

COMPARACIÓN DE IMÁGENES SATELITALES LANDSAT CON IMÁGENES NOAA OBTENIDAS
ANALÓGICAMENTE A PARTIR DE RADIOFRECUENCIA

ABEL EDUARDO RODRÍGUEZ GALINDO

TRABAJO DE GRADO PRESENTADO COMO REQUISITO
PARA OPTAR EL TÍTULO DE INGENIERO TOPÓGRAFO

DIRECTOR
FRANCISCO LUIS HERNANDEZ TORRES, MSc.

UNIVERSIDAD DEL VALLE
FACULTAD DE INGENIERÍAS
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL Y GEOMÁTICA
PROGRAMA ACADÉMICO DE INGENIERÍA TOPOGRÁFICA
SANTIAGO DE CALI
2019

CONTENIDO

LISTADO DE ACRÓNIMOS	4
1. INTRODUCCIÓN	5
2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	6
3. OBJETIVOS	7
4. JUSTIFICACIÓN.....	8
5. MARCO TEÓRICO	9
5.1 MARCO CONCEPTUAL	9
5.2 MARCO TEÓRICO.....	22
5.2.1 ANALISIS DE COMPONENTES PRINCIPALES.....	23
5.2.2 TRANSFORMACIÓN DE FILTRO PASO ALTO.....	24
5.2.3 FUSIÓN DE GRAM-SCHMIDT	25
5.3 MARCO REFERENCIAL.....	25
6. METODOS Y MATERIALES.....	30
6.1 PROTOCOLO DE TRANSMISIÓN AUTOMÁTICA DE IMÁGENES.....	30
6.2 DISEÑO DE ANTENA PARA LA DESCARGA DE IMÁGENES CON EL PROTOCOLO	31
6.3 IDENTIFICACIÓN DE LAS EFEMÉRIDES DE LOS SATÉLITES	32
7. RESULTADOS	33
7.1 IDENTIFICACIÓN DE SATÉLITES.....	33
7.2 PRUEBAS DE OPERACIÓN DE LA ANTENA	33
7.3 DECODIFICACIÓN DE LA SEÑAL	36
7.4 EVALUACIÓN DE LA IMAGEN DESCARGADA POR EL SISTEMA APT.....	38
8. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES	55
BIBLIOGRAFÍA.....	63

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Diagrama de transmisión de la antena	15
Figura 2. Patrón de recepción de la antena	16
Figura 3. Antena RQHA.....	17
Figura 4. Dongle SDR usado en el proyecto	18
Figura 5. Diagrama de bloques de un receptor SDR	19
Figura 6. Raspberry Pi 2 B.....	21
Figura 7. Diagrama de bloques de la disposición de los equipos.....	30
Figura 8. Dimensiones para el cuadro grande en mm	31
Figura 9. Dimensiones para el cuadro pequeño en mm	31
Figura 10. Corte y disposición de los alambres antes de realizar los doblados correspondientes y la respectiva curvatura característica de la antena QFH. Medidas en mm.	32
Figura 11. Programación de los satélites entregada por el software.	33
Figura 12. Instalación de la antena.	34
Figura 13. Antena en el Edificio E43 del campus de la Universidad del Valle.....	34
Figura 14. Disposición final de la antena.....	34
Figura 15. Equipo Tektronix RSA306.	35
Figura 16. Caracterización de la antena en el primer espectro.	35
Figura 17. Caracterización de la antena en el segundo espectro.	36
Figura 18. Comportamiento de la antena con las señales en la zona comercial del FM.	36
Figura 19. Pantalla inicial del software WXtoIMG	37
Figura 20. Archivos generados y sus 3 tipos de archivo para cada imagen.	38
Figura 21. Imagen NOAA 19 del día 14 de noviembre del año 2018	39
Figura 22. Imagen NOAA1920181114-162755-map.png	41
Figura 23. Imagen NOAA1920181114-162755-map.png en WXtoIMG	44
Figura 24. Antena de la primera fase experimental.....	45
Figura 25. Imagen NOAA1920181114-162755-map.png	46
Figura 26. Imagen NOAA1820190322-204553-map.png	46
Figura 27. Imagen NOAA1820190302-193836-map.png	46
Figura 28. Imagen NOAA1920181108-155709-map.png	46
Figura 29. Imagen NOAA1520190226-233235-map.png	47
Figura 30. Imagen NOAA1520190226-233235-map.png	48
Figura 31. Imagen NOAA1520190226-233235.png	48
Figura 32. Menú Enhancements	50
Figura 33. Imagen mejorada en el contraste con el canal A del satélite NOAA.....	51
Figura 34. Imagen mejorada en el contraste con el canal B del satélite NOAA.....	51
Figura 35. Imagen mejorada con MCIR map color IR.....	52
Figura 36. Imagen mejorada con MCIR with precipitation	52
Figura 37. Imagen mejorada con NO color IR	52

Figura 38. Imagen mejorada con Sea Surface Temp.....	53
Figura 39. Imagen mejorada con el uso del sensor Térmico del satélite NOAA	53
Figura 40. Imagen Landsat 8 de Panamá del día 17 de abril de 2019.....	54
Figura 41. Imagen Landsat 7 de Colombia del día 13 de abril de 2019	54
Figura 42. Landsat 8 – 17 de abril de 2019	57
Figura 43. NOAA APT – 02 de abril de 2019.....	57
Figura 44. Imagen obtenida el día 26 de Abril de 2019.	58
Figura 45. Histograma de la imagen del 26 de abril de 2019.....	59
Figura 46. Histograma de la imagen Landsat LE07_L1TP_008057_20190413.....	60

LISTADO DE ACRÓNIMOS

APT Automatic Picture Transmission.

DVB-T Digital Video Broadcasting- Terrestrial.

EM Electro Magnetic.

ETM Enhanced Thematic Mapper.

FM Frequency Modulation.

GNU GNU is Not Unix.

HRPT High Resolution Picture Transmission.

kHz Kilo Hertz

LDCM Landsat Data Continuity Mission

LNA Low Noise Amplifier.

MHz Mega Hertz.

NOAA National Oceanic and Atmospheric Administration.

QFH QuadriFilar Helix.

RHCP Right-Hand Circularly Polarized.

RQHA Resonant Quadrifilar Helical Antenna

RTL Resistor Transistor Logic

SDR Software Defined Radio.

TDT Televisión Digital Terrestre.

TM Thematic Mapper

POES Polar Operational Environmental Satellites

1. INTRODUCCIÓN

En la actualidad, el uso de las imágenes adquiridas con plataformas aéreas o satelitales es muy extendido, ya que permiten estudiar una gran cantidad de fenómenos que ocurren en la superficie terrestre y en la atmósfera. El registro de los datos tomados por sensores a bordo de satélites ha estado en manos de agencias espaciales nacionales, empresas privadas y universidades de países desarrollados. Sin embargo, esta situación está cambiando, debido a la apertura de datos de agencias espaciales, tales como la NASA con su dependencia NOAA, la Agencia Espacial Europea (ESA), la Agencia Espacial Federal de Rusia, entre otras, que permiten la descarga de los datos crudos a través de protocolos y estándares muy bien definidos. Uno de ellos es el protocolo de Transmisión Automática de Imágenes (APT), sistema de adquisición de imágenes de libre uso, imágenes sin impedimentos visuales, además, imágenes actualizadas día por día, de la zona de interés. En esta propuesta se compararán las imágenes obtenidas mediante el sistema APT y las imágenes obtenidas mediante métodos tradicionales, con el fin de revisar las diferencias, pros y contras de cada uno de ellos.

Palabras clave: imágenes satelitales, APT, LANDSAT, NOAA, adquisición de imágenes, SDR, Dongle SDR, Raspberry Pi 2.

2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El creciente uso de imágenes de satélite para la investigación científica o proyectos civiles, ha conllevado a que se tengan que adquirir por diferentes métodos, ya sean de pago o de forma gratuita en su página web, alimentando continuamente la base de datos de los sitios correspondientes al análisis.

Aun cuando las organizaciones que capturan imágenes de satélite tiene disponible para el público en general, los sitios web para la descarga de los datos y productos elaborados por con modelos globales, cada vez es más necesario que las organizaciones de orden regional o local y universidades, obtengan y procesen los datos que requieren para abordar el estudio de sus problemas específicos. La utilización de productos terminados o imágenes con un nivel de procesamiento determinados impide que algunos estudios locales no se puedan realizar debidamente, lo que ocasiona que algunos eventos naturales no se puedan monitorizar, como por ejemplo la atención y prevención de desastres.

Con el paso de los años y la evolución en la tecnología satelital, proyectos como el sistema de Transmisión Automática de Imágenes (Automatic Picture Transmission, APT), ha ido en crecimiento, no tanto como se espera según su alto grado de importancia, pero si con una comunidad científica grande. Este tipo de imágenes son de adquisición gratuita y con un alto grado de confiabilidad, además de ofrecer un periodo de adquisición de casi al instante [1].

Como estas imágenes se pueden obtener en tiempo real, fenómenos naturales de alto dinamismo e impacto en las comunidades como maremotos, mareas rojas, desplazamiento de especies marinas, inundaciones, deforestación, minería ilegal, etc., se podrán monitorear en forma permanente y bajo las condiciones de cada localidad. A pesar de estas ventajas, en la actualidad la Universidad del Valle no cuenta con un sistema receptor que permita la captura en tiempo real de imágenes de satélite para el monitoreo en tiempo real de fenómenos naturales, por lo cual se desea responder a la siguiente pregunta: ¿Cómo proveer imágenes de satélite en tiempo real por medio del protocolo APT, para el monitoreo de fenómenos naturales, a un bajo costo?

3. OBJETIVOS

3.1 OBJETIVO GENERAL

- Obtener imágenes de los satélites de la NOAA analógicamente a partir de radiofrecuencia.

3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Identificación del protocolo de Transmisión Automática de Imágenes (APT).
- Reconocimiento del protocolo de transmisión de las imágenes provenientes del satélite NOAA.
- Diseño de una antena receptora de la señal analógica para la recepción de las imágenes de los satélites de la NOAA.
- Comparación de las imágenes obtenidas análogamente con imágenes descargadas de la web.

4. JUSTIFICACIÓN

En vista de diferentes acontecimientos de índole ambiental, los cuales ocurren sin premeditación y sin medición alguna de forma previa, un sistema de recepción de imágenes ayuda de gran manera a los estamentos de atención oportuna, ya sean Cruz Roja o Defensa Civil, con un sistema capaz de generar imágenes en tiempo real y de forma inmediata los tiempos de reacción pueden reducirse de forma considerable y evitar catástrofes mortales. Este sistema no solo se limita este tipo de información, ya que la información obtenida puede ser usada para cualquier tipo de análisis, ya sea de espacios con análisis temporales, temperaturas marinas usando el software adecuado, o hasta predicciones de pesca para empresas dedicadas a este campo. Como un plus, se tiene que el tipo de imágenes generadas, al ser de libre adquisición, se pueden difundir de forma libre mediante diferentes formas, ya sean mediante protocolos web o cualquier tipo de intercambio digital. Con esto, la universidad queda con un sistema de recepción de imágenes de satélite, una parte que faltaba en ella, siendo capaces de procesar información y de analizarla, ahora también con un sistema de obtención en beneficio para la comunidad.

5. MARCO TEÓRICO

5.1 MARCO CONCEPTUAL

Un satélite artificial es un cuerpo creado por el hombre el cual se sitúa en órbita alrededor de un cuerpo celeste. Un satélite permanece en órbita alrededor de la Tierra (o de otro cuerpo celeste) cuando la fuerza de atracción gravitacional está equilibrada con la fuerza centrífuga. Como la fuerza de gravedad ejercida por un cuerpo celeste disminuye en proporción inversa al cuadrado de la distancia, cuanto más alto esté situado el satélite, menor será la fuerza de atracción gravitacional y menor, por consiguiente, su velocidad orbital.

Según su uso existen diferentes tipos de satélites, tales como: comunicaciones, navegación, meteorológicos, estudios de recursos terrestres y marítimos, militares y científicos. Otra clasificación es según el tipo de órbita que describen:

- Satélites LEO (Low Earth Orbit, órbitas bajas): orbitan la Tierra a una distancia de 160-2000 km y su velocidad les permite dar una vuelta al mundo en 90 minutos. Se usan para proporcionar datos geológicos sobre movimiento de placas terrestres y para la industria de la telefonía satélite.
- Satélites MEO (Medium Earth Orbit, órbitas medias). Son satélites con órbitas medianamente cercanas, de unos 10.000 km. Su uso se destina a comunicaciones de telefonía y televisión, y a las mediciones de experimentos espaciales.
- Satélites HEO (Highly Elliptical Orbit, órbitas muy elípticas). Estos satélites no siguen una órbita circular, sino que su órbita es elíptica. Esto supone que alcanzan distancias mucho mayores en el punto de órbita más alejada. A menudo se utilizan para cartografiar la superficie de la Tierra, ya que pueden detectar un gran ángulo de superficie terrestre
- Satélites GEO. Tienen una velocidad de traslación igual a la velocidad de rotación de la Tierra, lo que supone que se encuentren suspendidos sobre un mismo punto del globo terrestre. Por eso se llaman satélites geoestacionarios. Para que la Tierra y el satélite igualen sus velocidades es necesario que este último se encuentre a una distancia fija de 35.800 km sobre el ecuador. Se destinan a emisiones de televisión y de telefonía, a la transmisión.

En este proyecto se trabajará con satélites cuyo tipo de orbita es LEO, de estos satélites LEO se tomarán las imágenes que a su paso por cada punto del planeta vayan tomando línea a línea y vayan retransmitiéndola a Tierra en forma constante y en tiempo real.

Actualmente, se encuentran 4 satélites meteorológicos de órbita baja activos en el modo de transmisión de imágenes llamado APT (Automatic Picture Transmission): el NOAA 15, NOAA 17, NOAA 18 y el NOAA 19. Estos satélites transmiten la información hacia la Tierra en dos modos: uno de baja resolución APT en la banda de los 137Mhz. y otro de alta resolución HRPT (High Resolution Picture Transmission) en 1,7Ghz. En esta última banda los datos bajan codificados en forma digital, por lo que resulta muy complejo para el aficionado reunir el equipo necesario para su correcta recepción.

El sistema de transmisión de imágenes que usan éstos satélites, consiste en una portadora modulada en frecuencia por una subportadora de 2.4 kHz, que cambia de amplitud con la señal de vídeo. Las diferentes tonalidades de grises, desde el nivel negro hasta el blanco, dependen de la profundidad de la modulación. De esta forma se definirán la intensidad de los puntos que forman la imagen o pixels. Los canales 2(VIS) y 4(IR) son los canales (A y B) que transmiten en las pasadas durante el día y los canales 3(MIR) y 4(IR) en las pasadas nocturnas.

El sistema APT de los satélites NOAA provee un tren de transmisión (stream) de reducida resolución desde el instrumento AVHRR. La data se transmite continuamente como una señal análoga que puede ser recibida en tiempo real por equipos medianamente sofisticados, mientras el satélite está en el rango visible de la estación de usuario. Fue introducida en 1970 y por las últimas tres décadas ha provisto de imágenes y datos a estaciones de relativo bajo costo en casi todos los países del mundo, dando a profesionales de diferentes áreas sus primeros pasos en el estudio de imágenes de satélites en tiempo real. Una estación terrestre en el mundo puede recibir imágenes de tres satélites diferentes por lo menos dos veces por día.

En [2] establece que el Satélite NOAA 15, corresponde al tipo NOAA-k, de la serie de satélites (POES) Polar Operational Environmental Satellites, fue renombrado como NOAA-15 después de su lanzamiento el 13 de mayo de 1998 y comenzó a operar el 15 de diciembre del mismo año. Con él aparece una generación de satélites con mejoras tecnológicas en su instrumentación. Su frecuencia de downlink para APT es 137.62 MHz y para High Resolution Picture Transmission (HRPT) de 1702.5 MHz. Se encuentra a una altitud de 807 km y el periodo de su órbita es de 101.1 minutos.

El Satélite NOAA 18, del tipo NOAA-N, pertenece a la última generación de satélites POES, fue renombrado como NOAA-18 después de su lanzamiento el 20 de mayo de 2005 y empezó a transmitir el 30 de agosto de 2005. Su frecuencia de downlink para APT es

137.9125 MHz y para HRPT de 1707.0 MHz. Se encuentra a una altitud de 854 km y el periodo de su órbita es de 102.12 minutos.

El Satélite NOAA 19, de la versión NOAA-N Prime, es el último satélite de la generación de satélites POES, fue renombrado como NOAA-19 después de su lanzamiento 6 de febrero de 2009 y comenzó a operar el 2 de junio de 2009. Su frecuencia de downlink para APT es 137.1 MHz y para HRPT de 1698.0 MHz. Se encuentra a una altitud de 870 km y el periodo de su órbita es de 102.14 minutos.

El resumen de características técnicas de los satélites lo podemos observar en la Tabla 1

SATELITE	NOAA 15	NOAA 18	NOAA 19
TIPO	NOAAA-k	NOAA-N	NOAA-N Prime
AÑO DE LANZAMIENTO	13 de mayo de 1998	20 de mayo de 2005	06 de febrero de 2009
ENTRADA EN OPERACIÓN	15 de diciembre de 1998	30 de agosto de 2005	02 de junio de 2009
FRECUENCIA APT	137.62 MHz	137.9125 MHz	137.1 MHz
FRECUENCIA HRPT	1702.5 MHz	1707.0 MHz	1698.0 MHz
ALTURA	807 km	854 km	870 km
PERIODO DE ORBITA	101.1 minutos	102.12 minutos	102.14 minutos

Tabla 1. Comparación de datos técnicos de los satélites NOAA.

Los satélites americanos Landsat han sido, desde su primer lanzamiento en 1972, una de las plataformas más usadas en la teledetección terrestre. Posee un claro nicho específico debido a su resolución temporal (16 días), espectral (de 4 a 8 bandas, según misiones), elevada cobertura terrestre y amplio archivo retrospectivo [3]. Desde abril de 1999, están disponibles las imágenes del satélite Landsat-7. Esta plataforma incluye el sensor Enhanced Thematic Mapper Plus (ETM+), que respecto a la anterior versión, Landsat- 5, lanzada en enero de 1984 con el sensor Thematic Mapper (TM), se diferencia, básicamente, por la inclusión de una nueva banda pancromática (P, de 0.5 a 0.9 μm , corregistrada con las bandas multiespectrales, XS), con un píxel de 15 m de resolución nominal y por la nueva resolución espacial de la banda térmica (de 10.4 a 12.5 μm), con un píxel de 60 m de lado en lugar de los anteriores 120 m [4].

En la actualidad el programa se encuentra en su octava versión denominada: “Landsat Data Continuity Mission” (LDCM) es el octavo satélite de observación de la serie Landsat y

continuará el legado de archivo de los anteriores satélites, convirtiéndose de esta manera en el futuro de los satélites de observación de la tierra de mediana resolución con más historia. Este programa amplía, mejora y avanza en el registro de imágenes multispectrales, manteniendo la misma calidad de sus siete predecesores [5]. Tras el lanzamiento, el satélite LDCM será rebautizado como Landsat 8. La plataforma LDCM, fue construida por la empresa Orbital Sciences Corporation en Gilbert, Arizona, tiene una vida útil de 5 años, pero lleva suficiente combustible para 10 años de operaciones. La nave orbitará de norte a al sur durante el día, cruzando el ecuador a las 10 a.m., hora local, con una órbita aproximada de unas 438 millas (705 kilómetros) por encima de la Tierra [5].

