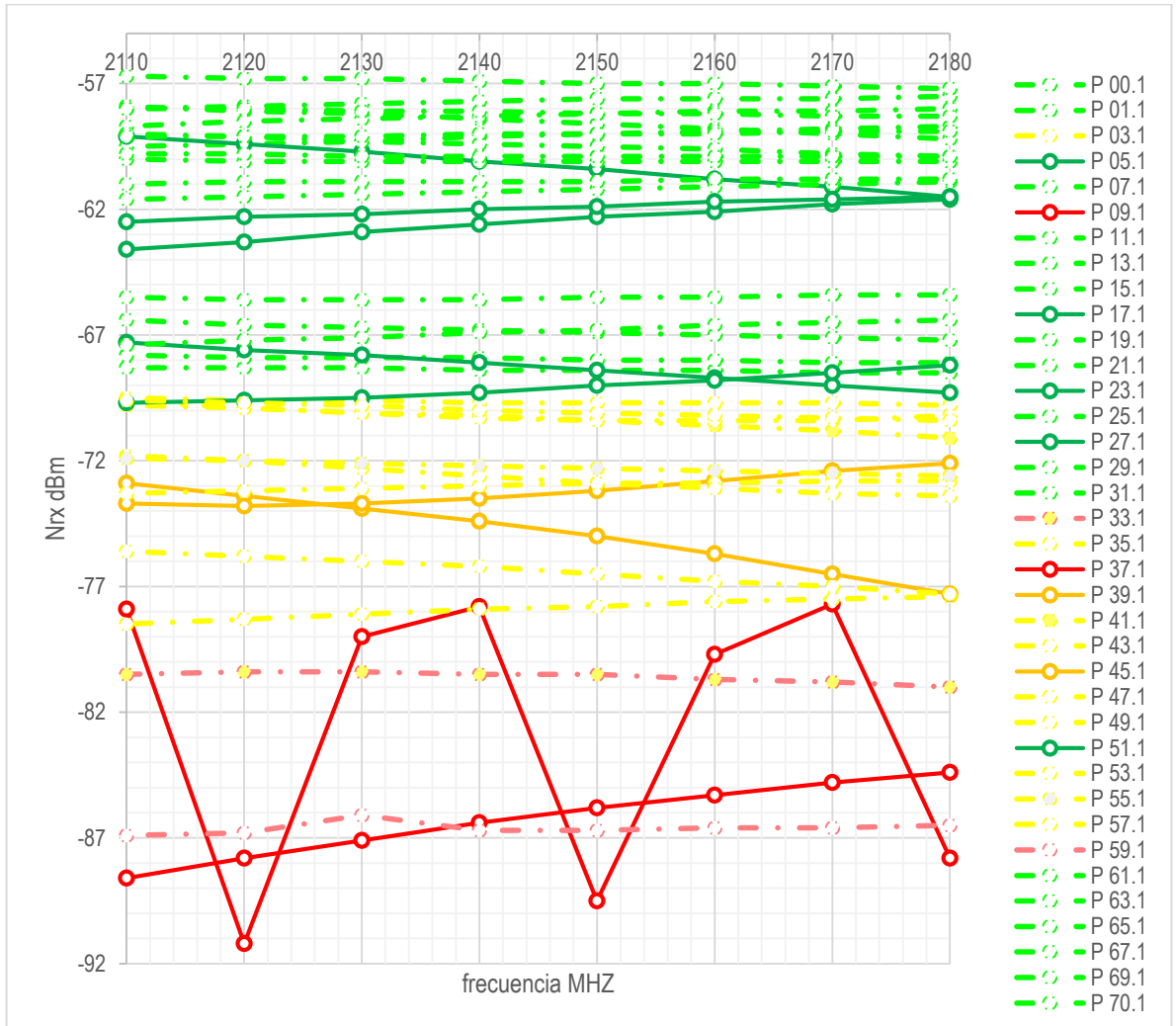


Figura 18: Procesamiento de la banda de 2100 MHz

### 3.5.6. Curvas obtenidas en banda de 2300 MHz

En la Figura 19 se presentan las curvas de fluctuación de señal para la banda de 2300 MHz. Se puede apreciar, en líneas resaltadas continuas, 03 puntos en rango de señal alto y 03 puntos en rango de señal medio con variación ascendente y descendente en función de la frecuencia. Respecto de la profundidad de las variaciones, estas son similares a las obtenidas en la banda de 2100 MHz.

En el rango de señal bajo, se observan 04 puntos con variación ascendente, descendente y fluctuante en frecuencia con profundidad igualmente similar a la presentada en la banda de 2100 MHz.

En este sentido el punto 9.1, sigue representando el nivel con mayor fluctuación, el punto 39.1 posee una fuerte variación ascendente, los puntos 35.1 y 37.1 poseen una considerable variación descendente, en tanto que el punto 37.1 no presenta una variación considerable.

