

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA

LA MOLINA

FACULTAD DE CIENCIAS



**“ACTUALIZACIÓN E IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DE
RECEPCIÓN SATELITAL GOES-16 PARA EL PRONÓSTICO DEL
TIEMPO ATMOSFÉRICO”**

Trabajo de Suficiencia Profesional para Optar el Título de:

INGENIERO METEORÓLOGO

CHRISTIAN ANDRES DÁVILA VILCA

Lima – Perú

2021

**La UNALM es la titular de los derechos patrimoniales de la presente investigación
(Art. 24. Reglamento de Propiedad Intelectual)**

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA
LA MOLINA**

FACULTAD CIENCIAS

**“ACTUALIZACIÓN E IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DE
RECEPCIÓN SATELITAL GOES-16 PARA EL PRONÓSTICO
DEL TIEMPO ATMOSFÉRICO”**

Trabajo de Suficiencia Profesional para Optar el Título de:

INGENIERO METEORÓLOGO

Presentado por:

CHRISTIAN ANDRES DÁVILA VILCA

Sustentado y aprobado por el siguiente jurado:

Dr. Ernesto Ever Menacho Casimiro
PRESIDENTE

Mg. Martin Benedicto Sandoval Casas
MIEMBRO

Lic. Fis. Juan Manuel Pesantes Rojas
MIEMBRO

Mestre Eng. Esaúl Obregón Párraga
ASESOR

DEDICATORIA

El presente trabajo no es solo mío, es fruto del empuje y corazón de quienes amo y me acompañan día a día, incluso de quienes no siguen en este plano terrenal.

Tal vez como muchos he tardado en despertar y valorar más a quienes digo amar, me he perdido entre en el quehacer egoísta y la ilusa satisfacción de ver que aparentemente todos están bien hasta tropezarme con la cruel verdad, la vida es efímera y en algún momento dejaremos de vernos, no por la distancia o el tiempo sino porque todos tenemos un punto final en nuestra vida.

Algunos aprendemos a la mala y otros a tiempo; y aunque haya tardado tanto, jamás dejaré dedicarles cada paso, ya que sin ellos no sería quien soy.

AGRADECIMIENTO

Es difícil listar mi gratitud, ningún camino es sencillo y el recorrido siempre es gracias a aquellos que me han brindado su confianza y compartido sus objetivos con mi persona.

Agradeciendo al Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología por acogerme por tantos años y brindarme tantas experiencias que me han ido nutriendo como profesional, haciendo una mención directa al ingeniero Nelson Quispe y compañeros de oficina por haber confiado en mi trabajo y haberme presentado continuamente retos y experiencias que han sido pilar clave en mi formación profesional fuera de la universidad.

Es inevitable no mencionar a mis amigos y/o compañeros de aula que han sabido motivarme y creer en mí más de lo que yo creía, porque sin ellos solo hubiese sido una fría etapa educativa en la que iba aprendiendo y desarrollándome profesionalmente, gracias por transformar esa etapa y por acompañarme constantemente Katherine Ccoica, Paulo Lanchipa y especialmente a Alexis Nicole Muñoz Verde quien además de ser una gran amiga es parte de mi familia, mi hermana.

Agradecer a mi madre (Carmen Rosa Vilca) y mi abuela (Elisa Echevarría) que jamás cuestionaron mi deseo por estudiar y seguir aprendiendo, apoyando cada una de mis decisiones y siguiendo mis pasos, uno tras otro, al pendiente de que ante todo sea feliz.

Y agradecer finalmente a la persona que hizo posible el que empezara y finalizara con éxito este trabajo, acompañándome en las traspachadas por causa de calendario, exigiéndome continuar y vigilando mi sueño mi novia María Alessandra Goicochea Huaman, pues sin ella este trabajo no sería realidad.

ÍNDICE DE GENERAL

RESUMEN EJECUTIVO	V
I. INTRODUCCIÓN	1
II. MARCO TEÓRICO	3
2.1. Satélites meteorológicos	3
2.1.1. <i>Imágenes pancromáticas</i>	4
2.1.2. <i>Imágenes multiespectrales</i>	4
2.2. Criterios para la interpretación visual	5
2.3. Realces y mejoras visuales.....	6
2.4. GOES – 13	6
2.5. GOES – 16	7
III. MARCO METODOLÓGICO	12
3.1. Estado del sistema de recepción GOES-13.....	12
3.2. Etapa pre-operativa GOES-16	12
3.3. Etapa GEONETCAST	13
3.4. Elaboración de la plataforma InterPSat para datos GOES-16	13
3.5. Sistema de recepción de datos GOES-16 GRB	16
3.6. Integración de fuentes de datos GOES-R	16
IV. RESULTADOS	19
4.1. Contexto laboral.....	19
4.2. Determinación y análisis del problema.....	21
4.3. Proyecto de solución	23
4.4. Evaluación del proyecto.....	30
V. ANÁLISIS DE RESULTADOS E IMPACTOS.....	35
VI. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	42
6.1. Conclusiones	42
6.2. Recomendaciones	42
VII. REFERENCIAS BLIOGRÁFICAS	43
VIII. ASEGURAMIENTO.....	45

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Características de los canales del generador de imágenes GOES-13.....	6
Tabla 2: Caracterización de los canales del generador de imágenes ABI, GOES-16.....	9
Tabla 3: Comparación entre datos disponibles del sensor ABI en GEONETCAST y los emitidos por el satélite GOES-16.....	15
Tabla 4: Productos Nivel 1b y Nivel 2 del satélite GOES-16	18
Tabla 5: Comparación del sistema GVAR y sistema GRB.....	28
Tabla 6: Tabla con sistemas de distribución de datos satelitales GOES-R disponibles.....	29
Tabla 7: Comparación temporal de los datos GOES-16 diseminados a través del sistema GEONETCast Americas	36

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Muestra de imagen pancromática, producto en niveles de grises.....	4
Figura 2: Diferencia entre imagen RGB, Multiespectral e Hiperespectral.....	5
Figura 3: Organización jerárquica de los criterios de interpretación visual	5
Figura 4: Aplicación de los canales del satélite GOES	7
Figura 5: Imágenes monocromáticas y realizadas, a partir de imágenes del GOES-16.....	10
Figura 6: Mapa acumulado de flashes en un periodo de 10 minutos sobre la banda 2 del satélite GOES-16	11
Figura 7: Diagrama de proceso de recepción GEONETCAST	13
Figura 8.1: Datos de la banda 13 del satélite GOES-16, probabilidad de descarga, pronósticos de mal tiempo, datos de estaciones y herramientas de análisis	14
Figura 8.2: Datos de la banda 13 del satélite GOES-16, realce de las áreas de mal tiempo y la incidencia de flashes detectados por el sensor GLM	15
Figura 9: Diagrama de procesos del sistema GRB	16
Figura 10: Sistema integrado de datos satelitales GOES-16 disponibles.....	17
Figura 11: Organigrama estructural del Servicio Nacional de Meteorología del Perú	20
Figura 12: Constelación de satélites GOES actuales.....	22
Figura 13: Datos distribuidos vía FTP pro el CPTEC, desde el 26 de mayo del 2017 a las 12:45 UTC en formatos netCDF4.....	24
Figura 14: Banda 13 del sensor ABI del satélite GOES-16 del día 26 de abril a las 13:45 UTC, graficado en el visualizador GrADS	25
Figura 15: Banda 13 del sensor ABI del satélite GOES-16 del 26 de abril a 13:45 UTC, resolución a) 3 km e imagen b) 10 km.....	26
Figura 16: Diagrama de procesos para el tratamiento de datos satelitales GOES-16 en el área de Sensoramiento Remoto en la SPM de SENAMHI	27
Figura 17: Densidad de datos almacenados localmente en el área de sensoramiento remoto de la SPM del SENAMHI	31

Figura 18: Diagrama resumen del flujo de proceso del paquete PG16-SNMH para el procesamiento de datos GOES.....	32
Figura 19: Programación crontab para la ejecución de rutinas de procesamiento de datos satelitales GOES-16 para la alimentación del banco de datos InterPSat.....	33
Figura 20: Directorio de datos locales netCDF, re proyectados y georreferenciados para el área de Perú a utilizarse en la plataforma InterPGrADS.....	33
Figura 21: Descarga externa de datos para la plataforma InterPSat.....	33
Figura 22: Recortes netCDF para el área de Perú y archivo descriptor con capacidad de la apertura de los últimos 61 tiempos a una frecuencia de 10 minutos	34
Figura 23: Estructura de directorios del aplicativo InterPSat para visualización de Datos GOES-16.....	34
Figura 24: Interfaz de visualización InterPSat	38
Figura 25: Visor web de imágenes GOES-16 local del sistema GOES-GRB.....	39

RESUMEN EJECUTIVO

El presente trabajo se realizó en la Subdirección de Predicción Meteorológica de la Dirección de Meteorología y Evaluación Ambiental Atmosférica, ubicado en la Sede Central del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú, estableciendo metodologías de trabajo para solucionar la necesidad de datos satelitales por la entidad en mención.

Como servicio meteorológico nacional la información satelital es fundamental en las operaciones diarias de observación, emisión de avisos meteorológicos, pronósticos de corto plazo (1-2 días) para la identificación de patrones de circulación y de cortísimo tiempo (horas) para actividad nubosa; siendo imprescindible mantener actualizados los equipos y algoritmos para la recepción, procesamiento y post procesamiento de datos satelitales.

El cambio de tecnología satelital producido el 18 de diciembre del 2017 a causa del reemplazo en operación del satélite GOES-13 por otro de nueva generación de satélites meteorológicos, el satélite GOES-16. Inutilizando los equipos y sistemas para el uso de datos satelitales, estableciéndose con urgencia la necesidad de adquirir e implementar un nuevo sistema de recepción y procesamiento de datos satelitales correspondientes a la nueva generación.

Se desarrolló metodologías para identificar el estado de los datos registrados y almacenados de fuentes anteriores, estableciendo criterios de almacenamiento e identificación dispositivos/equipos para descentralizar los datos históricos, registro temporal de datos, entablar el control de calidad de los datos históricos y futuros, y homogenizar los datos para el análisis multitemporal e integración a los datos de la nueva tecnología disponible.

Logrando el aprovechamiento adecuado de datos y productos satelitales, actualización e implementación de plataformas para el consumo inmediato, dinámico y orgánico, la automatización de los procesos y desarrollo de rutinas para el respaldo de datos y procesamiento.

I. INTRODUCCIÓN

Los datos y productos satelitales son elementos clave en las operaciones de los servicios meteorológicos nacionales, siendo empleados en las operaciones internas de pronóstico y alerta meteorológica de mesoescala y de corto plazo; existiendo la necesidad de actualizar los procesos de adquisición y tratamientos de datos a la par con la evolución de la tecnología satelital y los nuevos cambio que se van produciendo, como la nueva generación de satélites meteorológicos presentado en el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI).

El SENAMHI es un organismo público especializado, fundado en marzo de 1969, actualmente es un organismo adscrito al Ministerio del Ambiente, luego de su creación en mayo del 2008 (MINAM, s.f.). teniendo como propósito generar y proveer información y conocimiento meteorológico, hidrológico y climático de manera confiable, oportuna y accesible en beneficio de la sociedad peruana; brindando servicios públicos, asesorías e investigaciones científicas en las áreas de meteorología, hidrología, agrometeorología y asuntos ambientales.

En tal sentido del cumplimiento de sus propósitos la Dirección de Meteorología y Evaluación Ambiental Atmosférica del SENAMHI ha implementado sistemas de recepción de datos de satélites meteorológicos, dicha información ha sido tratada, consumida, administrada y difundida por la Subdirección de Predicción Meteorológica, como fue el caso del sistema Dartcom-GVAR para la información proveniente del satélite GOES-13, la implementación de sistemas alternativos como el sistema de comunicaciones GEONETCast Americas, a través del cual se dispuso de una pequeña gama de datos del sensor *Advanced Baseline Imager* (ABI) y productos para diferentes aplicaciones atmosféricas y geofísicas; además de un sistema alternativo a partir de los datos públicos en el servidor *Amazon Web Services* (AWS) administrado por la NOAA y el sistema actual *GOES Rebroadcast* (GRB) como principal transmisor de resolución completa en tiempo casi real, para la información

proveniente del satélite GOES-16, implementado en diciembre del 2018. Distribuyéndose los datos procesados a través del portal web de satélites del SENAMHI como productos de bandas, composiciones RGB e información en formato netCDF; los canales de difusión interna mediante el uso de recursos compartidos en red para consumo orgánico a través del desarrollo la plataforma de visualización de datos satelitales InterPSat, basada en su pre existente para datos binarios correspondientes a la información del sistema GOES-13.

Como Especialista en Meteorología V desde noviembre del 2016, laborando en el área de sensoramiento remoto y teniendo como funciones principales el analizar imágenes de satélite para la elaboración del pronóstico del tiempo y avisos meteorológicos, realizar algoritmos multiespectrales de imágenes de satélite para la detección de zonas de tiempo severo, realizar la automatización de datos (Backup de datos de satelitales) en forma diaria para contar con una base de respaldo, desarrollar, actualizar y mantener los software de visualización de datos de modelos numéricos (modelos globales y regionales) y datos satelitales para el análisis en la realización del pronóstico meteorológico y otras funciones asignadas por la jefatura inmediata de la Subdirección de Predicción Meteorológica, relacionadas a la misión del puesto.

Presentando como objetivo principal el desarrollo e implementación de algoritmos para la recepción de datos satelitales del satélite meteorológico GOES 16, ya sea en la red desde servidores públicos o para la captura de los datos in situ distribuidos vía satélite como lo son el caso de los sistemas *GEONETCast Americas* y el *GOES Rebroadcast (GRB)*, el procesamiento de la información recepcionada y establecer los métodos o canales de visualización y distribución de la información a ser consumida por el personal de SENAMHI y usuarios externos a través de su portal Web o por misión. Teniendo presente la identificación, clasificación y actualización de la base de datos previa y de la información futura; además del desarrollo de un aplicativo de visualización ágil para el consumo de la información satelital en tiempo casi real denominado InterPSat sobre alguna plataforma *OpenSource*.

II. MARCO TEÓRICO

2.1. Satélites meteorológicos

Antes del uso de la tecnología satelital con fines meteorológicos, las observaciones eran desde la superficie o a través de aeronaves; por lo tanto, no se contaba con un método efectivo de vigilancia de los sistemas nubosos durante el desarrollo de fenómenos atmosféricos que comprometían el bienestar social o productivo.

En tal sentido los satélites meteorológicos han marcado un hito en la rutina de observación del profesional en meteorología, permitiéndole observar desde su ubicación en el espacio áreas en las cuales la información era muy escasa e incluso nula. Dicha tecnología permite obtener datos sobre: nubes, temperatura y humedad del aire, viento, temperatura del suelo y del mar, corrientes marinas, inestabilidad atmosférica, precipitaciones, presencia de aerosoles, incendios forestales, actividad volcánica a partir de la columna de emisiones, etc., siendo todos estos elementos asociados al pronóstico del tiempo y el resguardo de la población.

Desde 1975, los Satélites Ambientales Operacionales Geoestacionarios (GOES, por sus siglas en inglés) han proporcionado una serie de imágenes y datos de las condiciones atmosféricas y la actividad solar (ambiente espacial). Los datos y productos de los satélites GOES han llevado a obtener pronósticos meteorológicos más precisos y oportunos, además de mejorar la comprensión de las condiciones climáticas a largo plazo (NOAA & NASA, 2017).