La corrección geográfica de las imágenes presenta, en todos los casos estudiados en teledetección, grandes dificultades de cara a la obtención de resultados precisos. Existen múltiples fuentes de error, tales como los fallos en los sensores, alteraciones en el movimiento de los satélites, interferencia de la atmósfera, entre otras para el caso de los satélites; en los cálculos podemos encontrar errores de posición, y propagación de errores de exactitud y precisión de las imágenes obtenidas, los cuales son difícilmente tenidos en cuenta en la aplicación de modelos teóricos funcionando de forma totalmente automática, sin la interacción del usuario. Las imágenes corregidas, generadas por estos modelos, deben ser ajustadas finalmente mediante la identificación de puntos de control y la aplicación de polinomios de ajuste, con la finalidad de obtener la máxima precisión. Sin embargo, el automatismo en todas las tareas, de procesamiento de imágenes debe ser considerado como un objetivo primordial en aquellos casos que requieran la generación de productos en tiempo real. Esto conlleva la búsqueda de un compromiso entre precisión exigida y tiempo de proceso [6].

En el caso de la corrección del sensor AVHRR, los modelos más ampliamente utilizados toman al menos un punto de control para resolver las condiciones de cruce con el ecuador de la órbita ascendente. Estos procedimientos parten de los parámetros de cruce con el ecuador de la última órbita ascendente previa a la captura de la imagen (longitud geográfica y tiempo de cruce). En otros casos, se ha utilizado como modelos de base el mencionado anteriormente, incluyendo más puntos de control de tierra, para, una vez resuelta la órbita, utilizar dichos puntos de control obtenidos automáticamente, para generar polinomios de ajuste. La técnica de determinación de los parámetros de cruce con el ecuador, ha sido empleada, también, para generar un modelo de corrección geométrica teniendo en cuenta varios factores de barrido del sensor que llevan a la obtención de resultados precisos; sin embargo, los métodos mencionados que aplican esta técnica emplean puntos de control obtenidos de forma interactiva para el cálculo de estas magnitudes, lo que demora de forma importante el procesado de la imagen [7].

Posteriormente, las imágenes pueden llevar una serie de procesamiento para su fusión de imágenes los cuales se pueden realizar mediante 3 algoritmos: Análisis de componentes principales (ACP), Transformación HPF (High Pass Filter) y la Fusión Gram-Schmidt [8].

El análisis de las componentes principales consiste en utilizar como fuente de datos las cuatro bandas del sensor multiespectral. La banda pancromática se ajusta para tener la misma media y varianza que el primer componente obtenido. La banda pancromática así ajustada se sustituye por el primer componente y se realiza la transformación inversa de los datos. La justificación para sustituir el primer componente ajustado es que estas dos capas, la pancromática y el primer componente, ofrecen información muy parecida. Este supuesto se acepta porque el primer componente absorbe la información que es común al conjunto de bandas multiespectrales, mientras que la información espectral individual de cada una de las bandas queda repartida en el resto de componentes, de los que este tipo de fusión no hace uso.

La transformación HPF es un método que consiste en añadir la información espacial de la banda pancromática a la información multiespectral de menor resolución espacial. Para esto, se aplica un filtro de paso alto en combinación con una operación de álgebra de mapas. El funcionamiento del algoritmo, consta de 5 pasos:

1. Calcular el parámetro R a partir del tamaño del píxel de la capa pancromática y de la multiespectral según muestra la Ecuación 1:

$$R = \frac{t_{mis}}{t_{pan}} \quad \text{Ecuación 1}$$

donde t_{mis} es el tamaño del píxel de las bandas multiespectrales y t_{pan} es el tamaño del píxel de la banda pancromática.

2. Remuestreo de la imagen multiespectral a la resolución espacial de la imagen filtrada.
3. Suma de la imagen filtrada a las capas multiespectrales. Pero antes, la imagen filtrada se pondera en función de la desviación típica de la imagen multiespectral y el valor de R, a este factor de ponderación se le denomina W.

4. Expansión lineal de los ND de la imagen multiespectral fusionada; esta operación reescala la imagen resultante, de forma que la media y la desviación típica coincida con las de la imagen original.

La fusión Gram-Schmidt es una técnica en la cual la resolución espacial de las bandas multiespectrales se mejora por un proceso similar al de la fusión por PCA. La imagen pancromática se combina con el resto de bandas de menor resolución espacial mediante una transformación matemática de los datos originales.

La transformación Gram-Schmidt es una técnica común en álgebra lineal y análisis multivariante; en este caso se aplica con objeto de ortogonalizar las bandas de una imagen digital. La ortogonalización de los datos elimina la información redundante que contienen, algo bastante acusado en las imágenes de satélite, especialmente en las bandas del espectro visible. En el caso de que exista una correlación perfecta entre las bandas de entrada, la ortogonalización Gram-Schmidt produciría una banda en la que todos los píxeles tendrían valor 0. En el caso más realista de que las correlaciones entre las bandas sean muy altas, el resultado será una imagen con valores muy bajos.

El algoritmo que presenta mejores resultados para [8] es la fusión Gram-Schmidt, el cual proporciona unas imágenes más naturales respecto al algoritmo ACP. En esta técnica la resolución espacial de las bandas multiespectrales se mejora por un proceso similar al de la fusión por ACP. La imagen pancromática se combina con el resto de bandas de menor resolución espacial mediante una transformación matemática de los datos originales. La transformación Gram-Schmidt es una técnica común en álgebra lineal y análisis multivariante; en este caso se aplica con objeto de ortogonalizar las bandas de una imagen digital.

Existen diferentes tipos de antenas para usar en la investigación de imágenes satelitales por medio del protocolo APT, entre las cuales se tiene, la antena de Dipolos Cruzados, Eggbeater, QFH, Lindelbald, etc. Para [9] la antena cuadrifilar es el tipo ideal. En la práctica las otras antenas presentan resultados no deseados. La antena cuadrifilar helicoidal resonante (RQHA, por sus siglas en inglés) es la antena ideal para la recepción del protocolo APT en los 137 MHz. La calidad de la recepción de la antena depende en gran medida de la calidad de las uniones y de la simetría que conserve esta antena en su disposición final.

Para la transmisión de señales APT que se originan desde satélites meteorológicos en órbita polar, las antenas han sido diseñadas:

1. Un patrón de radiación en forma de cono en el hemisferio inferior, como se muestra en la Figura 1

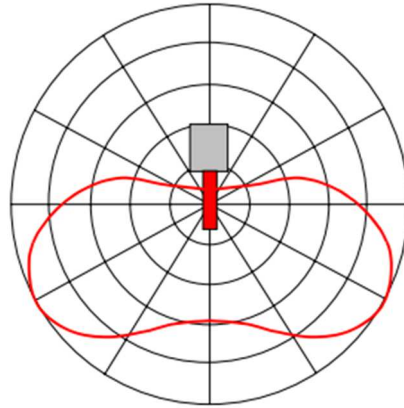


Figura 1. Diagrama de transmisión de la antena

Resulta del hecho de que las antenas de transmisión se dirigen hacia abajo. Los patrones han sido elegidos de tal manera que la intensidad de la señal es casi independiente de la distancia entre la antena receptora y el satélite.

2. Un campo polarizado circularmente a la derecha (RHCP), que es independiente de la dirección radiación.

Resulta del deseo de aprovechar los fenómenos de las ondas EM, cuando se reflejan están sujetas a una inversión en helicidad, es decir, RHCP (helicidad negativa por definición) y se convierten en LHCP (helicidad positiva).

3. Construcción robusta.

Debe de cumplirse, ya que la antena está sujeta a fuerzas considerables durante el lanzamiento.

4. Masa reducida.

Es de gran importancia cuando se trata de satélites ya que cada gramo cuenta.

En contraste, la antena receptora puede ser apuntada (al satélite) y puede seguir al satélite durante su paso. Sin embargo, es más conveniente montar la antena en una posición fija. Esto nos conlleva al requisito (5): un patrón de radiación, que es igualmente sensible en todas partes en el hemisferio superior.

Al utilizar antenas de recepción, que son sensibles solo a los campos RHCP, la conexión se realizará insensible a los reflejos. En particular en el horizonte, la antena debe ser RHCP (requisito 6).

Para la recepción de satélites en órbita polar, por lo tanto, es deseable tener una antena la cual:

5. Exhibe un patrón de radiación en el hemisferio superior, que coincide con el patrón mostrado en la Figura 2 (la antena está dirigida hacia arriba y tiene cobertura omnidireccional).

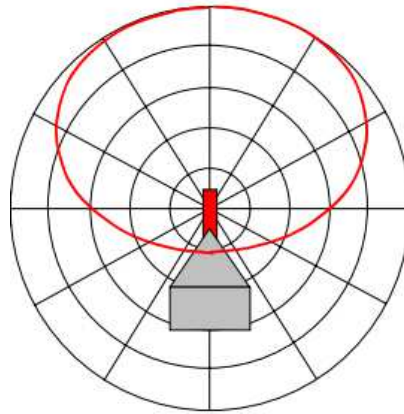


Figura 2. Patrón de recepción de la antena

6. Es sensible en todas las direcciones solo a las ondas electromagnéticas polarizadas del lado derecho. Para el modelo final de construcción de la antena RQHA del tipo “ $\frac{1}{2}$ vuelta, $\frac{1}{2}$ lambda”. Se colocan dos marcos de alambre trenzado unos sobre otros en ángulos rectos y están conectados al cable de la antena en la parte superior. La dirección de la torsión determina la polarización (RHCP). Las corrientes que se producen en ambos marcos de alambre, exhiben una diferencia de fase de 90° . El modelo de construcción lo podemos observar en la Figura 3.

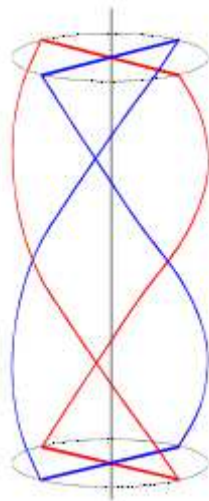


Figura 3. Antena RQHA

El siguiente elemento de hardware a tener en cuenta es el Dongle SDR, elemento indispensable en la obtención de las imágenes ya que es el encargado de la decodificación de la señal APT emitida por el satélite y capturada por nuestra antena QFH.

Los satélites meteorológicos envían una señal analógica en forma de onda de FM, las comunicaciones satelitales requieren de frecuencias portadoras con el objeto de separar sus transmisiones y evitar interferencias. Sin embargo, como las ondas electromagnéticas se ven afectadas por la materia según su frecuencia, no todo el espectro electromagnético puede pasar a través de la atmósfera de la Tierra, por lo que solamente una parte de este espectro es útil para las comunicaciones satelitales. De hecho, hay sólo dos ventanas principales del espectro electromagnético que están abiertas al espacio. Una de ellas es el espectro visible y la otra es el espectro de radio. Sin embargo, no todo el espectro radioeléctrico es utilizable para la comunicación espacial. La ventana disponible abarca de 30 MHz a 30 GHz aproximadamente. Por debajo de 30 MHz, la ionosfera, localizada a una altitud entre los 100 a los 500 Km, absorbe y refleja las señales. Por encima de 30 GHz, la atmósfera inferior o troposfera, situada por debajo de los 10 Km, absorbe las señales de radio a causa de oxígeno y vapor de agua. Incluso entre 20 y 30 GHz, hay algunas bandas de absorción que deben ser evitadas.

El espectro radioeléctrico satelital nos proporciona numerosas bandas que son utilizadas en diferentes aplicaciones. El uso de estas bandas está regulado por la Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT por sus siglas en inglés), la autoridad mundial en materia de comunicaciones. Los satélites meteorológicos usan la banda del VHF, la cual comprende de los 136 MHz a los 138 MHz. En el pasado esta banda ha sido utilizada ampliamente por muchos satélites. En la actualidad, la mayor actividad está restringida a 137-138 MHz y es usada por satélites meteorológicos que transmiten datos e imágenes de baja resolución, así como por enlaces de bajada de satélites de comunicaciones móviles de baja velocidad como Orbcomm.

Existen diferentes tipos de dongle SDR en el mercado, variando en su forma de construcción y su forma física, produciéndose en masa en el país de China.

Originalmente este hardware se diseñó para la recepción de señales de radio FM, posteriormente “hackers” de hardware le dieron la aplicación como sintonizador de televisión digital terrestre (TDT) o DVB-T TV. Para [10] la idea inicial de un SDR (Software Defined Radio) trata de reducción de gastos y aprovechamiento de dispositivos de propósito general. Desde 1991 hasta 1995 surge el proyecto militar SPEAKEasy en USA, un equipo programable que albergaba 10 tipos de tecnologías de comunicaciones inalámbricas con un rango entre los 2 MHz y 200 MHz. La segunda fase del proyecto tardó poco más de

un año y trabaja en un rango entre los 4 MHz y los 400 MHz. Surge el SDR Forum, actual Wireless Innovation Forum, en 1996 como grupo de trabajo de un conjunto de grandes empresas. En 2001 comienza el proyecto de GNU Radio, una herramienta de Software libre para implementar sistemas SDR. En 2006 se inicia el GRC, GNU Radio Companion, una interfaz gráfica para GNU Radio, que hace mucho más intuitiva la programación. El siguiente hito es el USRP, Universal Software Radio Peripheral, un dispositivo SDR del 2010 no solo importante por sí mismo, sino por hacer común el programa GNU Radio.

El integrado interno que usa es el RTL2832U demulador de la empresa Realtek, el cual, según en el análisis planteado por [11] se encuentra que su operación se encuentra entre los 50 – 2500 MHz, comparándolo con su [12] que es en el rango de 500 kHz – 1766 MHz, se encuentra que tiene un rango bastante amplio después de sus pruebas de laboratorio, para el proyecto se usó el hardware que se observa en la Figura 4.

En la investigación de [11] se tuvo en cuenta los diferentes rangos de las bandas del FM, las cuales oscilan entre los 88 – 108 MHz para la parte comercial del FM, 108 – 137 MHz en el tráfico aéreo o el radio por paquetes que trabaja bajo los 154 MHz.



Figura 4. Dongle SDR usado en el proyecto

En el análisis realizado por [13], realiza la comparación entre un receptor de FM tradicional y un receptor SDR. En su análisis encuentra que se presenta un mejor desempeño en el SDR debido a los filtros digitales que posee. Esa parte se llama Digital Down Converter (DDC), el cual es similar a su contraparte análoga pero multiplicado un gran número de veces debido a sus registros digitales, este proceso se observa de forma gráfica en bloques en la Figura 5.

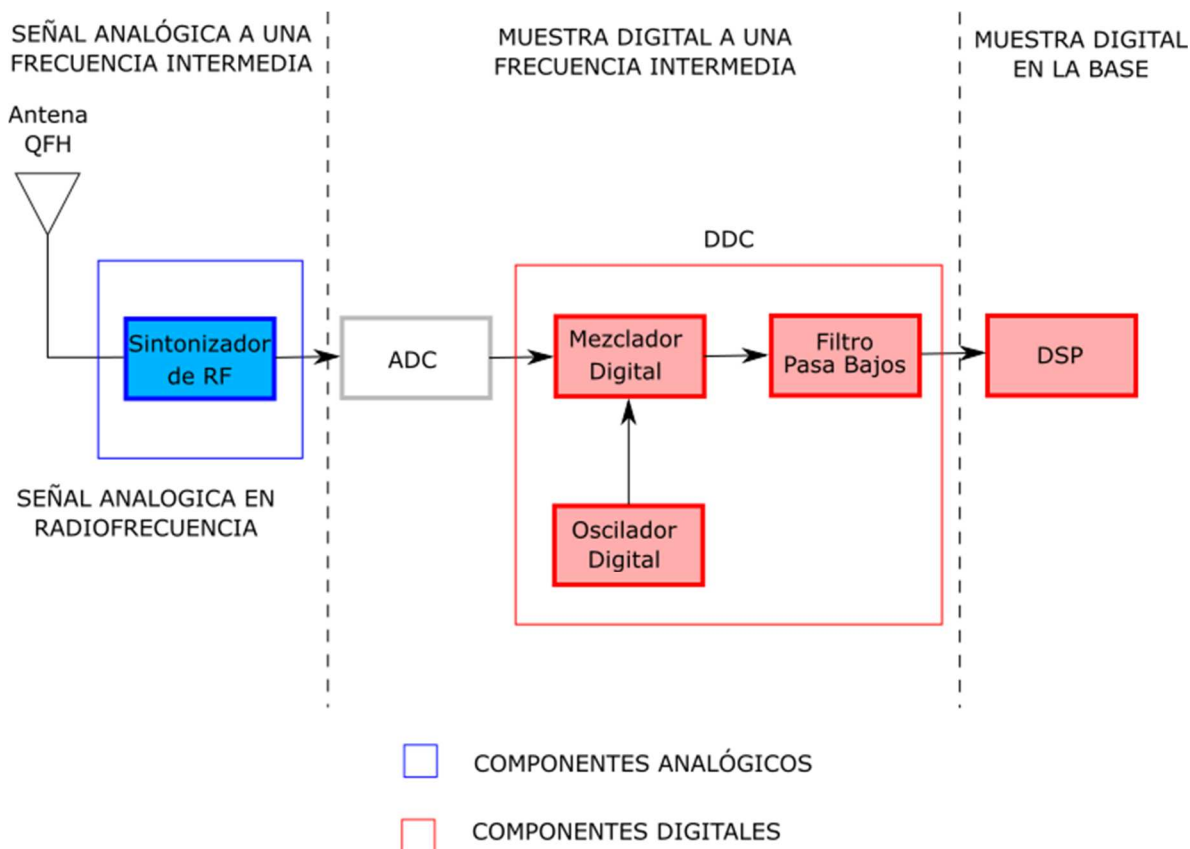


Figura 5. Diagrama de bloques de un receptor SDR

En el cual el sintonizador de Radio Frecuencia convierte la señal analógica a una Frecuencia Intermedia (FI). El siguiente proceso consiste en el Convertidor Analógico Digital (ADC), el cual cambia la señal análoga a digital. Las muestras entran a la siguiente etapa del Convertidor Digital Descendente (DDC). Este DDC consiste en una única construcción que emplea 3 circuitos: (1) un mezclador digital, (2) un oscilador local digital y (3) un filtro pasa-bajos. Por ultimo las muestras de la placa pasan a través del bloque de Procesamiento de Señales Digitales (DSP), donde se realizan tareas como la demodulación y decodificación, entre otras.

Debido a este análisis y la cantidad de filtros digitales que maneja, el dongle SDR es el hardware que se usa en mayor cantidad para las diferentes áreas científicas que requieran un desempeño medio alto para sus investigaciones.

Raspberry PI es una placa computadora (SBC) de bajo coste, se podría decir que es un ordenador de tamaño reducido, del orden de una tarjeta de crédito, desarrollado en el Reino Unido por la Fundación Raspberry PI (Universidad de Cambridge) en 2011, con el objetivo de estimular la enseñanza de la informática en las escuelas, aunque no empezó su comercialización hasta el año 2012.

El concepto es el de un ordenador desnudo de todos los accesorios que se pueden eliminar sin que afecte al funcionamiento básico. Está formada por una placa que soporta varios componentes necesarios en un ordenador común y es capaz de comportarse como tal.

A la Raspberry Pi la han definido como una maravilla en miniatura, que guarda en su interior un importante poder de cómputo en un tamaño muy reducido. Es capaz de realizar cosas extraordinarias.