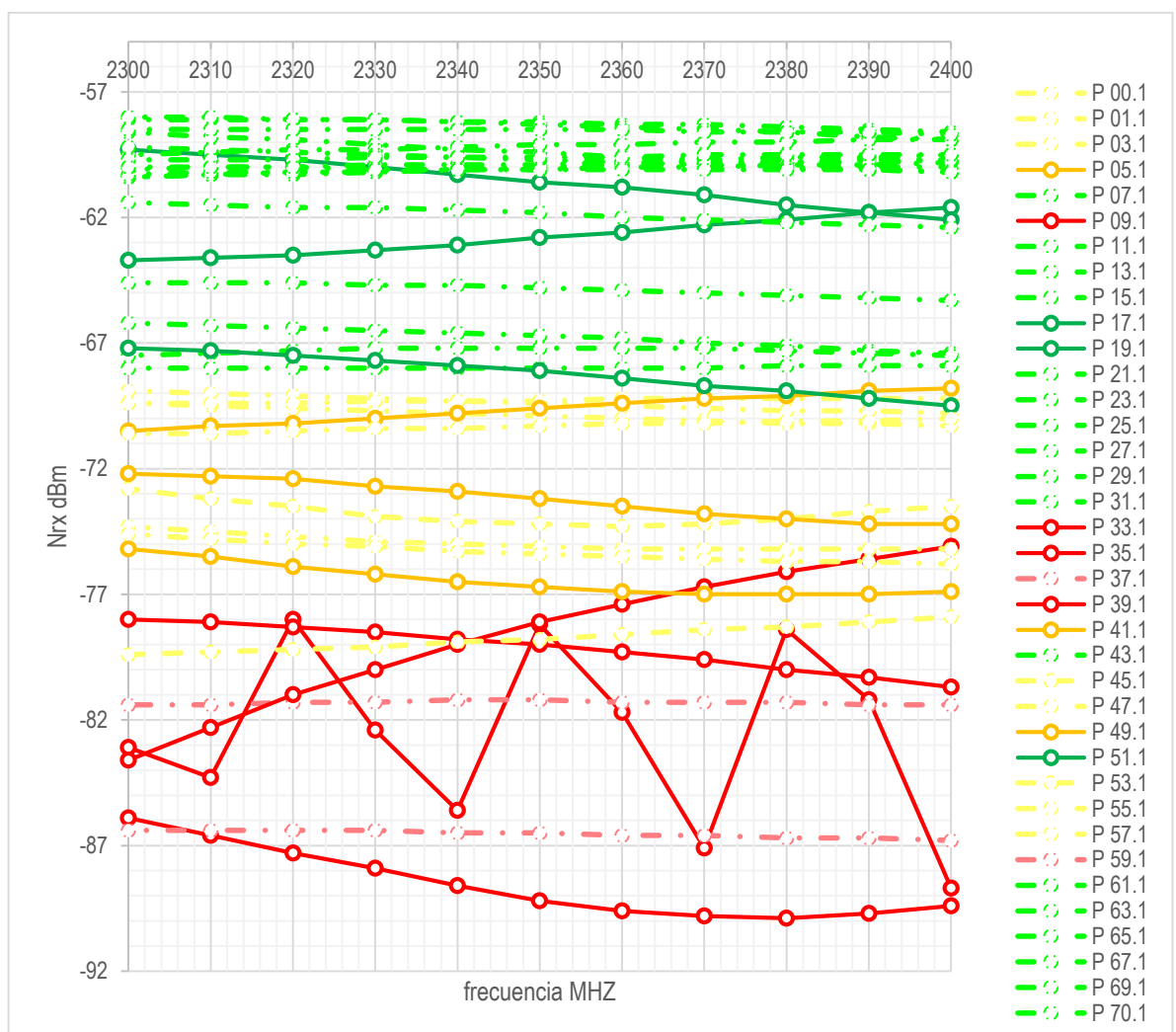


Figura 19: procesamiento de la banda de 2300 MHz

### 3.5.7. Curvas obtenidas en banda de 2600 MHz

En la Figura 20 se representan las curvas de variación de señal para la banda de 2600 MHz. Se puede apreciar, en líneas resaltadas continuas, 02 puntos de rango de señal alto y 02 puntos de rango de señal medio con variación en frecuencia con profundidades menores a las observadas en las bandas de 1900, MHz, 2100 MHz y 2300 MHz, asimismo se observan 03 puntos de rango bajo con variación ascendente, descendente y fluctuante en frecuencia con profundidades similares a la presentada en la banda de 2300 MHz. De esta forma se puede apreciar que el punto 9.1, sigue manteniendo una considerable fluctuación, en tanto que el punto 37.1 vuelve a presentar una fuerte variación descendente.

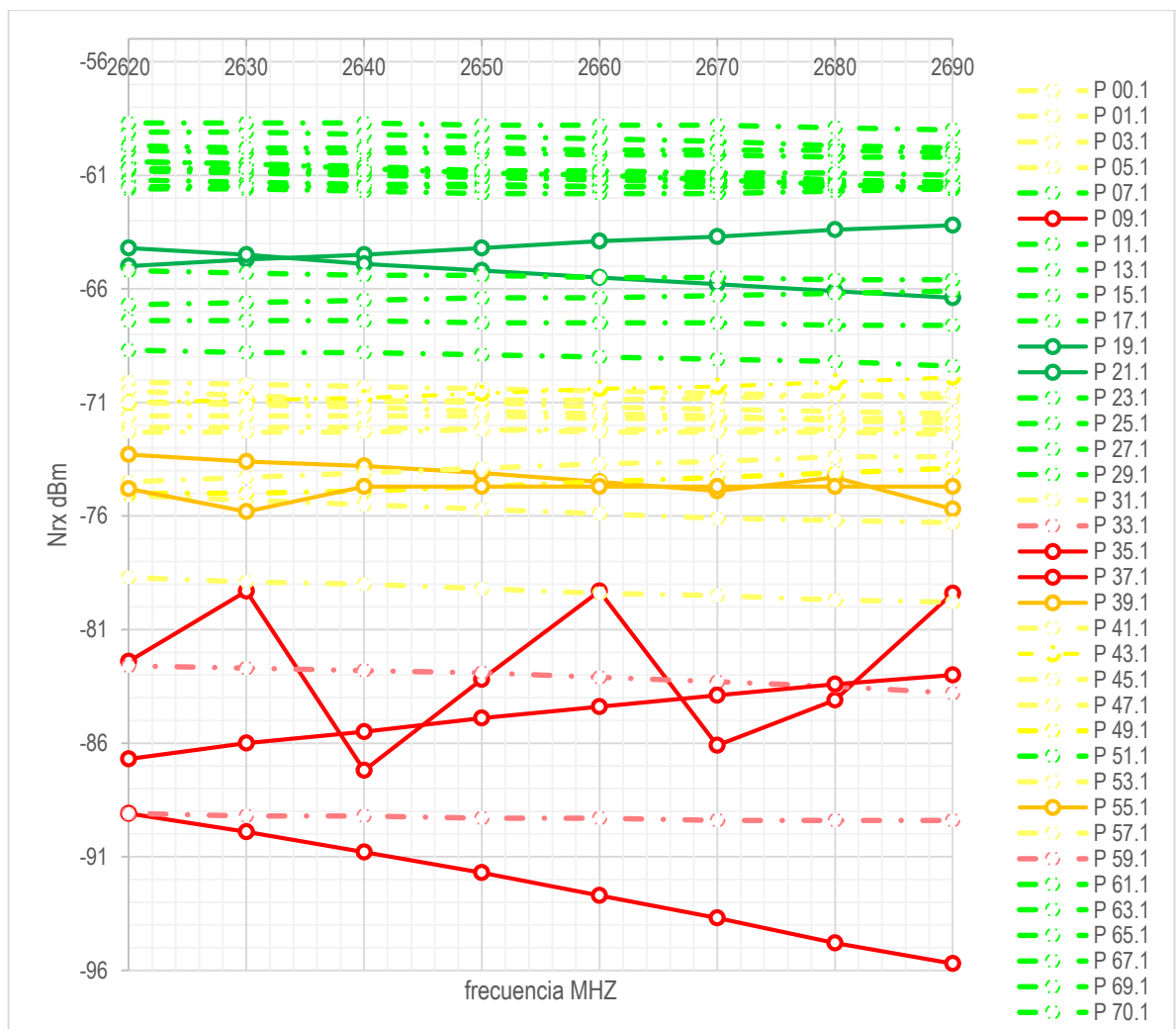


Figura 20: Procesamiento de la banda de 2600 MHz

### **3.5.8. Selección de puntos con mayor aparición de desvanecimientos**

Si bien es cierto en el apartado anterior se han descrito los principales puntos de simulación donde se han identificado fluctuaciones en los rangos de señal, alto, medio y bajo. Se consideró finalmente la cuantificación por cada emplazamiento la cantidad de variaciones de señal (desvanecimientos) que difieren al menos en 3dB respecto del valor medio. En este sentido en la Tabla 10 se puede observar la cuantificación de los desvanecimientos de señal en función de las 34 frecuencias evaluadas para los 70 puntos de simulación. De esta manera se resaltan los puntos críticos 9.1 con 18 desvanecimientos, seguido de los puntos: 33.1, 37.1, 35.1, 59.1, con 17, 16 y 15 desvanecimientos respectivamente. También se observan puntos con menor número de desvanecimientos tales como el punto 45.1 con 11 desvanecimientos; los puntos 41.1 y 49.1 con 10 desvanecimientos; y los puntos 47.1, 53.1, 55.1 con 9 puntos de desvanecimiento. En los valores menores se puede encontrar desvanecimientos menores a 5 como los puntos: 1.1, 3.1, 17.1, 61.1, 63.1, 70.1.

Con ello se buscó cubrir dos criterios de observación, es decir no solo la mayor profundidad de la variación, fluctuación o desvanecimiento en la frecuencia, sino también la persistencia de hallar fluctuaciones en un emplazamiento a pesar que estos desvanecimientos no sean tan profundos como los hallados en los puntos más críticos tales como 9.1.

