



Universidad Nacional Mayor de San Marcos

Universidad del Perú. Decana de América

Facultad de Ciencias Físicas

Escuela Académica Profesional de Física

**Pre procesamiento de la imagen satelital WorldView 2
en el distrito de Ilo**

MONOGRAFÍA TÉCNICA

Para optar el Título Profesional de Licenciado en Física

AUTOR

Paul Alejandro ASENCIOS ESPINOZA

Lima, Perú

2016



Reconocimiento - No Comercial - Compartir Igual - Sin restricciones adicionales

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>

Usted puede distribuir, remezclar, retocar, y crear a partir del documento original de modo no comercial, siempre y cuando se dé crédito al autor del documento y se licencien las nuevas creaciones bajo las mismas condiciones. No se permite aplicar términos legales o medidas tecnológicas que restrinjan legalmente a otros a hacer cualquier cosa que permita esta licencia.

Referencia bibliográfica

Asencios, P. (2016). *Pre procesamiento de la imagen satelital WorldView 2 en el distrito de Ilo*. [Monografía técnica de pregrado, Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Facultad de Ciencias Físicas, Escuela Académica Profesional de Física]. Repositorio institucional Cybertesis UNMSM.



UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE SAN MARCOS
(Universidad del Perú, Decana de América)

FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS
ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE FÍSICA

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE MONOGRAFÍA TÉCNICA PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE LICENCIADO EN FÍSICA

Siendo las 20:00 horas del viernes 05 de febrero del 2016 en el Salón de Grados de la Facultad (Auditorio 109), bajo la Presidencia del Mg. Octavio Fashé Raymundo (Presidente), del Dr. Raúl Félix Carita Montero (Miembro) y del Lic. Arnulfo Alipio Guillén Guevara (Miembro), se dio inicio a la Sesión Pública de Sustentación de Monografía técnica para la Licenciatura en Física mediante la modalidad M4 del bachiller.

PAUL ALEJANDRO ASECNCIOS ESPINOZA

Dando lectura al Resumen del Expediente, el Presidente del Jurado invitó al bachiller Asencios Espinoza, Paul Alejandro a realizar una exposición de la Monografía técnica titulada "Pre Procesamiento de la imagen Satelital WorldView 2 en el distrito de Ilo"

Concluida la exposición del candidato y luego de las preguntas de rigor por parte del Jurado, el Presidente invitó al Bachiller y al público a abandonar momentáneamente la Sala de Sesión para dar paso a la deliberación y calificación por parte del Jurado.

Al término de la deliberación del Jurado, el Mg. Octavio Fashé Raymundo invitó al candidato y al público a pasar al Salón de Grados de la Facultad para dar lectura al resultado de la deliberación. El candidato ha obtenido la calificación de:

Muy Buena
(MENCIÓN)

17
(NÚMERO)

Diecisiete
(LETRAS)

Finalmente, el Presidente del Jurado propone al Consejo de la Facultad que se le declare Licenciado en Física al bachiller Asencios Espinoza, Paul Alejandro. Siendo las... *21:00*... Horas, se levanta la Sesión.


Mg. Octavio Fashé Raymundo
PRESIDENTE


Dr. Raúl Félix Carita Montero
MIEMBRO


Lic. Arnulfo Alipio Guillén Guevara
MIEMBRO

Dedicatoria

Dedico el presente trabajo a mis Padres: Reynaldo Asencios y Alicia Espinoza por todas sus enseñanzas de vida, sus consejos cuando más lo necesitaba, por ser un gran ejemplo para sus hijos y por ser mis verdaderos héroes. A mi hermana Lucía por su aliento diario que me daba a su manera y continuar por alcanzar mis metas.

Agradecimientos

A Dios, por proteger y guiar mi camino y el de mi familia.

A la empresa GoeService Perú S.A. por permitirme usar su información para el desarrollo del presente informe.

Al gerente general de la empresa GeoService Perú S.A. Ing. Belisario Blas Sáenz por proporcionarme los documentos e información adicional solicitada por mi persona.

A mis compañeros de labores, Alan, Percy, Christian por compartir sus conocimientos y experiencias en forma desinteresada con mi persona.

Al profesor Mg. Octavio Fashé Raymundo por los consejos de seguir siendo perseverante.

ÍNDICE

<i>LISTA DE CUADROS</i>	<i>vi</i>
<i>LISTA DE FIGURAS</i>	<i>vii</i>
<i>RESUMEN</i>	<i>x</i>
<i>ABSTRACT</i>	<i>xí</i>
1. <i>INTRODUCCIÓN</i>	1
2. <i>OBJETIVOS</i>	1
3. <i>MARCO DE REFERENCIA</i>	2
3.1 <i>Marco conceptual</i>	2
3.1.1 <i>Fundamentos del sensoramiento remoto</i>	2
3.1.2 <i>El espectro electromagnético</i>	4
3.1.3 <i>Unidades de medida</i>	5
3.1.4 <i>Resolución de un sistema sensor</i>	7
3.1.5 <i>Interacción de la atmósfera con la radiación electromagnética</i>	14
3.1.6 <i>Errores en la captación de las imágenes</i>	18
3.1.7 <i>La imagen digital y su almacenamiento</i>	19
4. <i>DESCRIPCIÓN GENERAL DEL ÁREA DE ESTUDIO</i>	22
5. <i>INSUMOS Y PROGRAMAS</i>	24
5.1 <i>Imágenes de satélite WorldView 2</i>	24
5.2 <i>Modelo de Elevación Digital (DEM) / DSM NEXTMap World 30 m</i>	28
5.3 <i>Mediciones GPS</i>	33
5.4 <i>Equipo de gabinete</i>	35
5.5 <i>Software</i>	35
6. <i>METODOLOGÍA</i>	36
6.1 <i>Adquisición de la imagen satelital WorldView 2</i>	37
6.2 <i>Corrección atmosférica</i>	40
6.3 <i>Proceso de Fusión o Pan Sharpening</i>	42
6.4 <i>Colección de Puntos de Control</i>	44
6.5 <i>Proceso de la orto rectificación</i>	47
6.5.1 <i>Ejecutando el proceso de orto rectificación</i>	49
7. <i>RESULTADO</i>	51
8. <i>PRODUCTO FINAL</i>	60
9. <i>OBSERVACIONES</i>	60

11. CONCLUSIONES.....	62
12. BIBLIOGRAFÍA.....	64
ANEXOS.....	66
ANEXO 1. Respecto a la obtención de los puntos de control	66
ANEXO 2. Respecto a la corrección atmosférica	70

LISTA DE CUADROS

Cuadro 1.	Magnitudes radiométricas comúnmente utilizadas en Teledetección	6
Cuadro 2.	Satélite y resolución espacial de sus sensores.	11
Cuadro 3.	Cuantificación / Resolución radiométrica	13
Cuadro 4.	Especificaciones del diseño	26
Cuadro 5.	Precisiones NEXTMap World 30 m	32
Cuadro 6.	Lista de los Puntos de Control utilizados en el proceso de la orto rectificación	46
Cuadro 7.	Número de GCPs y RMS para cada escena en unidades de Terreno	52
Cuadro 8.	Número de GCPs y RMS para cada escena en unidades de Pixel	52
Cuadro 9.	Errores de los GCPs en la imagen orto rectificada	59
Cuadro 10.	Estándar de precisión para Mapas a gran escala Clase 1	62
Cuadro 11.	Ubicación de los 14 PICHV – Ilo – Moquegua	66
Cuadro 12.	Coefficientes de calibración para WV-02	71

LISTA DE FIGURAS

Figura 1:	Esquema de una onda Electromagnética y sus componentes	3
Figura 2:	Espectro electromagnético	4
Figura 3:	Diagrama de un ángulo sólido	6
Figura 4:	Resolución espacial para diferentes sistemas	8
Figura 5:	Plataforma de lanzamiento del Transbordador espacial Kennedy Space Center, Florida	9
Figura 6:	Venecia (Italia) Imagen Landsat 5. Sensor TM. Resolución 30 metros. Bandas 3, 2, 1	9
Figura 7:	Isla de Sicilia. Observar el volcán Etna. Imagen de 188 metros de resolución, tomada con el sensor WiFS del satélite IRS	10
Figura 8:	Imagen de la vegetación continente europeo (6/2005). Resolución 1Km. Sensor Vegetation de SPOT	10
Figura 9:	Respuestas espectrales	12
Figura 10:	Resolución radiométrica	13
Figura 11:	Ventanas atmosféricas	15
Figura 12:	Dispersión de Rayleigh.	16
Figura 13:	Efecto del polvo sobre las observaciones del satélite	17
Figura 14:	Esquema de transferencia de señales	19
Figura 15:	Formatos de grabación	21
Figura 16:	Mapa de ubicación política del área de estudio	22
Figura 17:	Mapa satelital del área de estudio	23
Figura 18:	Características del satélite WorldView 2	25
Figura 19:	Parte de contenido del archivo XML de la imagen satelital	27
Figura 20:	DSM Perú, Área Total: 1'286,000 km ²	30
Figura 21:	Vistas de DSM a Nivel Sur América	31
Figura 22:	Ortoimagen DSM + Foto	32
Figura 23:	Modelo de Elevación Digital del Distrito de Ilo	33
Figura 24:	Ubicación del punto de control	34
Figura 25:	PCI Geomatics 2013	35
Figura 26:	Software ENVI 5.1	36
Figura 27:	Diagrama de flujo del pre procesamiento	36