Este proyecto fue ideado en 2006 pero no fue lanzado al mercado febrero de 2012. Ha sido desarrollado por un grupo de la Universidad de Cambridge y su misión es fomentar la enseñanza de las ciencias de la computación los niños. De hecho, en enero de este año Google donó más de 15.000 Raspberry Pi para colegios en Reino Unido. La Raspberry Pi, es una excelente herramienta para aprender electrónica y programación.

Los primeros diseños de Raspberry Pi se basaban en el microcontrolador Atmel ATmega644. Sus esquemas y el diseño del circuito impreso están disponibles para su descarga pública.

En mayo de 2009, la Fundación Raspberry Pi fue fundada en Caldecote, South Cambridgeshire, Reino Unido como una asociación caritativa que es regulada por la Comisión de Caridad de Inglaterra y Gales.

La fundación Raspberry Pi surge con un objetivo en mente: Desarrollar el uso y entendimiento de los ordenadores en los niños. La idea es conseguir ordenadores portables y muy baratos que permitan a los niños usarlos sin miedo, abriendo su mentalidad y educándolos en la ética del “ábrelo y mira cómo funciona”. El ideólogo del proyecto, David Braven, un antiguo desarrollador de videojuegos, afirma que su objetivo es que los niños puedan llegar a entender el funcionamiento básico del ordenador de forma divertida, y sean ellos mismos los que desarrollen y amplíen sus dispositivos. El co-fundador de la fundación es Eben Upton, un antiguo trabajador de la empresa Broadcom, el cual es el responsable de la arquitectura de software y hardware de la raspberry pi.

Eben Upton, se puso en contacto con un grupo de profesores, académicos y entusiastas de la informática para crear un ordenador con la intención de animar a los niños a aprender informática como lo hizo en 1981 el ordenador Acorn BBC Micro.

La fundación da soporte para las descargas de las distribuciones para arquitectura ARM, Raspbian (derivada de Debian), RISC OS y Arch Linux; y promueve principalmente el

aprendizaje del lenguaje de programación Python, y otros lenguajes como Tiny BASIC, C y Perl. El modelo usado en el proyecto es la Raspberry Pi 2 B que se observa en la Figura 6



Figura 6. Raspberry Pi 2 B

El Software WXTOLMG para decodificación de señales de satélite se utiliza para la corrección doppler en la obtención de la imagen enviada por el satélite. Se trata de un software Open Source. <http://wxtoimg.com/>.

WXtoimg [14] es un software totalmente automatizado de grabación, decodificación, edición y visualización de satélites meteorológicos. WXtoimg admite superposiciones de mapas, mejoras de color avanzadas, imágenes en 3D, animaciones, imágenes de múltiples pasadas, transformación de proyección (por ejemplo, Mercator), superposiciones de texto, creación automática de páginas web, visualización de temperatura y control para muchos receptores de satélites meteorológicos, receptores de comunicaciones y escáneres.

WXtoimg admite tanto las transmisiones APT de satélites en órbita polar como las transmisiones WEFAX desde Satélites geoestacionarios. WXtoimg tiene un conjunto integrado de funciones de procesamiento de imágenes, pero puede generar datos en bruto para posterior procesamiento de imágenes. La salida está en formato JPEG, PNG, BMP, PBM (PGM / PPM / PNM) o AVI.

WXtoimg utiliza los datos de telemetría en las imágenes APT de NOAA para calibrar la imagen con gran precisión, correcciones para no linealidades en señales fuertes, y hacer ajustes para los cambios de ganancia a través de cada paso del satélite. Los datos telemétricos también se usan para calibrar los instrumentos para proporcionar lecturas de temperatura muy precisas.

5.2 MARCO TEÓRICO

Un aspecto crítico en la utilización de los datos tomados con sensores dispuestos en satélites es el diseño de la antena de recepción. [15] utilizó los datos de antenas de en la construcción de una antena Double Cross (DCA), la cual, según los estudios, supera a las antenas Helicoidales y la Turnstile, además este tipo de antena es de fácil construcción. El concepto de la DCA es de cuatro dipolos alimentados de una forma que hace que la antena presente una polarización circular y genere un diagrama de radiación ideal para la recepción del satélite.

En [15], estableció que, en una estación meteorológica, el dispositivo puede ser cambiado para mejorar el desempeño de la misma es la instalación de una nueva antena, ya que el cambio de algún otro dispositivo en la estación no cambiara en gran proporción el desempeño y la mejora de la recepción. La DCA es un nuevo tipo de antena para la recepción de satélites meteorológicos de órbita polar de la NOAA, la cual posee un diagrama de radiación de que presenta un área de cobertura de media esfera, el cual permite el mejor seguimiento del satélite. Esta antena primordialmente debe cumplir con las características de transmisión satelital en donde la polarización de la antena y la frecuencia de trabajo son los parámetros más importantes para el correcto funcionamiento. Lo que se busca con la DCA es mejorar la recepción del satélite para los ángulos bajos del mismo con el horizonte, esto permite aumentar el área que puede ser observada en la tierra.

La DCA es una antena que está compuesta por cuatro dipolos de media onda, como es de saber los satélites POES de la NOAA trabajan entre la frecuencia de 137 a 138 MHz por lo que la longitud de media longitud de onda debe ser calculado para una frecuencia de 137.5 MHz. La longitud de onda, es la diferencia en referencia a dos picos sucesivos de una onda y la frecuencia es la cantidad de ciclos sucesivos que pasan por un punto fijo en una unidad de tiempo. Ambos elementos están inversamente relacionados como se muestra en la Ecuación 2, con lo que se puede determinar qué:

$$C = \lambda.f$$

Ecuación 2

Donde, c , es la velocidad de propagación de la onda; λ , es la longitud de onda, que corresponde a la diferencia en referencia a dos picos sucesivos de una onda; y la frecuencia (f) es la cantidad de ciclos sucesivos que pasan por un punto fijo en una unidad de tiempo. A partir de la Ecuación 2 se puede determinar que la velocidad de la luz (3×10^8) es igual a una longitud de onda de tres metros por una frecuencia de cien mega Hertzios. Lo que permite determinar que a menor longitud de onda mayor tiene que ser la frecuencia

para mantener la relación y viceversa. Con el uso de la Ecuación (1) se obtiene que la longitud de onda teórica es de 1.09 metros.

5.2.1 ANALISIS DE COMPONENTES PRINCIPALES

Para el grupo [16] esta metodología es ampliamente usada en teledetección multiespectral. La transformación de los datos originales multiespectrales mediante el PCA puede resultar en un conjunto de nuevas bandas (componentes principales), mas interpretables que las originales. El PCA también es usado para comprimir datos, reduciendo la dimensionalidad espectral de las bandas originales (6 en el Landsat) en unas pocas bandas transformadas en la imagen de componentes principales (por ejemplo, los dos primeros componentes). Esto puede ser sumamente útil, cuando se trata de trabajar con datos hyperespectrales, donde la imagen original está compuesta por cientos de bandas (alrededor de 220 bandas en el AVIRIS o en EO1-Hyperion). Frecuentemente el método es usado en teledetección para identificación de cambios en una serie de tiempo, donde en lugar de bandas originales entran en el análisis imágenes o bandas correspondientes a diferentes fechas de una misma escena.

El modelo se ajusta a los siguientes procedimientos:

1. Planteamiento de la matriz de varianza-covarianza
2. Los autovalores, $E = [\lambda_{1,1}, \lambda_{2,2}, \lambda_{3,3}, \dots, \lambda_{n,n}]$ y los autovectores $EV = [a_{kp} \dots]$ Para $k = 1$ hasta n bandas y $p = 1$ hasta n componentes] de la matriz de covarianza se calculan como, tal como se muestran en la Ecuación 3

$$\begin{matrix} EV & Cov & EV^T \\ [nxn] & [nxn] & [nxn] \end{matrix} = \begin{matrix} E \\ \begin{pmatrix} \lambda_{1,1} & 0 & \dots & 0 \\ 0 & & \ddots & \vdots \\ \vdots & & & \\ 0 & \dots & & \lambda_{n,n} \end{pmatrix} \end{matrix} \quad \text{Ecuación 3}$$

Donde:

EVT es la matriz de autovectores traspuesta.

EV y E es una matriz de covarianza diagonal cuyos elementos $\lambda_{i,i}$ son los autovalores que corresponden a la varianza explicada por cada uno de los componentes p . Los autovalores fuera de la diagonal valen 0 y se ignoran.

A partir de los autovalores es posible calcular el porcentaje de varianza explicada por cada componente tal como se muestra en la

Ecuación 4:

$$\%_p = \frac{\text{autovalor } \lambda_p * 100}{\sum_{p=1}^n \text{autovalores } \lambda_p} \quad \text{Ecuación 4}$$

5.2.2 TRANSFORMACIÓN DE FILTRO PASO ALTO

En [8] con el parámetro R hallado en la Ecuación 1, procederemos a hallar el factor de ponderación W , tal como se muestra en la Ecuación 5

$$W = \frac{\sigma_{mis}}{\sigma_{pan} * M} \quad \text{Ecuación 5}$$

Donde:

σ_{mis} es la desviación típica de cada una de las bandas.

σ_{pan} es la desviación típica de la imagen filtrada.

M es un factor que determina la intensidad en la aplicación del filtro.

Posteriormente el cálculo para cada banda se determina mediante la Ecuación 6

$$P_{out} = P_{in} + P_{HPF} * W \quad \text{Ecuación 6}$$

Donde:

P_{out} es el píxel de salida de cada una de las bandas multiespectrales ya fusionadas.

P_{in} es el píxel de entrada de cada una de las bandas multiespectrales originales.

P_{HPF} es el píxel de la imagen filtrada.

5.2.3 FUSIÓN DE GRAM-SCHMIDT

El funcionamiento del algoritmo aplicado a fusión de imágenes es el siguiente:

1. Generación de la imagen pancromática simulada (P_{sim}) de la misma resolución espacial que la imagen multiespectral. La nueva imagen se utiliza como la primera banda de la transformación Gram-Schmidt según la Ecuación 7:

$$GS_1(i, j) = P_{sim}(i, j) \quad \text{Ecuación 7}$$

donde i y j son la fila y la columna, respectivamente, y GS_1 es la primera banda de la transformación *Gram-Schmidt*.

2. Para el uso de esta técnica en fusión de imágenes se lleva a cabo una pequeña modificación de la transformación Gram-Schmidt original: a cada píxel de la imagen que se pretende transformar se le resta la media de su banda antes de que se realice la ortogonalización. En la transformación Gram-Schmidt modificada, la banda GS_T se calcula a partir de las anteriores GS_{T-1} tal como se muestra en la Ecuación 8:

$$GS_T(i, j) = [B_T(i, j) - \mu_T] - \sum_{i=1}^{T-1} \phi(B_T, GS_1) - GS_1(i, j) \quad \text{Ecuación 8}$$

donde T es el número de banda que se transforma, B es la banda original, μ_T es la media de la banda T y $\phi(B_T, GS_1)$ se calcula como dice la Ecuación 9:

$$\phi(B_T, GS_1) = \frac{\sigma(B_T, GS_1)}{\sigma_{GS_1}} \quad \text{Ecuación 9}$$

es decir, la covarianza de las bandas GS_1 y la banda original B , entre la varianza de la banda GS_1 .

5.3 MARCO REFERENCIAL

En un inicio [1] plantea la obtención de las imágenes de satélite mediante un sistema que recibe el formato HRPT, los cuales pertenecen a satélites de alta resolución temporal de los satélites NOAA. Este método exige el uso de hardware y software especial para la lectura y

observación de las imágenes. La gran ventaja del trabajo es que se puede actualizar o realizar cambios de forma sencilla.

A partir del proceso de metodología del uso de software y hardware para la adquisición de las imágenes, es necesario el uso de una antena que permita recibir dicha información. Los estudios de [17] brindan las pautas para la ubicación de las antenas y obtener un radioenlace de microondas adecuado con los respectivos satélites a utilizar, proporcionando indicios de como la atmosfera incide en gran manera sobre la señal enviada por el satélite.

Por su parte [8] realiza un método de fusión de imágenes de alta resolución espacial, los 3 métodos usados son: Análisis de Componentes Principales, High Pass Filter y Gram-Schmidt. Este estudio se analiza con el fin de realizar la comparación de las imágenes posteriormente con las obtenidas del sensor de Landsat.

Con las imágenes se realizarán diferentes análisis, entre ellos el espacio temporal de diferentes zonas del país, teniendo como una base el estudio realizado por [18] de la incidencia antrópica en la cuenca del río Cauca, en el departamento del Valle, Colombia. En él se realizaron análisis de la vegetación, demografía y modificación del cauce del río.

Otro estudio que se tendrá como base, es el realizado por [19], en el cual se realiza un análisis multitemporal de 40 años, en las coberturas glaciares de los nevados Allin Capac y Chichi Capac en el Perú. En este estudio se analiza la reducción de casi un 33% de la capa de hielo.

En [15] se planteó el diseño y construcción de una antena Double Cross, para la recepción de imágenes satelitales NOAA con el protocolo APT. Este trabajo consistía en corroborar las investigaciones realizadas sobre la comparación con antenas QHA que, según ellas, tienen mejores prestaciones técnicas que las antenas QHA. Este estudio presento los siguientes resultados:

1. Uno de los parámetros a determinar fue la altura y la relación que existía entre el diámetro de los dipolos y la calidad de recepción de la antena, una vez resueltos estos interrogantes se prosiguió a comparar la antena Double Cross contra las diferentes antenas de tipo cuadrifilar que se puedan encontrar.
2. Se determina la veracidad respecto a que las antenas QHA no presenta los mejores desempeños en ángulos muy bajos con respecto al horizonte entre 0 a 10° aproximadamente, con esta antena se conseguía la posibilidad de tener la mayor área de cobertura.
3. De igual forma se posee una estación con antenas QHA, las cuales se encuentran en correcto funcionamiento y son las que continuamente reciben las señales satelitales.

Como resultados finales se tiene que:

1. La primera conclusión viene dada por la elección de antena DCA, en donde se ha decidido por la antena que posee los dipolos de mayor diámetro. Esto se debe a que posee una mejor recepción de imagen, mayor potencia de señal recibida y por teoría el dipolo con mayor diámetro se comporta mucho más estable que el de menor área.
2. Es de fácil construcción y ensamblaje, la antena DCA contra la antena cuadrifilar, ya que pocas horas al día es posible su elaboración y no es necesario de equipos de alta tecnología para su ensamblaje.
3. No todo es ventajas para la antena DCA ya que presenta una gran sensibilidad al ruido en entornos urbanos, esta desventaja de la antena se encuentra presente en una ciudad poblada la cual posee un tráfico grande en el ámbito de las telecomunicaciones inalámbricas.

Por su parte [20] realizó un prototipo de recepción de imágenes satelitales usando SDR, para lo cual usa una antena omnidireccional, estas antenas son Double Cross, Turnstile y la Helicoidal. En este proyecto se usa el equipo NI-USRP 2920, el cual es un sistema programable para el uso en diferentes campos de las telecomunicaciones, con mayor énfasis en la radiofrecuencia en el área inalámbrica.

Se diseñaron y construyeron las 3 antenas especificadas anteriormente. Bajo estas especificaciones se concluye que la antena con mejores prestaciones es la antena Double Cross con mayor eficiencia y mejor opción para usar en el prototipo del equipo en uso. Respecto a las pruebas realizadas se toma como base los dB de cada antena, con -46,5 para la Double Cross y -48.62 para la QHA. Entre las tre antenas el desempeño más bajo respecto a los dBm es la Turnstile.

Respecto a la producción, es más económica la antena QHA respecto a la Double Cross, teniendo un 20% de reducción de costos.

Respecto a tiempos de recepción de señales nuevamente la Double Cross obtuvo mejores resultados, con un promedio de 7 minutos por paso de satélite, seguido de la QHA con un promedio de 6 minutos y la Turnstile con 5 minutos.

Por ultimo concluye que la antena con mejores prestaciones es la Double Cross, debido a los promedios que obtuvo en las pruebas correspondientes, seguida muy de cerca por la antena QHA, pero teniendo en cuenta el entorno donde se vaya a ubicar la antena, el cual no debe estar con mucho espectro radioeléctrico.

Para [21] se quería crear una alternativa para la recepción y difusión de imágenes transmitidas por los satélites meteorológicos, bajo condiciones de autonomía por averías de los sistemas de alimentación de energía eléctrica y comunicaciones que imponen los desastres por fenómenos atmosféricos.

Para este trabajo se emplea el R2FX, el cual es un equipo diseñado para la recepción de los satélites de órbita polar que operan en la banda de 137 MHz con un excelente desempeño debido a sus características. Además de la recepción de imágenes también se contaba con equipo de transmisión, el cual es el equipo Vertex VX200. Para todo esto se usa una antena Moxon.

Como conclusión el sistema implementado está concebido para ser aplicado en condiciones atmosféricas desfavorable, dadas por la inminencia de un ciclón u otra afectación climática que se pueda registrar o predecir a partir de las imágenes disponibles en los satélites, también pueden ser incendios forestales, lo cual evidencia la importancia del mismo como sistema alterativo en estas situaciones.

Por su parte [2] realizo un Servicio WEB para satélites meteorológicos NOAA basándose en el sistema SDR. El propósito principal del proyecto era desarrollar un servicio WEB mediante el cual tener acceso a las imágenes meteorológicas ofrecidas por la serie de satélites NOAA de órbita polar que actualmente se encuentran activos. Para ello, fue necesario implementar un sistema de recepción y posterior decodificación de la señal APT (Automatic Picture Transmission). Este tipo de señal es la usada por los satélites NOAA para el envío de los datos captados por su sensor AVHRR/3. El objetivo de este proyecto era la creación de un servicio de imágenes meteorológicas, las imágenes recibidas gracias al sistema de recepción implementado serán almacenadas en el servidor WEB y están disponibles para su descarga por un usuario final.

En este proyecto se emplearon una antena receptora, un SDR y una Raspberry Pi. Los tipos de antenas usadas fueron la Turnstile y Eggbeater.

La comparación entre las dos antenas fabricadas demuestra que un Eggbeater ofrece mayor ancho de haz, menores pérdidas de retorno y un patrón de radiación prácticamente omnidireccional en todo el plano horizontal. Mientras, la antena Turnstile debería ser optimizada con software para mejorarla, ya que los resultados no han sido demasiado satisfactorios en comparación con la antena Eggbeater.

Para [22], su objetivo principal era diseñar e implementar una estación capaz de recibir y procesar la señal APT transmitida por los satélites NOAA y visualizar las imágenes meteorológicas con muy buena calidad.

Para lograrlo se realizó un análisis del enlace satelital visto como un sistema de comunicaciones integral. Luego, partiendo de este análisis, se determinaron los requerimientos de cada parte del sistema (receptor y antenas). Con base a estos requerimientos se establecieron las características particulares de las antenas y se determinaron los parámetros de diseño de cada bloque del receptor. Para realizar el diseño tanto de las antenas como del receptor se utilizó software profesional para trabajar en radio

frecuencia. Finalmente se construyeron las antenas y el receptor y se realizaron mediciones que corroboraron los parámetros de diseño.

El receptor desarrollado presenta características equiparables con receptores comerciales que se consiguen en el mercado internacional para la recepción de señales APT. Sin embargo, como el receptor fue diseñado con componentes estándar y fáciles de conseguir se logró construirlo a un costo de aproximadamente un cuarto del valor de venta de los receptores comerciales.