Tabla 10: Puntos y sus números de desvanecimientos

Unit name	Latitude(°)	Longitude(°)	1900	2100	2300	2600	TOTAL
BTS	-8.3735	-78.65487	0	0	0	0	0
0.1	-8.372387	-78.65335	1	1	3	3	5
1.1	-8.372547	-78.65331	1	1	3	3	5
3.1	-8.372838	-78.65329	1	3	3	3	7
5.1	-8.373144	-78.65327	1	2	4	3	7
7.1	-8.3734	-78.65319	1	1	1	1	3
9.1	-8.373625	-78.65309	6	6	6	6	18
11.1	-8.373894	-78.65301	1	1	1	1	3
13.1	-8.374156	-78.65288	1	1	1	1	3
15.1	-8.374412	-78.65274	1	1	1	1	3
17.1	-8.374674	-78.65263	1	2	2	1	5
19.1	-8.37495	-78.65245	1	1	2	2	4
21.1	-8.37516	-78.65231	2	1	1	2	4
23.1	-8.375357	-78.65215	1	2	1	1	4
25.1	-8.375509	-78.65201	2	1	1	1	4
27.1	-8.375669	-78.65186	2	2	1	1	5
29.1	-8.374353	-78.6532	1	1	1	1	3
31.1	-8.37444	-78.65343	1	1	1	3	3
33.1	-8.374498	-78.65366	6	5	6	5	17
35.1	-8.374674	-78.65384	6	4	6	6	16
37.1	-8.374928	-78.65392	6	6	5	6	17
39.1	-8.375154	-78.65395	3	4	6	4	13
41.1	-8.374411	-78.65381	3	3	4	3	10
43.1	-8.374207	-78.65388	1	3	1	3	5
45.1	-8.373893	-78.65399	4	4	3	3	11
47.1	-8.373646	-78.65405	3	3	3	3	9
49.1	-8.373514	-78.65398	3	3	4	3	10
51.1	-8.373456	-78.65371	1	2	2	2	5
53.1	-8.373412	-78.65349	3	3	3	3	9
55.1	-8.373368	-78.6533	3	3	3	4	9
57.1	-8.3741	-78.65376	1	3	3	3	7
59.1	-8.374018	-78.65351	5	5	5	5	15
61.1	-8.373953	-78.65329	1	1	1	1	3
63.1	-8.373873	-78.65286	1	1	1	1	3
65.1	-8.373814	-78.65263	1	1	1	1	3
67.1	-8.373755	-78.65237	1	1	1	1	3
69.1	-8.373747	-78.65218	1	1	1	1	3
70.1	-8.373724	-78.65202	1	1	1	1	3



## **IV. PRESENTACIÓN DE RESULTADOS**

### **4.1. Análisis e interpretación de resultados**

En este apartado se presentan los resultados de identificación de puntos con mayores hallazgos de desvanecimientos en frecuencia obtenidos a partir de la simulación y procesamiento realizados en cada banda una de las bandas 1900 MHz, 2100 MHz, 2300 MHz y 2600 MHz.

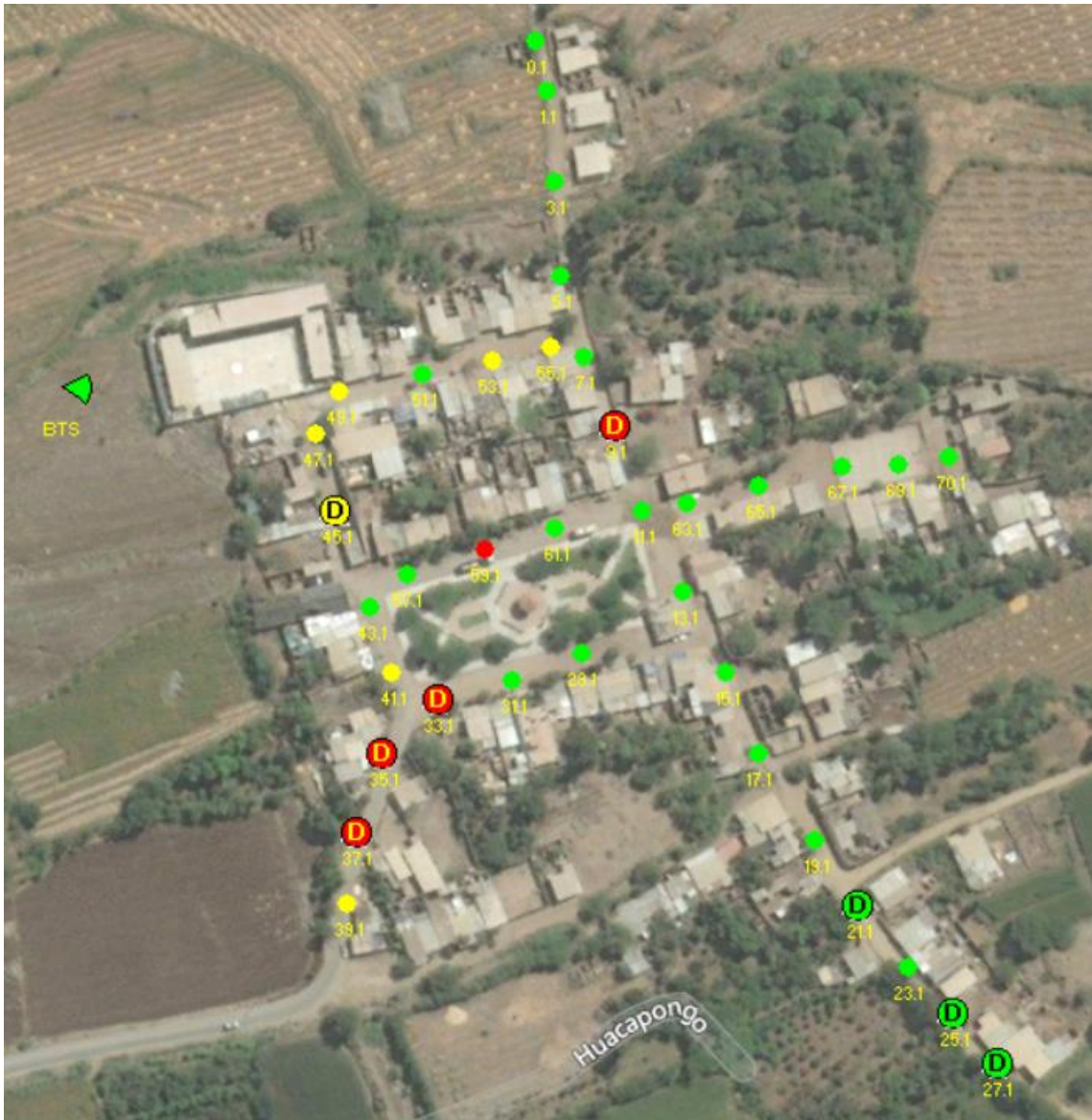
La presentación de resultados se detallará primero por mapas de calor en cada banda de frecuencia, para luego presentar los resultados totales considerando los resultados en todas las bandas evaluadas.

### **4.2. Banda 1900 MHz**

En la Figura 21 se muestran como resultados para la banda de 1900 MHz los puntos con mayor aparición y profundidad de desvanecimientos en dicha banda de frecuencia. De acuerdo a estos resultados los puntos 9.1, 33.1, 35.1 y 37.1 representan los puntos con mayor hallazgo de fluctuación de señal crítica en los diferentes radiocanales (frecuencias) disponibles en esta banda.

Cabe destacar también el punto 59.1, el cual, a pesar de no presentar alto número de fluctuaciones, obtuvo un nivel de potencia en el rango de bajo nivel de señal, lo cual se resalta dado que los puntos aledaños no presentaron ni fluctuación, ni bajo nivel de señal recibida.