Utilizándose tipos de imágenes satelitales principalmente, para la localización y seguimiento de fenómenos meteorológicos de tiempo severo, la determinación de áreas con riesgo de incendios o incendios ya iniciados, análisis de probabilidad de inundaciones o áreas inundadas, evaluación de cosechas, contaminación de aire o aguas y para la investigación en diversas disciplinas involucradas en dichos temas u otros similares/afines.

2.1.1. Imágenes pancromáticas

Una banda pancromática (niveles de grises) es una banda que normalmente contiene un par de cientos de nanómetros de ancho de banda. El ancho de banda le permite mantener un alto nivel de señal-ruido, haciendo que los datos pancromáticos estén disponibles a una alta resolución espacial. Estas imágenes pueden ser juntadas con una resolución más alta ya que el rango espectral permite que los sensores más pequeños puedan ser utilizados mientras mantienen la alta relación señal-ruido (EOS, s.f.).



Figura 1: Muestra de imagen pancromática, producto en niveles de grises
FUENTE: Earth Observatvion System

2.1.2. Imágenes multispectrales

Una imagen multispectral es aquella que capturan los datos de la imagen dentro de los rangos de longitud de onda específicos a través del espectro electromagnético. Las imágenes multispectrales dividen la luz en pequeños números de bandas espectrales, generalmente entre 3 a 15 bandas por imagen.

En el caso de agruparse una captura correspondiente a cientos de bandas espectrales de forma contigua se le denomina “imagen hiperespectral” (Canaleja Ariza, 2018).

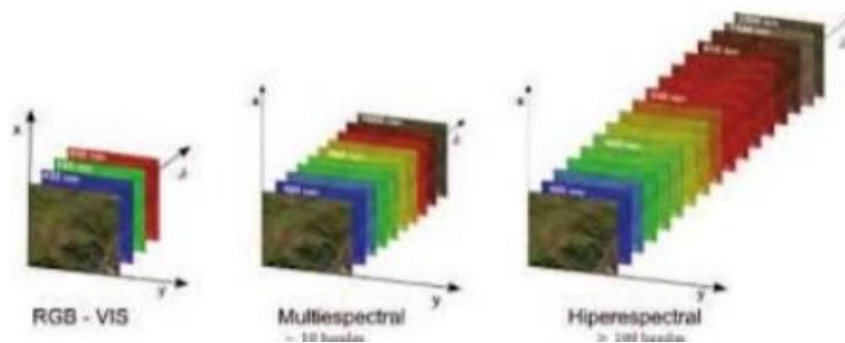


Figura 2: Diferencia entre imagen RGB, Multiespectral e Hiperespectral
FUENTE: Canalejo,2018

2.2. Criterios para la interpretación visual

El análisis visual de imágenes permite detectar, caracterizar e identificar fenómenos/objetos cualitativamente e interpretar su significado. Manteniéndose criterios estrictos en cuanto a la escala de trabajo y la geometría adquisición, sin importar el tipo de metodología aplicada, nuevas o tradicionales.

Varios autores han sugerido clasificar esos criterios en una escala jerárquica, en función de su grado de complejidad y de las variables que se consideran. (European Commision, 1993, citado en Chuvieco, 2010)

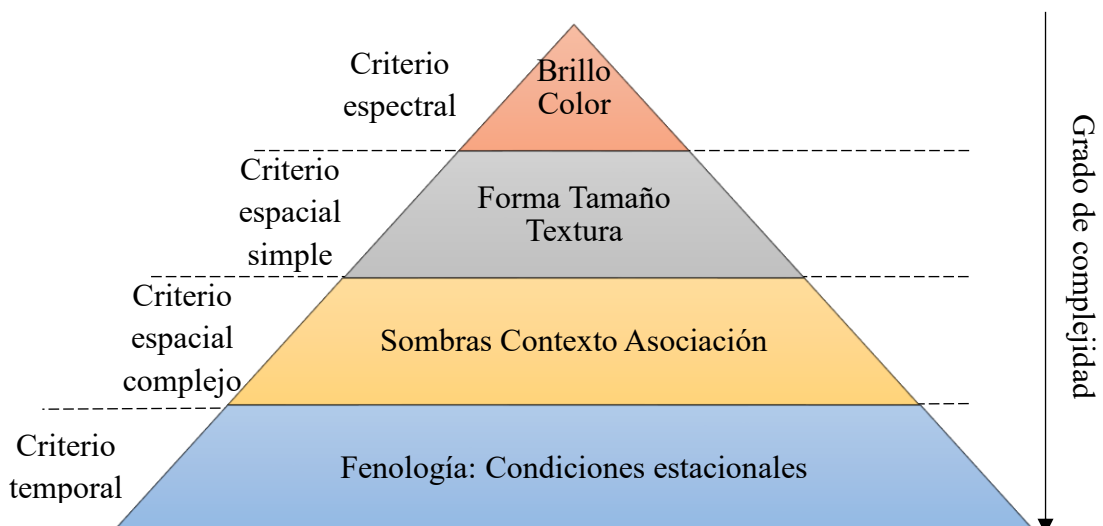


Figura 3: Organización jerárquica de los criterios de interpretación visual
FUENTE: European Commision,1993, citado en Chuvieco, 2010

2.3. Realces y mejoras visuales

Las diversas técnicas aplicadas a la mejora de la calidad visual de imágenes satelitales, tratan de disponer mejor los datos para su análisis visual, de tal forma se resalten las características de interés, como por ejemplo los procesos de mejora del contraste, composiciones coloreadas, cambios de escala, y filtrajes.

2.4. GOES – 13

El satélite GOES-13 es de órbita geoestacionaria, de segunda generación, desarrollado por la *National Oceanic and Atmospheric Administration* (NOAA) de los Estados Unidos y basado en el bus del satélite BS-601, permitiendo monitorear las condiciones ambientales y meteorológicas del continente americano debido a las observaciones frecuentes y repetidas.

Se encuentra ubicado a una longitud de 75° Oeste, latitud 0°, a una altura aproximada de 35786 km de la superficie de la tierra, contando con un conjunto de instrumentos que comprende un generador de imágenes visibles/infrarrojas, una sonda atmosférica y equipo de observación del ambiente espacial.

El generador de Imágenes es un radiómetro de 5 canales, que detecta la energía radiante y reflejada de las superficies de océanos, lagos, nubes, tierra, etc., produciendo imágenes de temperatura de tope de nubes, cobertura nubosa, desarrollo de tormentas de tiempo severo, superficie de temperatura, vapor de agua.

Tabla 1: Características de los canales del generador de imágenes GOES-13

Canal	1	2	3	4	5 (6)
Resolución espectral	0.52 – 0.71 (μm)	3.73 – 4.07 (μm)	5.80 – 7.30 (μm)	10.20 – 11.20 (μm)	13.00 – 13.70 (μm)
Resolución espacial	1 km	4 km	4 km	4 km	8 km
Resolución radiométrica	10 bits	10 bits	10 bits	10 bits	10 bits

En la presente tabla se muestran los canales que conforman al generador de imágenes del satélite GOES-13, indicándose las resoluciones espectrales, espaciales y radiométricas para todos los canales disponibles. Tomado de COMET Program, 2011, Meteorología Satelital: Selección de Canales GOES. https://www.met.ed.ucar.edu/satmet/goeschan_es/print.htm.

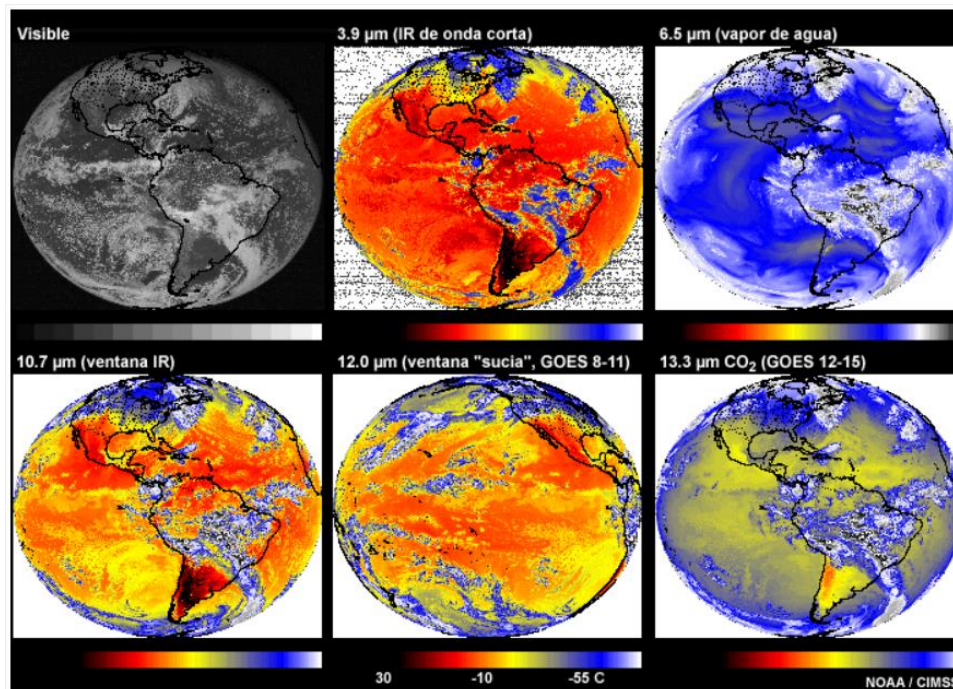


Figura 4: Aplicación de los canales del satélite GOES
FUENTE: COMET Program, 2011

El servicio de transmisión directa en la serie GOES-N (GOES 13, 14 y 15) fue mediante los sistemas de adquisición terrestres de datos *GOES VARIable* (GVAR) y el *Low-Rate Information Transmission* (LRIT), proporcionando datos y sondeos calibrados a tiempo casi real, para luego distribuirse desde las estaciones de servicio a las oficinas de pronóstico de los servicios meteorológicos y otros usuarios, como las instituciones militares, industria privada y educativas.

2.5. GOES – 16

El satélite GOES-16 es de órbita geostacionaria, corresponde a la nueva generación de satélites GOES, desarrollado por la *National Oceanic and Atmospheric Administration* (NOAA) de los Estados Unidos, permitiendo monitorear las condiciones ambientales y meteorológicas del continente americano debido a las observaciones frecuentes y repetidas, proporcionando mejoras sustanciales para la vigilancia atmosférica como: resoluciones espaciales cuatro veces mayor, tres veces más información espectral, cobertura cinco veces más rápida, mapeo en tiempo real de actividades de rayos.

Se encuentra ubicado a una longitud de 75° Oeste, latitud 0°, a una altura aproximada de 35786 km de la superficie de la tierra, contando con un conjunto de instrumentos que

comprende un generador de avanzado de imágenes (*Advanced Baseline Imager* , *ABI*), un generador geoestacionario de mapas de rayos (*Geostationary Lightning Mapper*, *GLM*), un instrumento de monitoreo espacial (*Space Environment In-Situ Suite*, *SEISS*), un magnetómetro (*MAG*), sensores de irradiancia ultravioleta y rayos X (*Extreme Ultraviolet and X-ray Irradiance Sensors*, *EXIS*) y un generador de imágenes solares (*Solar Ultraviolet Imager*, *SUVI*).

El sensor ABI posee un conjunto ampliado de 16 canales espectrales en las regiones visible, infrarrojo cercano e infrarrojo del espectro electromagnético, mientras que la generación pasada solo presentaba canales en las regiones visible e infrarrojo.

Tabla 2: Caracterización de los canales del generador de imágenes ABI, GOES-16

ABI (Canal)	Longitud de onda centrada (μm)	Tipo	Nombre	Resolución espacial (km)
01	0.47	Visible	Blue	1
02	0.64	Visible	Red	0.5
03	0.86	Infrarrojo Cercano	Vegetal	1
04	1.37	Infrarrojo Cercano	Cirrus	2
05	1.6	Infrarrojo Cercano	Nieve/Hielo	1
06	2.2	Infrarrojo Cercano	Tamaño de Partículas	2
07	3.9	Infrarrojo	Ventana de Onda Corta	2
08	6.2	Infrarrojo	Vapor de Agua en Nivel Alto	2
09	6.9	Infrarrojo	Vapor de Agua en Nivel Medio	2
10	7.3	Infrarrojo	Vapor de Agua en Nivel Bajo	2
11	8.4	Infrarrojo	Tope de fase de nube	2
12	9.6	Infrarrojo	Ozono	2
13	10.3	Infrarrojo	Ventana “Limpia”	2
14	11.2	Infrarrojo	Ventana Onda Larga	2
15	12.3	Infrarrojo	Ventana “Sucia”	2
16	13.3	Infrarrojo	CO2	2

En la presente tabla se muestran los canales que conforman al generador avanzado de imágenes (ABI) del satélite GOES-16, listándose los canales y sus respectivas longitudes de onda centradas en el rango del espectro electromagnético que les corresponde, el tipo de banda, nombre de banda y su resolución espacial. Tomado de Schmit, T. J., S. S. Lindstrom, J. J. Gerth, M. M. Gunshor, 2018. Applications of the 16 spectral bands on the Advanced Baseline Imager (ABI) J. Operational Meteor., 6 (4), 33-46.

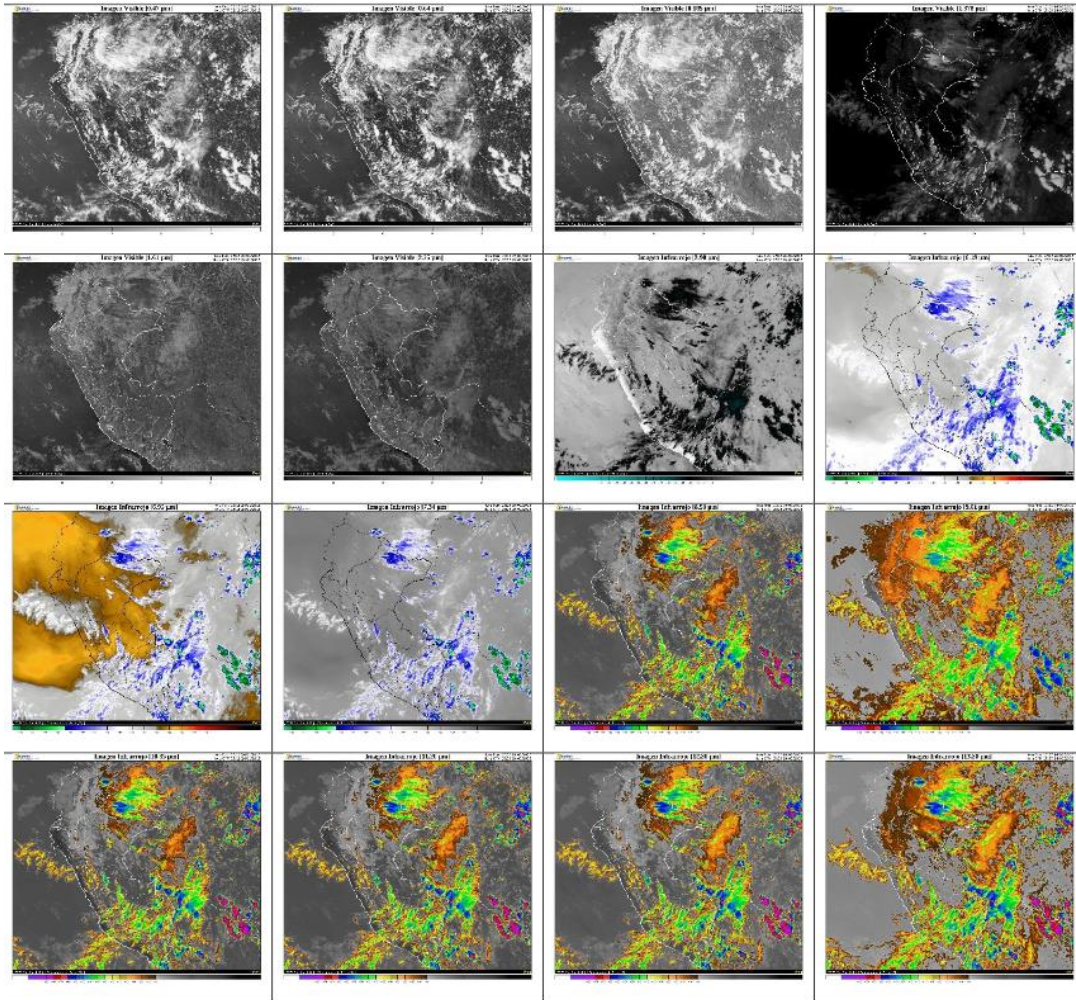


Figura 5: Imágenes monocromáticas y realzadas, a partir de imágenes del GOES-16

El sensor GLM, es el primer instrumento operacional para mapear la actividad de rayos que mide la actividad total de las descargas eléctricas dentro de la nube y de nube a tierra. Utilizándose su información para la emisión de alertas tempranas de tormentas eléctricas debido a la relación entre la cantidad de rayos y el desarrollo de tormentas severas. En la figura 4 se presenta un ejemplo del uso del sensor GLM en complemento de la información del sensor ABI, donde se observa la actividad de rayos en el periodo acumulado de 10 minutos.