Figura 28:	Carga del polígono del área de interés	37
Figura 29:	Polígono del área de interés	37
Figura 30:	Ubicación en el buscador del área de interés	38
Figura 31:	Filtrando la búsqueda de la imagen satelital	38
Figura 32:	Imágenes satelitales que abarcan el área de interés	39
Figura 33:	Catálogo de imágenes satelitales	39
Figura 34:	Carpetas que contienen la imagen satelital multiespectral y pancromática	40
Figura 35:	Panel de control Pansharp	43
Figura 36:	Ingreso de las bandas multiespectrales y pancromática para el proceso de Fusión	43
Figura 37:	Muestra de la imagen pancromática, multiespectral y la fusión respectivamente	44
Figura 38:	Ficha descriptiva del punto de control	45
Figura 39:	Datos Ingresados desde la Ficha de Campo al proyecto del software PCI	45
Figura 40:	Ubicación de Punto de Control en la imagen	46
Figura 41:	Visión general de la distribución de los puntos de control en el proyecto PCI	47
Figura 42:	Proceso de orto rectificación	48
Figura 43:	Dialogo de parámetros de orto rectificación	49
Figura 44:	Imagen satelital ILO_WV2_50cm_13DEC28 fusionada y orto rectificada	51
Figura 45:	Reporte de los errores medios cuadráticos (RMS) en ground	52
Figura 46:	Reporte de los errores medios cuadráticos (RMS) en pixel	52
Figura 47:	GCP ILO_01 en la imagen orto rectificada	53
Figura 48:	GCP ILO_02 en la imagen orto rectificada	53
Figura 49:	GCP ILO_03 en la imagen orto rectificada	54
Figura 50:	GCP ILO_05 en la imagen orto rectificada	54
Figura 51:	GCP ILO_06 en la imagen orto rectificada	55
Figura 52:	GCP ILO_07 en la imagen orto rectificada	55
Figura 53:	GCP ILO_08 en la imagen orto rectificada	56
Figura 54:	GCP ILO_09 en la imagen orto rectificada	56

Figura 55:	GCP ILO_10 en la imagen orto rectificada	57
Figura 56:	GCP ILO_11 en la imagen orto rectificada	57
Figura 57:	GCP ILO_12 en la imagen orto rectificada	58
Figura 58:	GCP ILO_13 en la imagen orto rectificada	58
Figura 59:	GCP ILO_14 en la imagen orto rectificada	59
Figura 60:	Vista del archivo IMD de la imagen mutiespectral	71
Figura 61:	Parámetros del módulo de corrección atmosférica – Envi 5.1	72

RESUMEN

En este estudio se elabora el pre-procesamiento de la imagen satelital WorldView-2 que corresponde a unos de los proyectos de la empresa **GeoService Perú** con la entidad del estado **COFOPRI** (*Organismo de Formalización de la Propiedad Informal*) de la dirección de catastro para obtención de imágenes satelitales orto rectificadas de 80 ámbitos del Perú enfocándose principalmente en las zonas urbanas con el objetivo de que el área de catastro de dicha entidad del estado actualice su base de datos con información más actual que proporcionan la teledetección; este estudio corresponde a uno de los 80 ámbitos que solicito Cofopri, la cual corresponde al área urbana del distrito de Ilo, para obtener el producto de las imágenes orto rectificadas se usó imágenes de alta resolución (50 cm) del satélite WorldView-2 correspondiente al año 2013, un modelo de elevación digital (DEM) resamplado a 15 metros de resolución (NEXTMap World30m de Intermap) y puntos de control distribuido en todo el área de estudio. El adquirir imágenes satelitales orto rectificadas ya se elimina las distorsiones de la imagen debido a las variaciones espaciales ocurridas en el proceso de captura de la información e inherentes al movimiento del sensor (aleteo, cabeceo, variaciones en altura y velocidad, etc.); y al tener la imagen satelital ortorectificada a un sistema de referencia determinado (sistema geodésico, proyección cartográfica, etc.) el usuario final ya es capaz de realizar funciones tales como realizar medidas precisas y directas de distancias, ángulos, posiciones y áreas.

Palabras clave: Sensoramiento remoto, espectro electromagnético, orto rectificación.

ABSTRACT

This study elaborated the pre-processing of the satellite image WorldView-2 which corresponds to one of the projects of the company GEOSERVICE Peru with the government agency COFOPRI (Organism of the Formalization of the Informal Property) of the getting of satellite images ortho rectified areas of Peru focusing mainly in urban areas with the aim of Cadastral area of the government agency update its database with latest information provided by remote sensing; This study is one of the of 80 places in Peru, focussing mainly in the urbans areas with the objective that the area of cadastre of the government agency update its data with information more actual that support the tele detection; this study corresponds to one of the 80 places that requests COFOPRI, which correspond to the urban area of the Ilo district, to get the product of the images ortho rectified was used high resolution images (50 cm) of the satellite WorldView-2 corresponding to year 2013, a digital elevation model (DEM) resampled to 15 m resolution (NEXTMap World30m of Intermap) and control points distributed throughout the study area. The purchase ortho rectified satellite images permits to eliminate the distortions of the image due to spatial variations occurred in the capture process of the information and inherent to the sensor movement (flapping, pitch, height and speed variations, etc.); and to have the ortho rectified satellite image to a determined reference system (geodetic system, map projection, etc.) the end user is able to perform functions such as making accurate and direct measurements of distances, angles, positions and areas.

Key words: Remote sensing, electromagnetic spectrum, ortho rectification.

1. INTRODUCCIÓN

Este proceso de orto rectificación de la imagen satelital produce un archivo digital donde cada pixel representa una posición verdadera sobre el terreno. En una orto imagen las distorsiones geométricas, las relacionadas a la topografía y las del sensor han sido removidas, dentro de una precisión especificada, en donde se transforma la perspectiva central de las imágenes en una perspectiva ortogonal al terreno, donde la escala es constante, independiente de la altitud, permitiendo realizar mediciones exactas de distancias y dirección (García, W.; Marchand, G.; Llactayo, W.; Salcedo, K.; Victoria, E. y Zambrano, A., 2013).

Las imágenes satelitales que generan los diversos tipos de sensores con sus variantes en resolución pueden aplicarse a los requerimientos de aplicaciones de un proyecto, sin embargo teniendo en cuenta la escala y las necesidades con la que se trabaja en catastro y en relación al requerimiento que solicitó COFOPRI (*Organismo de Formalización de la Propiedad Informal*), se presenta el siguiente informe técnico sobre el pre procesamiento digital de la imagen satelital **WorldView-2**, donde se describe el proceso de la orto-rectificación de la imagen que abarca el Distrito de Ilo. Se presentan los materiales usados, la metodología y los resultados obtenidos, tanto en la corrección atmosférica, en la fusión y orto rectificación.

2. OBJETIVOS

- Realizar el proceso de corrección atmosférica a la imagen multiespectral para luego realizar el proceso de Fusión con la imagen pancromática.
- Realizar el tratamiento digital de las imágenes de satélite obtenidas dentro de la cobertura del área de estudio, mediante los pre-procesos de Fusión y Orto-rectificación.
- Verificar en el producto de las imágenes satelitales orto rectificadas que los puntos de control (GCPs) tomados de campo no excedan la tolerancia de un metro de error.

3. MARCO DE REFERENCIA

3.1 Marco conceptual

3.1.1 Fundamentos del sensoramiento remoto

Para que una observación remota sea posible es preciso que entre los objetos y el sensor exista algún tipo de interacción, esta interacción es debido a un flujo energético que permite poner al objeto y el sensor en relación.

Hay tres formas de adquirir información a partir de un sensor remoto: por reflexión, por emisión y por emisión-reflexión. *Por reflexión*, es la más importante en sensoramiento remoto pues se deriva directamente de la luz solar, donde el sol ilumina la superficie terrestre, que refleja esa energía en función del tipo de cubierta presente sobre ella, ese flujo reflejado se recoge por el sensor que lo transmite posteriormente a las estaciones receptoras, además se tiene que tener presente que entre la superficie y el sensor se interpone la atmósfera, que dispersa y absorbe parte de la señal original. *Por emisión*, la observación remota puede basarse en la energía emitida por las propias cubiertas. *Por emisión-reflexión*, en donde el sensor fuera capaz generar y enviar su propio flujo energético, como de recoger posteriormente su reflexión sobre la superficie terrestre. En cualquiera de las tres formas, el flujo energético entre la cubierta y el sensor constituye una forma de radiación electromagnética; la energía térmica se transfiere de un lugar a otro por tres procesos: convección, conducción y radiación, esta última es la que constituye la base de los sistemas de teledetección (Chuvienco, 1995).