Del mismo modo se presentan los puntos 21.1, 25.1, 27.1 los cuales presentan desvanecimientos en rangos de señal no críticos (rango de nivel de señal recibida bueno), y el punto 45.1 el cual presenta desvanecimiento en un rango intermedio de nivel de señal recibida.



*Figura 21: Emplazamientos con mayor desvanecimiento en frecuencia en banda de 1900 MHZ*

#### **4.3. Banda 2100 MHz**

En la Figura 22 se muestran como resultados para la banda de 2100 MHz los puntos con mayor aparición y profundidad de desvanecimientos en la citada banda de frecuencia. De acuerdo a estos resultados los puntos 9.1, y 37.1 representan los puntos con mayor hallazgo de fluctuación de señal crítica en los diferentes radiocanales (frecuencias) disponibles en esta banda.

Los puntos 59.1 y 33.1, a pesar de no presentar alto número de fluctuaciones, obtuvieron nivel de potencia en el rango bajo, lo cual se resalta dado que los puntos aledaños obtuvieron nivel de señal en rango bueno e intermedio.

Los puntos 5.1, 17.1, 23.1, 27.1 51.1, los cuales presentan desvanecimientos en rangos de señal no críticos (rango de nivel de señal recibida bueno). En este mismo orden de ideas se presentan los puntos 45.1 y 39.1 los cuales presentan desvanecimiento en rango intermedio de nivel de señal recibida.



*Figura 22: Emplazamientos con mayor desvanecimiento en frecuencia en banda de 2100 MHZ*

#### **4.4. Banda 2300 MHz**

En la Figura 23 se muestran como resultados para la banda de 2300 MHz los puntos con mayor aparición y profundidad de desvanecimientos en la citada banda de frecuencia. De acuerdo a estos resultados los puntos 9.1, 35.1 y 37.1 representan los puntos con mayor hallazgo de desvanecimientos en función de la frecuencia (radiocanales de la banda 2300 MHz).

Los puntos 59.1 y 33.1, a pesar de no presentar alto número de fluctuaciones, obtuvieron nivel de potencia en el rango bajo, lo cual se resalta dado que los puntos aledaños obtuvieron nivel de señal en rango bueno e intermedio.

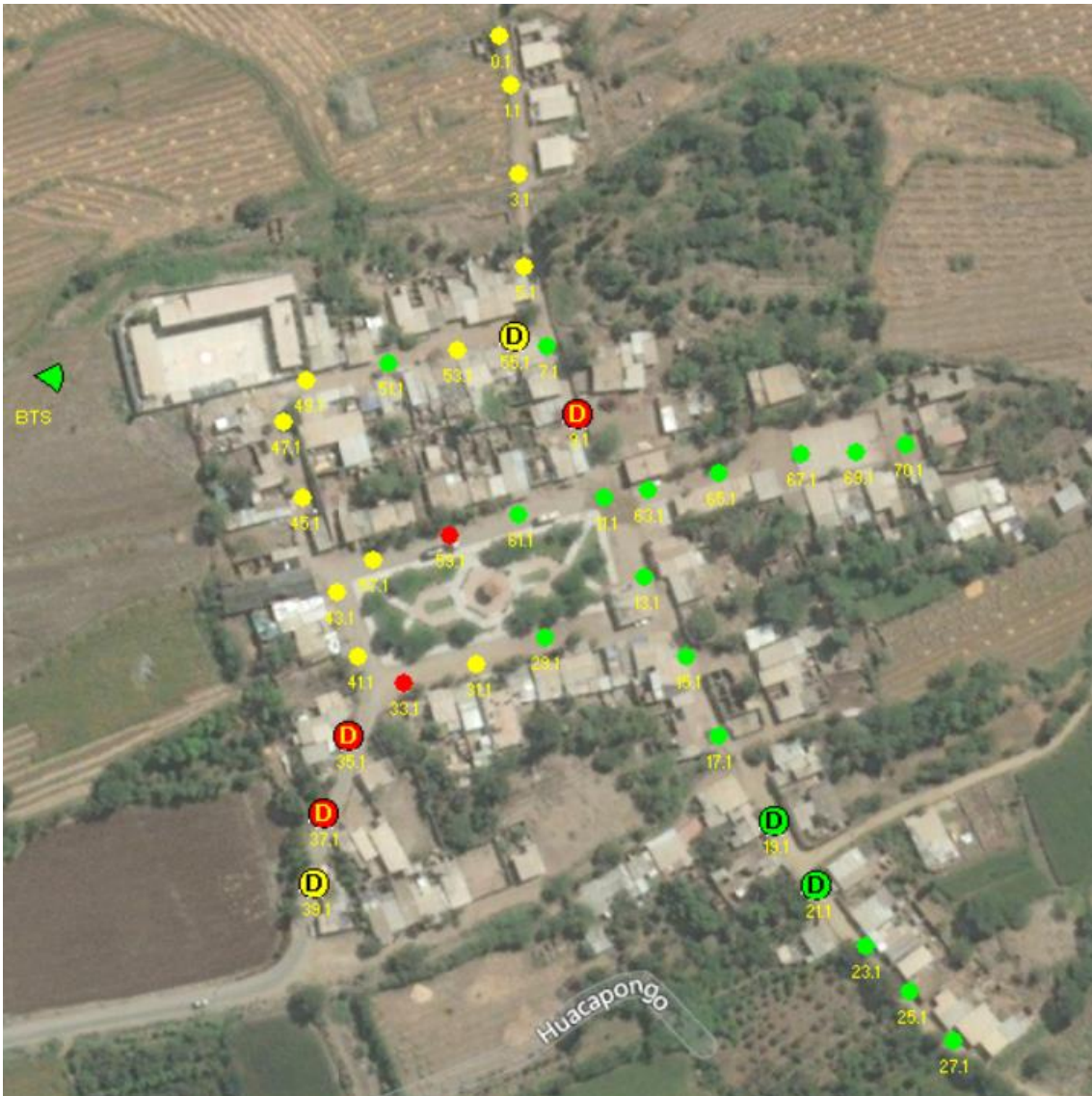
Los puntos 19.1 y 21.1 presentan desvanecimientos en rangos de señal no críticos (rango de recepción bueno). En este mismo orden de ideas se presentan los puntos 55.1 y 39.1 los cuales presentan desvanecimiento en rango intermedio de nivel de señal recibida.

#### **4.5. Banda 2600 MHz**

En la Figura 24 se muestran como resultados para la banda de 2600 MHz los puntos con mayor aparición y profundidad de desvanecimientos. De acuerdo a estos resultados los puntos 9.1, 35.1 y 37.1 representan los emplazamientos con mayor hallazgo de desvanecimientos en función de la frecuencia (radiocanales de la banda 2600 MHz).