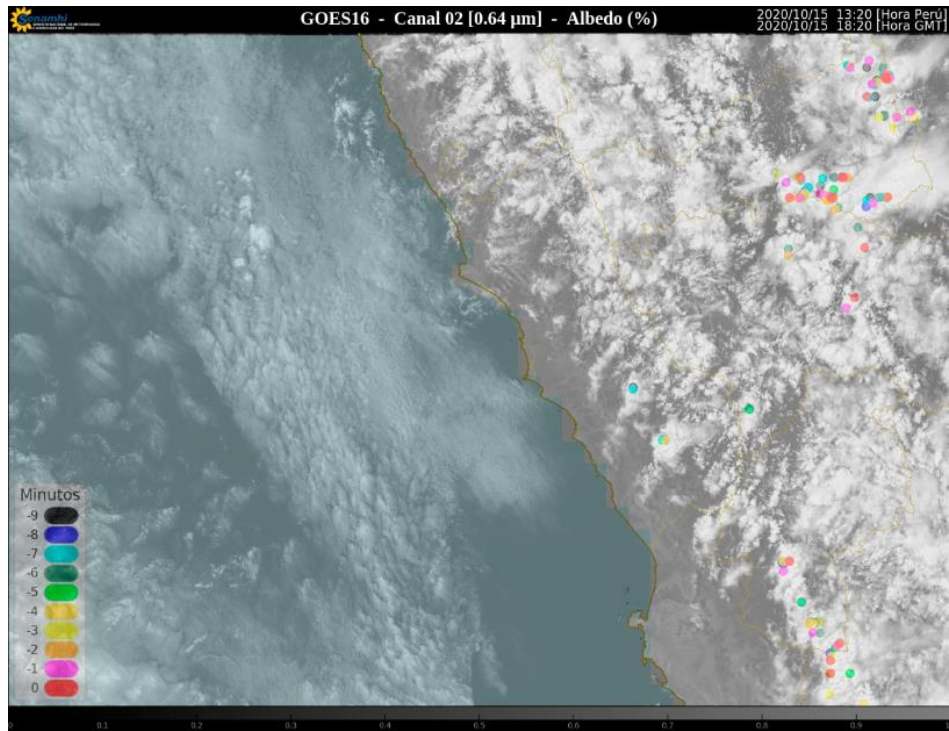


Figura 6: Mapa acumulado de flashes en un periodo de 10 minutos sobre la banda 2 del satélite GOES-16

III. MARCO METODOLÓGICO

3.1. Estado del sistema de recepción GOES-13

Evaluación del sistema de recepción de datos satelitales GOES-13, identificándose el espacio de almacenamiento y capacidad de cómputo limitada debido a los procesos en ejecución para el procesamiento de datos GOES y otros productos de fuente satelital de interés meteorológico y para el monitoreo diario.

Los datos recepcionados desde el sistema Dartcom-GVAR son los acumulados desde el año 2010, estos datos se encuentran en varios formatos, los cuales van desde imágenes JPG a datos nativos del sistema Dartcom-GVAR y binarios, dificultando de esta forma la continuidad de consulta de datos, los datos se almacenan localmente en los dispositivos de cómputo de trabajo con capacidad de disco limitada y su inevitable saturación.

3.2. Etapa pre-operativa GOES-16

Durante el 2017 el satélite GOES-16 se encuentra en su etapa pre-operacional, facilitándosele a SENAMHI a través del FTP del INPE (*Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais*, Brasil) la exploración temprana de los datos del satélite GOES-16, permitiéndonos establecer un claro panorama de las necesidades de procesamiento y almacenamiento de los datos de la nueva generación de satélites en comparación de los datos del satélite GOES-13.

Se plantea el uso de tecnologías actuales para el procesamiento de datos, empleándose lenguajes de programación como Python principalmente para toda la labor de procesamiento, desde la georreferenciación y reproyección de datos hasta los análisis multispectrales equivalentes a los productos rutinarios GOES-13 para el análisis diario.

3.3. Etapa GEONETCAST

Previniendo la inoperación de los sistemas actuales y en busca de una solución inmediata, contemplando los tipos de procesos de adquisición del estado y la situación de emergencia representada por la posibilidad de no contar con un sistema continuo de información satelital se opta por adquirir un sistema GEONETCAST, indicado por la NOAA como una fuente de datos provisional para los servicios en transición a la nueva generación de satélites, asegurando el monitoreo continuo e ininterrumpido de información en tiempo real para la toma de decisiones (GEONETCAST-Americas, 2019).

Elaborarán los programas para la recepción, procesamiento y automatización de procesos del nuevo sistema de datos satelitales GOES-16, provenientes de la red de distribución GEONETCAST y su implementación en una plataforma de interfaz gráfica para la visualización de los datos para el monitoreo de eventos meteorológicos que permitirá asegurar la calidad de información meteorológica para el monitoreo y alerta de posibles fenómenos hidrometeorológicos.

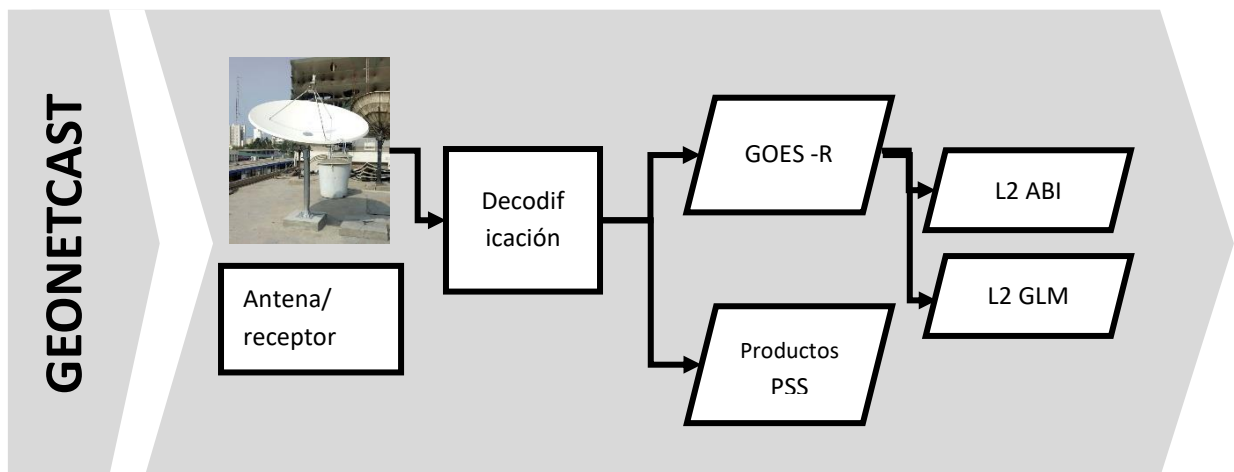


Figura 7: Diagrama de proceso de recepción GEONETCAST

3.4. Elaboración de la plataforma InterPSat para datos GOES-16

El visualizador de open source GrADS permite la visualización de datos geofísicos presentados en datos binarios, grib, NetCDF o HDF; a través de ordenes/comandos simples y la selección de dimensiones para gráficos en una o dos dimensiones (x, y, z, t | longitud, latitud, nivel, tiempo), además de una alta personalización, elaborar scripting para la automatización y la posibilidad de programar widgets para la elaboración de interfaces gráficas.

Desarrollándose el aplicativo InterPSat GOES-16 en GrADS, permitiendo la visualización de bandas del sensor ABI del satélite GOES-16 de forma monocromática y/o con realces, además de incluir datos de estaciones como temperatura y precipitación, integrar el plot de flashes del sensor GLM en simultaneo con las bandas del satélite, agregar shapefiles de interés, selección de áreas pre definidas o mediante herramientas de zoom, panel de imágenes múltiples y puntogramas.

Siendo su fuente de información los datos capturados, reproyectados y almacenados en el repositorio local (Datos InterPSat) en la SPM designado como Nowcasting, desde los sistemas GEONETCAST, AWS de la NOAA y GRB.

En la Figura 8.1 muestra la visualización de datos en formato netCDF de la banda 13 del satélite GOES-16, la interfaz presenta la posibilidad de visualizar ágilmente las bandas 02, 02, 02, 09, 10 ,13 y 14, además de contar con productos derivados como probabilidad de descarga, pronósticos de mal tiempo, datos de estaciones y herramientas de análisis.

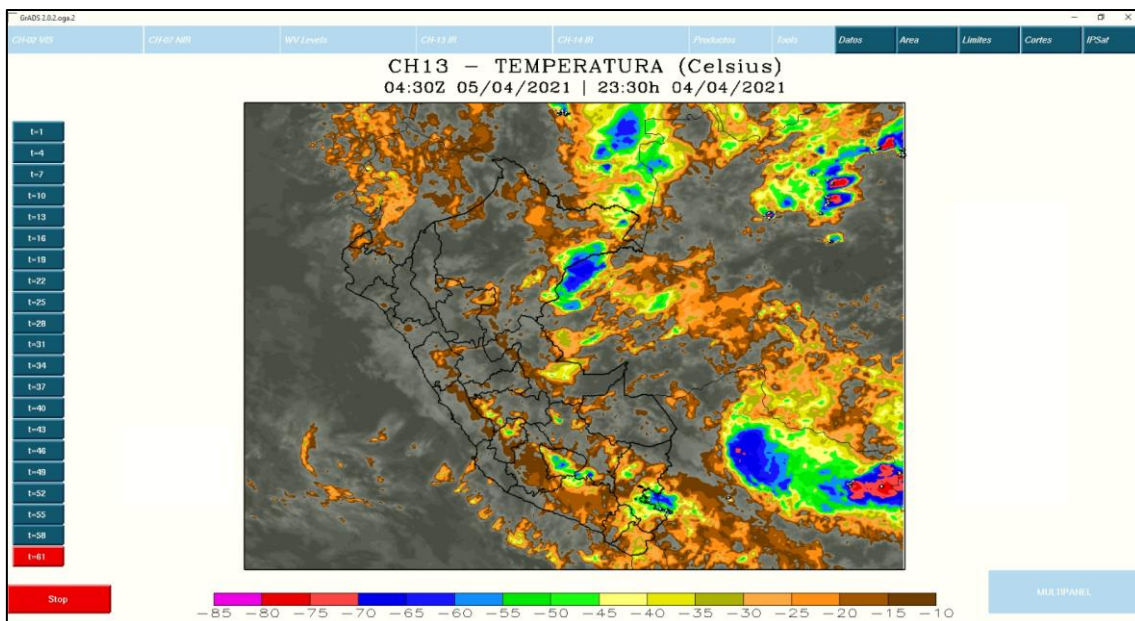


Figura 8.1: Datos de la banda 13 del satélite GOES-16, probabilidad de descarga, pronósticos de mal tiempo, datos de estaciones y herramientas de análisis

En la Figura 8.1 muestra la visualización de datos en formato netCDF de la banda 13 del satélite GOES-16, realce de las áreas de mal tiempo y la incidencia de flashes detectados por el sensor GLM.

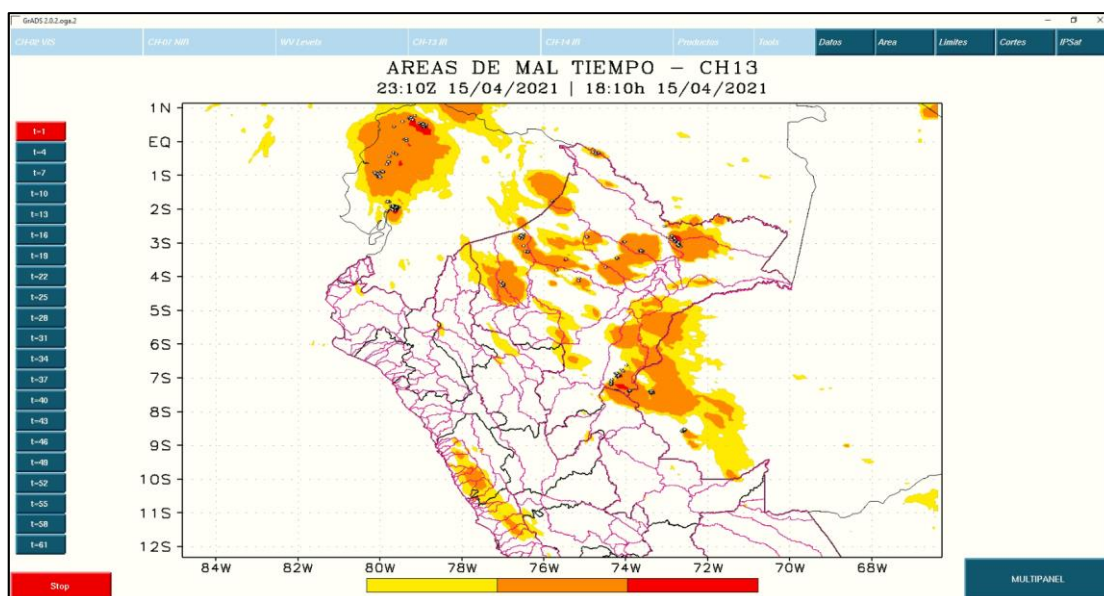


Figura 8.2: Datos de la banda 13 del satélite GOES-16, realce de las áreas de mal tiempo y la incidencia de flashes detectados por el sensor GLM

Tabla 3: Comparación entre datos disponibles del sensor ABI en GEONETCAST y los emitidos por el satélite GOES-16

CANAL	Resolución espacial - Fulldisk	
	GEONETCAST	GOES-16
Canal 01	-	1 km
Canal 02	1 km	0.5 km
Canal 03	-	1 km
Canal 04	-	2 km
Canal 05	-	1 km
Canal 06	-	2 km
Canal 07	2 km	2 km
Canal 08	2 km	2 km
Canal 09	2 km	2 km
Canal 10	-	2 km
Canal 11	-	2 km
Canal 12	-	2 km
Canal 13	2 km	2 km
Canal 14	2 km	2 km
Canal 15	2 km	2 km
Canal 16	-	2 km

En la presente tabla se muestran los 7 canales que fueron distribuidos inicialmente por el sistema GEONETCAST y sus respectivas resoluciones espaciales en comparación de lo disponible por el satélite GOES-16. Tomado de GEONETCAST-Américas Delivering Environmental Data to Users in the Americas, 2019. Illustrated Product Catalog.