La radiación electromagnética, tiene un comportamiento dual, aquella que la concibe como un haz ondulatorio (Huygens, Maxwell) y aquella otra que la considera como una sucesión de unidades discretas de energía, fotones o cuantos, con masa igual a cero (Planck, Einstein). La energía electromagnética, según la teoría ondulatoria, se transmite de un lugar a otro siguiendo un modelo armónico y continuo, a la velocidad de la luz y conteniendo dos campos de fuerzas ortogonales entre sí que son el campo eléctrico y el campo magnético (Fig. 1). Este flujo energético está caracterizado por dos elementos: la longitud de onda (λ) y la frecuencia (f) (Chuvienco, 1995).

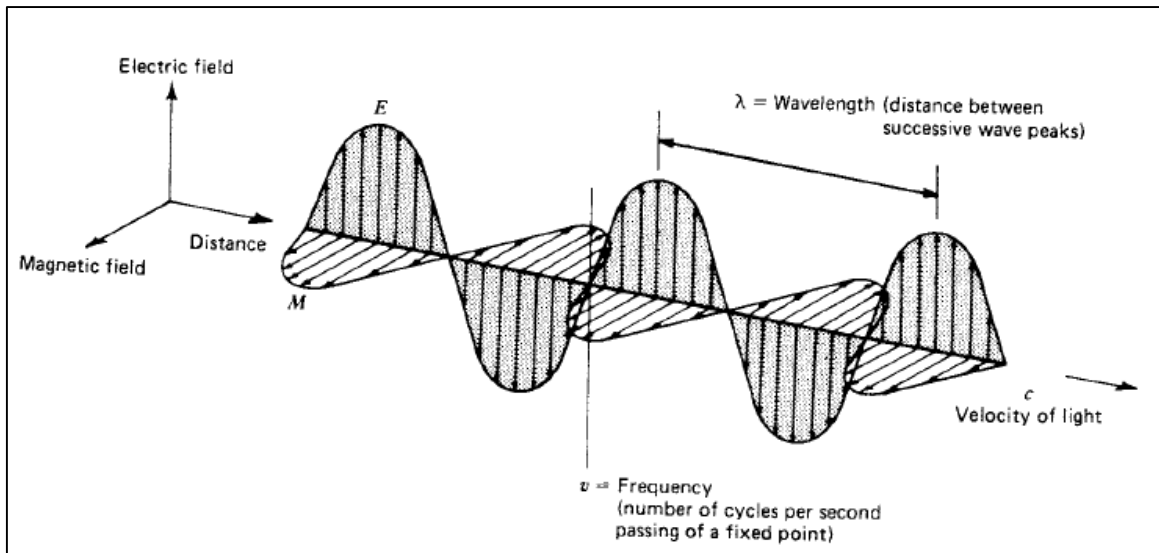


Figura 1. Esquema de una onda Electromagnética y sus componentes. *Fuente.* Datos tomados de Lillesand T., *et al.* (2004)

La longitud de onda (λ) hace referencia a la distancia entre dos picos sucesivos de una onda, mientras que la frecuencia (f) designa el número de ciclos pasando por un punto fijo en una unidad de tiempo, ambos elementos están inversamente relacionado por la siguiente fórmula:

$$C = \lambda \cdot f \quad (1)$$

Donde C indica la velocidad de la luz en el vacío (3×10^8 m/s), λ expresa la longitud de onda y f la frecuencia (Herzios, ciclos por segundo).

Debido a la teoría cuántica, se puede calcular la cantidad de energía transportada por un fotón, siempre que se conozca su frecuencia f :

$$Q = h \cdot f \quad (2)$$

Donde Q representa la energía radiante de un fotón (en unidades de Joule), f la frecuencia y h la constante de Planck (6.63×10^{-34} J.s) sustituyendo (2) en (1) tenemos:

$$Q = h \left(\frac{c}{\lambda} \right) \quad (3)$$

La ecuación (3) en definitiva nos dice que a mayor longitud de onda (o menor frecuencia) el contenido energético será menor y viceversa. Esto implica que la radiación en longitudes de ondas largas es más difícil de detectar que aquella centrada en longitudes cortas debido a su contenido energético, de ahí que las primeras requieren más sofisticados medios de detección (Chuvieco, 1995).

3.1.2 El espectro electromagnético

Desde el punto de vista de la teledetección conviene destacar una serie de bandas espectrales, que son las más frecuentemente empleadas, su denominación y amplitud varían según diferentes autores pero la terminología más común es la siguiente (Chuvieco, 1995):

- **Espectro visible** ($0.4 - 0.7 \mu m$). Se denomina visible por tratarse de una única radiación electromagnética que pueden ser percibidos por nuestros ojos, suelen distinguirse tres bandas elementales que se denominan azul ($0.4 - 0.5 \mu m$); verde ($0.5 - 0.6 \mu m$); y rojo ($0.6 - 0.7 \mu m$) en razón a los colores elementales asociados a esas longitudes de onda.
- **Infrarrojo próximo** ($0.7 - 1.3 \mu m$). A veces se denomina también infrarrojo reflejado y fotográfico, debido a que puede detectarse a partir de films dotados de emulsiones especiales. Resulta de vital importancia por su capacidad de discriminar masas vegetales y concentraciones de humedad.
- **Infrarrojo medio** ($1.3 - 8 \mu m$). Es donde se entremezclan los procesos de reflexión de la luz solar y de emisión de la superficie terrestre.
- **Infrarrojo lejano o térmico** ($8 - 14 \mu m$). Que incluye la porción emisiva del espectro terrestre.
- **Micro-ondas** (a partir de 1mm). Con gran interés por ser un tipo de energía bastante transparente a la cubierta nubosa.

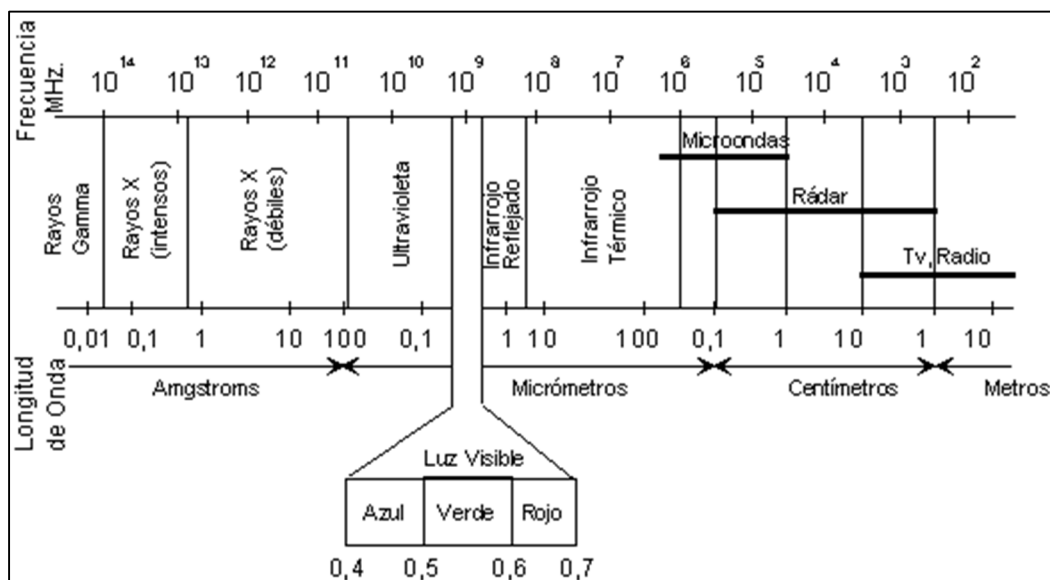


Figura 2. Espectro electromagnético. Fuente. Datos tomados de Chuvieco (1995).