Se desarrollaron dos antenas para la recepción de señales de satélites polares que pueden ser escaladas para trabajar en otras frecuencias

En [23] su objetivo es presentar el diseño, simulación y construcción de una antena Double Cross para la recepción de las imágenes APT del satélite NOAA 15 en un entorno semiurbano. La información recibida por la antena se procesa con un RTL-SDR de marca Sharp y el software WXtoimg para la decodificación de imágenes. Se concluye que en entornos semiurbanos la antena de dipolos cruzados recibe bien imágenes APT. Sin embargo, es susceptible al efecto doppler y al ruido por la presencia de nulos de bajo orden. Se concluye que para la recepción de satélites de órbita polar es necesario que la antena de recepción no sea muy directiva pero sí que busque un área de captura muy grande, es decir que permita, sin la necesidad de modificar su ángulo de recepción, recibir la señal del satélite alrededor de ella. Es necesario también que tenga una polarización de tipo circular igual que la polarización con la que transmite el satélite.

En [24] su objetivo se plantea en el diseño y la construcción de una estación receptora la cual puede ser construida en cualquier lugar del mundo, teniendo como pilar el tipo de antena receptora que se usará.

Para su estudio realiza y usa una antena QFH, la cual, debido a su ubicación geográfica con montañas, tienen muy buenas imágenes, pero con algunos fallos en los laterales de las mismas.

Con el software que se usó, el APTDecoder, se presenta información de temperaturas de mar, lo que el utiliza como información para empresas de pesca. Para la pesca lo que realiza es, como la imagen infrarroja proporciona información de la temperatura, se puede realizar un estudio de la temperatura del mar y los peces. Para este tipo de estudio se tendrá que analizar las temperaturas que tienen los bancos de peces, así como la temperatura de los lugares del mar donde está el alimento de los peces, fitoplancton; al final de este estudio se podrá concluir en cuales son los rangos de temperatura en los que están los bancos de peces y su alimento. Realizando este tipo estudio se podrá indicar las mejores coordenadas para ir de pesca.

6. METODOS Y MATERIALES

Los materiales y equipos usados fueron los siguientes:

1. Antena QHA
2. Dongle SDR
3. Raspberry Pi 2
4. Equipo de análisis espectral Tektronix RSA306
5. Computador para procesamiento de imágenes y observaciones del equipo Tektronix RSA306

La disposición final de los equipos es como se muestra en la Figura 7.

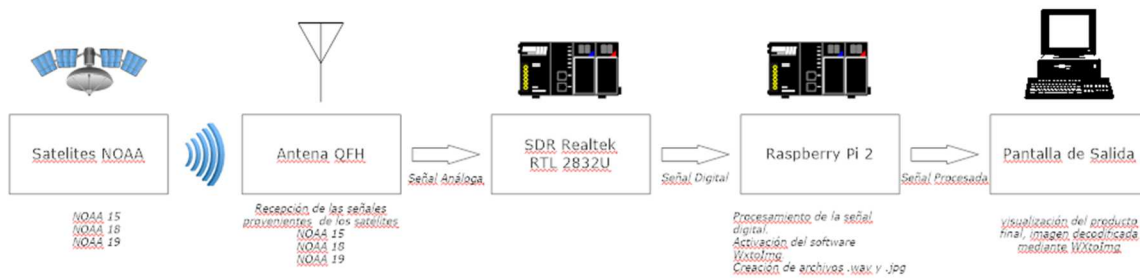


Figura 7. Diagrama de bloques de la disposición de los equipos

La metodología planteada y realizada para la realización de este proyecto se rige bajo los siguientes 4 pasos.

6.1 PROTOCOLO DE TRANSMISIÓN AUTOMÁTICA DE IMÁGENES

Se realizó el reconocimiento de los parámetros necesarios para la utilización del protocolo de transmisión automática de imágenes. El objetivo principal es realizar el análisis de las imágenes obtenidas mediante este proceso analógico.

Para ello se usan los datos de los satélites permitidos en el software WXtoIMG que son los NOAA, más específicamente NOAA 15, NOAA 18 y NOAA 19, con sus respectivas frecuencias de señal que se observan en la Tabla 2, que fueron analizadas por [2] y cuyos datos los corrobora el software:

SATELITE	FRECUENCIA
Satélite NOAA 15	Su frecuencia de downlink para APT es 137.62 MHz
Satélite NOAA 18	Su frecuencia de downlink para APT es 137.9125 MHz
Satélite NOAA 19	Su frecuencia de downlink para APT es 137.1 MHz

Tabla 2. Nombre del satélite y su frecuencia APT

6.2 DISEÑO DE ANTENA PARA LA DESCARGA DE IMÁGENES CON EL PROTOCOLO

Se construye la antena del tipo QFH con los siguientes materiales, 6 m de tubo PVC para acometidas eléctricas, 12 m de cable coaxial de 75Ω , 1 caja eléctrica de 90 mm x 90 mm 7 m de alambre eléctrico #8

La antena diseñada es apta para las frecuencias de 137.5 MHz, medida promedio entre los 3 satélites NOAA que se usará para obtener la información.

La antena Cuadrifilar se compone de 2 cuadros, estos se denominan cuadro mayor y cuadro menor.

Las dimensiones de corte de los alambres eléctricos de cobre para los cuadros se pueden observar en la Figura 8 y Figura 9. En la Figura 10 se puede ver como es el corte plano para cada una de las varillas de cobre usadas

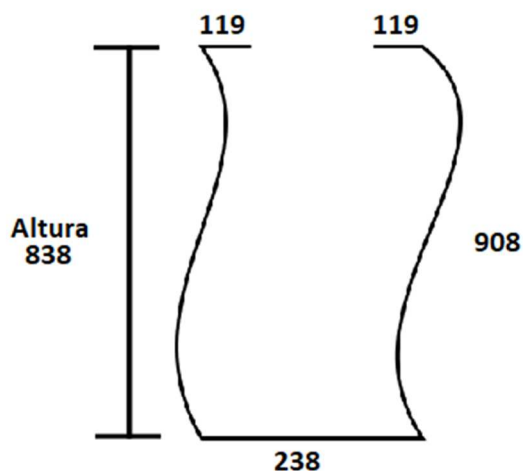


Figura 8. Dimensiones para el cuadro grande en mm

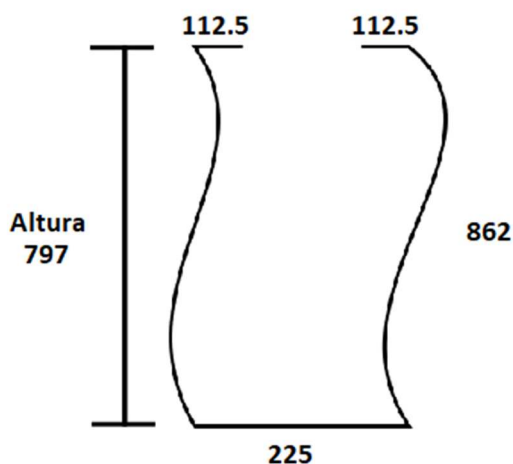


Figura 9. Dimensiones para el cuadro pequeño en mm

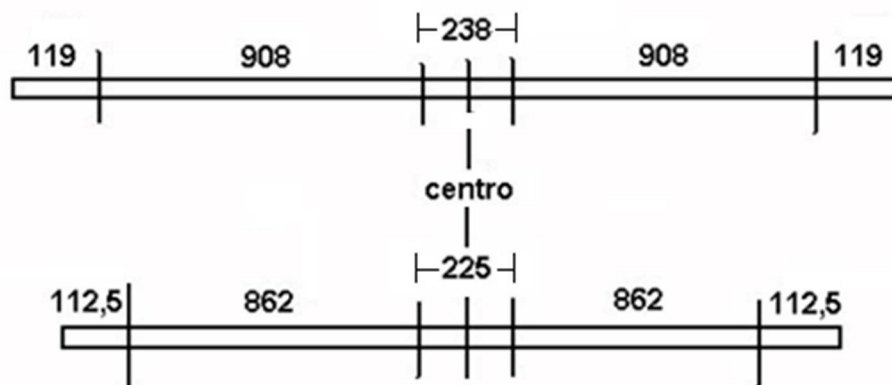


Figura 10. Corte y disposición de los alambres antes de realizar los doblados correspondientes y la respectiva curvatura característica de la antena QFH. Medidas en mm.

El cable coaxial es de tipo RG-6 de 75Ω , este dato es importante ya que se debe cortar a una longitud múltiplo de 92 cm para efectos de precisión a la hora de la llegada de los datos al sistema. Desde el techo la dimensión del cable coaxial es de 11,96 m

6.3 IDENTIFICACIÓN DE LAS EFEMÉRIDES DE LOS SATÉLITES

Las imágenes Landsat que se usan para el estudio corresponden a los sectores de Centro de Panamá con una imagen Landsat 8 y la zona del centro de Colombia con una imagen Landsat 7.

Estas imágenes se descargaron vía web de la página de Landsat Viewer. En esta página web solo existen imágenes Landsat del 17 de abril de 2019, no existen más imágenes de las zonas en cuestión. Con el protocolo APT se pueden tener hasta 3 imágenes diarias de la zona donde se encuentre el sistema, siendo este el impedimento para poder saber de otras zonas del globo para el caso de Colombia se pueden tener estas imágenes a nuestro alcance con el equipo procesando información y generando las imágenes en 15 minutos o según sea el tiempo de paso del satélite. La información del paso del satélite se tiene al alcance, el software WXtoIMG entrega los datos en forma semanal si se desea, con los horarios de cada satélite y la duración del envío de la señal sobre la antena como se muestra en la Figura 11.

WXtoImg: Satellite Pass List

Look ahead 1 week

Satellite passes for Cali, Colombia (3°26'N 76°31'W)
while above 8.0 degrees with a maximum elevation (MEL) over 20.0 degrees
from 2019-04-18 22:14:17 Hora est. Pacifico, Sudamérica (2019-04-19 03:14:17 UTC)

2019-04-19 UTC

Satellite	Dir	MEL	Long	Local Time	UTC Time	Duration	Freq
NOAA 19	S	38W	84W	04-19 05:22:36	10:22:36	10:51	137.1000
NOAA 15	S	36W	85W	04-19 07:30:32	12:30:32	10:26	137.6200
NOAA 18	S	31W	86W	04-19 09:16:39	14:16:39	10:33	137.9125
NOAA 19	N	57E	72W	04-19 16:28:06	21:28:06	11:40	137.1000
NOAA 15	N	48E	71W	04-19 18:30:01	23:30:01	10:51	137.6200

2019-04-20 UTC

Satellite	Dir	MEL	Long	Local Time	UTC Time	Duration	Freq
NOAA 18	N	71E	74W	04-19 20:21:59	01:21:59	11:38	137.9125
NOAA 19	S	52W	81W	04-20 05:10:45	10:10:45	11:22	137.1000
NOAA 15	S	72W	79W	04-20 07:05:07	12:05:07	11:18	137.6200
NOAA 18	S	42W	83W	04-20 09:04:38	14:04:38	11:15	137.9125
NOAA 19	N	42E	69W	04-20 16:16:43	21:16:43	11:14	137.1000
NOAA 15	N	24E	65W	04-20 18:05:52	23:05:52	9:15	137.6200

2019-04-21 UTC

Satellite	Dir	MEL	Long	Local Time	UTC Time	Duration	Freq
NOAA 15	N	21W	89W	04-20 19:45:34	00:45:34	8:52	137.6200
NOAA 18	N	51E	71W	04-20 20:10:26	01:10:26	11:21	137.9125
NOAA 19	S	72W	79W	04-21 04:59:00	09:59:00	11:39	137.1000
NOAA 15	S	57E	72W	04-21 06:40:13	11:40:13	11:10	137.6200
NOAA 18	S	58W	81W	04-21 08:52:44	13:52:44	11:41	137.9125
NOAA 19	N	31E	67W	04-21 16:05:29	21:05:29	10:31	137.1000

2019-04-22 UTC

Satellite	Dir	MEL	Long	Local Time	UTC Time	Duration	Freq
NOAA 15	N	42W	83W	04-21 19:19:40	00:19:40	10:41	137.6200
NOAA 18	N	37E	69W	04-21 19:59:01	00:59:01	10:50	137.9125

Print Close

Figura 11. Programación de los satélites entregada por el software.

7. RESULTADOS

7.1 IDENTIFICACIÓN DE SATÉLITES

Inicialmente se determinan los satélites que serán utilizados para la descarga de las imágenes, en este se usan satélites de órbita baja (LEO) de los cuales se toman los NOAA 15, NOAA 18 y el NOAA 19. Las características técnicas de estos satélites hacen que sus frecuencias de envío de señales sean los más aptos para su uso.

7.2 PRUEBAS DE OPERACIÓN DE LA ANTENA

Se usa la antena de Hélice Cuadrifilar. Se instaló la antena en el Edificio E43 del campus de la Universidad del Valle, tal como se puede observar en la Figura 12, Figura 13 y Figura 14.



Figura 12. Instalación de la antena.



Figura 13. Antena en el Edificio E43 del campus de la Universidad del Valle.



Figura 14. Disposición final de la antena.

La antena instalada se caracteriza con el equipo Tektronix RSA306 el cual se encuentra en el Laboratorio de Geoposicionamiento, Instrumentación y Metrología Geomática de la Universidad del Valle. Este equipo se puede observar en la Figura 15, es un analizador de espectro, mostrará como es el comportamiento de la antena en diferentes rangos del FM, el cual comprende las frecuencias 87.5 MHz a los 108 MHz en su espectro comercial.



Figura 15. Equipo Tektronix RSA306.

La caracterización arroja los siguientes datos de su comportamiento en la banda del FM, observados en la Figura 16 y Figura 17.

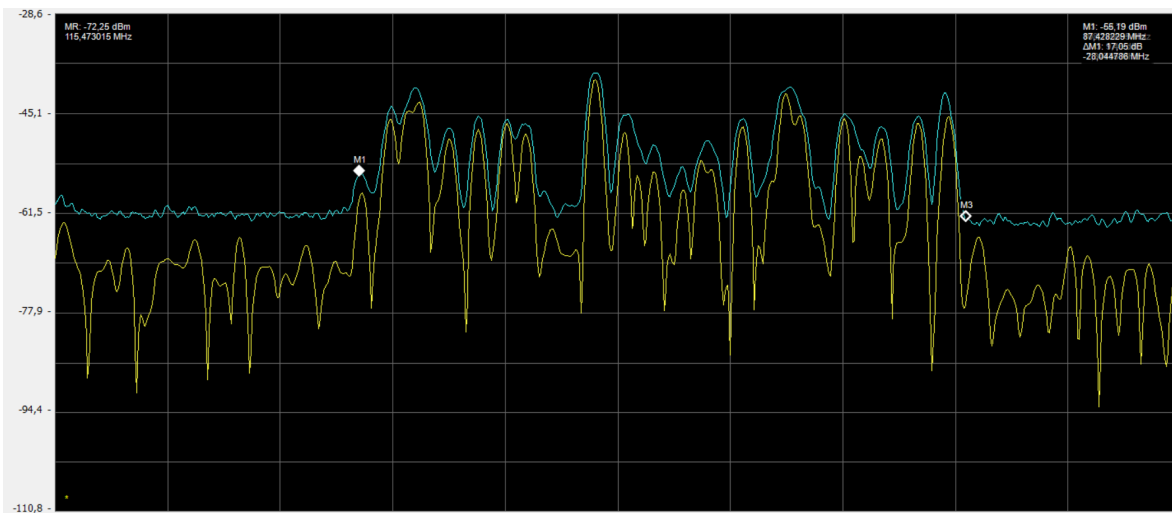


Figura 16. Caracterización de la antena en el primer espectro.

La antena recibe la caracterización en el primer límite del FM que es de 87.5 MHz, presentando una ganancia en decibelios de 17.05 dB, indicando que es adecuada para la recepción de señales.

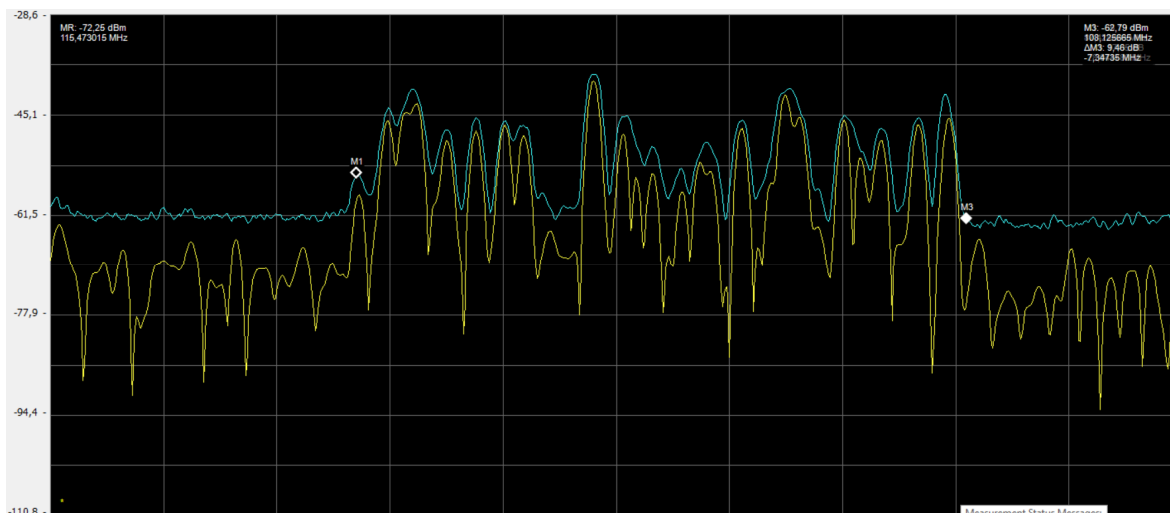


Figura 17. Caracterización de la antena en el segundo espectro.

La antena recibe la caracterización en el segundo límite del FM que es de 108 MHz, presentando una ganancia en decibelios de 9.46 dB, indicando la ganancia que posee para la recepción de señales hasta ese rango, este análisis se observa en la Figura 17.

Para una mejor visualización del comportamiento de la antena en la banda comercial, en la Figura 18 se aprecian sus picos según la frecuencia, observándose su excelente comportamiento para este rango del FM

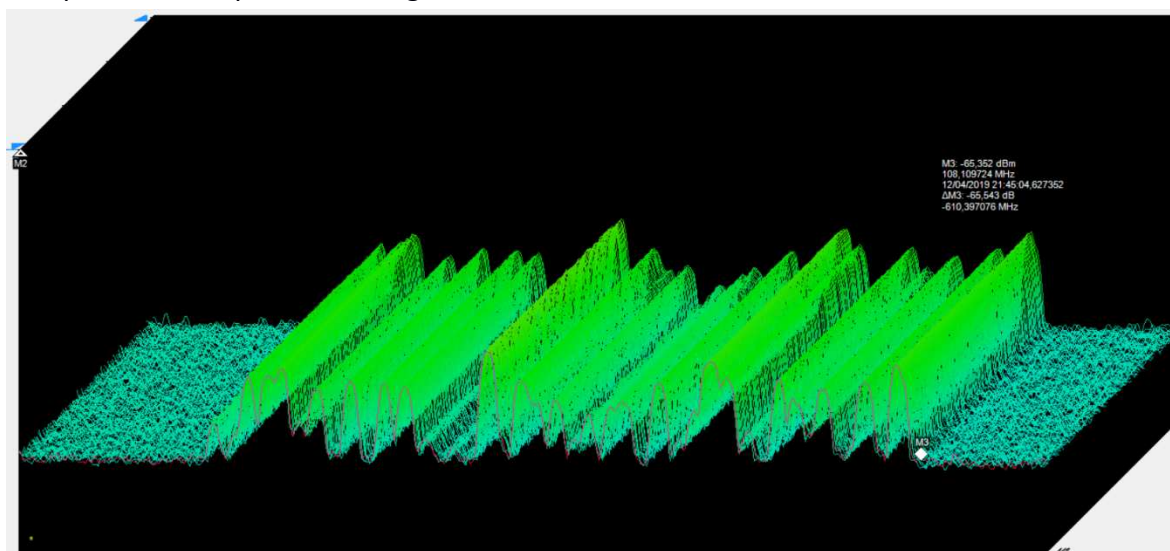


Figura 18. Comportamiento de la antena con las señales en la zona comercial del FM.