3.5. Sistema de recepción de datos GOES-16 GRB

A finales del año 2018 el SENAMHI logra la implementación del sistema de recepción satelital *Capella-GR*, sistema de recepción cuasi real de datos del satélite GOES-16.

Dicho sistema permite la recepción de información de todos los sensores del satélite GOES-16, utilizándose principalmente los sensores ABI y GLM debido a los propósitos del SENAMHI, realizándose la recepción, decodificación de señales y producción de productos de nivel 1b y nivel 2 in situ.

El sistema permite la extracción de la carga útil de datos, descomprime y ensambla los paquetes de datos en formato NetCDF4, siendo procesados todos los instrumentos en Nivel 1 y Nivel 2.

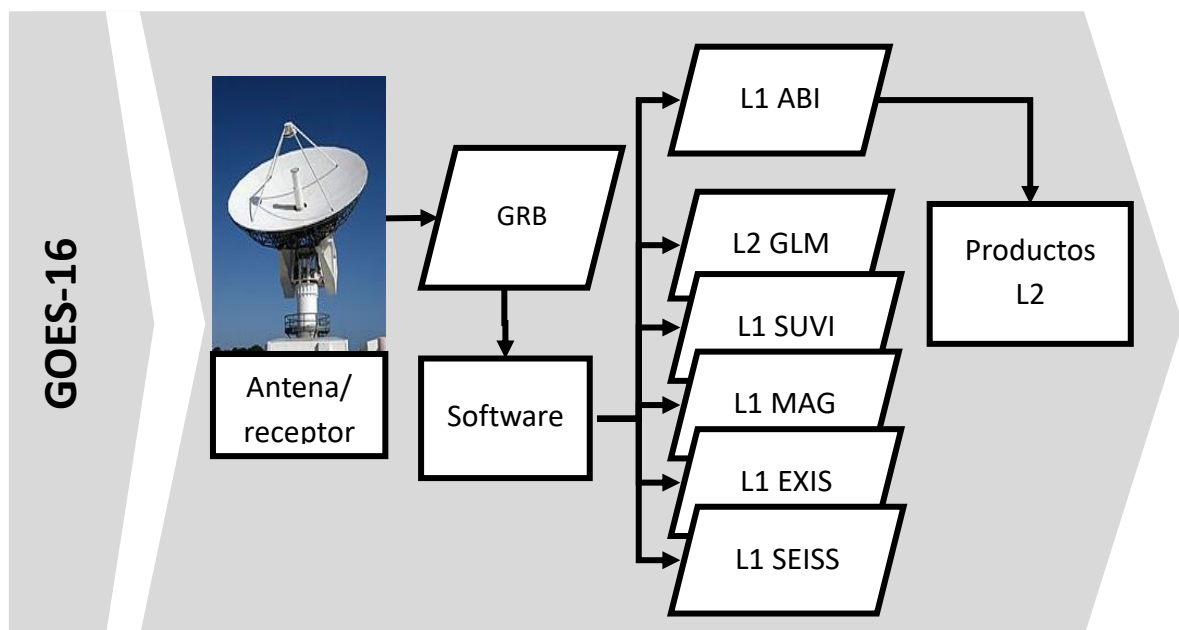


Figura 9: Diagrama de procesos del sistema GRB

3.6. Integración de fuentes de datos GOES-R

Para satisfacer la continuidad de datos de forma ininterrumpida se mantuvo en funcionamiento el sistema GEONETCAST, estableciéndose como principal el sistema GRB por contar con la totalidad de sensores y ser de recepción directa del satélite GOES-16, así mismo se incluyó y expandió los paquetes elaborados para la captura y procesamiento de datos disponibles en el servidor AWS de la NOAA correspondientes al satélite GOES-16,

integrando de esta forma múltiples fuentes de datos para la producción continua de imágenes base, realces, productos derivados y RGB empleados por los usuarios internos y externos del SENAMHI.

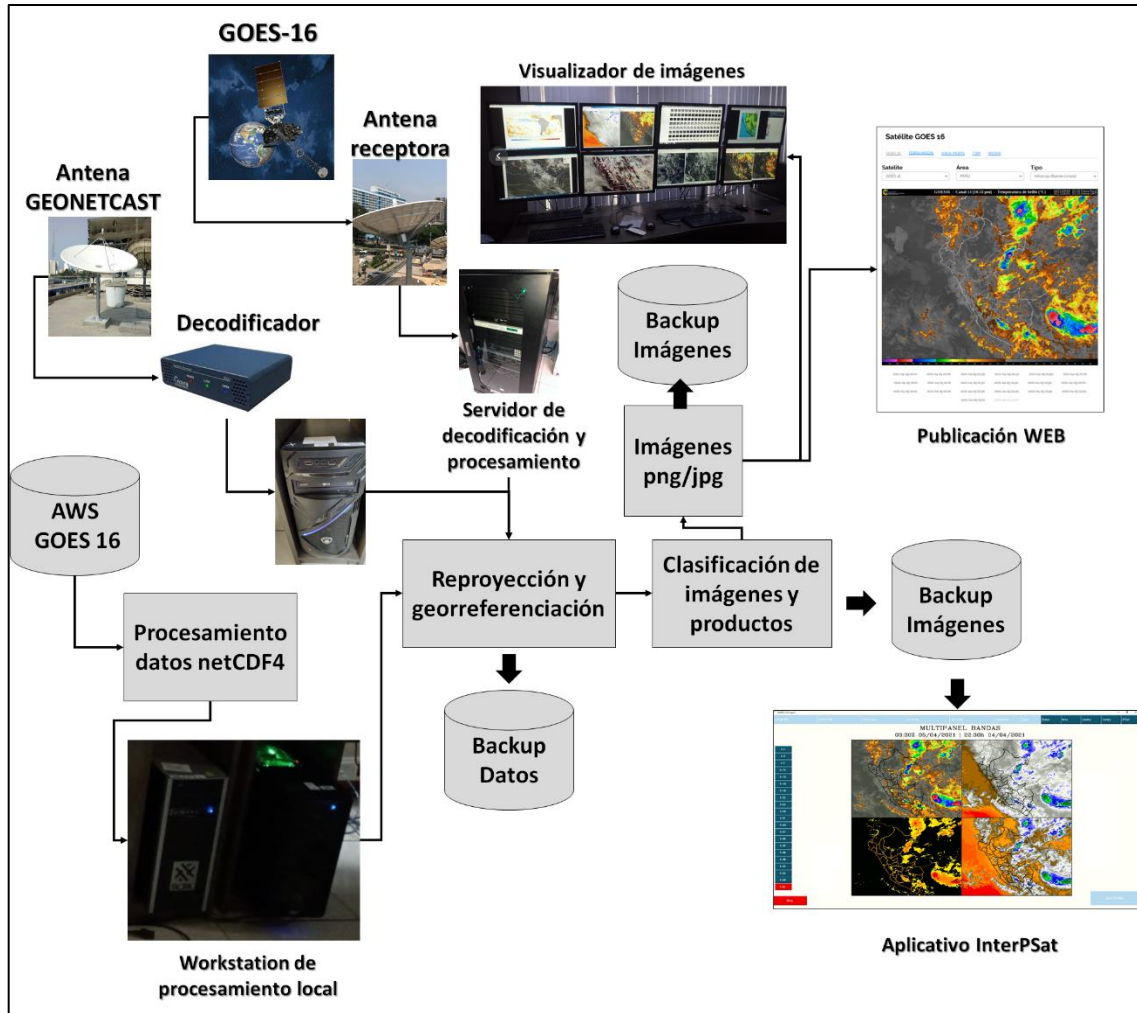


Figura 10: Sistema integrado de datos satelitales GOES-16 disponibles

Tabla 4: Productos Nivel 1b y Nivel 2 del satélite GOES-16

		Nomenclatura	Nombre
Nivel 1b		ABI-L1b-RadF	Radiances: ABI Bands: 01, 02, 03, 04, 05, 06 07, 08, 09, 10, 11, 12 13, 14, 15, 16
	Nivel 2 Productos Derivados	ABI-L2-ACHAF	Cloud Top Height
ABI-L2-ACHTF		Cloud Top Temperature	
ABI-L2-ACMF		Clear Sky Masks	
ABI-L2-CTPF		Cloud Top Phase	
ABI-L2-ADPF		Aerosol Detection	
ABI-L2-AODF		Aerosol Optical Depth	
ABI-L2-CMIPF		Cloud and Moisture Imagery	
ABI-L2-CODF		Cloud Optical Depth	
ABI-L2-CPSF		Cloud Particle Size Distribution	
ABI-L2-CTPF		Cloud Top Pressure	
ABI-L2-DMWF		Derived Motion Winds	
ABI-L2-DSIF		Derived Stability Indices	
ABI-L2-DSRF		Downward Shortwave Radiation	
ABI-L2-FDCF		Fire / Hot Spot Characterization	
ABI-L2-LSTF		Land Surface Temperature (skin)	
ABI-L2-LVMPF		Legacy Vertical Moisture Profile	
ABI-L2-LVTPF		Legacy Vertical Temperature Profile	
ABI-L2-MCMIPF	Multichannel Cloud and Moisture Imagery		
ABI-L2-RRQPEF	Rainfall Rate - Quantitative Precipitation Estimate		
ABI-L2-RSRF	Reflected Shortwave Radiation (Top of Atmosphere)		
ABI-L2-SSTF	Sea Surface Temperature		
ABI-L2-TPWF	Total Precipitable Water		
ABI-L2-VAAF	Volcanic Ash		
GLM		GLM-L2-LCFA	Geostationary Lightning Mapper Lightning Cluster-Filter Algorithm

En la presente tabla se muestran los productos procesados en el área de sensoramiento remoto del SENAMHI, estos productos son de consumo especializado e implementados a partir del paquete de algoritmos mencionados en la *GOES-R Product Definition and Users' Guide*.

IV. RESULTADOS

4.1. Contexto laboral

El Servicio Nacional de Meteorología e hidrología del Perú (SENAMHI) es un organismo público especializado, fundado en marzo de 1969, actualmente es un organismo adscrito al Ministerio del Ambiente, luego de su creación en mayo del 2008 (MINAM, s.f.).

El Servicio Nacional de Meteorología e hidrología del Perú (SENAMHI) fue creado bajo la finalidad de planificar, organizar, normar, dirigir y supervisar las actividades meteorológicas, hidrológicas y conexas, mediante la investigación científica, la realización de estudios, proyectos y prestación de servicios en materia de su competencia; y de acuerdo a los criterios de modernización del Estado tiene como misión el generar y proveer información y conocimiento meteorológico, hidrológico y climático para la sociedad peruana de manera oportuna y confiable (SENAMHI, Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología, s.f.).

El organismo del SENAMHI cuenta con cuatro direcciones de línea para la realización de labores altamente especializadas: la Dirección de Meteorología y Evaluación Ambiental Atmosférica (DMA), la Dirección de Hidrología (DHI), la Dirección de Agrometeorología (DAM) y la Dirección de Redes de Observación y Datos (DRD).

Además, el SENAMHI cuenta con trece direcciones zonales que son unidades desconcentradas responsables de planear, organizar, dirigir, ejecutar y administrar las actividades meteorológicas, hidrológicas, agrometeorológicas y afines; así como las económico-financieras, dentro de su circunscripción geográfica y en el ámbito de su competencia (SENAMHI, Gobierno del Perú, 2021).

ORGANIGRAMA ESTRUCTURAL

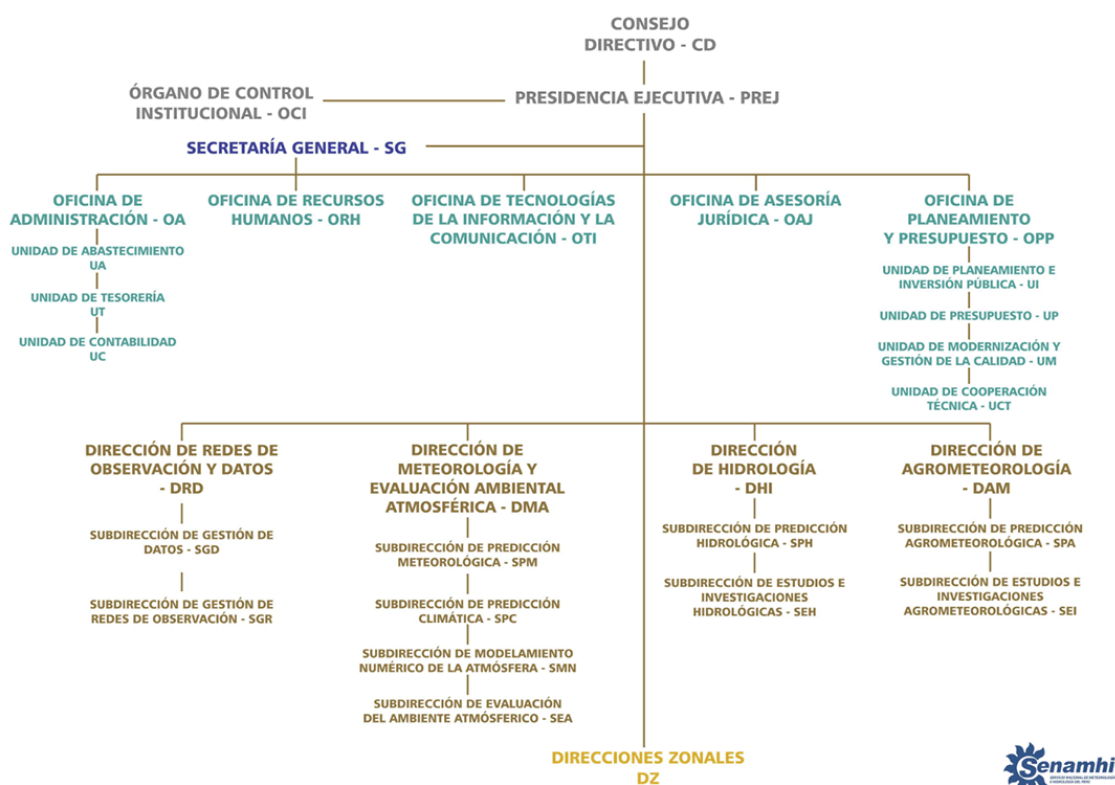


Figura 11: Organigrama estructural del Servicio Nacional de Meteorología del Perú
FUENTE: SENAMHI, 2021

Dado el contexto, la Dirección de Meteorología y Evaluación Ambiental Atmosférica (DMA) es el órgano de línea responsable de conducir, normar, formular, proponer y ejecutar planes, programas, proyectos estudios e investigaciones en el área de la meteorología; así como la realización de monitoreo y pronóstico de los fenómenos meteorológicos en el corto plazo, pronóstico del clima y el desarrollo de escenarios del Cambio Climático. Su labor incluye el pronóstico numérico operativo y la evaluación y monitoreo de las variables atmosféricas y la vigilancia permanente de las condiciones meteorológicas que puedan favorecer la contaminación del aire. (SENAMHI, Gobierno del Perú, 2021)

La DMA se encuentra constituida por cuatro subdirecciones: la Subdirección de Predicción Meteorológica (SPM), la Subdirección de Predicción Climática (SPC), la Subdirección de Evaluación del Ambiente Atmosférico (SEA).