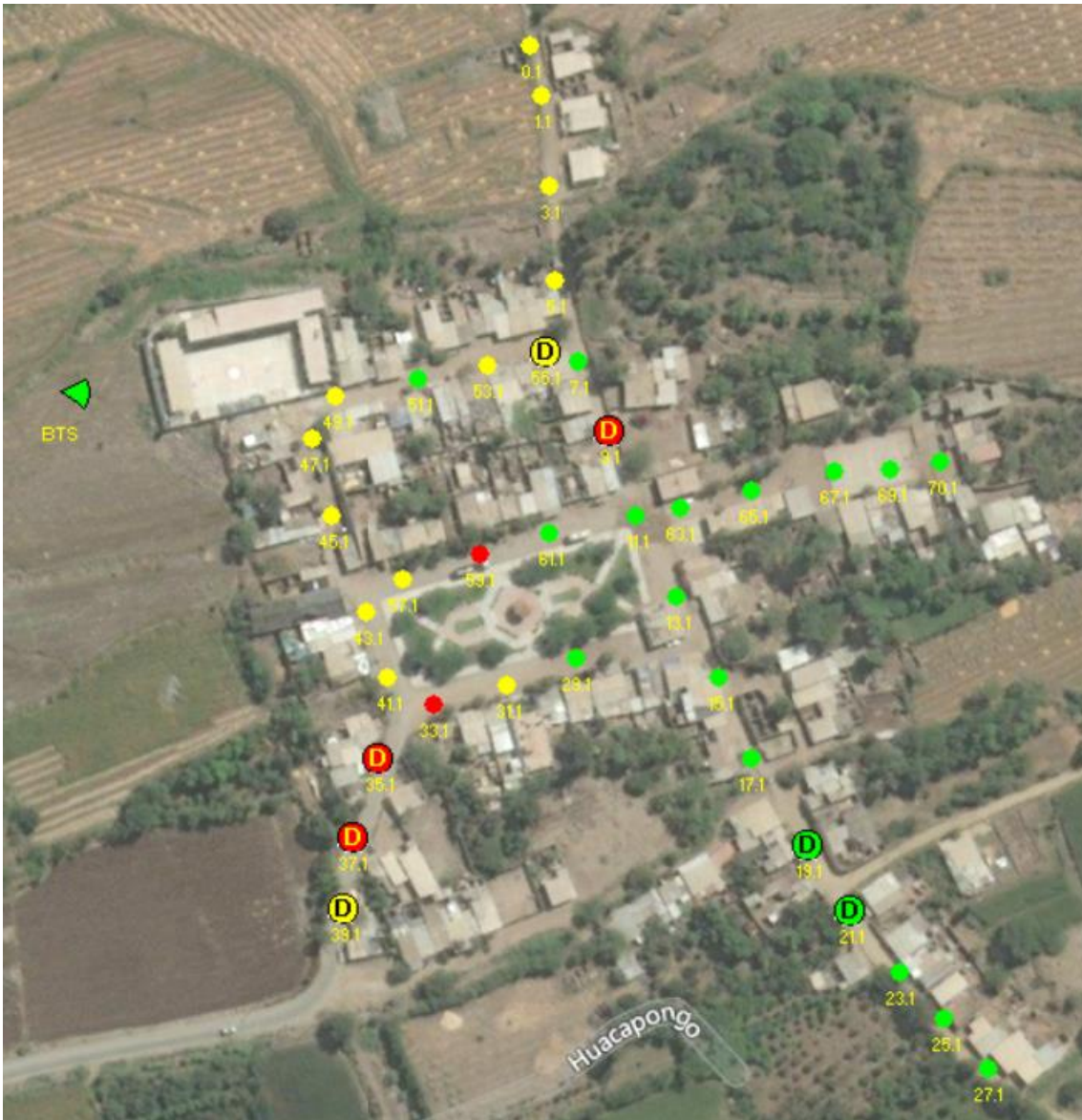
Los puntos 59.1 y 33.1, a pesar de no presentar alto número de fluctuaciones, obtuvieron nivel de potencia en rango bajo, lo cual se resalta dado que los puntos aledaños obtuvieron nivel de señal en rango bueno e intermedio.

Los puntos 19.1 y 21.1 presentan desvanecimientos en rangos de señal no críticos (rango de recepción bueno). Asimismo, el punto 55.1 presenta desvanecimiento en rango intermedio de nivel de señal recibida.



*Figura 23: Emplazamientos con mayor desvanecimiento en frecuencia en banda de 2300 MHZ*

Cabe recordar que en las Figuras 21, 22, 23 y 24 se representan los puntos que poseen desvanecimiento con una letra D en su interior. Asimismo, respecto de los colores empleados, estos representan el rango de nivel de señal recibido conforme se presentó anteriormente en la Figura 16.



*Figura 24: Emplazamientos con mayor desvanecimiento en frecuencia en banda de 2600 MHz*

#### **4.6. Resumen de las 04 bandas de frecuencia 1900 MHz a 2600 MHz**

La Tabla 11 presenta el resultado consolidado para las 04 bandas de frecuencia evaluadas. En base a los desvanecimientos identificados en cada banda y puntos de simulación, se han identificado los 09 puntos que representan los emplazamientos que guardan mayor relación con la fluctuación de señal o desvanecimiento para la zona rural evaluada.

Tabla 11: Puntos críticos con mayor cantidad y profundidad de desvanecimientos dependientes de la frecuencia

Unit name	Latitude(°)	Longitude(°)	1900	2100	2300	2600	TOTAL
BTS	-8.3735	-78.65487	0	0	0	0	0
0.1	-8.372387	-78.65335	1	1	3	3	5
1.1	-8.372547	-78.65331	1	1	3	3	5
3.1	-8.372838	-78.65329	1	3	3	3	7
5.1	-8.373144	-78.65327	1	2	4	3	7
7.1	-8.3734	-78.65319	1	1	1	1	3
9.1	-8.373625	-78.65309	6	6	6	6	18
11.1	-8.373894	-78.65301	1	1	1	1	3
13.1	-8.374156	-78.65288	1	1	1	1	3
15.1	-8.374412	-78.65274	1	1	1	1	3
17.1	-8.374674	-78.65263	1	2	2	1	5
19.1	-8.37495	-78.65245	1	1	2	2	4
21.1	-8.37516	-78.65231	2	1	1	2	4
23.1	-8.375357	-78.65215	1	2	1	1	4
25.1	-8.375509	-78.65201	2	1	1	1	4
27.1	-8.375669	-78.65186	2	2	1	1	5
29.1	-8.374353	-78.6532	1	1	1	1	3
31.1	-8.37444	-78.65343	1	1	1	3	3
33.1	-8.374498	-78.65366	6	5	6	5	17
35.1	-8.374674	-78.65384	6	4	6	6	16
37.1	-8.374928	-78.65392	6	6	5	6	17
39.1	-8.375154	-78.65395	3	4	6	4	13
41.1	-8.374411	-78.65381	3	3	4	3	10
43.1	-8.374207	-78.65388	1	3	1	3	5
45.1	-8.373893	-78.65399	4	4	3	3	11
47.1	-8.373646	-78.65405	3	3	3	3	9
49.1	-8.373514	-78.65398	3	3	4	3	10
51.1	-8.373456	-78.65371	1	2	2	2	5
53.1	-8.373412	-78.65349	3	3	3	3	9
55.1	-8.373368	-78.6533	3	3	3	4	9
57.1	-8.3741	-78.65376	1	3	3	3	7
59.1	-8.374018	-78.65351	5	5	5	5	15
61.1	-8.373953	-78.65329	1	1	1	1	3
63.1	-8.373873	-78.65286	1	1	1	1	3
65.1	-8.373814	-78.65263	1	1	1	1	3
67.1	-8.373755	-78.65237	1	1	1	1	3
69.1	-8.373747	-78.65218	1	1	1	1	3
70.1	-8.373724	-78.65202	1	1	1	1	3

Los 09 puntos referidos en el párrafo anterior se encuentran resaltados en la Tabla 11 en color amarillo. En base a estos últimos hallazgos, se presenta en la Figura 25 un mapa de calor consolidado de los puntos y posibles emplazamientos y zonas vinculadas a la mayor fluctuación de señal recibida en función de la frecuencia. El mapa original puede ser consultado en el anexo 02



*Figura 25: Mapa de calor emplazamientos identificados con mayor desvanecimiento en frecuencia en bandas 1900 MHz a 2600 MHz*

Cabe destacar que existe una tendencia a que los puntos con mayor hallazgo de desvanecimientos se concentren en zonas específicas del centro poblado Huacapongo, tales como la zona noreste (9.1), y zona suroeste (41.1, 35.1, 37.1), existiendo otras zonas como las representadas por los puntos 33.1 y 59.1 que destacan por tener niveles de potencia recibida en rangos de nivel bajo.