3.1.3 Unidades de medida

El flujo energético proveniente de la superficie terrestre y detectado por el sensor del satélite tiene una intensidad determinada, proveniente de o dirigida a una unidad de superficie con una dirección concreta, convendrá entonces explicar las unidades de medida comúnmente usadas en teledetección (Chuvienco, 1995):

- Energía radiante (Q). Indica el total de energía radiada en todas las direcciones, su unidad de medida es Joule (J).
- Densidad radiante (W). Total de energía radiada en todas las direcciones por unidad de volumen, se mide en Joule por metro cúbico (J/m^3)
- Flujo radiante (ϕ). Total de energía radiada en todas las direcciones por unidad de tiempo, se mide en vatios (W)
- Emitancia (M). Total de energía radiada en todas las direcciones desde una unidad de área y por unidad de tiempo, se mide en vatios por metro cuadrado (W/m^2)
- Irradiancia radiante (E). Total de energía radiada sobre una unidad de área y por unidad de tiempo; es equivalente a la emitancia, si bien ésta indica la energía emitida, mientras la irradiancia refiere a incidente (W/m^2).
- Intensidad radiante (I). Total de energía radiada por unidad de tiempo y por ángulo sólido (Ω). Se trata de este de un ángulo tridimensional que refiere a la sección completa de la energía transmitida y se mide en estéreo-radianes (Fig. 3). Por tanto la intensidad radiante se mide en vatios por estéreo-radian (W/sr).
- Radiancia (L) total de energía radiada por unidad de área y por ángulo sólido de medida, este término es fundamental en teledetección debido a que describe lo que mide el sensor. Se cuantifica en vatios por metro cuadrado y estéreo-radian ($W/m^2 sr$).
- Radiancia espectral (L_λ). Indica el total de energía radiada en una determinada longitud de onda por unidad de área y por ángulo sólido de medida; por cuanto el sensor detecta una banda particular del espectro, está es la medida más cercana a la observación remota.
- Emisividad (ϵ). Relación entre la emitancia de una superficie (M), y la que ofrecería un emisor perfecto, denominado cuerpo negro a la misma temperatura (M_n).
- Reflectividad (ρ). Relación entre el flujo incidente y el reflejado por una superficie.
- Absortividad (α). Relación entre el flujo incidente y el que absorbe una superficie.
- Transmisividad (τ). Relación entre el flujo incidente y el transmitido por una superficie.

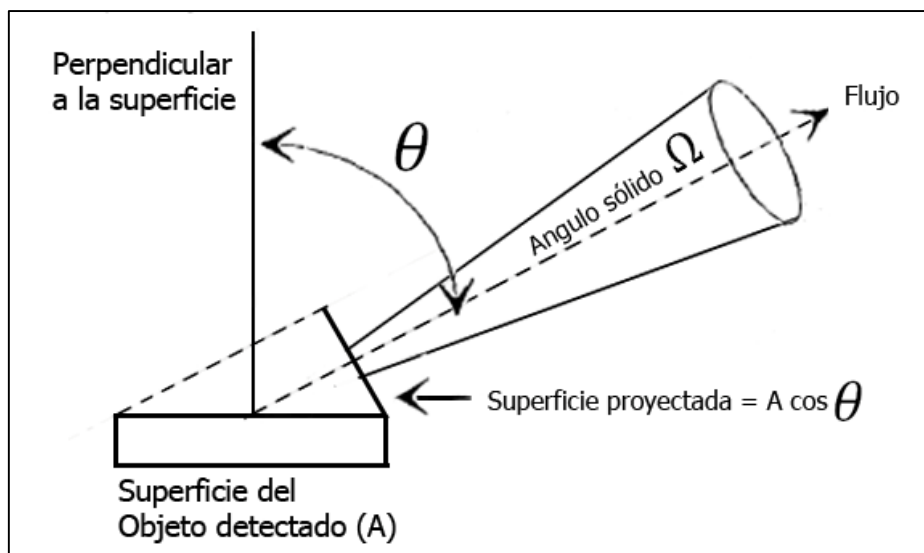


Figura 3. Diagrama de un ángulo sólido. *Fuente.* Datos tomados de Chuvieco (1995).

La formulación más precisa de cada una de estas magnitudes se acompaña en el Cuadro 1.

Cuadro 1. Magnitudes radiométricas comúnmente utilizadas en Teledetección. *Fuente.* Datos tomados de Chuvieco (1995)

Concepto	Símbolo	Fórmula	Unidad de Medida
Energía radiante	Q	--	Joule (J)
Densidad radiante	W	$\delta Q / \delta v$	J/m ³
Flujo radiante	ϕ	$\delta Q / \delta t$	Vatios (w)
Emitancia radiante	M	$\delta \phi / \delta A$	w/m ²
Irradiancia	E	$\delta \phi / \delta A$	w/m ²
Intensidad radiante	I	$\delta \phi / \delta \Omega$	w/sr
Radiancia	L	$\frac{\delta I \cos \theta}{\delta A}$	w/ m ² sr
Radiancia espectral	L_{λ}	$\delta L / \delta \lambda$	w/ m ² sr μm
Emisividad	ϵ	M/M _n	
Reflectividad	ρ	ϕ_r / ϕ_i	
Absortividad	α	ϕ_a / ϕ_i	
Transmisividad	τ	ϕ_t / ϕ_i	

sr	Estereo-radian, medida del ángulo sólido
μm	Micrómetro (10 ⁻⁶ metros)
M _n	Emitancia de un cuerpo negro
ϕ_i	Flujo incidente
ϕ_r	Flujo reflejado
ϕ_a	Flujo absorbido
ϕ_t	Flujo transmitido
θ	Ángulo formado por la superficie y la dirección normal

3.1.4 Resolución de un sistema sensor

Se puede definir la resolución de un sensor como su habilidad de registrar, discriminar información de detalle, esta resolución depende del efecto combinado de sus distintos componentes. La definición "información de detalle" se refiere no solo al detalle espacial que proporciona el sensor, sino también al número y anchura de las bandas del espectro que alberga, a su cadencia temporal, y a su capacidad para distinguir variaciones en la energía que detecta (Chuvieco, 1995).

El concepto de resolución implica al menos, cuatro manifestaciones: espacial, espectral, radiométrica y temporal.

Resolución espacial.

Esto designa al objeto más pequeño que puede ser distinguido sobre una imagen. Es la distancia que corresponde al tamaño de la mínima unidad de información incluida en la imagen, que se denomina *pixel*, esta es la medida más generalizada de resolución espacial, aunque también se emplean términos más complejos, como ERE (*effective resolution element*, en sus siglas en inglés) o EIFOV (*effective instantaneous field of view*, en sus siglas en inglés), que consideran la señal detectada como una función modulada compuesta; en cualquiera de los casos, conviene considerar que la resolución espacial de un sensor óptico-electrónico depende de varios factores como son la altura orbital del sensor, la velocidad de exploración y el número de detectores. En cuanto a los sensores de antena, su resolución depende del radio de apertura, de la altura de la plataforma y de la longitud de onda a la que trabajen, cuanto mayor sea el radio y menor la altitud y la longitud de onda, la resolución será tanto más detallada (Chuvieco, 1995).

La resolución espacial de los sensores de observación terrestre recogen un rango bastante amplio, los satélites de recursos naturales, diseñados para adquirir información sobre áreas muy heterogéneas, suelen contar con resoluciones de cierto detalle: desde los 10 x 10 m del sensor SPOT-HRV, hasta los 120 x 120 m del canal térmico del Landsat-TM, otro grupo de satélites orientado hacia aplicaciones más globales como NOAA-AVHRR, facilitan pixeles desde 500 a 1100 m de lado (Chuvieco, 1995).

En la figura 4 se muestra la comparación de resoluciones espaciales para diferentes sistemas.