Siendo la Subdirección de Predicción Meteorológica (SPM) el área en donde se desempeñaron las actividades que son contempladas en el presente trabajo, siendo la SPM

el principal consumidor de datos satelitales a causa de la vigilancia permanente de las condiciones meteorológicas, la realización de pronósticos a corto plazo y en especial los denominados *nowcasting*, resultando imperativo la actualización, mantenimiento y desarrollo constante de productos especializados a la par de las nuevas metodologías y tecnologías vigentes en el sensoramiento remoto.

El autor del presente trabajo se encuentra ocupando el cargo de Especialista en Meteorología en el área de Sensoramiento Remoto de la SPM, teniendo como funciones principales el analizar imágenes de satélite para la elaboración del pronóstico del tiempo y avisos meteorológicos, realizar algoritmos multiespectrales de imágenes de satélite para la detección de zonas de tiempo severo, realizar la automatización de datos diaria (Backup de datos de satelitales como base de respaldo), desarrollar, actualizar y mantener los software de visualización de datos de modelos numéricos (globales y regionales) y datos satelitales para el análisis en la realización del pronóstico meteorológico y otras funciones asignadas por la jefatura inmediata de la Subdirección de Predicción Meteorológica, relacionadas a la misión del puesto.

4.2. Determinación y análisis del problema

La información satelital ha jugado un papel clave en las actividades y operaciones de observación, emisión de avisos meteorológicos, pronóstico del tiempo de corto plazo y de cortísimo tiempo denominado *nowcasting*.

En tal sentido ningún servicio meteorológico es ajeno al consumo de información satelital, esta necesidad de información es satisfecha principalmente por satélites meteorológicos del tipo geoestacionario que brindan información a altas resoluciones temporales en comparación a los de órbita polar.

Siendo los satélites GOES los satélites meteorológicos empleados en nuestra región, en específico el GOES-Este por mantener observación sobre el continente americano y la zona oceánica.

En la Figura 12 se muestra la constelación de satélites GOES actuales, siendo los satélites GOES-16 (Goes-Este) y GOES-17 (GOES-Oeste) en operación actual.

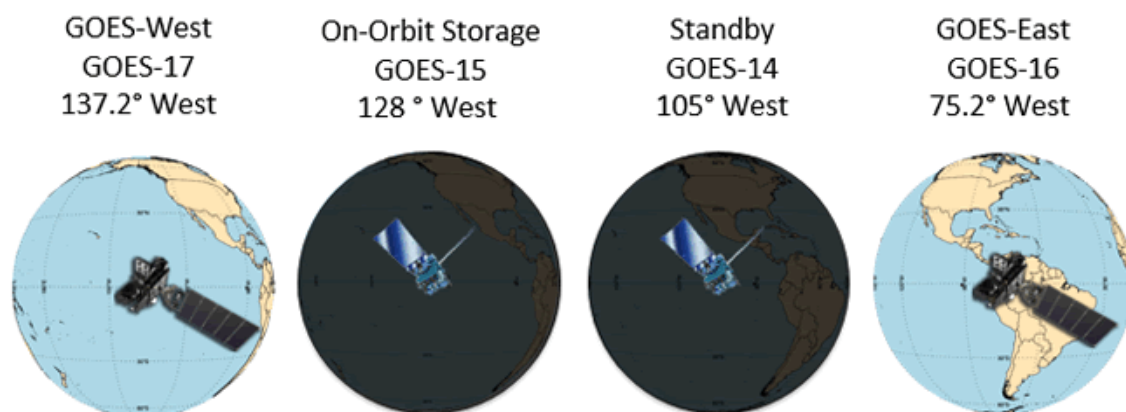


Figura 12: Constelación de satélites GOES actuales
FUENTE: NOAA, 2021

La tecnología satelital no es ajena al tiempo, siendo esta mejorada y reemplazada en operaciones constantemente, teniendo las entidades dependientes de su información establecer estrategias para la asimilación de las nuevas tecnologías, métodos de procesamiento/tratamiento de los datos satelitales de nuevas generaciones.

Los cambios de tecnología satelital representan la caducidad de los equipos de recepción de datos terrestres, significando esto la inutilización de los equipos electrónicos, computacionales y software para la recepción, decodificación analógica, decodificación digital y los sistemas de procesamiento, distribución y visualización de la información.

Dado el contexto, en noviembre del 2016 se realizó el lanzamiento del satélite de nueva generación GOES-16, puesto en operación oficial en diciembre del 2017, reemplazando al satélite GOES-13 que ya se encontraba inhabilitado; provocando la inutilización del sistema de recepción Dartcom-GVAR y por tanto el cese de la recepción de información satelital esencial para las labores diarias en el servicio meteorológico.

Encontrándose el autor en ejercicio de funciones en el área de sensoramiento remoto de la SPM del SENAMHI durante el periodo de transición y en adelante a los eventos ya mencionados se realizó un plan de aprendizaje y estudio referente a la manipulación y tratamiento de datos, experimentando con información no operacional del satélite GOES-16 y en la participación activa de los procesos de adquisición e implementación de sistemas alternativos para el consumo de datos satelitales de forma local, asegurando de esta forma

mantener el continuo suministro de productos necesarios para el cumplimiento de las funciones en la institución.

Siendo necesario el identificar alternativas para la adquisición de datos de rápida implementación según los protocolos de adquisición que rigen a las instituciones públicas, la revisión y análisis de los nuevos paquetes de información disponibles, diferencias en contraste a la tecnología ya caduca, las condiciones de los equipos computacionales para procesamiento de datos satelitales, clasificación y actualización de la colección de datos satelitales disponibles, diseño y elaboración de algoritmos para la automatización de procesos de captura de datos recientes, procesamiento de datos, generación de productos y sistemas de distribución mediante la red del SENAMHI para su uso a través de una plataforma de visualización de datos en tiempo real.

4.3. Proyecto de solución

Dada la problemática planteada ante el cambio tecnológico se realizaron durante el año 2017 pruebas con datos del satélite GOES 16 durante su etapa no operativa en la posición 89.3 °W, tales datos fueron proporcionados por el *Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos* del *Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais* (CPTEC/INPE) a través de un servidor FTP con el ánimo de incentivar al estudio y experimentación de la información del satélite GOES-16 por las instituciones u órganos de interés que no cuenten con un receptor terrestre del tipo GRB para la recepción de datos del satélite.

Los datos distribuidos por el CPTEC de las bandas del sensor ABI son datos georreferenciados, transformados en valores de albedo y temperatura de brillo en grados Kelvin, corresponden a la región de las latitudes 55.9854°S a 34°N y de longitudes 115.985°W a 25.0146°W, con una resolución espacial aproximada de 3.25 km y frecuencia temporal de 15 minutos, con un retraso de 15 a 30 minutos debido a los problemas de la transmisión vía internet.

	S10635346_201704261245.nc	2017-09-26 10:08	13M
	S10635346_201704261300.nc	2017-09-26 10:08	13M
	S10635346_201704261315.nc	2017-09-26 10:08	13M
	S10635346_201704261330.nc	2017-09-26 10:08	14M
	S10635346_201704261345.nc	2017-09-26 10:08	14M
	S10635346_201704261400.nc	2017-09-26 10:08	14M
	S10635346_201704261415.nc	2017-09-26 10:08	14M
	S10635346_201704261430.nc	2017-09-26 10:08	14M
	S10635346_201704261445.nc	2017-09-26 10:08	14M
	S10635346_201704261500.nc	2017-09-26 10:08	14M
	S10635346_201704261515.nc	2017-09-26 10:08	14M
	S10635346_201704261530.nc	2017-09-26 10:08	14M

Figura 13: Datos distribuidos vía FTP pro el CPTEC, desde el 26 de mayo del 2017 a las 12:45 UTC en formatos netCDF4

Sirviendo de input a los análisis y testeos base de datos para todos los canales disponibles y para la planeación de los códigos elaborados para su publicación web, distribuyéndose a los usuarios de la SPM en simultáneo a los datos del satélite GOES 13, estableciéndose paletas de realce similares en la generación de productos.

Goes-16 CH13 201704261345

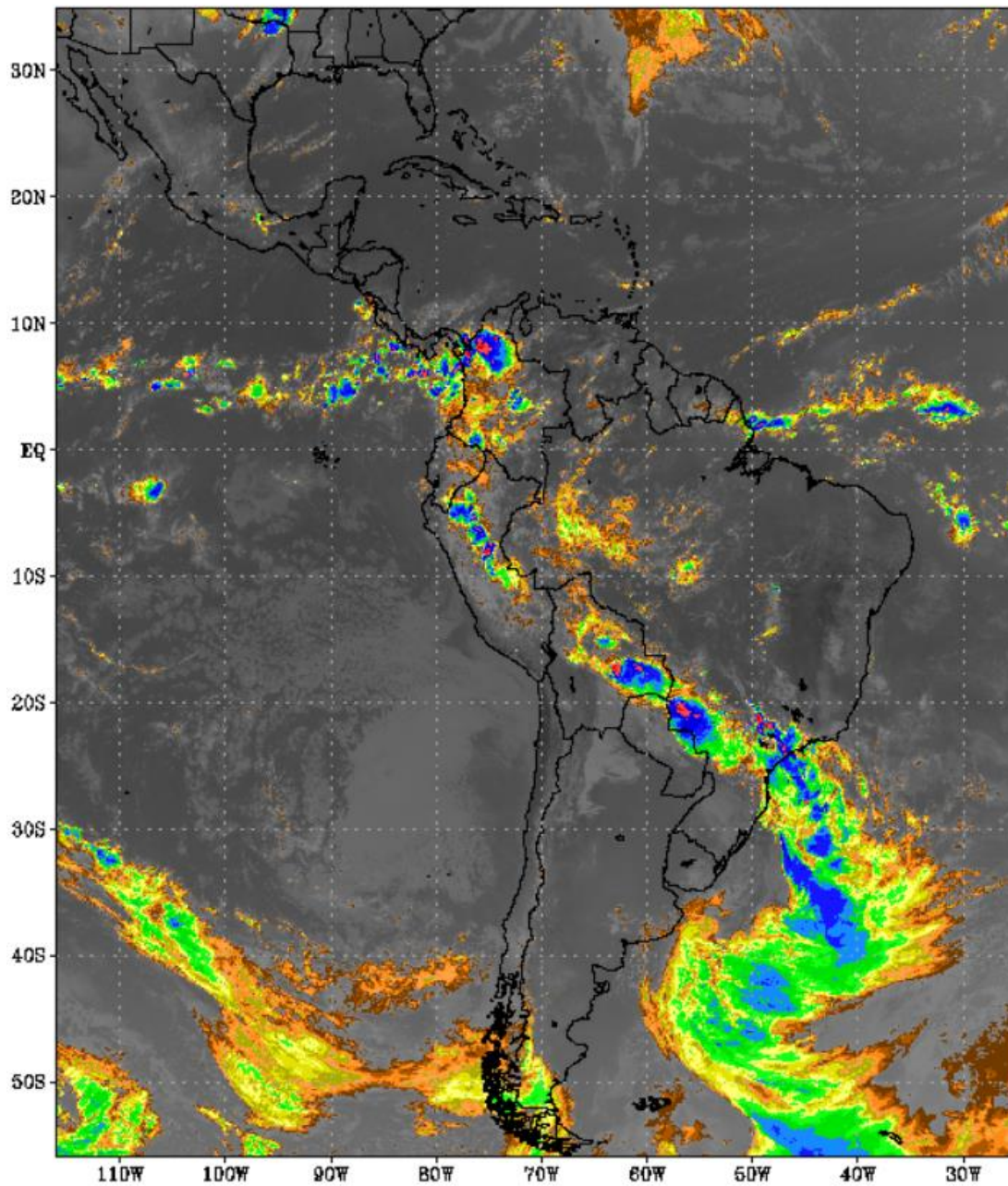


Figura 14: Banda 13 del sensor ABI del satélite GOES-16 del día 26 de abril a las 13:45 UTC, graficado en el visualizador GrADS

Se usó el GrADS para la visualización de datos geofísicos debido a su uso tradicional en el área de SPM, se realizaron múltiples pruebas de visualización y reescalamiento de imágenes en búsqueda de tiempos óptimos de generación de productos visuales y subáreas de análisis.

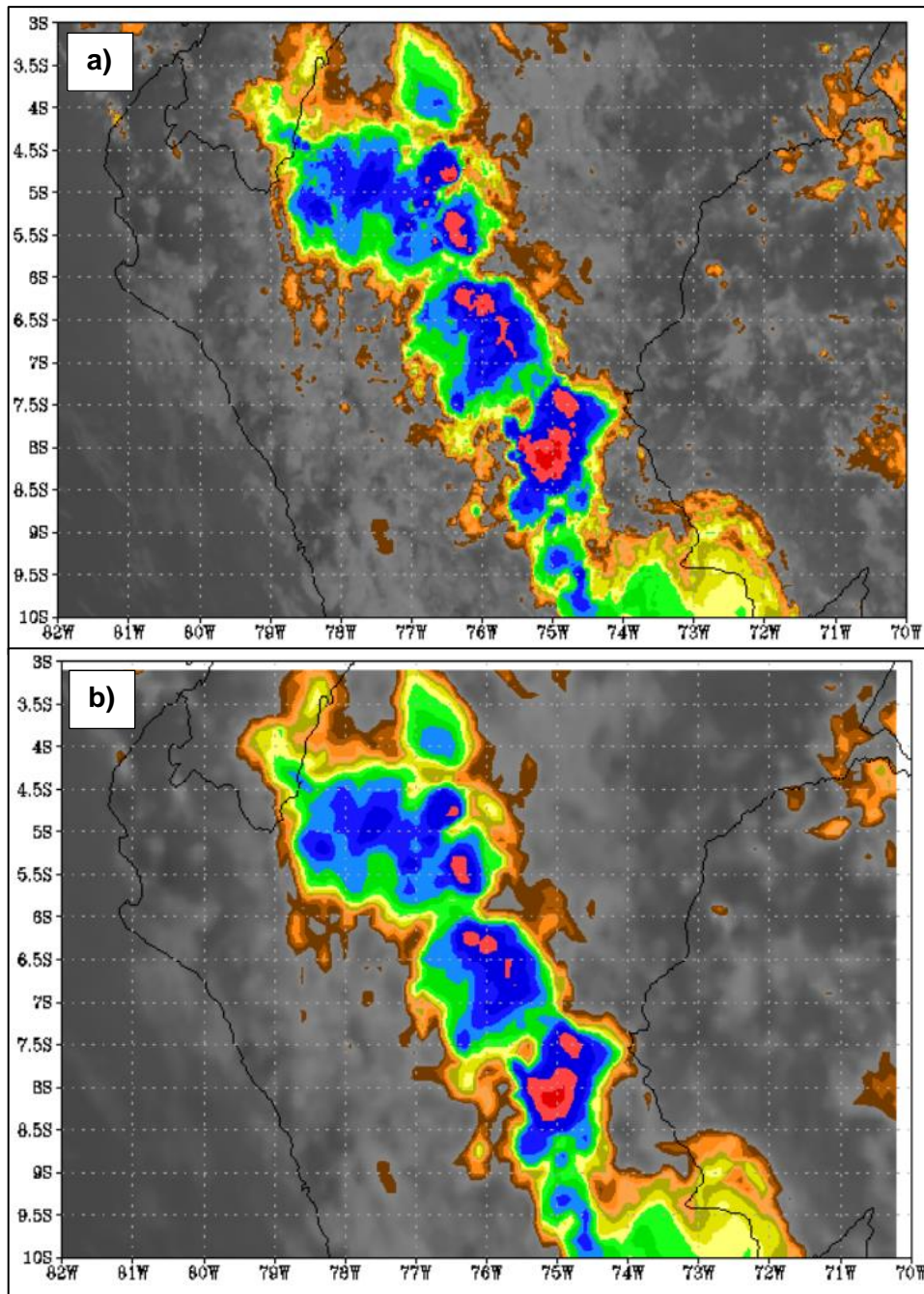


Figura 15: Banda 13 del sensor ABI del satélite GOES-16 del 26 de abril a 13:45 UTC, resolución a) 3 km e imagen b) 10 km

El uso del software GrADS es insostenible por tiempo de demora en visualización para el tratamiento de datos satelitales GOES-16 debido a la densidad de información respecto a su resolución espacial, temporal y número de bandas recepcionados, el tipo de proyección geostacionaria de los datos originales e incapacidad del software GrADS para interpretarlos correctamente, la falta de capacidad de cómputo y la necesidad de la SPM por disponer de los datos en tiempo casi real se opta por la implementación de software opensource alternativos en vista de la economización de recursos computacionales, apostando en el área

de sensoramiento remoto por el lenguaje de programación Python, codificándose rutinas en Python 3.x y desarrollando un diagrama de procesos listo para incorporarse a las fuentes de datos obtenidos posteriormente.