7.3 DECODIFICACIÓN DE LA SEÑAL

La señal recibida se guarda en forma de audio, el cual se decodificará en la Raspberry Pi 2 mediante el software WXtoIMG o en un computador con sistema operativo Windows

usando el software APTDecoder. Este proceso requiere de la parametrización del programa de computo WXtoImg, lo que permitirá cambiar el audio que llega al radio por imagen, que corresponderá a la imagen satelital de la zona en la que se encuentre la antena y el equipo receptor. Su entorno se observa en la Figura 19

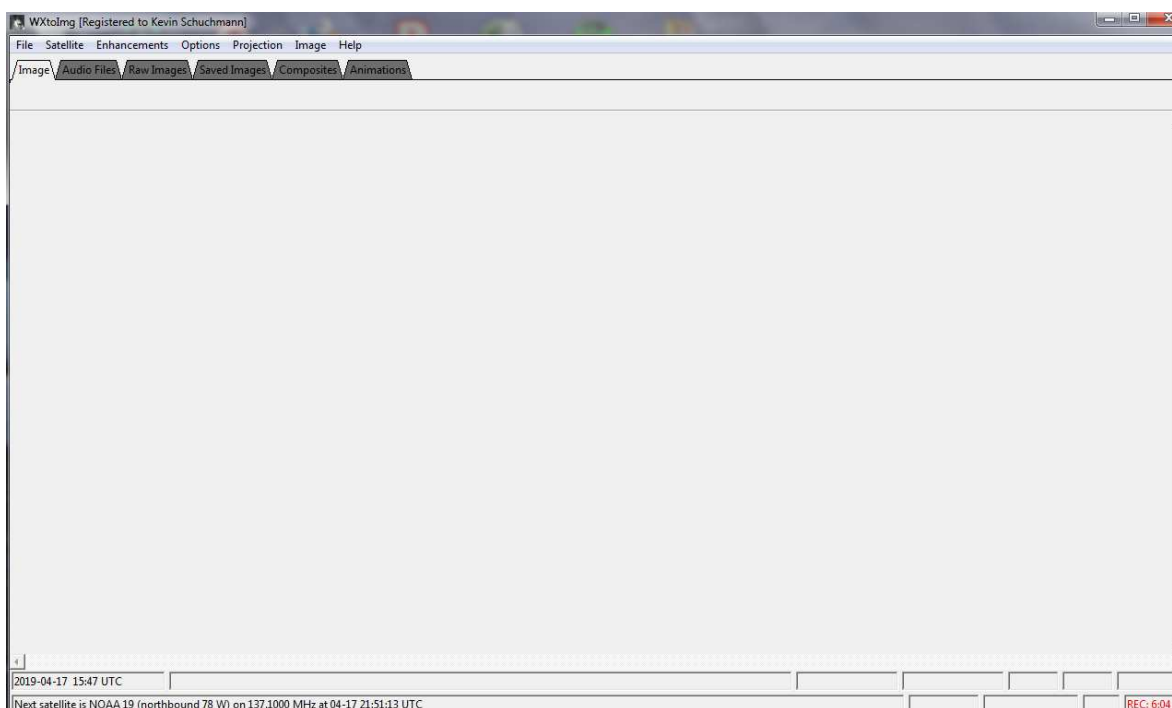


Figura 19. Pantalla inicial del software WXtoIMG

El software muestra en la parte inferior izquierda el nombre del satélite, la dirección, la frecuencia a la que emitirá la señal APT, la fecha y hora exacta de su paso sobre la antena. En la parte inferior derecha se muestra en números rojos el tiempo que falta para que empiece la grabación de los datos y la generación del archivo .wav

La información del satélite, fecha y hora de la imagen obtenida se obtiene directamente del nombre del archivo que crea el software. A continuación, se muestra el ejemplo:

NOAA1920181114-162755.png

NOAA19 → Indica el satélite usado para la descarga del archivo APT

2018 → Indica el año

1114 → Fecha 14 de Noviembre

162755 → Hora 16:27 con 55 segundos

.png → extensión del archivo

NOAA1920181114-162755.png

Satélite Fecha Hora Extensión

El software genera 3 archivos diferentes:

1 archivo de audio con extensión .wav

1 archivo de imagen con extensión .png

1 archivo de mapa con extensión .png

Los tres archivos generados son los siguientes:

NOAA1920181114-162755.png

NOAA1920181114-162755.wav

NOAA1920181114-162755-map.png

En detalle se observa en la Figura 20 como se ordenan en la carpeta del sistema.

	NOAA1820181108-200210.png	09/11/2018 01:19 a.m.	Imagen PNG	1.273 KB
	NOAA1820181108-200210.wav	09/11/2018 01:17 a.m.	Archivo de audio ...	20.422 KB
	NOAA1820181108-200210-map.png	09/11/2018 01:18 a.m.	Imagen PNG	743 KB
	NOAA1820181114-074630.png	14/11/2018 01:04 p.m.	Imagen PNG	1.176 KB
	NOAA1820181114-074630.wav	14/11/2018 01:01 p.m.	Archivo de audio ...	20.509 KB
	NOAA1820181114-074630-map.png	14/11/2018 01:03 p.m.	Imagen PNG	721 KB
	NOAA1820181114-203248.png	15/11/2018 01:51 a.m.	Imagen PNG	9.705 KB
	NOAA1820181114-203248.wav	15/11/2018 01:48 a.m.	Archivo de audio ...	20.853 KB
	NOAA1820181114-203248-map.png	15/11/2018 01:50 a.m.	Imagen PNG	694 KB
	NOAA1820190302-193836.png	03/03/2019 12:55 a.m.	Imagen PNG	1.123 KB
	NOAA1820190302-193836.wav	03/03/2019 12:53 a.m.	Archivo de audio ...	19.603 KB
	NOAA1820190302-193836-map.png	03/03/2019 12:54 a.m.	Imagen PNG	636 KB
	NOAA1820190302-211919.png	03/03/2019 02:35 a.m.	Imagen PNG	1.006 KB
	NOAA1820190302-211919.wav	03/03/2019 02:33 a.m.	Archivo de audio ...	18.398 KB
	NOAA1820190302-211919-map.png	03/03/2019 02:34 a.m.	Imagen PNG	512 KB
	NOAA1820190322-204553.png	23/03/2019 02:03 a.m.	Imagen PNG	0 KB
	NOAA1820190322-204553.wav	23/03/2019 02:01 a.m.	Archivo de audio ...	21.067 KB
	NOAA1820190322-204553-map.png	23/03/2019 02:03 a.m.	Imagen PNG	703 KB
	NOAA1820190402-201746.wav	03/04/2019 01:18 a.m.	Archivo de audio ...	840 KB
	NOAA1920181108-155709.png	08/11/2018 09:15 p.m.	Imagen PNG	1.199 KB
	NOAA1920181108-155709.wav	08/11/2018 09:12 p.m.	Archivo de audio ...	20.079 KB
	NOAA1920181108-155709-map.png	08/11/2018 09:14 p.m.	Imagen PNG	793 KB
	NOAA1920181114-052302.png	14/11/2018 10:39 a.m.	Imagen PNG	980 KB
	NOAA1920181114-052302.wav	14/11/2018 10:36 a.m.	Archivo de audio ...	17.708 KB
	NOAA1920181114-052302-map.png	14/11/2018 10:38 a.m.	Imagen PNG	496 KB
	NOAA1920181114-162755.png	14/11/2018 09:46 p.m.	Imagen PNG	1.257 KB
	NOAA1920181114-162755.wav	14/11/2018 09:43 p.m.	Archivo de audio ...	21.455 KB
	NOAA1920181114-162755-map.png	14/11/2018 09:45 p.m.	Imagen PNG	800 KB

Figura 20. Archivos generados y sus 3 tipos de archivo para cada imagen.

7.4 EVALUACIÓN DE LA IMAGEN DESCARGADA POR EL SISTEMA APT

Con la imagen decodificada y obtenida, se comienza a realizar las comparaciones con los diferentes productos de otras empresas, para determinar los posibles usos de estas imágenes.

Se toma como ejemplo la imagen obtenida del día 14 de noviembre del año 2018 a las 16:27 del satélite NOAA19 que se ve en la Figura 21 y se observará su información:

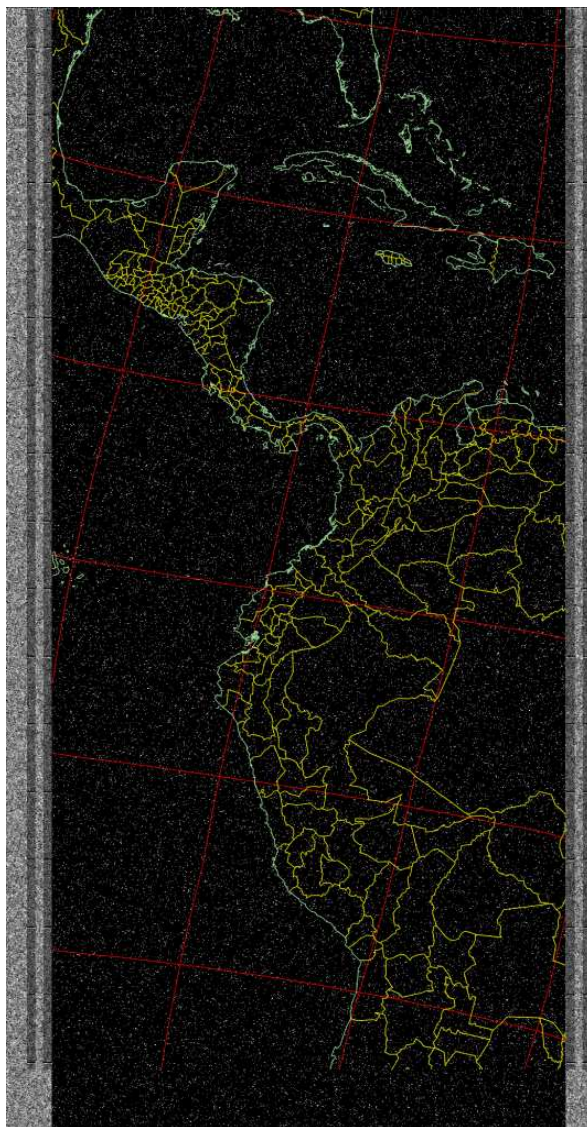


Figura 21. Imagen NOAA 19 del día 14 de noviembre del año 2018

Los metadatos de la imagen se observan en la Tabla 3.

PARAMETRO	VALOR
Satellite: (Satelite)	NOAA 19
Pass Start:	14 Nov 2018 21:27:55 GMT
Pass Duration:	15:40 minutos
Elevation:	75°
Azimuth:	256°
Solar Elevation:	18.1°
Direction:	northbound
Creation Time:	14 Nov 2018 21:27:02 GMT
Satellite Type:	NOAA
Channel A:	3/3B (mid infrared)
Channel B:	4 (thermal infrared)
Enhancement:	ZA [sensor 4 (thermal infrared)]
Ground Station:	Cali, Colombia
Latitude:	3.400
Longitude:	-76.502
Altitude:	967.0 m
Frequency:	137.10 kHz
Projection:	Orthographic
Projection Longitude:	280.000
Projection Hemisphere:	northern
Audio File:	/home/pi/weather/NOAA1920181114-162755.wav
Map File:	/home/pi/weather/NOAA1920181114-162755-map.png
Software:	WXtoImg version 2.11.2 beta
Width:	1055 px
Height:	1592 px

Tabla 3. Metadatos del archivo NOAA1920181114-162755.png

El nombre del archivo de la imagen es NOAA1920181114-162755.png, esta imagen sale con un ruido conocido como “sal y pimienta”, la imagen sin ese ruido se genera en el archivo NOAA1920181114-162755-map.png visto en la Figura 22.

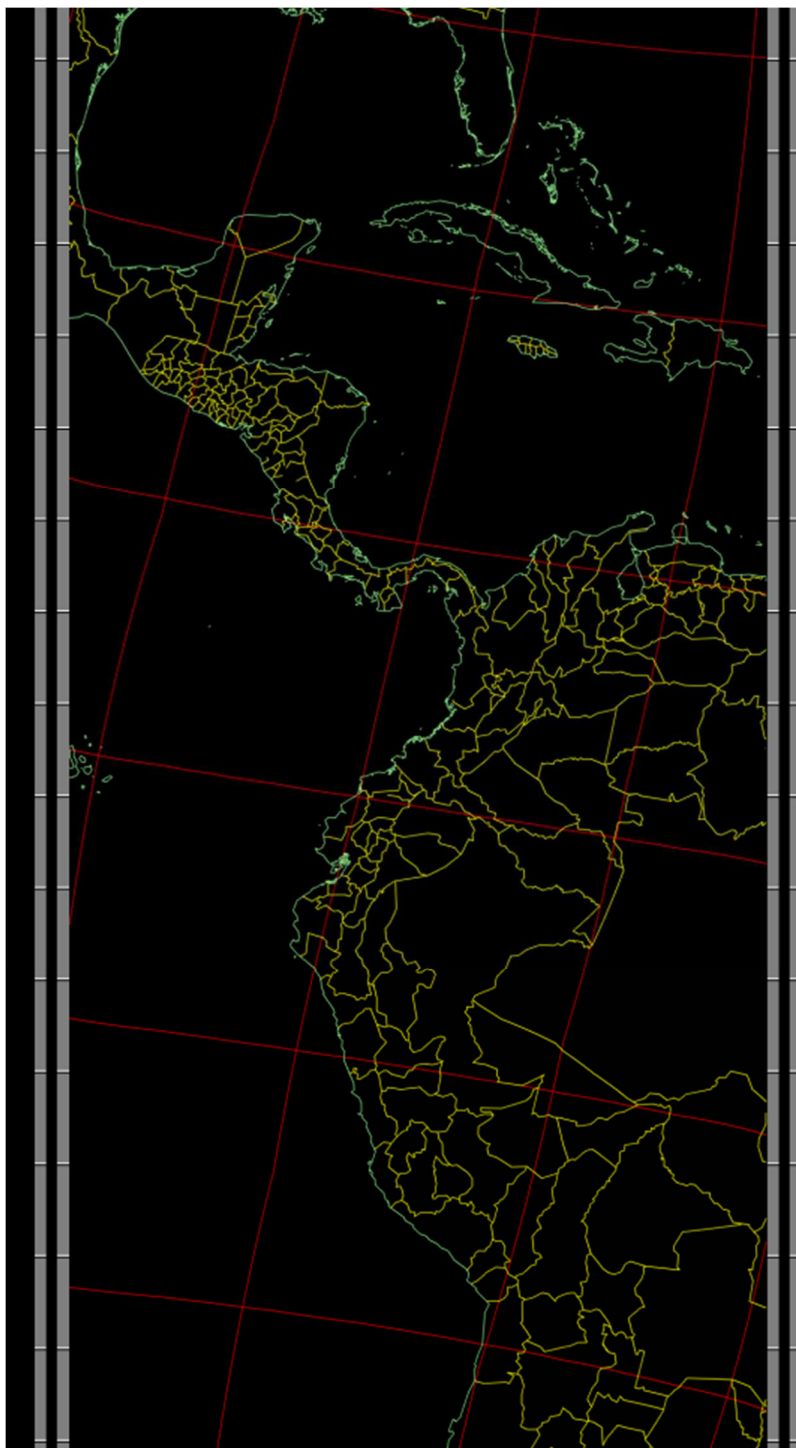


Figura 22. Imagen NOAA1920181114-162755-map.png

Los metadatos de la imagen obtenida son los observados en la Tabla 4

PARAMETRO	VALOR
Satellite:	NOAA 19
Pass Start:	14 Nov 2018 21:27:55 GMT
Pass Duration:	15:40 minutos
Elevation:	75°
Azimuth:	256°
Solar Elevation:	18.1°
Direction:	northbound
Creation Time:	14 Nov 2018 21:27:55 GMT
Ground Station:	Cali, Colombia
Latitude:	3.400
Longitude:	-76.502
Altitude:	967.0 m
Frequency:	137.10 kHz
Projection:	Orthographic
Projection Longitude:	280.000
Projection Hemisphere:	northern
Software:	wxmap version 2.11.2 beta
Width:	1038 px
Height:	1515 px

Tabla 4. Metadatos de la imagen NOAA1920181114-162755-map.png

El detalle de los metadatos se lista en la Tabla 5:

PARAMETRO	VALOR	SIGNIFICADO
Satellite:	NOAA 19	Satélite usado
Pass Start:	14 Nov 2018 21:27:55 GMT	Inicio del paso del satélite sobre nosotros
Pass Duration:	15:40 minutos	Duración del paso del satélite
Elevation:	75°	Elevación del satélite
Azimuth:	256°	Azimuth del satélite
Solar Elevation:	18.1°	Elevación del sol
Direction:	northbound	Dirección del paso
Creation Time:	14 Nov 2018 21:27:55 GMT	Fecha y hora de creación del archivo
Ground Station:	Cali, Colombia	Estación de la antena
Latitude:	3.400	Latitud del sitio de la estación
Longitude:	-76.502	Longitud del sitio de la estación
Altitude:	967.0 m	Altitud del sitio de la estación
Frequency:	137.10 kHz	Frecuencia de envío de los datos
Projection:	Orthographic	Tipo de proyección
Projection Longitude:	280.000	Longitud de la proyección
Projection Hemisphere:	northern	Hemisferio de la proyección
Software:	wxmap version 2.11.2 beta	Versión del software usado
Width:	1038 px	Ancho de la imagen generada en pixeles
Height:	1515 px	Alto de la imagen generada en pixeles

Tabla 5. Explicación de los metadatos de la imagen NOAA1920181114-162755-map.png

El archivo de imagen de salida se puede ver de la siguiente forma en el software como muestra la Figura 23.