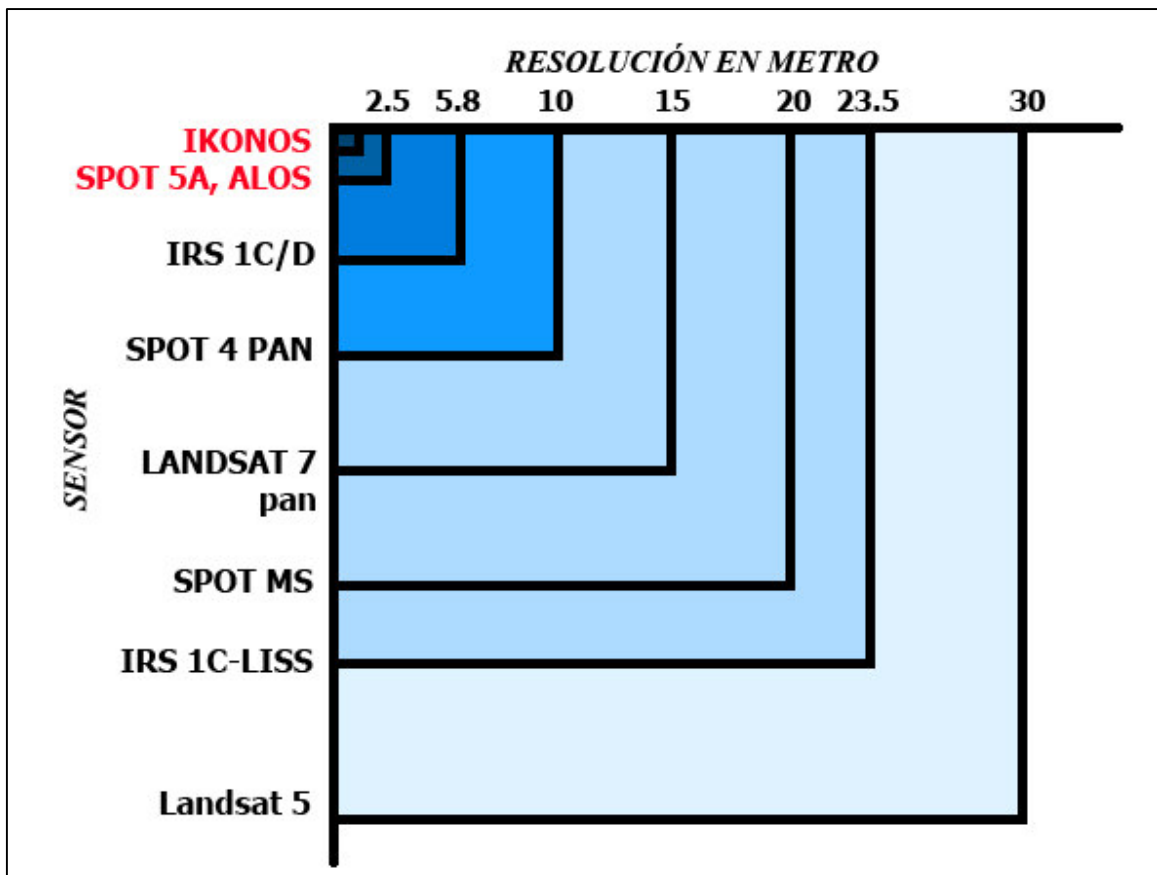


Figura 4. Resolución espacial para diferentes sistemas. *Fuente.* Datos tomados de Vargas (1999)

La resolución espacial está en estrecha relación con la escala de trabajo y con la fiabilidad finalmente obtenida en la interpretación, a continuación se presenta algunas aplicaciones considerando la resolución espacial (Chuvieco, 1995).

Resolución de 0.5 a 5 metros: Algunas aplicaciones en este rango de resolución son tales como ("Centro CNICE", 2006):

- Distinción de características de objetos del tamaño de coches.
- Estudio de la vegetación de pequeñas parcelas agrícolas, maduración o enfermedades de las plantas.
- Diferenciación de tipos de edificios.
- Modelos digitales de elevación.



Figura 5. Plataforma de lanzamiento del Transbordador espacial Kennedy Space Center, Florida (resolución: 1 m)
Imagen satélite QuickBird del 21/4/2005 (DigitalGlobe). *Fuente.* Datos tomados de “Centro CNICE” (2006)

Resolución de 20 a 30 metros: Algunas aplicaciones son (“Centro CNICE,” 2006):

- Localización de grandes infraestructuras (aeropuertos, ciudades, instalaciones deportivas).
- Cartografía de edificios, carreteras, terrenos agrícolas.
- Estudio de vegetación en parcelas de extensión media.



Figura 6. Venecia (Italia) Imagen Landsat 5. Sensor TM.
Resolución 30 metros. Bandas 3, 2, 1. (ESA). *Fuente.* Datos tomados de “Centro CNICE” (2006)

Resolución de 100 a 200 metros: Algunas aplicaciones son (“Centro CNICE,” 2006):

- Cartografía de estructuras geológicas regionales.
- Salud fitosanitaria de zonas extensas.

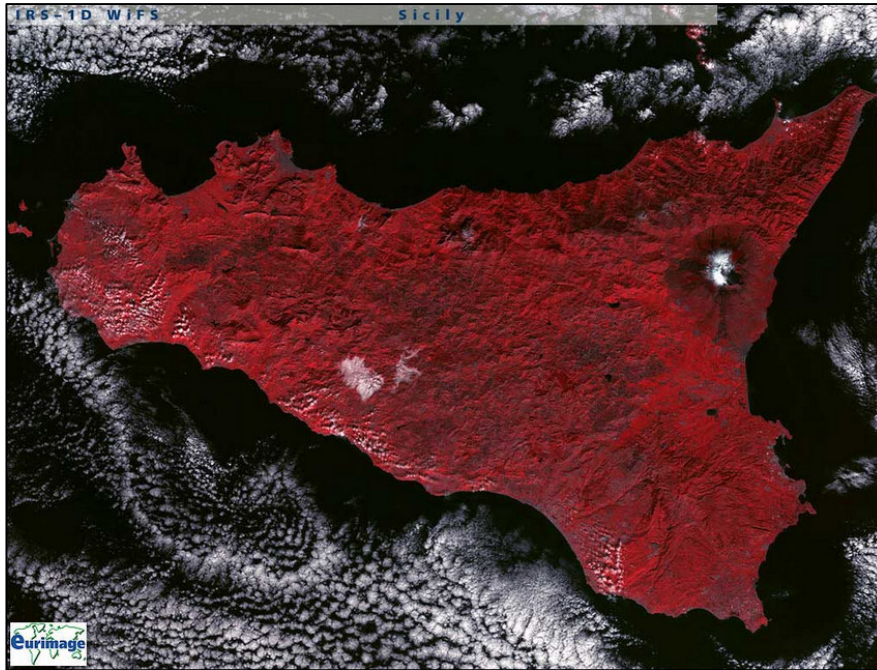


Figura 7. Isla de Sicilia. Observar el volcán Etna. Imagen de 188 metros de resolución, tomada con el sensor WiFS del satélite IRS (Eurimage). *Fuente.* Datos tomados de “Centro CNICE” (2006)

Resolución de 1000 a 2500 metros: algunas aplicaciones son (“Centro CNICE,” 2006):

- Análisis de la vegetación regional a nivel continental.
- Estudios medio ambientales y meteorológicos.



Figura 8. Imagen de la vegetación continente europeo (6/2005). Resolución 1Km. Sensor Vegetation de SPOT (CNES). *Fuente.* Datos tomados de “Centro CNICE” (2006)

Cuanto menor sea el tamaño del pixel, menor también la probabilidad de que éste sea un compuesto de dos o más cubiertas fronterizas, es decir un pixel mismo que viene definido por una señal intermedia a las distintas cubiertas

que lo componen; en consecuencia, puede no asemejarse a ninguna de ellas, lo que dificultará notablemente su correcta identificación (Chuvienco, 1995).

Cuadro 2. Satélite y resolución espacial de sus sensores. *Fuente.* Datos tomados de “Scan Terra” (2006)

Satélite y sensor	Resolución espacial (en metros)
Quick Bird Globo Digital	0.6 – 2.4
IKONOS	1.0 – 4.0
OrbView-3 Orbimage	1.0 – 4.0
IRS – 1c pancromático	5
RADARSAT	8-100
SPOT Pancromático	10
Seasat Radar	25
ASTER SWIR	30
Landsat Thematic Mapper (TM)	30
SAC-C Cámara HRTC	35
IRS-1 B LISS – II	36
Landsat Thematic Mapper (TM) Térmico	60, 120
IRS-1 A LISS – I	72.5
Landsat Escáner Multiespectral (MSS)	80
ASTER TIR	90
SAC-C Cámara MMRS	175
MODIS	250, 500, 1000
NOAA – AVHRR	1100

Resolución espectral.

La resolución espectral indica el número y anchura de las bandas en las que el sensor puede captar la radiación electromagnética, en principio cuanto más bandas incluya el sensor mejor, ya que cada banda constituye una variable para caracterizar la superficie captada, registrando simultáneamente el comportamiento de los objetos en distintas bandas del espectro. Además conviene que esas bandas sean suficientemente estrechas, con el objeto de recoger la señal sobre regiones coherentes del espectro, en la figura 9 se muestra el efecto de la resolución espectral en la discriminación de cubiertas (Sarría, 2003).