#### **4.7. Docimasia de Hipótesis**

En base a los resultados presentados en este apartado, se han identificado a 09 puntos de simulación, representativos de emplazamientos exteriores ubicados en el Centro Poblado rural Huacapongo, provincia de Virú, Departamento de La Libertad, en los cuales se han podido hallar la mayor incidencia y profundidad de desvanecimientos en función de la frecuencia, la cual comprende a los radiocanales de las bandas de frecuencia asignadas para servicios públicos móviles entre 1900 MHz y 2600 MHz.

Estos 09 emplazamientos representan el 24% de los puntos evaluados, por lo cual los autores consideran que la hipótesis planteada en el presente trabajo de investigación ha sido válida.

## V. DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS:

- 5.1. Para la identificación de la ubicación de la estación base se ha empleado un patrón de radiación de  $65^\circ$  usado de manera típica en los operadores móviles. Las antenas que se utilizan son sectoriales multibanda de polarización cruzada  $+45^\circ$ , y de apertura vertical entre  $4$  a  $8^\circ$  dependiendo de la banda de frecuencia. De esta manera se ha propuesto que la mejor ubicación es en la parte noroeste del Centro Poblado a fin de que pueda tener un alumbramiento de señal con la mejor condición para que el patrón de radiación alcance a todo el Centro Poblado. En este sentido se encuentra coincidencia con los parámetros de simulación y herramientas empleadas por Choquehuanca G. (2018) y el ajuste de parámetros recomendados por Vaca. C. (2015), y Beltrán V., Degollado R. & López B. (2017). A pesar de las limitaciones del cluttering de la herramienta de simulación empleada, se considera podrían existir otros emplazamientos BTS factibles de analizar a fin de determinar si los puntos identificados se mantienen a partir del cambio de ubicación de la BTS, lo cual se considera es un punto de ampliación de la presente tesis.
  
- 5.2. Los valores de desviación que se han obtenido para cada reporte de simulación se han considerado en valores superiores a  $3$  dB. La selección de emplazamientos se ha realizado considerando la cantidad de desvanecimientos y el rango de señal (bueno, intermedio, malo) en donde se identificaron. En este sentido existen emplazamientos seleccionados que llegan hasta  $18$  hallazgos de desvanecimientos y con profundidad superior a los  $10$  dB, así como emplazamientos que poseen una cantidad superior a  $10$  hallazgos de desvanecimientos, pero con profundidad menor a  $5$  dB, por lo cual se ponderaron ambas condiciones. Respecto del trabajo de Hisham Elgannas & Ivica Kostanic (2015) se considera que el promedio de las atenuaciones encontradas es menor, debido a que el centro poblado no presenta grandes edificaciones como las que se emplearon en dicha investigación.

- 5.3. La identificación de los desvanecimientos en cada punto se ha realizado en base a curvas de recepción de señal, dentro de los límites de frecuencias que establece la reglamentación peruana. En algunos casos se han encontrado curvas de señal ascendentes y descendentes en función de la frecuencia. Sin embargo, al no haberse podido evaluar los rangos de frecuencia fuera de la normativa peruana, no se ha podido identificar la selectividad de frecuencia en la que se genera el punto de atenuación más crítico. En ese sentido se deben establecer diferencias en comparación con el trabajo de Rainer, J., Huaman L., Postigo M. & Yanyachi P. (2020) en el cual el promedio de atenuación obtenido es mayor al del presente trabajo, dado que dicha investigación realizó mediciones en interiores para caracterizar la pérdida por adobe y otros materiales de construcción.
- 5.4. En base a los puntos que se han identificado se han realizado mapas de calor (Figura 23), pero la granularidad que este tiene es limitada y es solo una aproximación que puede ser ampliada, por ejemplo, aumentando la cantidad de puntos de estudio y así identificar de manera más precisa los sectores donde se ven mayores desvanecimientos. Si embargo los autores consideran que el mapa de calor ya es una referencia para el posible análisis o estudio previo de qué puntos tendrían mayor dificultad de recepción y presentarían mayor fluctuación de señal en las diferentes bandas de radiofrecuencia para acceso móvil.

## VI. CONCLUSIONES

- En base al análisis realizado en el presente trabajo, el emplazamiento para la ubicación de la BTS debe tener la condición de encontrarse en un punto periférico del área poblada a fin de poder lograr interconexión con la estación existente más cercana. Asimismo, para lograr la cobertura de pueblo, la estación debe alumbrar en un sector aproximado de  $65^\circ$ . Estas condiciones se consiguen en la zona noroeste de centro poblado. Respecto de los puntos de simulación debido a la resolución de la cartografía digital, zonas outdoor en el centro poblado y resolución disponible, se consideraron 37 puntos de análisis.
- La estimación de valor de señal recibida ha tenido valores de desviación que han oscilado con valores máximos de 4 dB en algunos casos de 2.5 dB y de 3.5 dB, cuando se evalúa para el rango de bandas desde 1900 MHz hasta 2600 MHz; sin embargo, estos valores son más concentrados cuando se evalúan dentro de una banda específica, en donde se han identificado fluctuaciones de 10, 12, 16 y hasta 20 dB, siendo la banda de 2100 MHz la que ha reportado los desvanecimientos más considerables.
- Como resultado del procesamiento por cada uno de los puntos o emplazamientos, se obtuvieron curvas con desvanecimiento ascendente, descendente y localizado o selectivo. Principalmente en el desvanecimiento selectivo, específico o fluctuante en frecuencia se identificó en el punto 9.1, el cual representa la zona de mayor fluctuación de señal en todas las bandas de frecuencia evaluadas.
- El mapa de calor presentado para todas las bandas ha ponderado la cantidad de desvanecimientos en frecuencia (desviaciones mayores a 3dB respecto del valor promedio) y el rango de señal donde se identificaron estas desviaciones, de esta forma los puntos más críticos en color rojo son aquellos que poseen la mayor cantidad de desvanecimientos, con la mayor pérdida de señal, en el rango de cobertura más bajo.

## VII. RECOMENDACIONES

- Como ampliación del presente trabajo de investigación se recomienda evaluar los puntos críticos de fluctuación cambiando la ubicación de la estación base celular.
- Al mismo tiempo en la presente investigación se ha evaluado un ángulo de downtilt fijo, sin embargo, dado que el patrón de radiación cambia con el ángulo de declinación, se considera evaluar la posible reducción o variación de las fluctuaciones en frecuencia con diferentes ángulos de declinación (downtilt).
- A fin de mejorar los resultados, se recomendaría el empleo de cartografía digital con mayor resolución y un cluttering de mayor precisión al empleado, lo cual junto con el aumento de los puntos de medición podrían hacer posible que el análisis llevado a cabo en la presente investigación, pueda ser aplicado a una zona urbana.