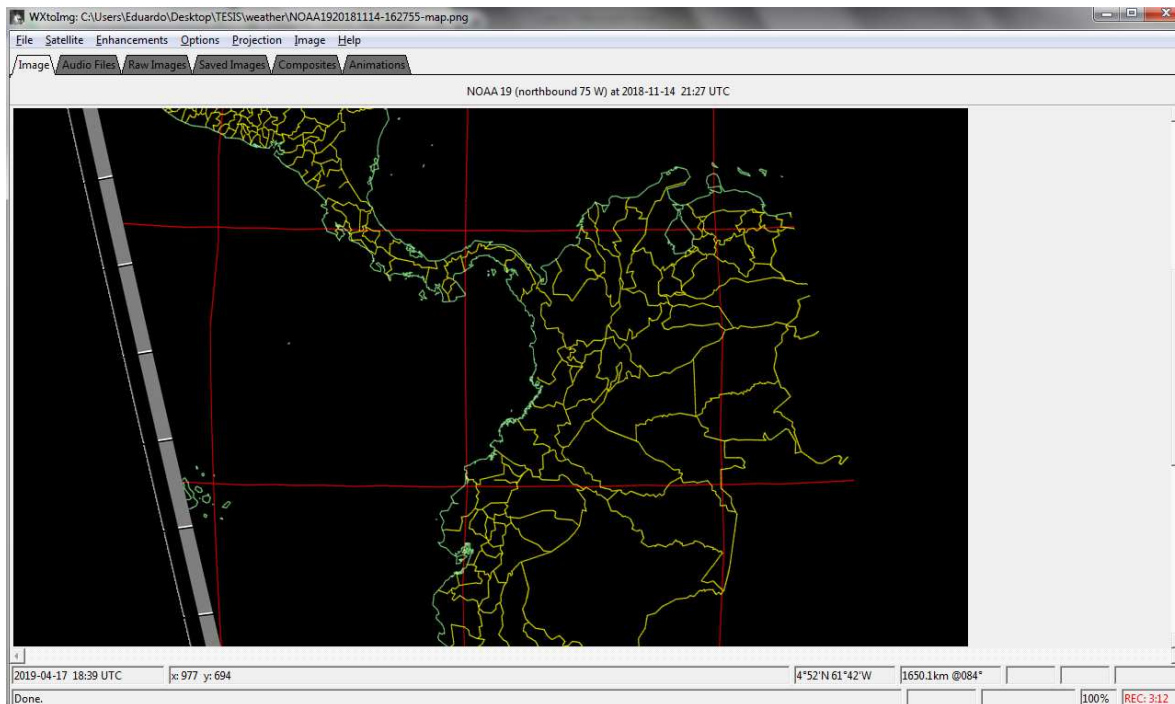


Figura 23. Imagen NOAA1920181114-162755-map.png en WXtoIMG

El software muestra un vistazo general de la imagen obtenida. Dentro de este vistazo en su entorno gráfico se puede observar el nombre del satélite en la parte superior, la dirección del paso con su fecha y hora respectivas. En la parte inferior derecha se puede observar las coordenadas geográficas, las cuales cambian según la posición del cursor sobre el mapa.

Inicialmente las imágenes obtenidas presentan mapas con líneas vectoriales de las zonas. Esto se debe a que en ese tiempo se usó otro tipo de antena que no generaba la ganancia necesaria para recibir las señales de forma adecuada, pero con esto se comprueba que los elementos dispuestos para la recepción de la señal APT si estaban funcionando correctamente. La antena usada es la predeterminada por el equipo en el momento de su adquisición, se puede observar en la Figura 24.



Figura 24. Antena de la primera fase experimental

A continuación, se detallan una serie de imágenes obtenidas durante este tiempo, las cuales muestran las zonas de Centro América y el Caribe y la parte noroccidental de Sur América, en las cuales se muestra a Colombia como principal zona para el estudio como se detalla en la Figura 25, Figura 26, Figura 27 y Figura 28.

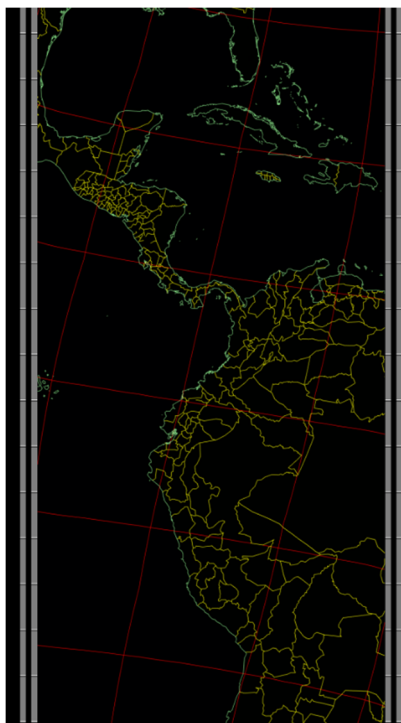


Figura 25. Imagen NOAA1920181114-162755-map.png

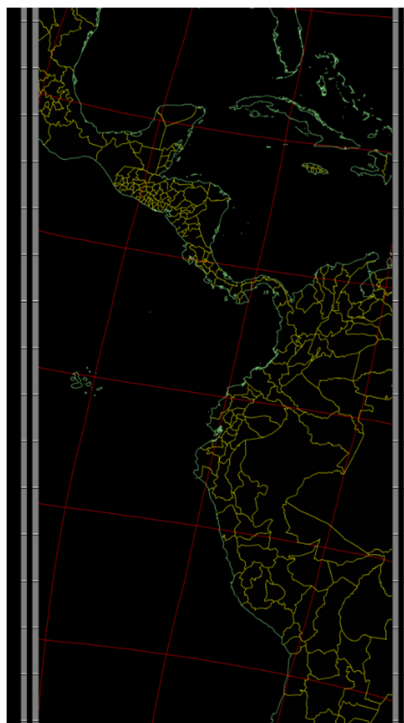


Figura 26. Imagen NOAA1820190322-204553-map.png

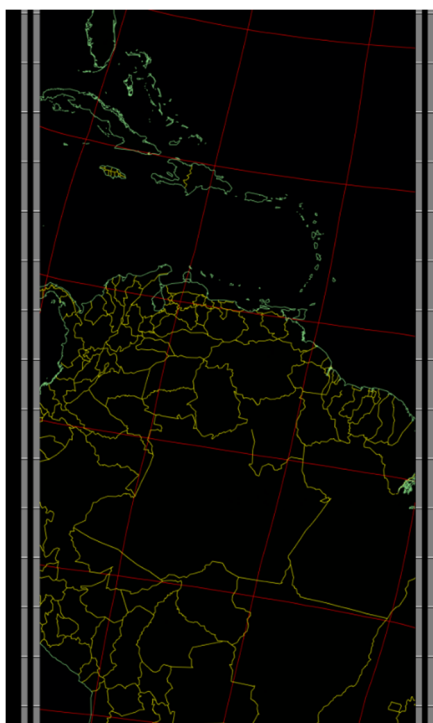


Figura 27. Imagen NOAA1820190302-193836-map.png

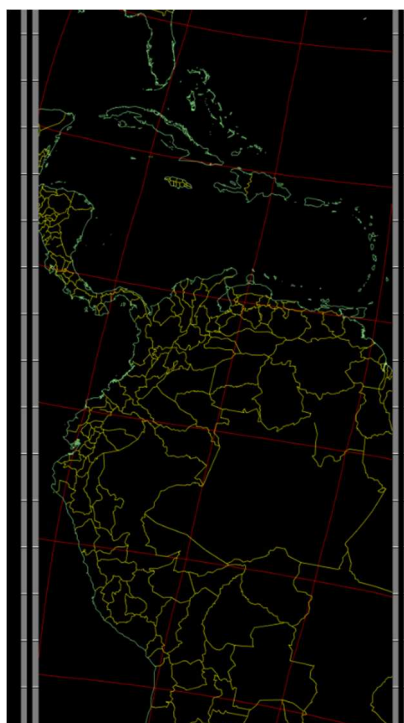


Figura 28. Imagen NOAA1920181108-155709-map.png

El día 26 de febrero de 2019 se obtiene la siguiente imagen, la cual fue georreferenciada en el software Quantum GIS, mostrando el entorno en la Figura 29.

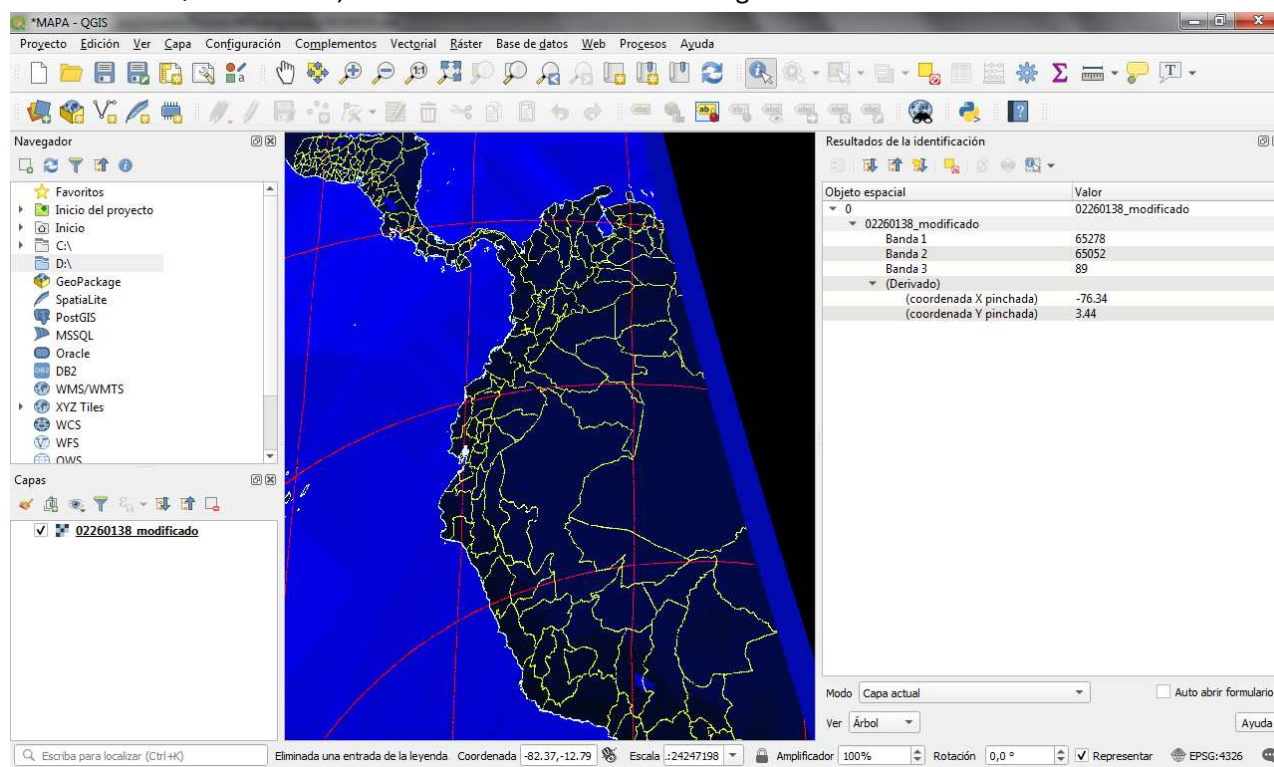


Figura 29. Imagen NOAA1520190226-233235-map.png

En la imagen se observan los grandes lagos de Sur América y Centro América, teniendo de color azul los cuerpos de agua y un azul más oscuro para la región continental. Con este software se georreferencia la imagen quedando como se ve en la Figura 30.

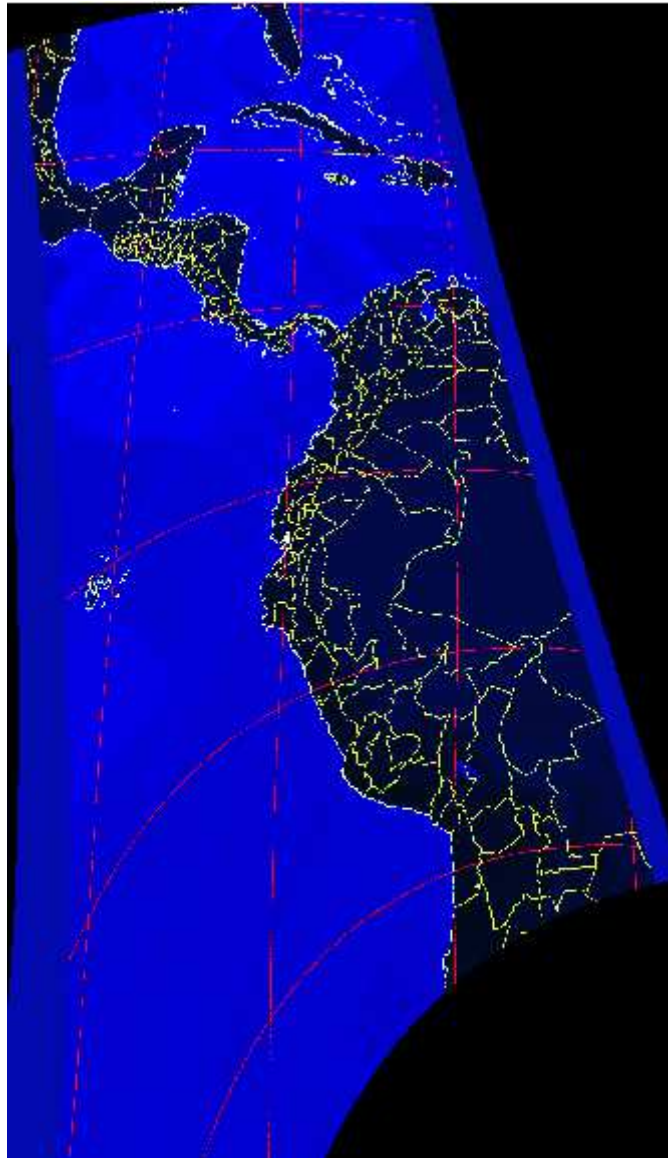


Figura 30. Imagen NOAA1520190226-233235-map.png

Para el día 03 de abril de 2019 se obtiene la siguiente imagen en la que se observa una nubosidad, se puede apreciar en la Figura 31

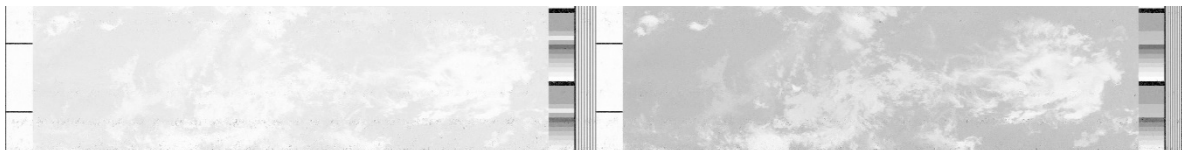


Figura 31. Imagen NOAA1520190226-233235.png

Los metadatos de la imagen se muestran en la Tabla 6

PARAMETRO	VALOR
Satellite:	NOAA 15
Pass Start:	03 Apr 2019 10:51:27 GMT
Pass Duration:	12:32 minutos
Elevation:	15°
Azimuth:	102°
Solar Elevation:	-1.0°
Direction:	southbound
Creation Time:	03 Apr 2019 05:01:44 GMT
Satellite Type:	NOAA
Channel A:	3/3B (mid infrared)
Channel B:	4 (thermal infrared)
Enhancement:	BD [sensor 4 (thermal infrared)]
Ground Station:	Cali, Colombia
Latitude:	3.437
Longitude:	-76.522
Altitude:	967.0 m
Frequency:	137.62 kHz
Projection:	Orthographic
Projection Longitude:	210.000
Projection Hemisphere:	southern
Audio File:	C:/Users/Eduardo/Desktop/TESIS/weather/NOAA1520190402-185418.wav
Map File:	C:/Users/Eduardo/Pictures/WXtoImg/maps/NOAA1520190402-185418.map
Software:	WXtoImg version 2.10.11
Width:	717 px
Height:	302 px

Tabla 6. Metadatos de la imagen NOAA1520190402-185418.png

Se realiza el análisis correspondiente con el software WXtoIMG, usando cada uno de sus diferentes mejoras que tiene disponibles.

En la barra de menús del software se puede encontrar el menú “Enhancements”, el cual trae diferentes mejoras para aplicar a la imagen según sea el uso para el que se le requiera. El menú de mejoras se puede observar en la Figura 32

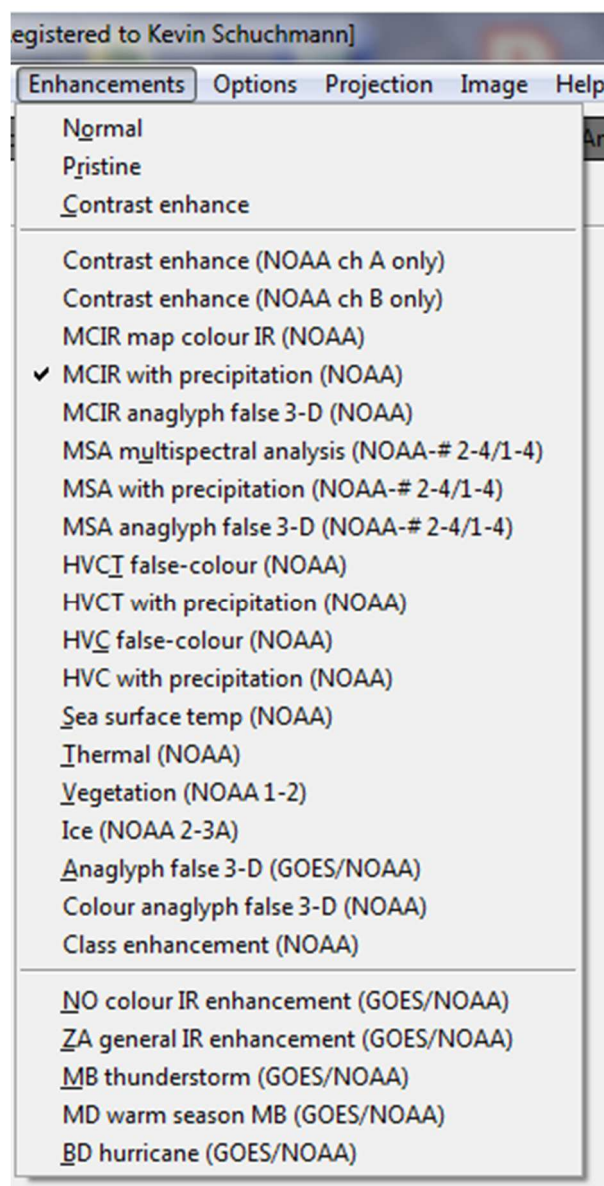


Figura 32. Menú Enhancements

Las imágenes procesadas en las diferentes mejoras del software se presentan a continuación.