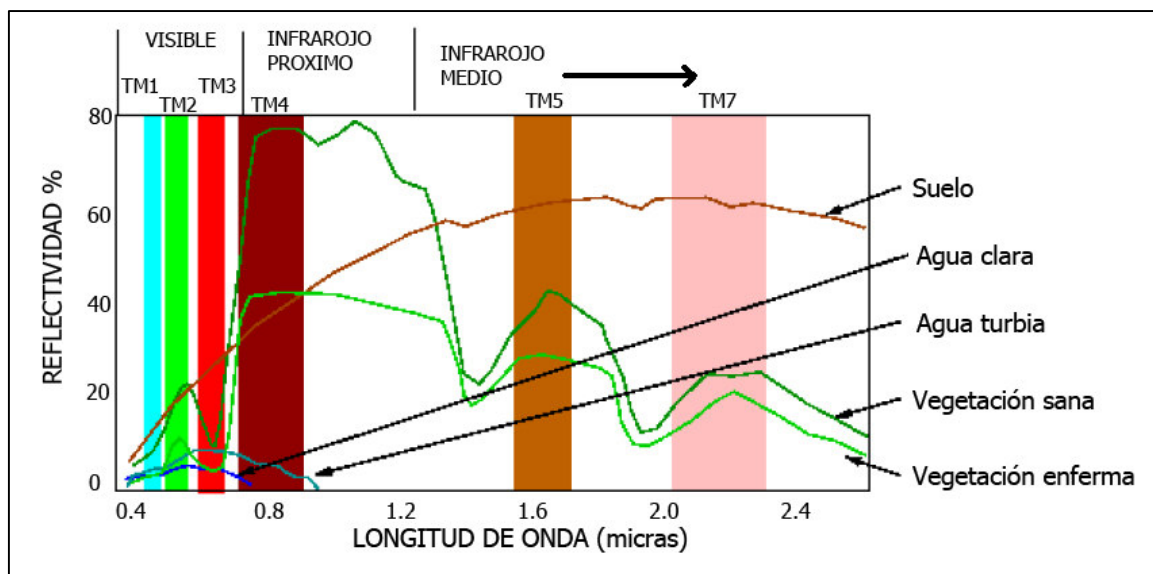


Figura 9. Respuestas espectrales. *Fuente.* Datos tomados de Sarría (2003)

Por ejemplo, resulta mucho más informativo contar con tres bandas (rojo, verde, azul) en el visible que con una sola banda como la fotografía en blanco y negro (Sarría, 2003). Entre los sensores espaciales, la menor resolución espectral corresponde al radar y a los sistemas fotográficos, por el contrario los sensores ópticos-electrónicos ofrecen un amplio rango de bandas, si bien se presentan problemas de transmisión de datos al aumentar este número de bandas (Chuvienco, 1995).

El número de bandas, la anchura y su localización en el espectro va a depender con los objetivos de su diseño (Sarría, 2003), por ejemplo para un sensor dedicado a fines meteorológicos, basta situar una sola banda en el visible puesto que no existen diferencias cromáticas en las nubes; por el contrario, será conveniente que incluya uno o dos bandas en el térmico que le permita conocer la temperatura de dichas nubes y otra banda en el infrarrojo medio en donde puede observarse el contenido de la humedad en la atmósfera (Chuvienco, 1995).

Resolución radiométrica.

La resolución radiométrica indica la sensibilidad del sensor, es decir, la capacidad de discriminar entre pequeñas variaciones en la radiación que capta (Sarría, 2003). En el caso de los sistemas fotográficos, la resolución radiométrica del sensor se indica por el número de niveles de grises recogidos en el film. Para los óptico-electrónicos, la imagen se presenta habitualmente en formato digital, gracias a una conversión analógico-digital realizada a bordo del satélite (Chuvienco, 1995).

El número de valores que incluye ese rango, esto es el número máximo de niveles digitales de la imagen, suele identificarse con la resolución radiométrica del sensor. Este rango varía con los diferentes tipos de sensores, por ejemplo Landsat-TM utiliza 8 bits lo que da $2^8 = 256$ niveles de energía (Niveles digitales, ND) que pueden ser captados, cuanto mayor sea la precisión radiométrica mayor número de detalles podrán captarse en la imagen y tanto mejor podrá interpretarse la imagen (Sarría, 2003).

En la figura 10 se puede observar muestras de imágenes a diferentes resoluciones radiométricas, se observa mientras más niveles de energía se puede observar más detalles (Vargas, 1999).

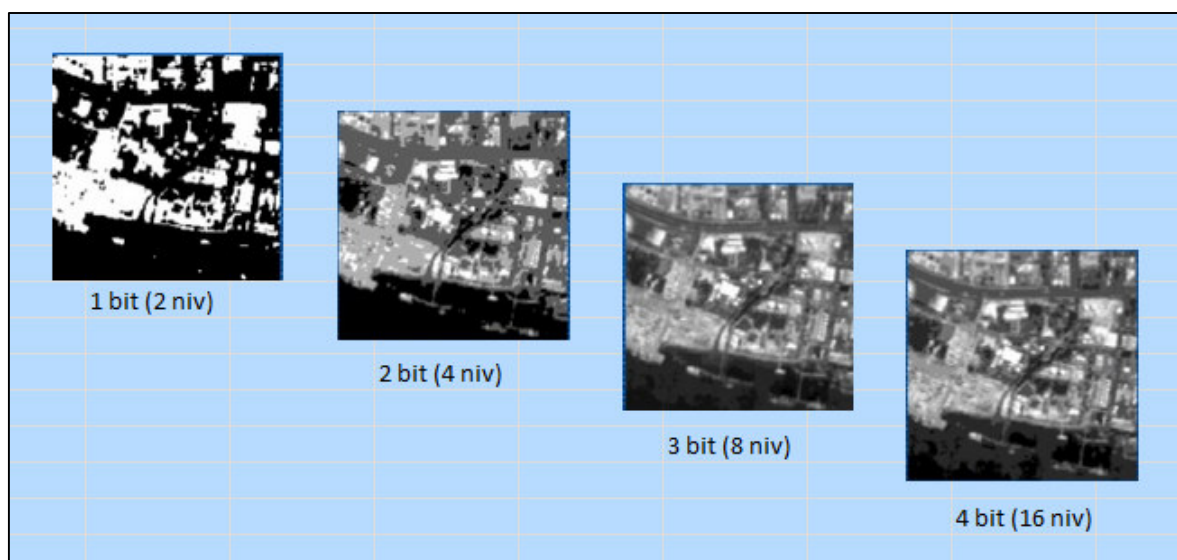


Figura 10. Resolución radiométrica. *Fuente.* Datos tomados de Vargas (1999)

Cuadro 3. Cuantificación / Resolución radiométrica. *Fuente.* Datos tomados de Vargas (1999)

bits	Niveles de energía	Rango
1	2	0-1
2	4	0-3
3	8	0-7
4	16	0-15
5	32	0-31
6	64	0-63
7	128	0-127
8	256	0-255
9	512	0-511
10	1024	0-1203

Resolución temporal

La resolución temporal indica el intervalo de tiempo entre cada imagen obtenida por la plataforma (Sarría, 2003); en otras palabras se refiere a la periodicidad con la que el sensor adquiere imágenes de la misma porción de la superficie terrestre; el ciclo de cobertura está en función de las características orbitales de la plataforma (altura, velocidad, inclinación), así como el diseño del sensor, principalmente del ángulo de observación y de abertura. La resolución temporal de los sistemas espaciales varía de acuerdo a los objetivos fijados para el sensor, por ejemplo, los satélites meteorológicos están obligados a facilitar información muy frecuente ya que se dedican a observar un fenómeno de gran dinamismo, de ahí que la red de satélites geo-estacionarios (tipo Meteosat) proporcionan una imagen cada 30 minutos, que complementa con la obtenida a partir de los satélites de órbita polar como el NOAA, que facilita imágenes cada 12 horas. Por el contrario los satélites de recursos naturales ofrecen una cadencia mucho menor: entre los 16 días del Landsat y los 26 del SPOT (Chuvieco, 1995).

3.1.5 Interacción de la atmósfera con la radiación electromagnética

La atmósfera es un factor importante a considerar los flujos de radiación entre el sol y la superficie y entre esta y los satélites. En el espacio exterior no hay ninguna pérdida de radiación por interferencia con ningún medio material, solo atenuación por la ley del cuadrado de la distancia. Los gases y aerosoles que componen la atmósfera tienen un efecto triple sobre la radiación (Sarría, 2003):

- Absorción de la energía en determinadas bandas del espectro.
- Dispersión de la radiación en determinadas bandas del espectro.
- Emisión, que por su temperatura, tendrá un máximo en el infrarrojo térmico.

Estos procesos introducen modificaciones, en ocasiones muy severas en la radiación originalmente propagada entre la cubierta y el sensor (“Instituto D’andreis,” 2003).

Absorción Atmosférica

Cada uno de los gases atmosféricos tiene la capacidad de absorber radiación en diferentes longitudes de onda (Sarría, 2003), es decir la atmósfera se comporta como un filtro selectivo a distintas longitudes de onda, de tal forma que en algunas bandas del espectro elimina prácticamente cualquier posibilidad de observación remota (Chuvieco, 1995). Los principales gases responsables son:

- Ozono (O_3): Absorbe radiación ultravioleta
- Dióxido de Carbono (CO_2): Absorbe radiación en 13 – 17.5 μm
- Vapor de Agua (H_2O): Absorbe radiación en 5.5 – 7 μm y por encima de 27 μm

Por otro lado, esto deja regiones del espectro en la que no se produce absorción, son las denominadas ventanas atmosféricas (Sarría, 2003). Por tanto la observación espacial se reduce a determinadas bandas en donde la transmitividad de la atmósfera es suficientemente alta (Chuvienco, 1995). Las principales ventanas atmosféricas, siendo en ellas donde se pueden emplear las técnicas de Percepción Remota (Aguilar, 2004) (Ver Figura 11).