## VIII. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

1. Agencia Peruana de Noticias. (2018, junio). Celulares: Reordenamiento de frecuencias permitirá ingreso de más operadores [Noticias]. Andina. <https://andina.pe/agencia/noticia-celulares-reordenamiento-frecuencias-permitira-ingreso-mas-operadores-755863.aspx>
2. Choquehuanca Gálvez, B. (2018). Análisis y diseño de un sistema basado en amplificadores bidireccionales para zonas oscuras de señal de telefonía móvil en la ciudad universitaria de la Universidad Nacional del Altiplano—Puno [Universidad del Altiplano]. [http://repositorio.unap.edu.pe/bitstream/handle/UNAP/12144/Choquehuanca\\_Galvez\\_Bedelmir.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://repositorio.unap.edu.pe/bitstream/handle/UNAP/12144/Choquehuanca_Galvez_Bedelmir.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
3. Elgannas, H., & Kostanic, I. (2015). Charatrization of Building Penetration Loss for GSM and UMTS Signals at 850 MHz and 1900 MHz Bands. 129-143. <https://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.841.7518&rep=rep1&type=pdf>
4. Fontal, B. (2005). El Espectro Electromagnético y sus Aplicaciones: Vol. I (I). Escuela Venezolana para la Enseñanza de la Química. [http://www.saber.ula.ve/bitstream/handle/123456789/16746/espectro\\_electromagnetico.pdf;jsessionid=7A33969CE608F0192962265A49D40975?sequence=1](http://www.saber.ula.ve/bitstream/handle/123456789/16746/espectro_electromagnetico.pdf;jsessionid=7A33969CE608F0192962265A49D40975?sequence=1)
5. Hidalgo Sánchez, A. (2006, diciembre). Estado de la telefonía en el Perú al año 2005. 9(18), 41-50.
6. Loaiza Flower, R., & Jauregui, S. (2015). Evolución del mercado de telecomunicaciones móviles en el Perú. Osiptel. [https://repositorio.osiptel.gob.pe/bitstream/handle/20.500.12630/375/dt28-Evolucion-del-Mercado-de-Telecomunicaciones\\_Moviles-Peru.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorio.osiptel.gob.pe/bitstream/handle/20.500.12630/375/dt28-Evolucion-del-Mercado-de-Telecomunicaciones_Moviles-Peru.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
7. Ministerio de Transporte y Minas. (2008). Plan nacional de atribución de frecuencias. MTC. [https://portal.mtc.gob.pe/comunicaciones/autorizaciones/servicios\\_privados/documentos/pnaf\\_act\\_feb08.pdf](https://portal.mtc.gob.pe/comunicaciones/autorizaciones/servicios_privados/documentos/pnaf_act_feb08.pdf)

8. Ministerio de Transporte y Minas. (2019). Registro nacional de frecuencias. [https://portal.mtc.gob.pe/comunicaciones/concesiones/servicios\\_publicos/registro\\_frecuencias.html](https://portal.mtc.gob.pe/comunicaciones/concesiones/servicios_publicos/registro_frecuencias.html)
9. Organismo de las Naciones Unidas. (1990). Características del desvanecimiento en radiodifusión sonora en la zona tropical (N.o 304-3; pp. 1-17). [https://www.itu.int/dms\\_pub/itu-r/opb/rep/R-REP-BS.304-3-1990-PDF-S.pdf](https://www.itu.int/dms_pub/itu-r/opb/rep/R-REP-BS.304-3-1990-PDF-S.pdf)
10. Rainer, J., Huaman, L., & Postigo Malaga, M. (s. f.). Measurements of 3G and 4G signal attenuation in adobe buildings structures | Request PDF. ResearchGate. <https://doi.org/10.1109/I2MTC43012.2020.9129533>
11. Saigua Vilema, D. I. (2017). Análisis de los problemas que se presentan a la hora de implementar la tecnología 4g (LTE) de una operadora móvil en el barrio rosales 2 de la ciudad de Guayaquil. [Universidad de Guayaquil]. <http://repositorio.ug.edu.ec/handle/redug/27207>
12. Vaca Calero, J. del C. (2015). Simulación del modelo de propagación Cost 23 Walfisch-Ikegami para el canal móvil de bandas 4G [Universidad Técnica de Ambato]. [http://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/19382/1/Tesis\\_t1094ec.pdf](http://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/19382/1/Tesis_t1094ec.pdf)
13. Valera, P. (2015, octubre). La telefonía celular en el Perú: El espectro con las operadoras nuevas. Blog de La Pontificia Universidad Católica del Perú. <http://blog.pucp.edu.pe/blog/pedro/2014/10/25/la-telefon-a-celular-en-el-per-el-espectro-con-las-operadoras-nuevas/>
14. Vidal-Beltrán, S., Degollado-Rea, E. A., López-Bonilla, J. L., Vidal-Beltrán, S., Degollado-Rea, E. A., & López-Bonilla, J. L. (2017). Modelo de propagación simplificado para LTE en la frecuencia de 2.1GHz. *Nova scientia*, 9(19), 83-96. <https://doi.org/10.21640/ns.v9i19.917>