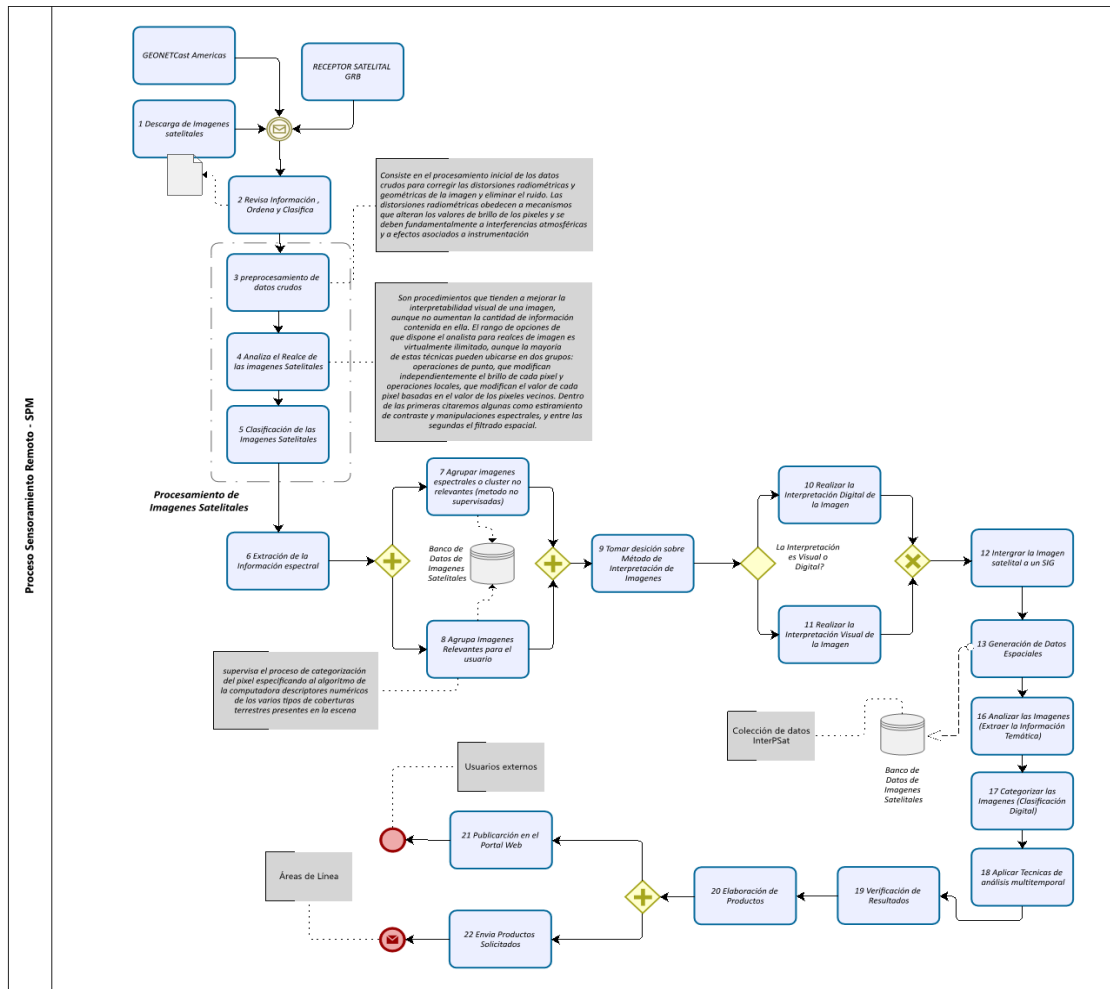


Figura 16: Diagrama de procesos para el tratamiento de datos satelitales GOES-16 en el área de Sensoramiento Remoto en la SPM de SENAMHI

Identificándose las comparativas entre los sistemas de recepción terrestre de información satelital de los satélites GOES-13 y GOES-16, en busca la aclarar el panorama acerca del flujo de información, la capacidad computacional requerida para el procesamiento simultaneo, la proyección de almacenamiento orgánico y backup de datos históricos e imágenes.

Tabla 5: Comparación del sistema GVAR y sistema GRB

	GOES Variable (GVAR)	GOES Rebroadcast (GRB)
Full Disk Image	Hemispheric view every 30 minutes	5 mins (Mode 4), 15 mins (Mode 3), and 10 mins (Mode 6)
Other Modes	Rapid Scan, Super Rapid Scan	3000 km X 5000 km (CONUS: 5 minute) 1000 km X 1000 km (Mesoscale: 30 seconds)
Polarization	None	Dual Circular Polarized
Polarization	None	Dual Circular Polarized
Receiver Center Freq	1685.7 MHz (L-Band)	1681.6 MHz (L-Band)
Date Rate	2.11 Mbps	31 Mbps
Antenna Coverage	Earth Coverage to 50	Earth Coverage to 5
Data Sources	Imager (5 bands) and Sounder	ABI (16 bands), GLM, SEISS, EXIS, SUVI, MAG
Space Weather	None	~2 Mbps
Lightning Data	None	0.5 Mbps

En la presente tabla se muestra en detalle las características del flujo de información, identificando la gran diferencia en los modos de escaneo y las frecuencias temporales actuales en comparación a los 30 minutos del GOES 13 para realizar el full disk, el número de instrumentos de observación y el número de bandas producidas por el generador de imágenes correspondientes. Tomado de NOAA, GOES Rebroadcast (GRB). <https://www.noaasis.noaa.gov/GOES/GRB/grb.html>.

Al recopilar fuentes alternativas de información satelital GOES-16 debido a los problemas de adquisición inmediata y altos costos, se encontró el sistema GRB, el sistema *High Rate Information Transmission* (HRIT), el *Product Distribution and Access* (PDA) de la NOAA para distribución en tiempo real, el *Comprehensive Large Array-data Stewardship System* (CLASS) de la NOAA, el sistema GEONETCast Americas y otros servicios web en la nube para la distribución de datos como AWS.

Tabla 6: Tabla con sistemas de distribución de datos satelitales GOES-R disponibles

Acrónimo	Nombre del Sistema	Descripción
GRB	GOES Rebroadcast	El principal transmisor de resolución completa, calibrado, con transmisión en tiempo casi real para los productos GOES-R (Advanced Baseline Imager L1b, Space Weather L1b, and Geostationary Lightning Mapper L2). Disponibles para todos los usuarios con receptores GRB para la serie de satélite GOES-R en sus longitudes operacionales este u oeste.
HRIT/ EMWIN	High Rate Information Transmission/ Emergency Managers Weather Information Network	El servicio HRIT/EMWIN es una nueva transmisión de alta velocidad de datos (400 Kbps) para imágenes por satélite GOES-R y productos seleccionados a través de sistemas remotos vía terminal. Combina LRIT y el servicio de transmisión directa de EMWIN que proporciona a los usuarios pronósticos meteorológicos, advertencias, gráficos y otra información directamente desde el NWS en casi tiempo real. También se incluye una copia de GOES-DCS.
PDA	Product Distribution and Access	El sistema de procesamiento y distribución de satélites ambientales es responsable de recibir y almacenar datos y productos de satélites ambientales en tiempo real y ponerlos a disposición de los usuarios autorizados. El Product Distribution and Access (PDA) de ESPDS proporciona servicios de distribución y acceso en tiempo real para los usuarios DE GOES-R a través de una red terrestre.
CLASS	Comprehensive Large Array-data Stewardship System	Sistema de distribución y archivado de datos basado en la Web para los datos ambientales de la NOAA. CLASS proporcionará servicios de acceso y distribución de datos retrospectivos de datos GOES-R a todos los usuarios.
GNC-A	GEONETCast Americas	GEONETCast Americas es el componente del hemisferio occidental de GEONETCast, una red mundial de sistemas de difusión de datos basados en satélites, en tiempo casi real, diseñada para distribuir datos, metadatos y productos basados en el espacio, transmitidos por el aire e in situ a diversas comunidades.
Websites	Websites on the Internet	La NOAA, la NASA, los Institutos Cooperativos de la NOAA y las Universidades distribuyen imágenes GOES-16 en sus sitios web. Muchas universidades reciben datos de Unidata. Unidata tiene estaciones de recepción de GRB y NOAAPort
BDP	Big Data Project	El BDP, a través de los Acuerdos de Investigación y Desarrollo Cooperativo (CRADA), trabaja actualmente con cinco proveedores de infraestructura como servicio (IaaS) para ampliar el acceso a los recursos de datos de NOAA.
NOAAPort	NWS Satellite Broadcast Network	GOES-R proporcionará productos seleccionados a la Red de transmisión por satélite del sistema de procesamiento interactivo meteorológico avanzado (AWIPS) de NWS y a NOAAPort. Las imágenes de nubes y humedad sectorizadas (SCMI) se entregarán a través de SBN/NOAAPort

La SPM optó por los sistemas GEONETCast Americas y la distribución de datos vía Websites por medio del servidor AWS de la NOAA en una primera etapa, para el aprovechamiento de datos del satélite GOES-16. Debido a los altos costos para la adquisición del sistema principal *GOES Rebroadcast* (GRB) y a los largos tiempos de trámites administrativos.

Al ser la información proveniente de los sistemas GEONETCast Americas y del sistema de captura de datos del repositorio AWS de la NOAA, información idéntica al del satélite GOES-16 en términos de formato, resolución temporal y estructura de datos en los empaquetados netCDF correspondiente al sensor ABI, se elaboraron una serie de rutinas en Python implementadas en el flujo de procesos del tratamiento de los datos (*Figura 16*). Para el procesamiento de datos crudos y procesados de Nivel 2, re proyectando y georreferenciando para la realización de imágenes monocromáticas, realces y productos derivados con paletas de colores preestablecidas en la SPM para los fines buscados.

4.4. Evaluación del proyecto

La base de datos históricos del SENAMHI se remontan a partir del año 2012, almacenándose en formatos binarios procesados a partir de la información captada del receptor Dartcom-GVAR, extendiéndose durante el tiempo operaciones del satélite GOES 13, seguido del periodo de transición con datos emitidos por el satélite GOES-14 e inhabilitación de operaciones del satélite GOES-13 a partir del 14 de diciembre del año 2017 (con el fin de asegurar la transición exitosa al satélite GOES-16) hasta el 8 de enero del año 2018 y reemplazo de emisión absoluta por el satélite GOES-16, siendo este el actual sistema de emisión de información satelital del hemisferio occidental.

Los datos re proyectados y georreferenciados son almacenados principalmente para las áreas de observación correspondientes a Sudamérica y Perú, en las bandas visible, infrarrojo cercano, vapor de agua e infrarrojo en el caso de la información proveniente del sistema Dartcom-GVAR, logrando almacenar aproximadamente el 67.7% de la información objetivo; a diferencia de la información colectada en formato netCDF y correspondiente al área de disco completo del hemisferio occidental en proyección geoestacionaria de los productos procesados de nivel 2 *Cloud and Moisture Imagery* colectados en aproximadamente 90%, con valores de radiancia transformados en albedo (bandas solares)

y temperatura de brillo (bandas infrarrojas) correspondientes para la banda solar de 0.64 μm , infrarrojo cercano de 3.9 μm , infrarrojos de vapor de agua de 6.2 μm y 6.9 μm , e infrarrojos correspondientes a la banda limpia y sucia en 10.3 μm y 11.2 μm .

Se implementó los procesos para completar datos pasados desde fuentes de datos históricos a partir de servicios web del CLASS Path de la NOAA para datos pasados del satélite GOES-13 y el repositorio AWS de la NOAA para datos almacenados del satélite GOES-16, logrando actualizar la base de datos local del SENAMHI a 88.7% y 94.38% respectivamente a sus resoluciones máximas frecuencia de emisión de datos.

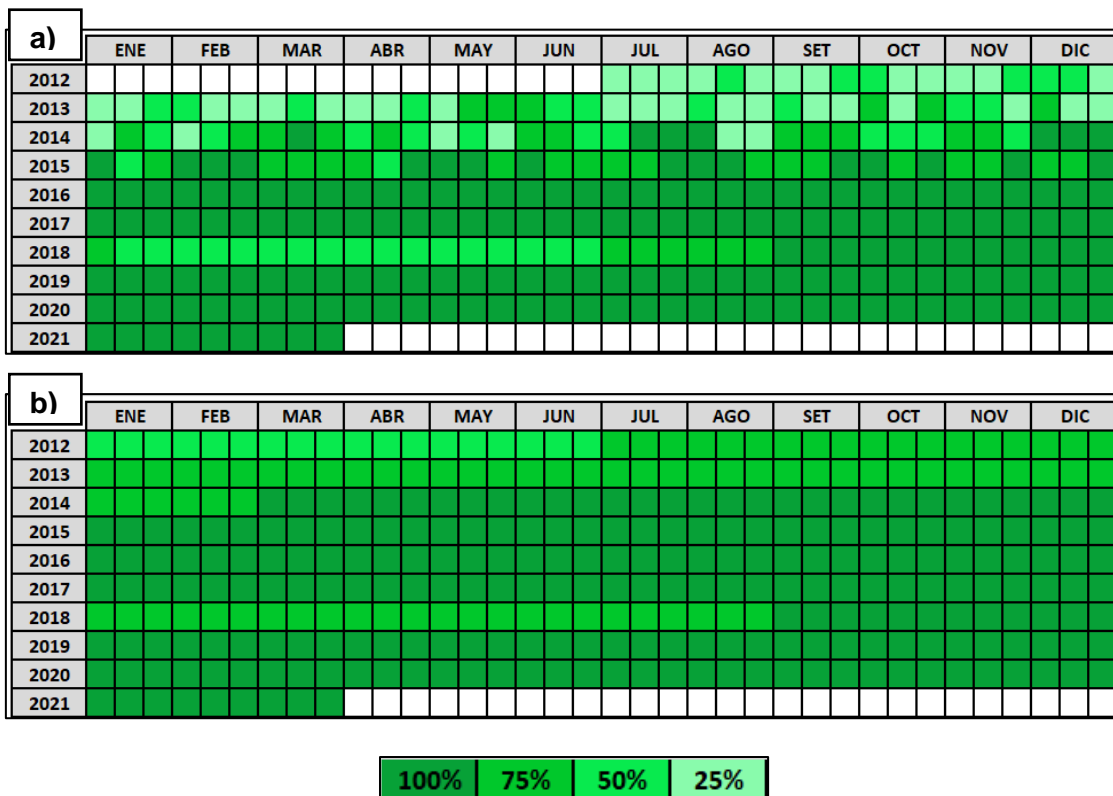


Figura 17: Densidad de datos almacenados localmente en el área de sensoramiento remoto de la SPM del SENAMHI.

a) Densidad de datos identificados por decadiarios de la información objetivo correspondientes a los satélites GOES-13 y GOES-16. b) Densidad de datos de la base de datos satelitales GOES-13 y GOES-16.