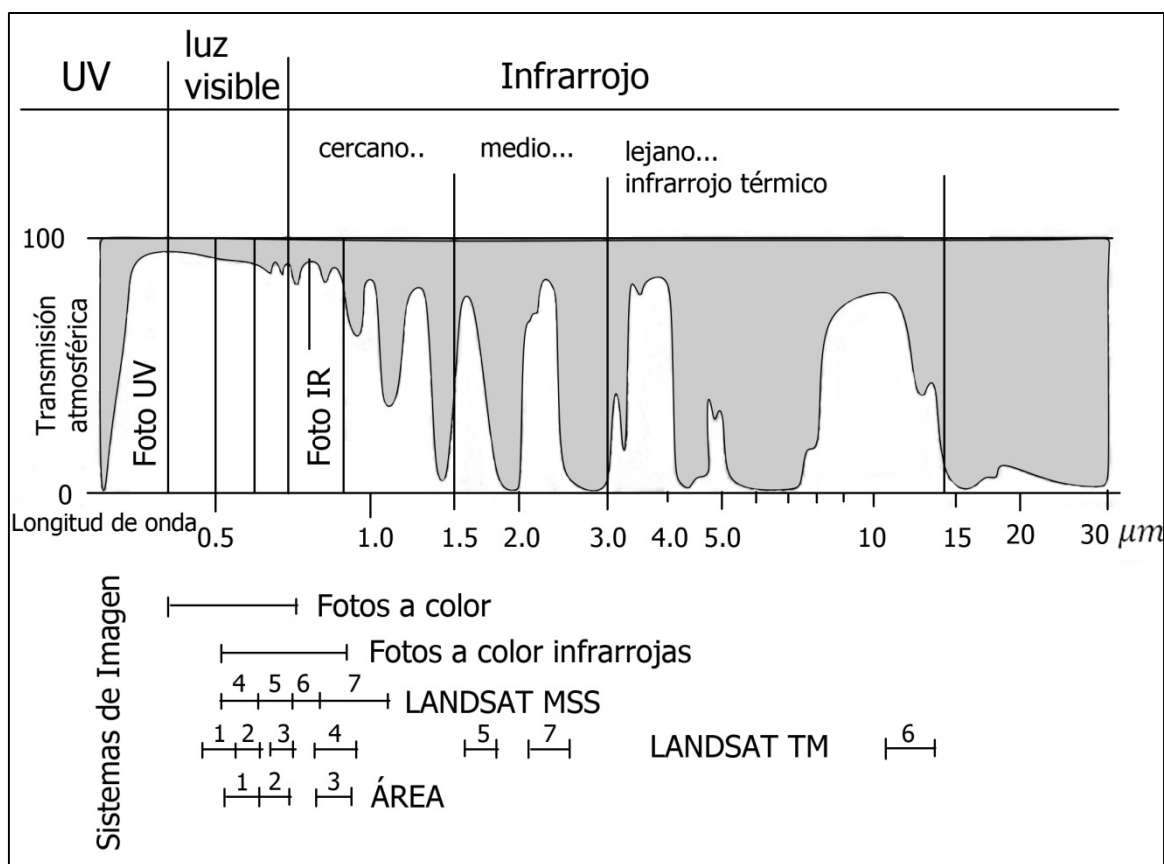


Figura 11. Ventanas atmosféricas. Fuente. Datos tomados de Aguilar (2004)

Estas ventanas atmosféricas son idóneas para realizar los procesos de teledetección por lo que el diseño de los sensores espaciales tiende a ajustarse a estas bandas (Chuvienco, 1995). A la hora de diseñar un sensor existen tres posibilidades fundamentales (Sarría, 2003):

- Captar radiación solar reflejada por la superficie (en una longitud de onda correspondiente a una ventana atmosférica)
- Captar radiación infrarroja procedente de la superficie terrestre o las nubes.

- Captar la radiación de una banda en la que un gas presente una elevada capacidad de absorción para así estimar la concentración de este gas. Cuanto menos radiación llegue, mayor será la cantidad de gas.

Incluso en las ventanas atmosféricas, la transmitancia nunca va ser del 100% y así la radiancia que llega al satélite es siempre algo menor que la que sale de la tierra (Sarría, 2003).

Dispersión Atmosférica

La dispersión atmosférica, es el mecanismo por el cual la radiación electromagnética es reflejada o refractada por gases o partículas situadas en la atmosfera; de este modo disminuye la radiancia directa y aumenta la difusa. Los principales causantes de la dispersión atmosférica son los gases y aerosoles (partículas sólidas o líquidas) que la componen, debido a la elevada variabilidad espacio-temporal de alguno de los gases y de los aerosoles, resulta difícil establecer modelos generales para cuantificar su influencia final en una imagen. Existen tres tipos fundamentales de dispersión (Sarría, 2003):

- **Dispersión de Rayleigh**, ocurre cuando la longitud de onda es mucho menor que el tamaño de los objetos responsables de la dispersión. Afecta por tanto a las longitudes de onda más cortas y causa el color azul del cielo (Sarría, 2003).

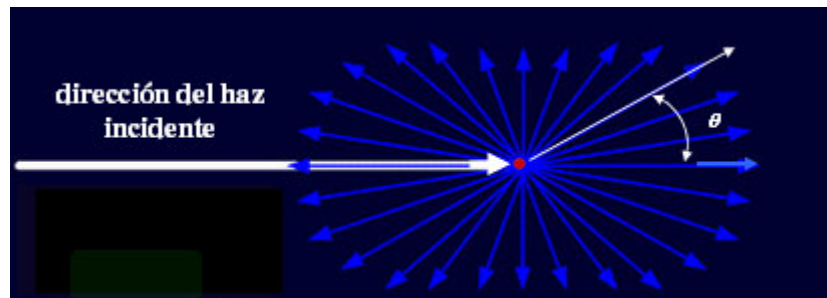


Figura 12. Si el diámetro d de la partícula, es menor que $\lambda/10$ la dispersión se describe mediante la Teoría de Rayleigh. Cuanto menor es la longitud de onda, esto es para el violeta y el azul, mayor es la dispersión. *Fuente.* Datos tomados de Welti (2013)

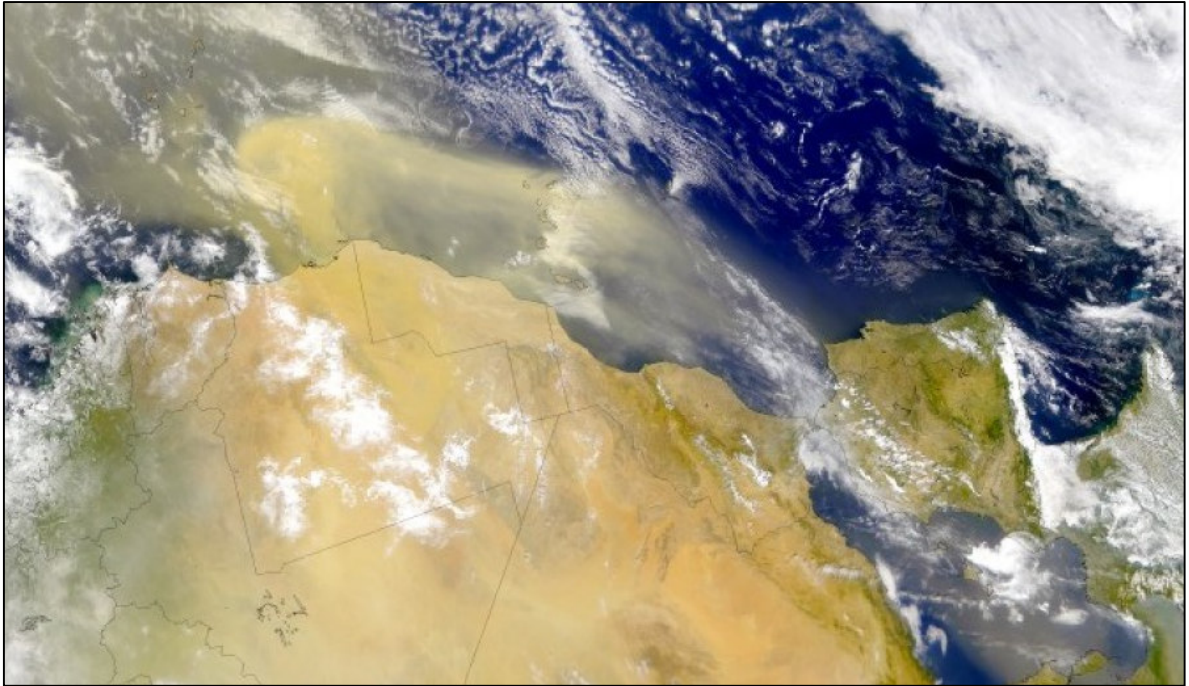


Figura 13. Efecto del polvo sobre las observaciones del satélite. *Fuente.* Datos tomados de Sarría (2003)

- **Dispersión de Mie**, cuando la longitud de onda es del mismo orden de magnitud que los objetos dispersores (vapor de agua, polvo y aerosoles). Afecta a todas las longitudes de onda del visible (Sarría, 2003).
- **Dispersión no selectiva**, se produce cuando los diámetros de las partículas que producen la dispersión son mucho mayores que las longitudes de onda con que interaccionan. Un ejemplo típico constituye las pequeñas gotas de agua con diámetros comprendidos entre 5 y 100mm que dispersan en igual forma todas las radiaciones en las regiones visible e infrarrojo cercano y medio. Al ser su dispersión no selectiva respecto a la longitud de onda ocurrirá que en el espectro visible se dispersan en igual proporción las radiaciones azules, verdes y rojas, con la consecuencia de que las nubes y la niebla aparecen blancas (“Grupo Teledet,” 2007).