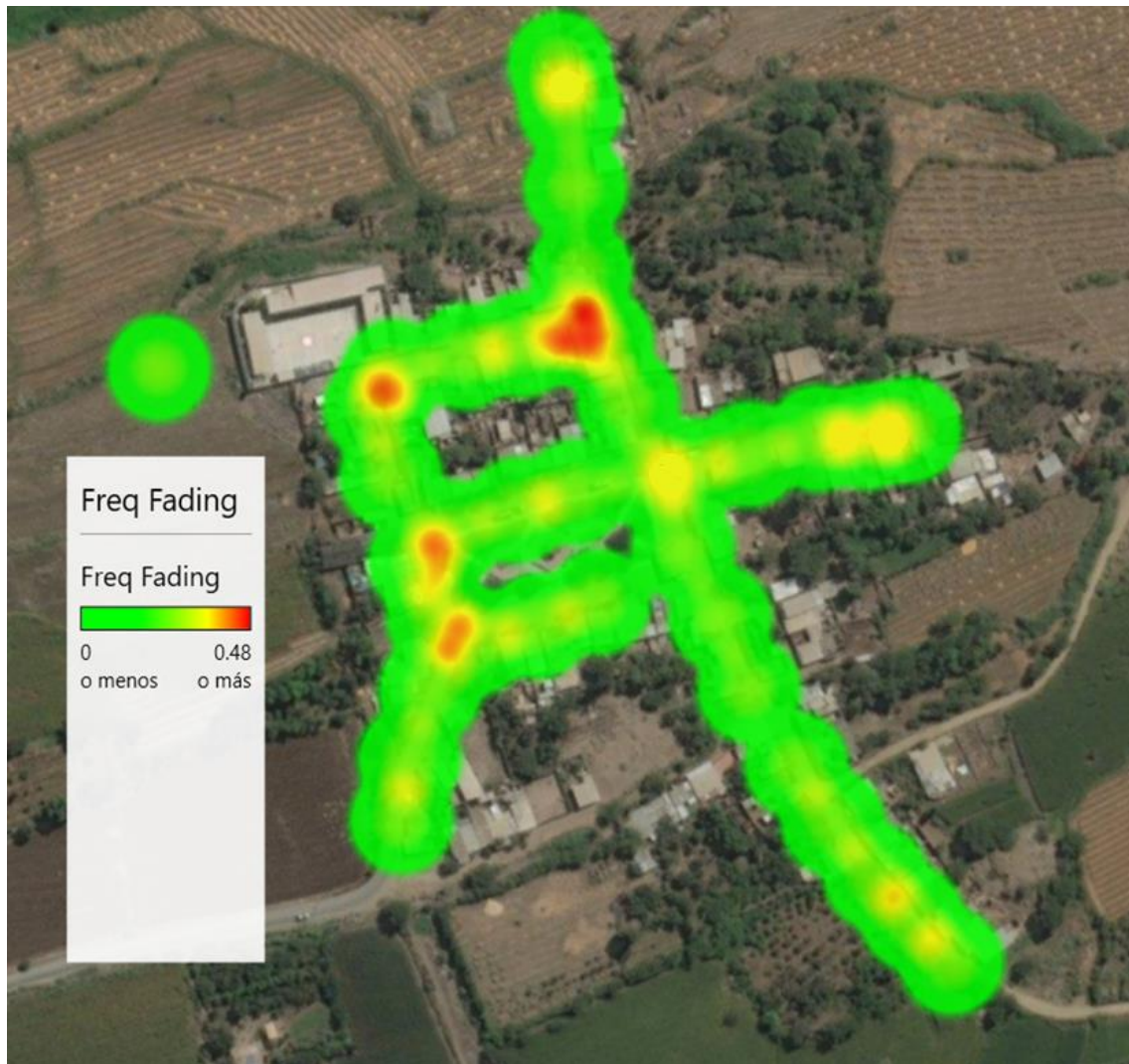
## ANEXO 01: CONCESIONES BANDAS DE ACCESO INALÁMBRICO

*Diferentes bandas de acceso (de 800 Mhz a 2600 Mhz)*

Banda / canal	Rango de Frecuencias (MHz)				Empresa	Asignación
	Ida		Retorno			
A	824.0	835.0	869.0	880.0	Movistar	A Nivel Nacional
	845.0	846.5	890.0	891.5		
B	835.0	845.0	880.0	890.0	Claro	A Nivel Nacional
	846.5	849.0	891.0	894.0		
CH01	894.0	898.0	939.0	943.0	Telefónica del Perú S.A.A.	A Nivel Nacional
CH02	898.0	902.0	943.0	947.0	Telefónica del Perú S.A.A.	A Nivel Nacional
CH01	902.0	915.0	947.0	960.0	Viettel Perú S.A.C.	A Nivel Nacional
A	1850.0	1865.0	1930.0	1945.0	América Móvil Perú S.A.C.	A Nivel Nacional
D	1865.0	1870.0	1945.0	1950.0	Entel Perú S.A.	A Nivel Nacional
B	1870.0	1882.5	1950.0	1962.5	Telefónica del Perú S.A.A.	A Nivel Nacional
E	1882.5	1895.0	1962.5	1975.0	Entel Perú S.A.	A Nivel Nacional
F	1895.0	1897.5	1975.0	1977.5	América Móvil Perú S.A.C.	A Nivel Nacional
C	1897.5	1910.0	1977.5	1990.0	Viettel Perú S.A.C.	A Nivel Nacional
CH01	1710.0	1715.0	2110.0	2115.0	TdP	La Libertad
CH02	1715.0	1720.0	2115.0	2120.0	TdP	La Libertad
CH03	1720.0	1725.0	2120.0	2125.0	TdP	La Libertad
CH04	1725.0	1730.0	2125.0	2130.0	TdP	La Libertad
CH05	1730.0	1735.0	2130.0	2135.0	Entel	La Libertad
CH06	1735.0	1740.0	2135.0	2140.0	Entel	La Libertad
CH07	1740.0	1745.0	2140.0	2145.0	Entel	La Libertad
CH08	1745.0	1750.0	2145.0	2150.0	Entel	La Libertad
CH09	1750.0	1755.0	2150.0	2155.0	-	La Libertad
CH10	1755.0	1760.0	2155.0	2160.0	-	La Libertad
CH11	1760.0	1765.0	2160.0	2165.0	-	La Libertad
CH12	1765.0	1770.0	2165.0	2170.0	-	La Libertad
CH13	1770.0	1775.0	2170.0	2175.0	-	La Libertad
CH14	1775.0	1780.0	2175.0	2180.0	-	La Libertad
CH01	2300.0	2305.0	2300.0	2305.0	-	La Libertad
CH02	2305.0	2310.0	2305.0	2310.0	-	La Libertad
CH03	2310.0	2315.0	2310.0	2315.0	-	La Libertad
CH04	2315.0	2320.0	2315.0	2320.0	-	La Libertad
CH05	2320.0	2325.0	2320.0	2325.0	-	La Libertad
CH06	2325.0	2330.0	2325.0	2330.0	-	La Libertad
CH07	2330.0	2335.0	2330.0	2335.0	-	La Libertad
CH08	2335.0	2340.0	2335.0	2340.0	-	La Libertad
CH09	2340.0	2345.0	2340.0	2345.0	-	La Libertad
CH10	2345.0	2350.0	2345.0	2350.0	-	La Libertad
CH11	2350.0	2355.0	2350.0	2355.0	-	La Libertad
CH12	2355.0	2360.0	2355.0	2360.0	-	La Libertad
CH13	2360.0	2365.0	2360.0	2365.0	DirecNet	La Libertad
CH14	2365.0	2370.0	2365.0	2370.0	DirecNet	La Libertad
CH15	2370.0	2375.0	2370.0	2375.0	DirecNet	La Libertad
CH16	2375.0	2380.0	2375.0	2380.0	DirecNet	La Libertad
CH17	2380.0	2385.0	2380.0	2385.0	DirecNet	La Libertad
CH18	2385.0	2390.0	2385.0	2390.0	DirecNet	La Libertad
CH19	2390.0	2395.0	2390.0	2395.0	-	La Libertad
CH20	2395.0	2400.0	2395.0	2400.0	-	La Libertad
CH01	2500.0	2505.0	2620.0	2625.0	OLO	La Libertad
CH02	2505.0	2510.0	2625.0	2630.0	OLO	La Libertad
CH03	2510.0	2515.0	2630.0	2635.0	OLO	La Libertad
CH04	2515.0	2520.0	2635.0	2640.0	OLO	La Libertad
CH05	2520.0	2525.0	2640.0	2645.0	OLO	La Libertad
CH06	2525.0	2530.0	2645.0	2650.0	OLO	La Libertad
CH07	2530.0	2535.0	2650.0	2655.0	Viettel Perú S.A.C.	La Libertad exc. Trujillo
CH08	2535.0	2540.0	2655.0	2660.0	Viettel Perú S.A.C.	La Libertad exc. Trujillo
CH09	2540.0	2545.0	2660.0	2665.0	Viettel Perú S.A.C.	La Libertad exc. Trujillo
CH10	2545.0	2550.0	2665.0	2670.0	Viettel Perú S.A.C.	La Libertad exc. Trujillo
CH11	2550.0	2555.0	2670.0	2675.0	-	La Libertad
CH12	2555.0	2560.0	2675.0	2680.0	-	La Libertad
CH13	2560.0	2565.0	2680.0	2685.0	-	La Libertad
CH14	2565.0	2570.0	2685.0	2690.0	-	La Libertad
CH15	2570.0	2575.0	2615.0	2620.0	-	La Libertad
CH16	2575.0	2580.0	2620.0	2625.0	-	La Libertad
CH17	2580.0	2585.0	2625.0	2630.0	-	La Libertad
CH18	2585.0	2590.0	2630.0	2635.0	-	La Libertad
CH19	2590.0	2595.0	2635.0	2640.0	-	La Libertad
CH20	2595.0	2600.0	2640.0	2645.0	OLO	La Libertad
CH21	2600.0	2605.0	2645.0	2650.0	OLO	La Libertad
CH22	2605.0	2610.0	2650.0	2655.0	OLO	La Libertad
CH23	2610.0	2615.0	2655.0	2660.0	OLO	La Libertad



## ANEXO 02: MAPA CALOR DESVANECIMIENTOS RADIOFRECUENCIA



*Mapa de calor desvanecimientos en bandas de acceso radiofrecuencia evaluados desde 1900 MHz a 2600 MHz*