Es necesario establecer parámetros de homogenización entre los datos GOES-13 y GOES-16 en caso se requieran análisis históricos en periodos de operación complementarios, el área de sensoramiento remoto se encuentra trabajando en la implementación de metodologías de extracción y estandarización de formatos para su acoplamiento.

El flujo de procesos para el tratamiento de datos satelitales GOES-16 mostrado en la Figura 16 se desarrolló en base a la captura de información difundida a través del sistema GEONETCast Americas, desarrollando paquetes de Python con la capacidad de procesar cualquier dato de interés del sensor ABI, sean bandas solares, infrarrojas u otro producto derivado de nivel 2, a través de la selección de parámetros, logrando de esta forma un sistema dinámico y de fácil adaptabilidad, pensado en la siguiente adquisición del sistema GRB con un mayor flujo de información y en resolución máxima.

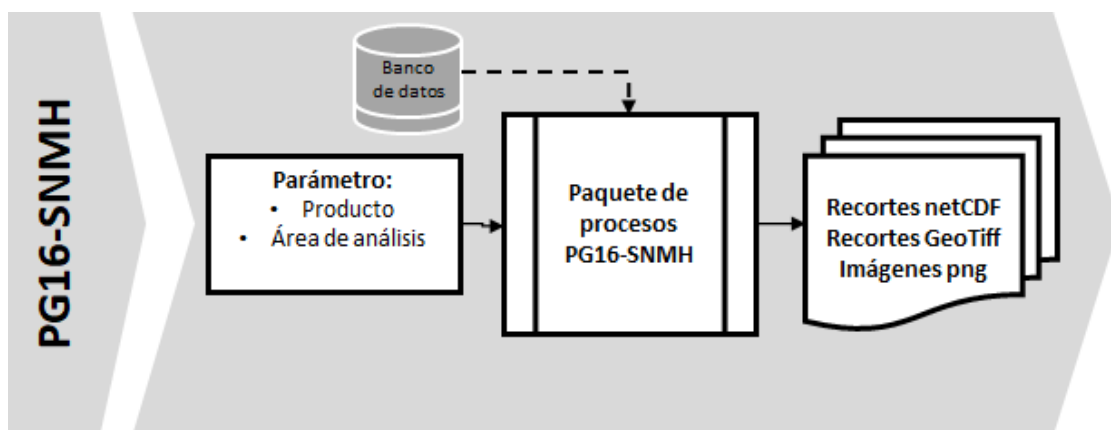


Figura 18: Diagrama resumen del flujo de proceso del paquete PG16-SNMH para el procesamiento de datos GOES

Actualmente el paquete PG16-SNMH soporta el procesamiento de datos de nivel 1b en el caso de procesar datos de radiancia y nivel 2, automatizándose a través de crontabs programados en workstations con sistema operativo CENTOS 7 para el procesamiento de datos en tiempo real, el código permanece abierto a modificaciones en vista de la constante necesidad de implementar nuevos métodos o necesidades específicas del servicio, proporcionando una herramienta completa para la distribución de productos al área usuaria interna o externa.

```
# GOES GRB - INTERPSAT
*/2 * * * * bash /home/goes/GOES/PRGRM/grb_rad.sh 2
*/2 * * * * bash /home/goes/GOES/PRGRM/grb_rad.sh 13
*/2 * * * * bash /home/goes/GOES/PRGRM/grb_rad.sh 14
*/2 * * * * bash /home/goes/GOES/PRGRM/grb_rad.sh 7
*/2 * * * * bash /home/goes/GOES/PRGRM/grb_rad.sh 8
*/2 * * * * bash /home/goes/GOES/PRGRM/grb_rad.sh 9
*/2 * * * * bash /home/goes/GOES/PRGRM/grb_rad.sh 10
```

Figura 19: Programación crontab para la ejecución de rutinas de procesamiento de datos satelitales GOES-16 para la alimentación del banco de datos InterPSat

Para analizar cualitativa y cuantitativamente datos del satélite GOES-16 se implementó una plataforma de visualización denominada InterPSat para el aprovechamiento in situ de los datos o externa mediante los canales de distribución de información del SENAMHI, cuyo directorio se presenta en la figura 20.

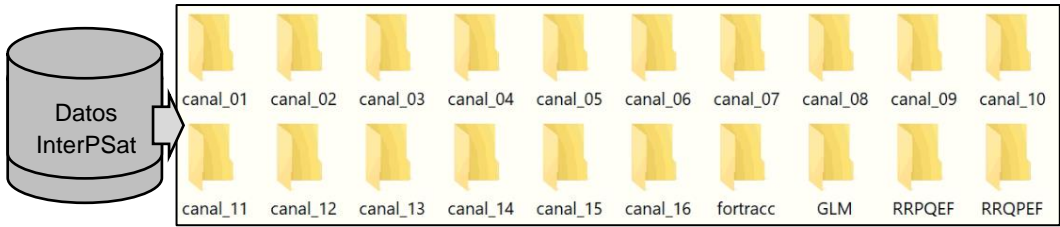


Figura 20: Directorio de datos locales netCDF, re proyectados y georreferenciados para el área de Perú a utilizarse en la plataforma InterPGrADS

El paquete de visualización InterPSat cuenta con un paquete adicional para la descarga de información satelital GOES-16 desde los servidores de SENAMHI, la misma es programada en el programador de tareas de Windows o Crontab de Linux para la descarga automática de los datos.

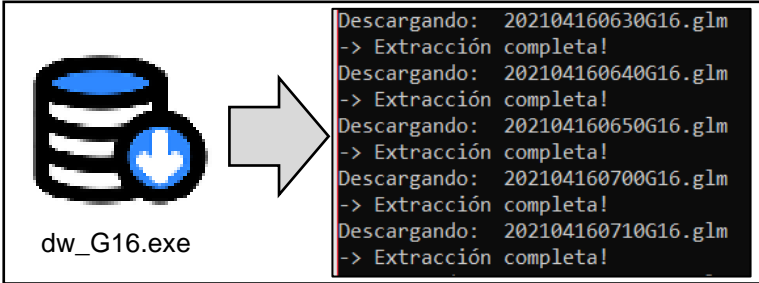


Figura 21: Descarga externa de datos para la plataforma InterPSat

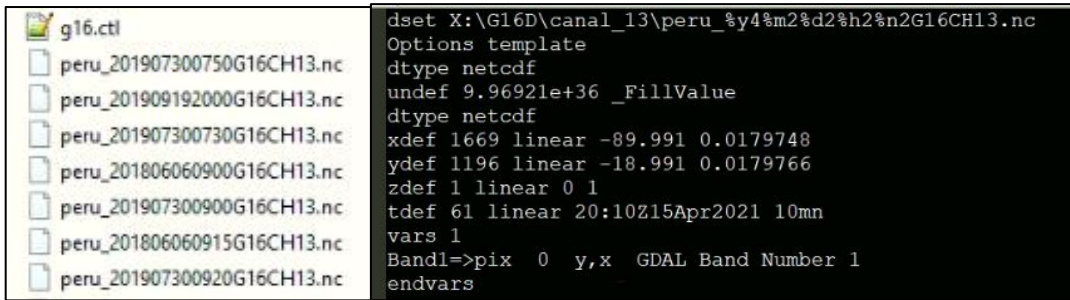


Figura 22: Recortes netCDF para el área de Perú y archivo descriptor con capacidad de la apertura de los últimos 61 tiempos a una frecuencia de 10 minutos

El aplicativo InterPSat es de código abierto y estructurado en rutinas según función como por ejemplo las áreas predefinidas en el directorio *Area* y los plots de bandas, subproductos o datos de estación en el directorio *Plot*.

Estructura de directorios del aplicativo InterPSat para la visualización de Datos GOES-16, compuesto por scripts de extensión gs soportados por la plataforma de visualización de datos geofísicos GrADS.

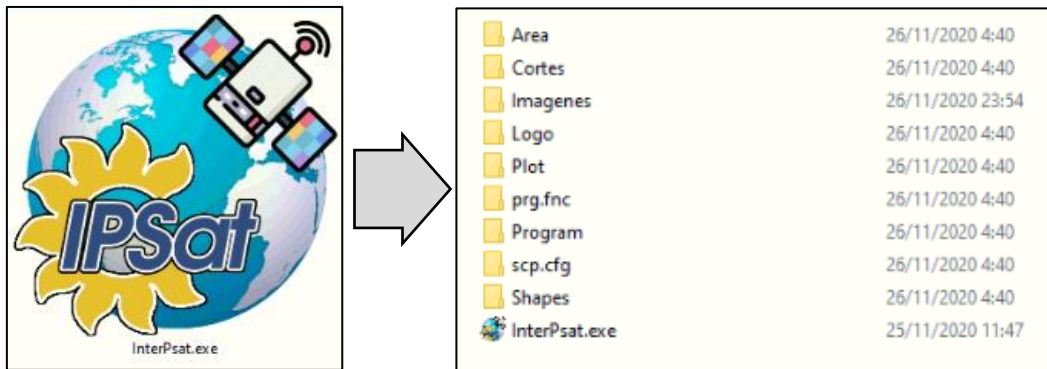


Figura 23: Estructura de directorios del aplicativo InterPSat para visualización de Datos GOES-16

V. ANÁLISIS DE RESULTADOS E IMPACTOS

La base de datos satelitales del SENAMHI se actualizó a un 94.38% respecto a las bandas espectrales objetivo, se limitó el número de bandas a almacenar en caso de los datos del satélite GOES-16 debido a la poca disponibilidad de almacenamiento físico, siendo almacenados en los discos duros locales del área de sensoramiento remoto hasta el 2018, viéndose severamente condicionada la capacidad local de almacenamiento, afectando a procesos intermedios debido a la saturación de discos a pesar de adicionarse discos duros en las workstation de trabajo.

La implementación de los sistemas de recepción de datos satelitales GOES-16 se realizaron a partir de la adquisición del sistema GEONETCast Americas, debido al bajo costo de adquisición y la distribución de 7 bandas del sensor ABI en formato netCDF y resolución espacial máxima a excepción de la banda de 0.64 μm que era distribuida a una resolución espacial de 1km y en resolución temporal de 15 minutos hasta la implementación del modo de escaneo 6 con una frecuencia de 10 minutos a excepción de los tiempos correspondientes a 20 y 50 minutos; además de difusión incrementada en el tiempo sobre productos base en formato netCDF y Densidad acumulada de 5 minutos del sensor GLM.

Tabla 7: Comparación temporal de los datos GOES-16 diseminados a través del sistema GEONETCast Americas

		2017	2018	2019
Sensor ABI	Formato	NetCDF4	NetCDF4	NetCDF4
	Bandas ABI	02, 07, 08, 09, 13, 14, 15	02, 07, 08, 09, 13, 14, 15	02, 07, 08, 09, 13, 14, 15
	Frecuencia	15 minutos	15 minutos	10 minutos
	Proyección	Geoestacionaria	Geoestacionaria	Geoestacionaria
	Máximo de datos por día y por banda o producto	96	96	96
Sensor GLM	Formato	NetCDF4	NetCDF4	NetCDF4
	Producto GLM	-	5 Minute Density (Events, Groups and Flashes)	5 Minute Density (Events, Groups and Flashes)
	Frecuencia	-	5 minutos	5 minutos
	Máximo de datos por día y por banda o producto	-	288	288
Productos base	Formato	-	NetCDF4	NetCDF4
	Nombre de producto	-	Clear Sky Cloud Optical Depth Cloud Top Height Cloud Top Phase Cloud Top Temperature Cloud Top Pressure Derived Motion Winds Fire / Hot Spot Characterization Land Surface Temperature (Skin) Rainfall Rate Sea Surface Temperature Total Precipitable Water	Aerosol Detection (Smoke and Dust) Aerosol Optical Depth Clear Sky Cloud Optical Depth Cloud Particle Size Distribution Cloud Top Height Cloud Top Phase Cloud Top Temperature Derived Motion Winds Derived Stability Indices Downward Shortwave Radiation Fire / Hot Spot Characterization Land Surface Temperature (Skin) Rainfall Rate Reflected Shortwave Radiation Sea Surface Temperature Total Precipitable Water Volcanic Ash
	Proyección	Geoestacionaria	Geoestacionaria	Geoestacionaria

En la presente tabla se muestra en detalle las características de los datos GOES-16 diseminados a través del sistema GEONETCast Americas, siendo progresivo el incremento del flujo de datos recepcionados vía satelital cada año, incrementando las posibilidades de aplicación a través de un sistema alternativo de bajo costo.

El paquete desarrollado en Python denominado PG16-SNMH permite la captura y procesamiento de bandas base, productos de línea y la realización de composiciones RGB a través de la entrega de parámetros como tipo de producto, área de interés y tiempo en caso de ser datos asíncronos, en caso de automatizarse para el procesamiento en tiempo real se establece la conexión al banco de datos recepcionados, por ejemplo datos colectados a partir del sistema GEONETCast Americas, el sistema GOES GRB o el sistema de respaldo del servidor AWS de la NOAA. Permitiendo la exportación de área específicas en imágenes monocromáticas, realizadas y compuestas, re proyectando los datos al sistema de coordenadas WGS 84 (*World Geodetic System 1984*) en formato netCDF y GeoTiff; finalizando con el envío de datos a través de los canales de transmisión del SENAMHI para su consumo por el área usuaria a través de la plataforma InterPSat o vía web.

La plataforma de visualización InterPSat desarrollada en GrADS permite graficar datos de forma dinámica, intercambiando entre bandas previa a una selección de menús desplegables, eligiendo entre visualización monocromática o realces específicos, productos de diferencia de temperatura de brillo, visualización multipanel, la realización de zoom sobre los datos graficados, añadir información de estaciones automáticas del SENAMHI, acumulados de flashes detectados por el sensor GLM, seleccionar puntos para el análisis de variación temporal de la temperatura de brillo comparativa entre bandas a lo largo de las últimas 10 horas disponibles en tiempo real.

El aplicativo InterPSat permite añadir shapefiles para la personalización de mapas como límites provinciales y distritales, cuencas, carreteras, ríos e incluso capitales departamentales, provinciales y distritales. Siendo de fácil edición y complementada por rutinas de escalamiento de datos para la ágil visualización en función al área de interés, debido a las limitaciones respecto al buffer empleado por el software.

En la Figura 24 se observa la interfaz de visualización InterPSat, donde a) el modo de visualización de multipanel, permite la visualización de varias bandas en simultaneo como en el ejemplo mostrado, imagen infrarroja, visible + infrarrojo y vapor de agua de nivel alto y medio, b) puntograma de múltiples bandas para un punto de interés seleccionado en el mapa de análisis y c) exportación de imágenes desde el InterPSat en formato png, imágenes correspondientes al producto fortracc para el pronóstico de sistemas convectivos.