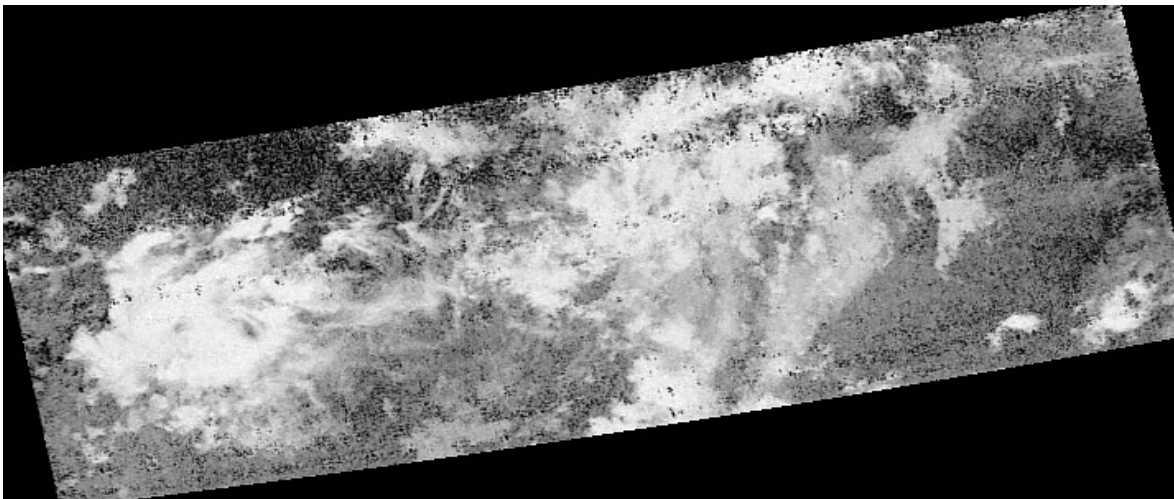


Figura 33. Imagen mejorada en el contraste con el canal A del satélite NOAA

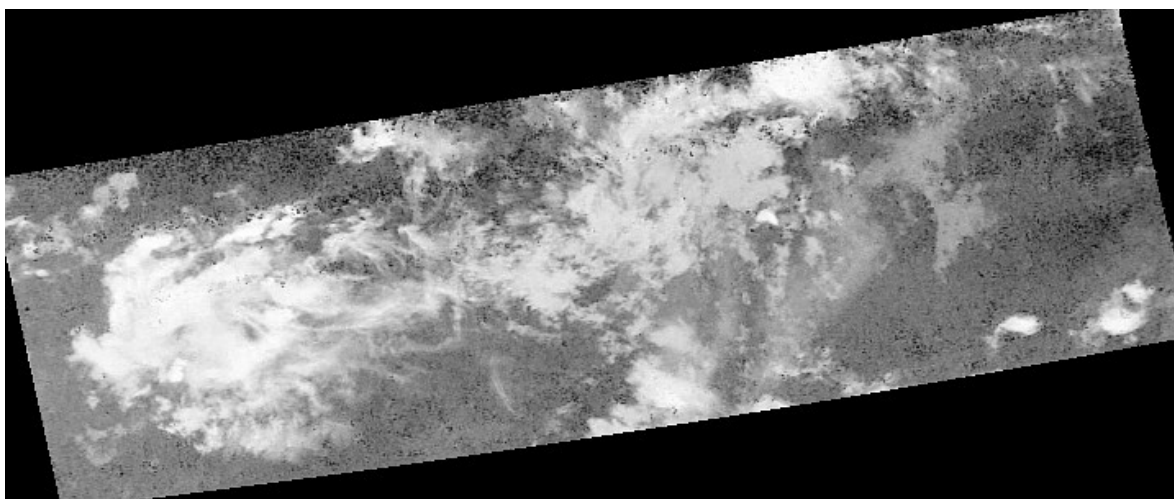


Figura 34. Imagen mejorada en el contraste con el canal B del satélite NOAA

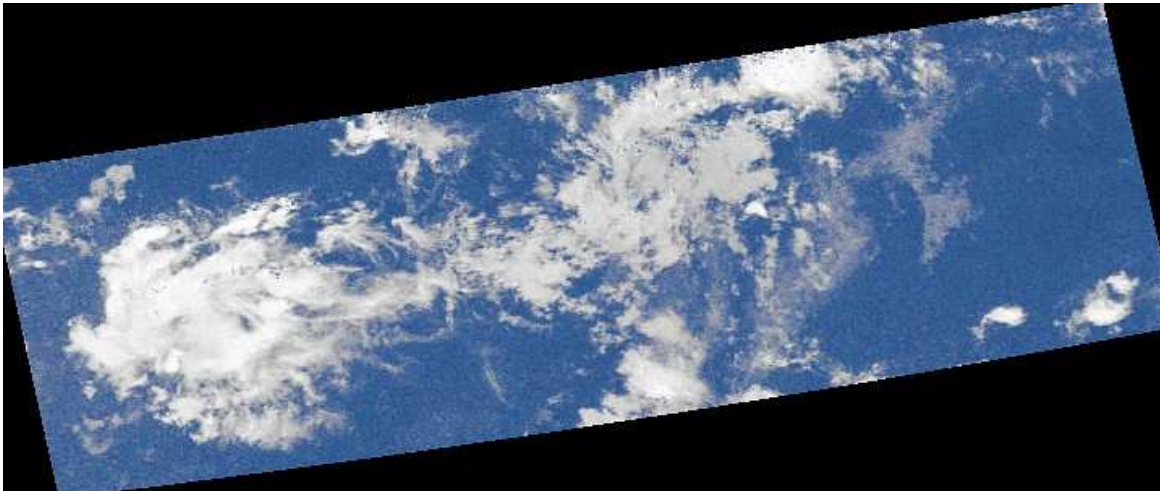


Figura 35. Imagen mejorada con MCIR map color IR

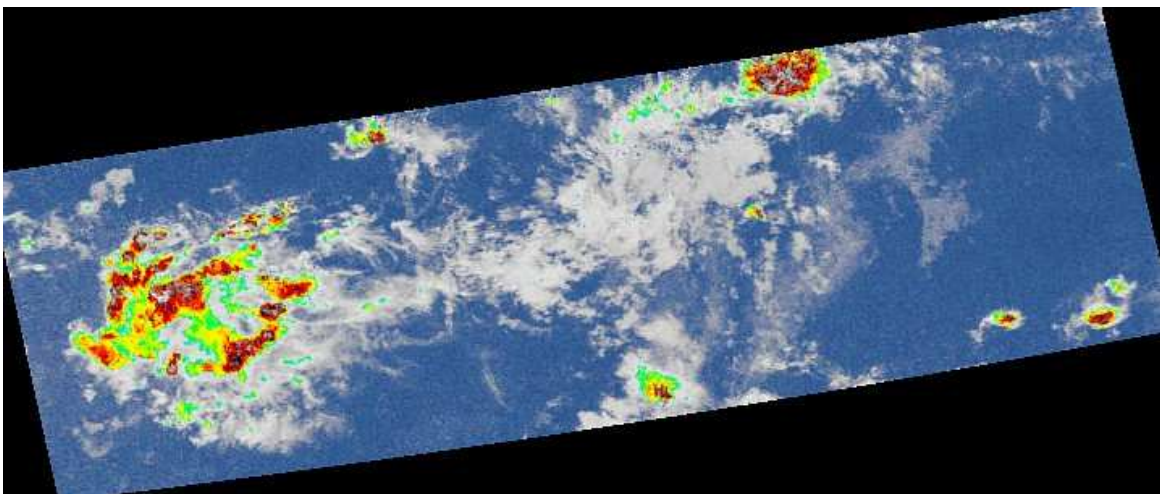


Figura 36. Imagen mejorada con MCIR with precipitation

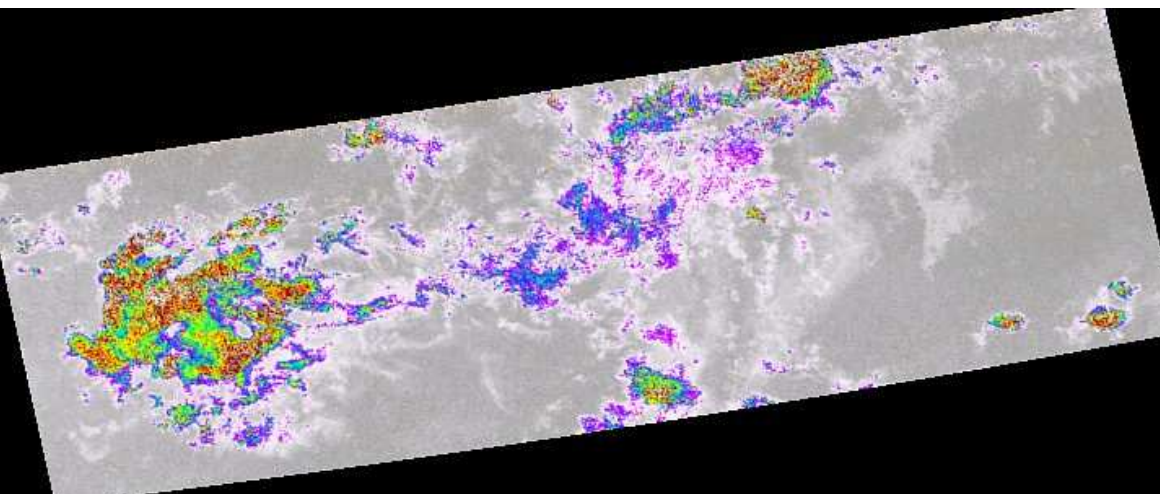


Figura 37. Imagen mejorada con NO color IR

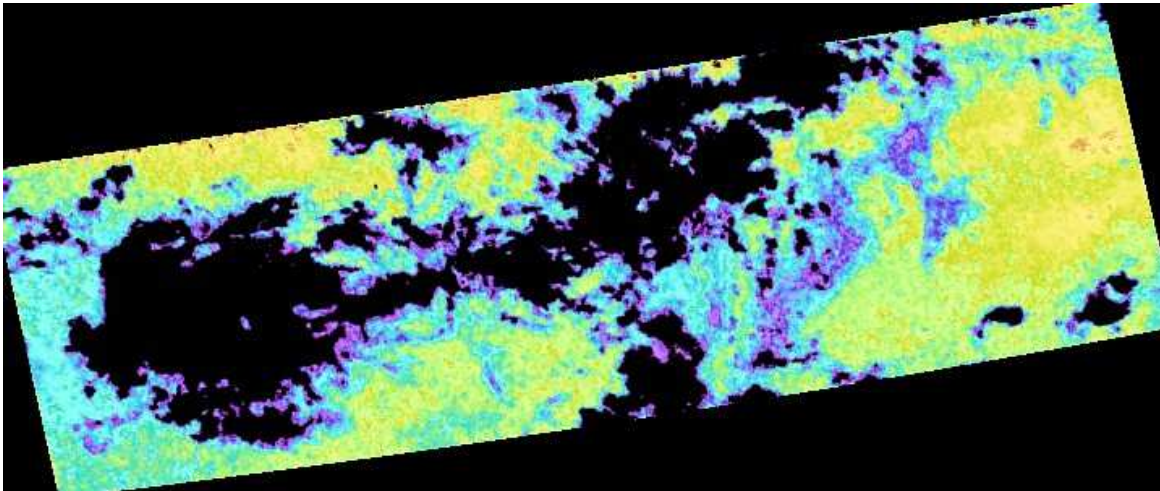


Figura 38. Imagen mejorada con Sea Surface Temp

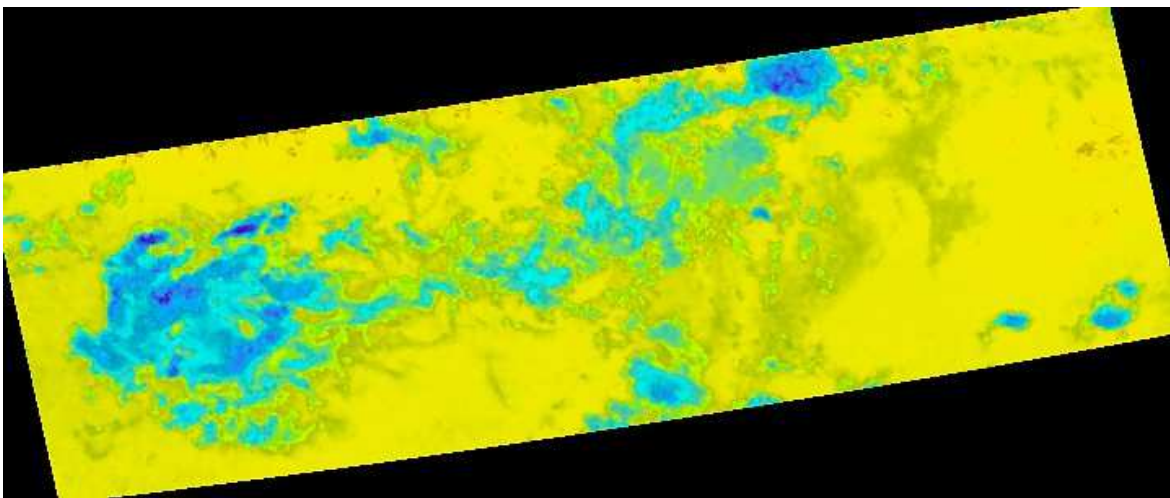


Figura 39. Imagen mejorada con el uso del sensor Térmico del satélite NOAA

Las imágenes descargadas de Landsat Viewer son las siguientes

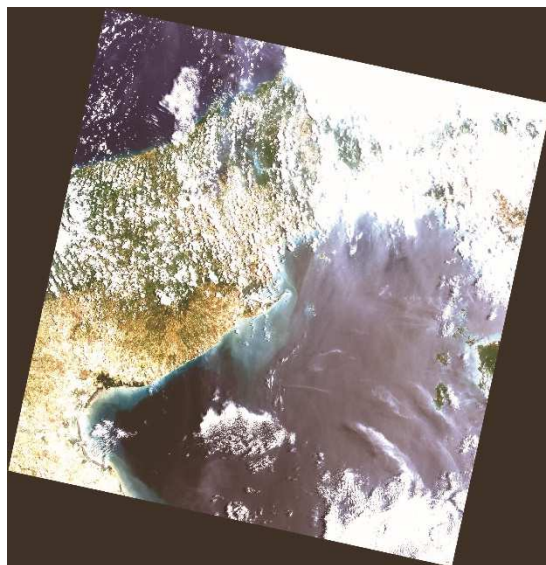


Figura 40. Imagen Landsat 8 de Panamá del día 17 de abril de 2019

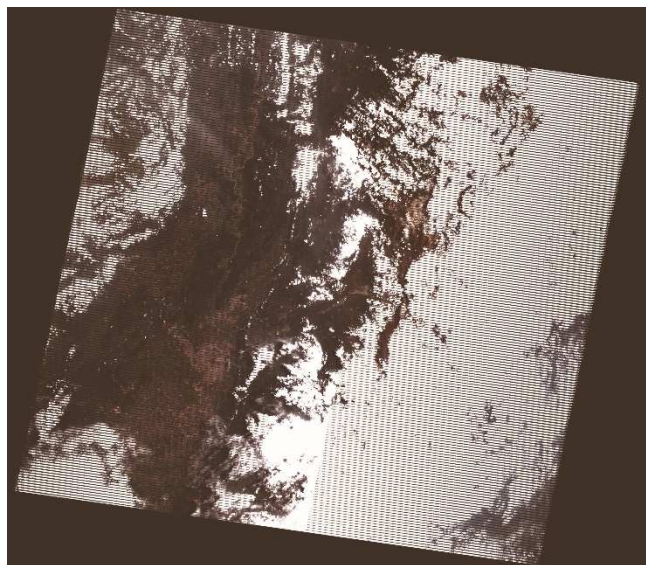


Figura 41. Imagen Landsat 7 de Colombia del día 13 de abril de 2019

El tipo de imágenes usadas no generan alta resolución espacial, más en el caso de las obtenidas mediante el protocolo APT. Debido a esto se le aplica la transformación HPF, la cual compara una imagen pancromática con otra de menor resolución espacial. En [8] el método usado es el de Gram-Schmidt, debido a que las imágenes que se poseían eran fotografías de alta resolución espacial, en el cual los 3 métodos presentados servían y tenían óptimos resultados. En nuestro caso está el impedimento de las imágenes sin procesar, ya que son imágenes en crudo directamente del satélite. Para trabajos futuros se propone la creación de módulos para la fusión de imágenes con el algoritmo Gram-Schmidt y Hight

Pass Filter, ya que solo han podido utilizarse mediante programas de tipo privativo: ERDAS, para la fusión High Pass Filter, y ENVI, para la fusión Gram-Schmidt S.

8. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

En [15] se diseñó una antena Double Cross para la recepción de información de los satélites polares, con esta antena se tuvieron excelentes resultados comparados con la antena QHA. Realizaron esta antena debido a su sencillez, fácil construcción y ensamblaje, además de que una mayor ganancia para los ángulos bajos del satélite con respecto al horizonte lo que brinda a la antena DCA una mayor observación de la tierra llegando a obtener la superior recepción posible.

El contra que se obtuvo es que presenta una gran sensibilidad al ruido en entornos urbanos, esta desventaja de la antena se encuentra presente en una ciudad poblada la cual posee un tráfico grande en el ámbito de las telecomunicaciones inalámbricas. Se concluyó que para la ciudad de Barcelona que presenta un tráfico de información inalámbrico muy grande es preferible la construcción de una antena de tipo cuadrifilar. En el caso de vivir en una zona menos poblada que presente un tráfico mucho menor la antena DCA es la opción que se debe tomar ya que es muy simple de construir.

Las imágenes obtenidas con este tipo de antena son muy similares a las conseguidas con la antena QHA, con el mismo tipo de ruido al inicio y final de cada imagen.

En [20] se usó el mismo tipo de antena QHA, además de las antenas Double Cross y Turnstile, llegando nuevamente a la conclusión de que la antena Double Cross obtiene su mejor eficiencia a mayor altura y en entornos urbanos poco saturados de tráfico de señales, como pueden ser estaciones de radio, centrales de comunicaciones, etc.

Con este análisis los lleva al uso de la antena QHA, la cual es muy buena para el aislamiento de ruidos externos, funciona de manera eficiente en zonas pobladas con poca contaminación radioeléctrica y funciona de buena forma a baja altura en la recepción de señales APT.

En [21] se realiza el análisis con una antena Moxon, las cuales proveen una gran cobertura lo que se traduce en buenos pases, pues, posee menor ganancia en el momento más favorable (satélite alto y cercano) y mejor ganancia en el momento más desfavorable (satélite bajo y lejano). Al igual que los modelos anteriores, se obtienen muy buenas imágenes de las zonas donde se encuentra la estación base, para su caso Cuba, las imágenes de la isla son buenas, mostrando el mismo impedimento al inicio y al final de la imagen.

Cabe aclarar que para este estudio se usó un equipo especializado de recepción de imágenes de satélite, el R2FX diseñado en el Reino Unido cuya especialidad son los satélites NOAA operando en la frecuencia APT de los 137 MHz.

[2] uso la antena Turnstile debido a su sencillez de fabricación, además de que se usa el mismo hardware: dongle SDR para recepción y decodificación de la señal y Raspberry pi 2 para el procesamiento de los datos y decodificación de la imagen. Sus resultados fueron muy buenos ya que además de tener recepción de señales tiene la forma de publicación de datos en web de las imágenes, aprovechando el servicio que presta el software WxToIMG. Esta antena sirve en su entorno debido a que no está ubicada en un sector muy poblado, sitio especial para este tipo de antenas.

Por su parte [23] realiza el estudio en Colombia usando la antena Double Cross. La estación se encuentra ubicada en la ciudad de Bogotá, sector densamente poblado y con altos índices de radiofrecuencia. Las imágenes obtenidas no fueron muy buenas, solo se consiguen las imágenes vectorizadas de los mapas de los diferentes países, además de tener mucho ruido las imágenes y salir cortadas. En este estudio se llega a la conclusión de que la antena tiene mejor desempeño en la recepción de las imágenes APT, en entornos semiurbanos, a esto anexando algunos errores en la construcción de la misma en las interconexiones de sus polos.

La antena usada en el proyecto cumple con las observaciones planteadas en estudios anteriores, la ciudad es densamente poblada y posee diferentes puntos de emisión de radiofrecuencia.

A excepción de la imagen Landsat 8 que es un satélite más nuevo y con sensores mejorados, la imagen Landsat 7 presenta el bandeo típico de sus sensores, con zonas de pérdida de imagen. Al igual que las imágenes obtenidas por APT, se presentan nubosidades que afectan la visión de las zonas que se requieran, pero que como producto final nos entregan la misma información. Si deseamos realizar un análisis de tiempo meteorológico, con las imágenes obtenidas por APT podemos tener un gran resultado, ya que nos dirá de forma visual si se avecinan tormentas o si seremos propensos a una tormenta tropical en cualquiera de las zonas costeras de nuestro país.

Para los análisis más detallados se recomienda de forma absoluta las imágenes Landsat, debido a la gran información que nos entregan sus sensores en cada una de sus imágenes, ya sea vegetación, NDVI, SAVI, falso color para las zonas urbanas, etc. La comparación de imágenes se pueden ver en la Figura 42 y Figura 43.