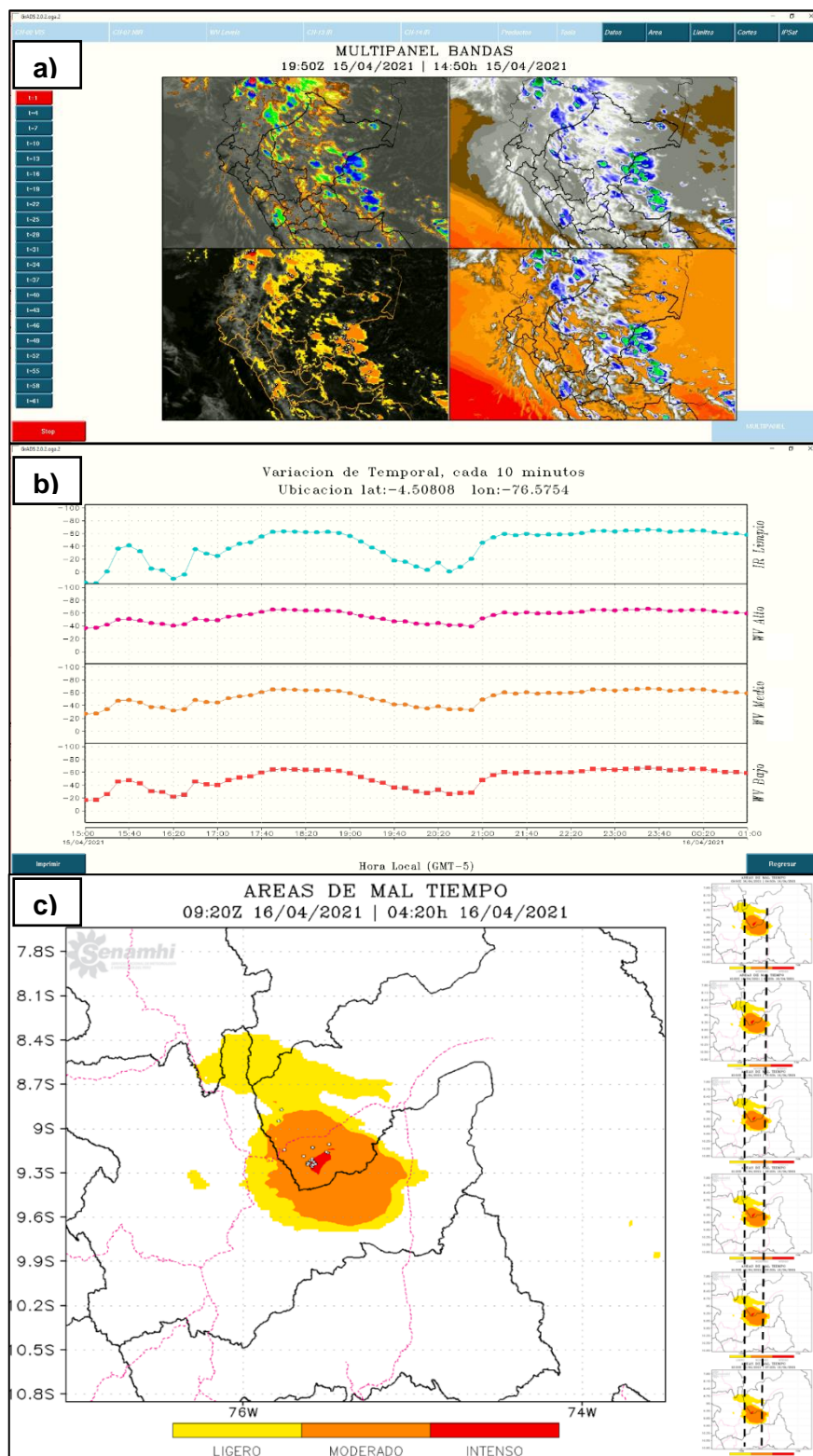


Figura 24: Interfaz de visualización InterPSat

La implementación del sistema GOES GRB estableció una nueva pauta en el trabajo de los datos del satélite GOES-16, teniendo en cuenta la ya existencia del sistema para captura y

procesamiento de información, generando imágenes para publicación web en el sitio oficial de SENAMHI y el exportar recortes en reproyección WGS 84 para alimentar la plataforma de visualización InterPSat. Los datos recepcionados por el sistema GOES GRB no se limitan a los sensores ABI y GLM sino también abarcan los datos provenientes del Generador de imágenes Ultravioleta (SUVI), de los sensores de Irradiación Ultravioleta Extrema y Rayos X (EXIS), el Suite In-Situ del Ambiente del Espacio (SEISS) y el magnetómetro, siendo estos dos últimos los encargados de las mediciones in-situ del tiempo en el espacio.

The image shows the TELESPACE web interface. At the top, there is a search bar with fields for 'Search from', 'Search to', 'Satellite' (set to 'All satellites'), 'Area' (set to 'All areas'), 'Product group' (set to 'All product groups'), and 'Product data' (set to 'All products'). There are 'SEARCH' and 'RESET' buttons. Below the search bar, there is a 'Product' filter and 'ESS' and 'GO' buttons. The main content area is titled 'Product images' and shows a grid of 10 satellite images from '17 April 2021 G16 01:30'. Each image has a 'Download' button and a 'Loop' button. The images show various satellite data products, including Earth views, convection maps, and rain rate maps.

17 April 2021 G16 01:30	17 April 2021 G16 01:30	17 April 2021 G16 01:30	17 April 2021 G16 01:30	17 April 2021 G16 01:30
Channel: C13-default Product: L1B Setup: GOES16_FG Download	Channel: C13 Product: L1B Setup: GOES16_FG Download	Channel: Convection Product: CONVECPRODUCTS Setup: GOES16_SH Download	Channel: Rain_Rate Product: CONVECPRODUCTS Setup: GOES16_SH Download	Channel: Convection-default Product: CONVECPRODUCTS Setup: GOES16_SH Download
Loop	Loop	Loop	Loop	Loop
17 April 2021 G16 01:30	17 April 2021 G16 01:30	17 April 2021 G16 01:30	17 April 2021 G16 01:30	17 April 2021 G16 01:30
Channel: C13 Product: L1B Setup: GOES16_SH Download	Channel: C13-default Product: L1B Setup: GOES16_SH Download	Channel: C01-default Product: L1B Setup: Lima_N_vis Download	Channel: Convection Product: CONVECPRODUCTS Setup: Peru_RGB Download	Channel: Rain_Rate Product: CONVECPRODUCTS Setup: Peru_RGB Download
Loop	Loop	Loop	Loop	Loop

Figura 25: Visor web de imágenes GOES-16 local del sistema GOES-GRB

Aunque el Sistema GOES GRB recibe y procesa la información cruda, generando los productos nivel 1b y base de nivel 2, con un entorno propio de visualización de datos y publicación web presenta limitantes respecto al uso de su software propietario de visualización a través de sesiones remotas y la replicación del paquete no es posible a menos que se adquieran nuevas licencias, requiriéndose la implementación de un sistema propio para el procesamiento y visualización. Teniendo como solución la adaptación del paquete PG16-SNMH, elaborado en Python para la captura de los datos colectados y producidos por el sistema GOES-GRB.

Siendo superadas las condiciones institucionales respecto a los recursos computacionales y ancho de banda requerido, reutilizando los workstation de trabajo dedicados al procesamiento de datos GOES-13 y programando procesos en paralelo para la descarga de información pasada, dividiendo las tareas de procesamiento en 4 workstation antes de la llegada del sistema principal GOES-GRB.

Permitiendo al autor el desarrollo de sus capacidades en el campo del sensoramiento remoto, ante el análisis, interpretación y desarrollo de productos propios, destacando el procesamiento de información satelital a través de diversos lenguajes de programación, optando por Python al ser un lenguaje moderno y de gran crecimiento en los últimos años, enfocando sus intereses en el desarrollo de paquetes propios, de fácil adaptación y con capacidad evolutiva ante la creciente demanda de los usuarios internos y externos.

Logrando resolver la necesidad de información satelital con la tecnología de turno, demostrando que la formación recibida en la carrera de ingeniería meteorológica permite identificar y elaborar estrategias para la selección de elementos y recursos necesarios para resolver los problemas presentados, gracias a sus alcances básicos en programación, el uso de herramientas OpenSource y formación en matemática, física y estadística que en esencia logran formar pilares claves para el meteorólogo.

Logrando dar soluciones creativas a la implementación de sistemas de apoyo al servicio de pronóstico del SENAMHI, no solo limitándose a la implementación de sistemas de

recepción, mantenimiento y procesamiento de datos satelitales utilizados como información clave a la hora de la elaboración de pronósticos y tomas de decisiones.

Facilitando a los pronosticadores de la SPM herramientas para el ágil consumo de información y satisfaciendo los requerimientos de la subdirección y usuarios.

VI. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1. Conclusiones

- Se logró actualizar la base de datos satelitales correspondientes al satélite GOES-13 a un 88.7% y datos satelitales GOES-16 al 94.38%, aún se mantiene como objetivo lograr el 100% de actualización de la base de datos satelitales.
- Se logró implementar el sistema GEONETCast Americas de forma satisfactoria, permitiendo la recepción de datos satelitales GOES-16, siendo procesados a partir del paquete PG16-SNMH desarrollado en el área de sensoramiento remoto de la SPM.
- Se logró desarrollar una plataforma de visualización OpenSource para la visualización de datos GOES-16, dicha aplicación se nombró InterPSat.
- Se logró implementar satisfactoriamente los datos satelitales recepcionados por el sistema GOES GRB, mediante el uso del paquete PG16-SNMH.

6.2. Recomendaciones

- Se recomienda mantener el uso de software OpenSource, manteniendo la capacidad evolutiva de los aplicativos y paquetes desarrollados.
- Se recomienda actualización de los equipos de cómputo del área de sensoramiento remoto de la SPM, debido a la limitada capacidad de procesamiento y almacenamiento.
- Se recomienda la adquisición de un sistema de almacenamiento local en la SPM, para la administración de datos locales y la gestión eficiente de la información.
- Se recomienda independizar el servicio de internet local en la SPM, debido a las limitaciones de ancho de banda presentadas en la red común.

VII. REFERENCIAS BLIOGRÁFICAS

- ABI TECHNICAL SUMMARY CHART*. (2018). Obtenido de GOES-R: <https://www.goes-r.gov/spacesegment/ABI-tech-summary.html>
- Canaleja Ariza, S. (05 de 2018). *Procesamiento de imágenes multiespectrales para el análisis del estado de la vegetación*. Obtenido de Universitat Oberta de Catalunya: <http://openaccess.uoc.edu/webapps/o2/bitstream/10609/81436/6/scanalejocTFM0618memoria.pdf>
- Chuvienco, E. (2010). *Teledetección Ambiental*. Barcelona, España: Planeta S.A.
- COMET Program. (2011). *Selección de Canales GOES*. Recuperado el 27 de 10 de 2020, de https://www.meted.ucar.edu/satmet/goeschan_es/print.htm
- EOS. (s.f.). *PANCROMÁTICO*. Recuperado el 27 de 10 de 2020, de Earth Observing System: <https://eos.com/es/panchromatic/>
- GEONETCAST-Americas. (2 de Julio de 2019). *GEONETCAST-Americas Delivering Environmental Data to Users in the America*. Obtenido de <https://www.geonetcastamericas.noaa.gov/docs/GNC-A%20Product%20List%20-%20v2019-07-02.pdf>
- MINAM. (s.f.). *SENAMHI*. Recuperado el 23 de 10 de 2020, de Ministerio del Ambiente: <http://www.minam.gob.pe/el-ministerio/organismos-adscritos/senamhi/>
- NASA. (2005). *NOAA GOES-N,O,P - The Next Generation*. Recuperado el 23 de 10 de 2020, de Archivo PDF: https://www.nasa.gov/pdf/112855main_GOESNOPWeb1.pdf
- NOAA. (s.f.). Obtenido de GOES Overview: https://www.noaasis.noaa.gov/GOES/goes_overview.html
- NOAA & NASA. (2017). *Geostationary Operational Environmental Satellite-R Series*. Obtenido de National Oceanic and Atmospheric Administration & National Aeronautics and Space Administration: <http://www.goes-r.gov/>
- NOAA, O. (s.f.). *GOES 13 Operational Status*. Recuperado el 28 de 10 de 2020, de Office of Satellite and Product Operations NOAA: <https://www.ospo.noaa.gov/Operations/GOES/13/index.html>

SENAMHI. (s.f.). Recuperado el 23 de 10 de 2020, de Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología: <https://www.senamhi.gob.pe/?p=senamhi>

SENAMHI. (2021). Obtenido de Organigrama SENAMHI: <https://www.senamhi.gob.pe/?p=organigrama>

SENAMHI. (2021). *Gobierno del Perú*. Obtenido de Organización del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú: <https://www.gob.pe/8813-servicio-nacional-de-meteorologia-e-hidrologia-del-peru-organizacion-de-servicio-nacional-de-meteorologia-e-hidrologia-del-peru>

VIII. ASEGURAMIENTO



SUBDIRECCION DE PREDICCIÓN METEOROLÓGICA

PROVEIDO N° D000522-2020-SENAMHI-SPM

EXPEDIENTE : **SPM00020200000055**

ASUNTO: Permiso para uso de resultados del trabajo en SENAMHI para titulación por suficiencia profesional, solicita elevar a Gerencia General. Elevo

FECHA

17/11/2020

Atender en 0 días

REFERENCIA : PROVEIDO N° 001127-2020-DMA Permiso para uso de resultados del trabajo en SENAMHI para titulación por suficiencia profesional, solicita elevar a Gerencia General. Elevo

DEPENDENCIA DESTINO	TRAMITE	PRIORIDAD	INDICACIONES
SUBDIRECCION DE PREDICCIÓN METEOROLÓGICA DAVILA VILCA CHRISTIAN ANDRES	ATENDER	NORMAL	Realizar las recomendaciones o disposición de la Presidencia Ejecutiva del Senamhi. La directora de la Unidad de Modernización (UM) es la señora Sonia Huamán Lozano.
SUBDIRECCION DE PREDICCIÓN METEOROLÓGICA RODRIGUEZ ZIMMERMANN DIEGO FERNANDO	ATENDER	NORMAL	Realizar las recomendaciones o disposición de la Presidencia Ejecutiva del Senamhi. La directora de la Unidad de Modernización (UM) es la señora Sonia Huamán Lozano.
SUBDIRECCION DE PREDICCIÓN METEOROLÓGICA ALIAGA NESTARES VANNIA JAQUELINE	ATENDER	NORMAL	Realizar las recomendaciones o disposición de la Presidencia Ejecutiva del Senamhi. La directora de la Unidad de Modernización (UM) es la señora Sonia Huamán Lozano.
SUBDIRECCION DE PREDICCIÓN METEOROLÓGICA PUZA RIVAS MITZA ANISSA	ATENDER	NORMAL	Realizar las recomendaciones o disposición de la Presidencia Ejecutiva del Senamhi. La directora de la Unidad de Modernización (UM) es la señora Sonia Huamán Lozano.
SUBDIRECCION DE PREDICCIÓN METEOROLÓGICA LANCHIPA CISNEROS PAULO CESAR	ATENDER	NORMAL	Realizar las recomendaciones o disposición de la Presidencia Ejecutiva del Senamhi. La directora de la Unidad de Modernización (UM) es la señora Sonia Huamán Lozano.
SUBDIRECCION DE PREDICCIÓN METEOROLÓGICA JULCA BOCANEGRA ELIDA ROSARIO	ATENDER	NORMAL	Realizar las recomendaciones o disposición de la Presidencia Ejecutiva del Senamhi. La directora de la Unidad de Modernización (UM) es la señora Sonia Huamán Lozano.

QUISPE GUTIERREZ NELSON
SUBDIRECTOR DE PREDICCIÓN METEOROLÓGICA