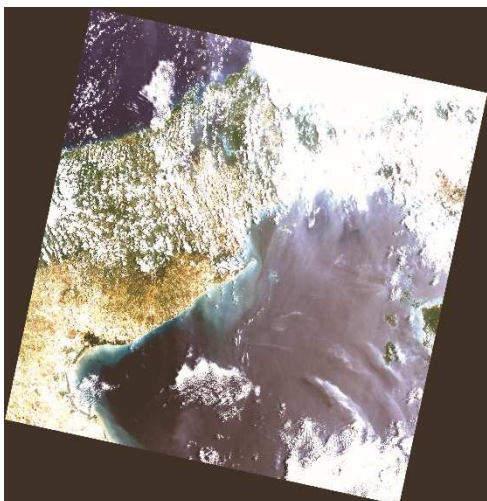


Figura 42. Landsat 8 – 17 de abril de 2019

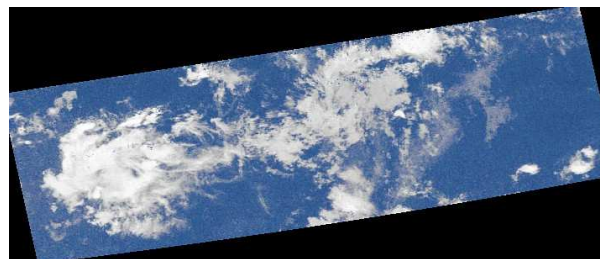


Figura 43. NOAA APT – 02 de abril de 2019

El frente a frente de las imágenes detalla que las dos se pueden usar para las mismas finalidades, gráficamente nos dan la misma información.

Comparando las imágenes Landsat con la imagen obtenida el día 26 de abril de 2019 se encuentran muchas similitudes entre sí. La imagen APT es de gran parte del territorio nacional, mostrando la nubosidad de la época. Para el mes de marzo y abril el país estaba bajo una temporada invernal, se corrobora esta información con la parte visual de la imagen decodificada como se puede observar en la Figura 44.

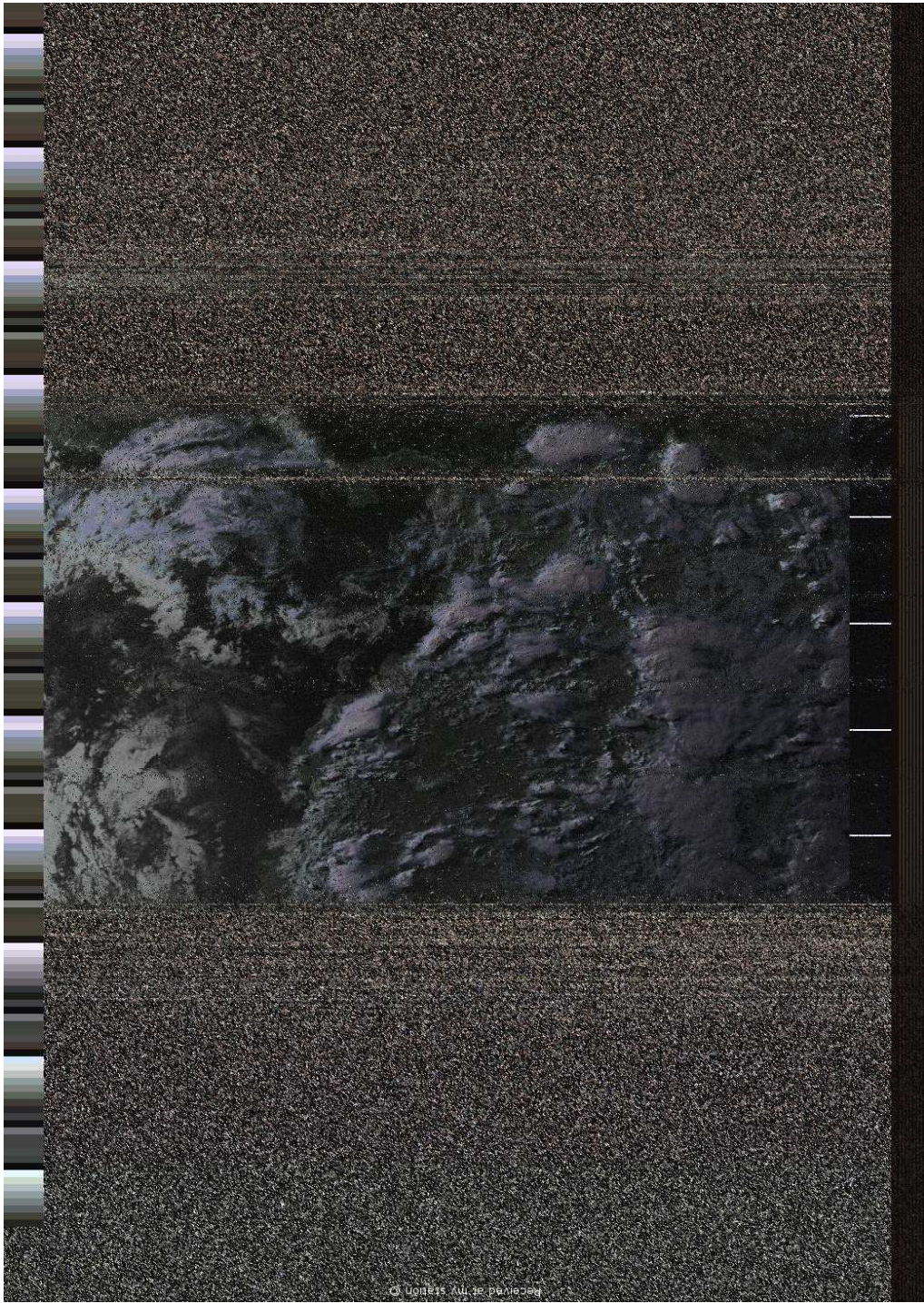


Figura 44. Imagen obtenida el día 26 de Abril de 2019.

A través del software SIG Quantum GIS 3.4 se observa su histograma, el cual se puede apreciar en la Figura 45.

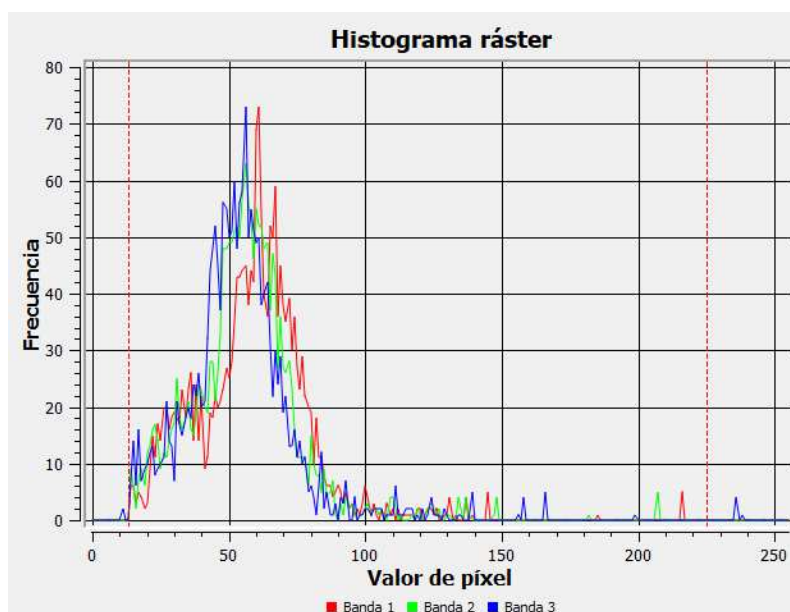


Figura 45. Histograma de la imagen del 26 de abril de 2019.

En él se ve la distribución de los píxeles de las 3 bandas descargadas, los cuales se distribuyen entre los valores 0 px a 240 px, concentrándose entre los valores 50 px y 60 px datos que se muestran en la Tabla 7.

BANDA	VARIABLE ESTADÍSTICA	VALOR
Banda 1	STATISTICS_APPROXIMATE	YES
	STATISTICS_MAXIMUM	225
	STATISTICS_MEAN	58.536780159731
	STATISTICS_MINIMUM	13
	STATISTICS_STDDEV	23.219546596593
Banda 2	STATISTICS_APPROXIMATE	YES
	STATISTICS_MAXIMUM	233
	STATISTICS_MEAN	55.812862547289
	STATISTICS_MINIMUM	13
	STATISTICS_STDDEV	22.773249338129
Banda 3	STATISTICS_APPROXIMATE	YES
	STATISTICS_MAXIMUM	238
	STATISTICS_MEAN	54.565573770492
	STATISTICS_MINIMUM	11
	STATISTICS_STDDEV	24.068012784251

Tabla 7. Datos estadísticos imagen del 26 de abril de 2019.

Para la imagen Landsat LE07_L1TP_008057_20190413 se obtiene el histograma que se puede apreciar en la Figura 46

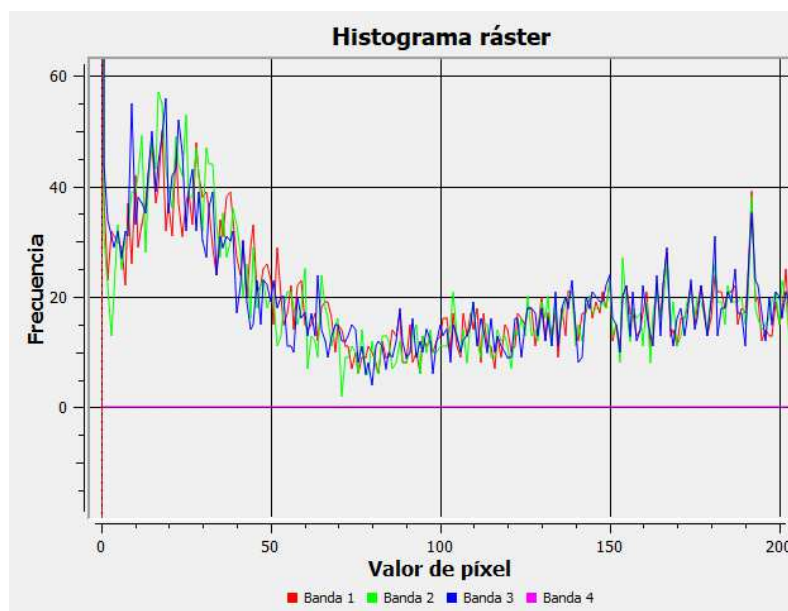


Figura 46. Histograma de la imagen Landsat LE07_L1TP_008057_20190413

En él se ve la distribución de los píxeles de las 3 bandas descargadas, los cuales se distribuyen entre los valores 0 px a 200 px, mostrándose más uniformidad en los datos que

en la imagen APT, la información estadística proveniente del software QGis no dice lo que se muestra en la Tabla 8.

BANDA	VARIABLE ESTADÍSTICA	VALOR
Banda 1	STATISTICS_APPROXIMATE	YES
	STATISTICS_MAXIMUM	255
	STATISTICS_MEAN	82.824806239179
	STATISTICS_MINIMUM	0
	STATISTICS_STDDEV	85.984961181215
Banda 2	STATISTICS_APPROXIMATE	YES
	STATISTICS_MAXIMUM	255
	STATISTICS_MEAN	82.023647719366
	STATISTICS_MINIMUM	0
	STATISTICS_STDDEV	86.030481747839
Banda 3	STATISTICS_APPROXIMATE	YES
	STATISTICS_MAXIMUM	255
	STATISTICS_MEAN	83.232448263029
	STATISTICS_MINIMUM	0
	STATISTICS_STDDEV	86.565054210086

Tabla 8. Datos estadísticos imagen Landsat LE07_L1TP_008057_20190413.

Comparando los histogramas de las 2 imágenes, se aprecia la diferencia que existe entre las medias de los píxeles, que poseen una diferencia de 30 puntos, siendo la menor para la imagen APT, esto debido a las franjas en las cuales no había una señal definida, generando que la imagen solo sea útil en un 60% de la zona de barrido del satélite. Respecto a la desviación estándar que existe entre los datos de la imagen APT podemos observar que sus datos no están muy dispersos respecto a la media, puede que se deba a la zona de ruido existente al inicio y al final de la misma; la desviación estándar en la imagen Landsat está muy elevada, esto quiere decir que sus datos están muy dispersos respecto a la media que es de 84, sus píxeles puede que estén alterados debido a las zonas de franjas negras que tienen las imágenes del sensor del satélite Landsat 7.

Las conclusiones se pueden resumir en una tabla de pros y contras de cada uno de los tipos de imágenes usadas, dependiendo del proyecto se puede usar un tipo de imagen u otro.

Imágenes Landsat

PROS	CONTRAS
Gran calidad gráfica	Costos de adquisición
Comunidad grande de descarga de datos	No son en tiempo real
Grandes extensiones de terreno	Requiere conexión a internet para su descarga
Imágenes para diferentes tipos de análisis	Software de visualización con grandes requerimientos.

Tabla 9. Pros y contras imágenes Landsat

Imágenes APT

PROS	CONTRAS
Buena calidad gráfica	Su configuración inicial para obtener es dispendiosa
Grandes extensiones de terreno	Expuestos a la meteorología de la zona en los días de descarga
Imágenes para análisis grafico	Software de visualización y solo es compatible con Windows 7 o anteriores.
Imágenes de poco peso	
Imágenes en tiempo real	
No requiere conexión a internet para su descarga	
Imágenes que no tienen costo	
Los equipos necesarios para la obtención rondan el valor de los US\$100	

Tabla 10. Pros y contras imágenes APT

BIBLIOGRAFÍA

- [1] M. Quiñones, "Sistema de obtención de imágenes satelitales HRPT aplicando infraestructura de datos espaciales," no. January 2017, 2016.
- [2] J. López, "' Servicio WEB para satélites meteorológicos NOAA basado en receptor SDR ,' " 2017.
- [3] J. Cristóbal, X. Pons, P. Serra, and) Xavier Pons@uab Es, "Sobre el uso operativo de Landsat-7 ETM+ en Europa," *Teledetec. y Desarro. Reg.*, pp. 193–196, 2003.
- [4] B. Barbosa and C. Ferreira, "Mapeamento Do Albedo De Áreas Heterogêneas Do Estado Do Ceará Com Imagens Tm - Landsat 5," *October*, pp. 24–41, 2007.
- [5] IGAC-CIAF, "Descripción y Corrección de Productos Landsat 8 LDCM (Landsat Data Continuity Mission)," *Cent. Investig. y Desarro. en Inf. Geográfica del IGAC -CIAF*, p. 46, 2013.
- [6] A. Rabolli, M. y Gulich, "Conocimientos Básicos sobre Teleobservación Satélites NOAA," p. 32, 2005.
- [7] A. Calle and J. L. C. J. Sanz, "Algoritmo automático de corrección geográfica para imágenes NOAA-AVHRR : desarrollo y análisis de errores," 2000.
- [8] F. Cánovas and F. Sarría, "Comparación de técnicas de fusión en imágenes de alta resolución espacial," *Rev. Int. Cienc. y Tecnol. la Inf. Geográfica*, pp. 144–162, 2014.
- [9] R. W. Hollander, "Resonant Quadrafililar Helical Antenna," 1999.
- [10] M. P. González, J. José, and M. Fuentes, "Proyecto Fin de Carrera Ingeniería de Telecomunicación Estudio piloto de los demoduladores de la serie RTL de Realtek para la Radio Definida por Software," 2014.
- [11] J. M. Friedt and G. Goavec-Mérou, "E4k and RTL2832U based Software Defined Radio – SDR)," pp. 1–31, 2012.
- [12] G. Description, "RealTek RTL2832U," pp. 3–5, 2015.
- [13] J. R. Machado-Fernández, "Software Defined Radio : Basic Principles and Applications Software Defined Radio : Principios y aplicaciones básicas Software Defined Radio : Princípios e Aplicações básicas," *IEEE Access*, vol. 24, no. 38, pp. 79–96, 2014.
- [14] W. Gui and W. Gui, "Wxtoimg(gui) wxtoimg(gui)," vol. 0.
- [15] C. Alvarez, "Diseño y construcción de una antena Double Cross para recepción de imágenes procedentes de satélites de órbita polar," p. 98, 2012.
- [16] D. Vargas, "Análisis de Componentes Principales Introducción," pp. 1–11, 2011.
- [17] G. Hernández, J. López, and L. Iturri, "Metodología para el cálculo adecuado de las alturas de antenas en un radioenlace de microondas en Línea de Vista," *Nov. Sci.*, vol. 6, no. 12, pp. 1–12, 2013.
- [18] C. A. Forero Bernal, P. A. Zabala Parra, and A. Boada Rodríguez, "Análisis espacio-temporal de la incidencia antrópica en la Cuenca del Río Cauca, en el departamento del Valle," *Perspect. Geográfica*, vol. 22, no. 1, pp. 127–146, 2017.
- [19] R. D. Díaz Aguilar, S. V. Sanchez Larico, E. Lujano Laura, and A. Lujano Laura, "Análisis multi-temporal entre 1975 y 2015 sobre cambios de la cobertura glaciar en los nevados Allin Capac y Chichi Capac, Perú," *Rev. Investig. Altoandinas - J. High Andean Res.*, vol. 19, no. 3, pp. 265–274, 2017.

- [20] A. Ramos and L. Noboa, "Diseño e implementación de un prototipo para recepción de señales satelitales para obtención de imágenes meteorológicas del sistema de satélites NOAA (Nacional Oceanic and Atmospheric Administration) usando radio definido por software," p. 57, 2016.
- [21] Y. Velasco, "Recepción y difusión de imágenes meteorológicas satelitales," Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas, 2008.
- [22] J. P. Ciafardini, "Receptor de señales APT de Satélites Meteorológicos," 2010.
- [23] H. Paz-Penagos, J. S. Caycedo-Berrio, L. M. Patarroyo-Godoy, and L. L. Ramírez-Cortés, "Recepción de Imágenes Meteorológicas de Colombia con una Antena de Dipolos Cruzados," *Inf. tecnológica*, vol. 30, no. 1, pp. 41–48, 2019.
- [24] B. Vera Navides, "Diseño y construcción de una antena cuadrifilar helicoidal para recepción de imágenes transmitidas por satélites de órbita polar," pp. 1–79, 2012.
- [25] M. Ramírez Gutiérrez, "Uso de Modelos Lineales Generalizados (MLG) para la interpolación espacial de PM10 utilizando imágenes satelitales Landsat para la ciudad de Bogotá – Colombia," *Perspectiva Geográfica*, 2017, 22/2.
- [26] N. Bonomo, "Prospección con GPR para localizar una cisterna y una galería en un sitio histórico urbano," *GEOACTA*, 2016, 41/1, 50 – 64.
- [27] L. Allega, "Comparación de los productos de TSM L3 generados a partir de los sensores AVHRR y MODIS frente al Golfo San Jorge – Argentina," *Revista de Teledetección*, 2017, 50, 17 – 26.
- [28] D. Monteiro dos Anjos, "Temporal analysis of water volume at Capoeira Reservoir Mãe d'Água, Paraíba – Brazil," *Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável*, 2017, 12/1, 138 – 142.
- [29] F. Bognanni, "Aplicación de la teledetección en un estudio del pasado a una escala inter-regional. El caso de los "Corrales de Indios"," *GeoFocus*, 2010, 10, 27 – 46.
- [30] G. Martes, "Double Cross — A NOAA Satellite Downlink Antenna – An easy to build antenna for ground reception of NOAA weather or amateur satellite signals," *QST*, 2008.