Emisión atmosférica

El efecto de emisión atmosférica resulta fundamental en el trabajo dentro del infrarrojo térmico, el objetivo principal es estimar la temperatura de la superficie terrestre, sin embargo, los datos que llegan incluyen emisión tanto de la superficie como de las diferentes capas de la atmósfera, resulta difícil distinguir un efecto del otro, sin embargo se han hecho avances significativos en este sentido (Chuvieco, 1995).

3.1.6 Errores en la captación de las imágenes

El proceso de captación de radiación procedente de la superficie terrestre por parte de un sensor situado en un satélite no es perfecto; existen diversos factores que van a introducir diversos tipos de errores, estos se pueden clasificar en cinco tipos básicos en función de cuál de los elementos que intervienen en el proceso sea el responsable (Sarría, 2003):

- Distorsiones originadas por la plataforma. Un satélite, al igual que un avión aunque en menor medida, está sujeto a oscilaciones aleatorias de su altitud, velocidad y orientación de sus tres ejes (aleteo, cabeceo, ladeo) (García, W., *et al.* 2013). Estas oscilaciones alteran de un modo impredecible la relación que se establece entre posiciones en la superficie terrestre y posiciones en la matriz de datos.
- Distorsiones provocadas por la rotación terrestre. Debido a la altitud a la que se encuentran los satélites y a que la toma de una imagen completa requiere cierto tiempo, la superficie terrestre se habrá desplazado desde el inicio de la toma de la imagen hasta el final.
- Distorsiones geométricas provocadas por el sensor. La complejidad del proceso de captación de la imagen puede introducir pequeños errores que, en general suponen que los píxeles de la imagen no tengan todos la misma resolución.
- Distorsiones radiométricas provocadas por el sensor. Puesto que cada sensor tiene varios detectores por banda, puede producirse una cierta descalibración de alguno de ellos con lo que aparecerán efectos de bandeo en la imagen. En caso extremo pueden perderse algunos píxeles o incluso líneas enteras.
- Distorsiones provocadas por la atmósfera, debido a la interacción de la radiación electromagnética con la atmósfera, punto que fue tocado en la sección anterior.

La corrección de los tres primeros tipos de errores se conoce como **corrección geométrica** y se lleva a cabo al **georeferenciar** la imagen. La corrección de cuarto se conoce como **corrección radiométrica** y la del quinto como **corrección atmosférica** (Sarría, 2003).

3.1.7 La imagen digital y su almacenamiento

Sistema sensor

Un sistema es la asociación de elementos interrelacionados que transforman en un tiempo de referencia dado ciertas señales de entrada (medibles) en señales de salida (también medibles) donde su expresión matemática puede ser de la siguiente manera (Fernández, 2008):

$$Y(t) = H(X(t)) \quad (4)$$

Donde

$X(t)$ y $Y(t)$: son las señales de entrada y salida respectivamente.

H : Operador o función de transferencia

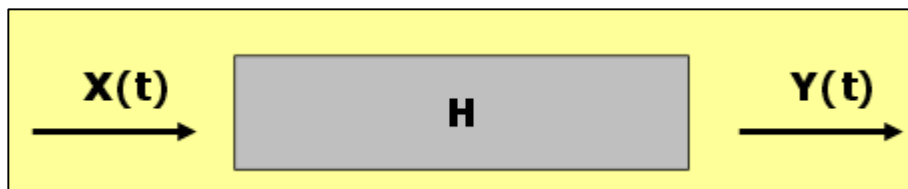


Figura 14. Esquema de transferencia de señales. *Fuente.* Datos tomados de Fernández (2008)

Se dice que un sistema es lineal cuando cumplen los principios de (Fernández, 2008):

- *Proporcionalidad:* Si a la entrada X_1 le corresponde una salida Y_1 , a la entrada cX_1 le corresponderá una salida cY_1 .
- *Superposición o aditividad:* Si a dos entradas individuales X_1 y X_2 le corresponden dos salidas Y_1 e Y_2 , a una entrada $X_1 + X_2$ le corresponderá una salida $Y_1 + Y_2$.

Los sensores utilizados en teledetección pueden considerarse sistemas lineales donde la señal de entrada correspondería a la Radiancia procedente de la superficie terrestre y la señal de salida correspondería al nivel digital (ND) de cada pixel. En realidad los detectores convierten la radiancia a una corriente eléctrica, que pasa por un conversor AD (analógico / digital) a ND. Matemáticamente se puede expresar (Fernández, 2008):

$$ND_K = a_{0,K} + a_{1,K} * L_K \quad (5)$$

Donde

L_k : Radiancia que llega al sensor procedente de una porción de terreno correspondiente a un pixel, en una banda k del espectro.

$a_{0,K}$; $a_{1,K}$: Coeficientes de calibración del sensor en la banda k .

ND_k : Nivel digital de cada pixel en la banda k .

En este caso la salida es una imagen digital, en otros casos la salida puede ser una imagen analógica (sensores fotográficos)

Imagen Digital

La imagen digital en teledetección se entiende como aquella que resulta registrada en los detectores (la que se graba y transmite) y la que después observamos en la pantalla del ordenador. Una imagen es una distribución bidimensional de energía electromagnética, en otras palabras es la respuesta de una superficie a la iluminación con energía electromagnética (Fernández, 2008).

Una imagen discreta es aquella formada por un conjunto finito de valores de luminancia obtenidos mediante el muestreo equiespaciado de una imagen continua, esta imagen es discreta y finita:

- Espacialmente: Número finito de celdas de tamaño determinado
- Luminancia: Valores enteros entre mínimo cero (0) y máximo

Una imagen digital es la adaptación al sistema informático de la imagen discreta, supone la asignación de un nivel de gris a cada elemento de la imagen a través de un Nivel Digital (ND) (Fernández, 2008).

Pixel y Nivel digital

El Pixel (Picture element o elemento de imagen): Mínimo elemento (discreto) que constituye la imagen digital definido por (Fernández, 2008):

- Su posición (fila, columna). En teledetección la posición queda referida por coordenadas de los puntos sobre el terreno (centro o esquinas de los píxeles)
- Tamaño (mayor o menor resolución espacial). El tamaño se refiere también a la porción de terreno observada.
- Luminancia (nivel de gris). Depende del ND de cada pixel que a su vez es función de la radiancia recibida desde cada porción del terreno.

Este ND es un número entero (discreto) entre un mínimo (0) y un máximo que generalmente corresponde a 255 (1 Byte = 256 ND), a 1024 (2^{10}), a 2048 (2^{11}) (Fernández, 2008).

Detección

El detector de un sistema óptico-electrónico actúa generando una corriente cuya intensidad es proporcional a la radiancia detectada en un instante; este instante corresponde a la caracterización de cada pixel, cuya radiancia es promedio de las cubiertas abarcadas en su campo de visión instantánea (Fernández, 2008).

La grabación de la imagen digital corresponde a un sistema de conversión analógico-digital no lineal (convolución), que se caracteriza por añadir ruidos, ya que realmente durante el proceso de registro de la imagen se introduce ruido, por lo que el sistema en su conjunto no es exactamente lineal. La restauración de la imagen es el proceso inverso de deconvolución en la cual es imposible la eliminación completa de ruido (Fernández, 2008).

Formato de grabación

Cada pixel tiene asignado 1 byte (8 bits), 256 posibles valores o ND, hoy en día hay sistemas que permiten mayores ND. Los formatos de grabación de imágenes multispectrales (Fernández, 2008):

- **Bandas secuenciales (BSQ):** Los niveles digitales de cada banda se disponen uno a continuación de otro hasta completar la banda; a continuación se dispone la siguiente banda, la siguiente hasta completar la imagen multispectral.
- **Bandas intercaladas por líneas (BIL):** Se graba una línea por banda, otra línea por banda, hasta completar una línea en todas las bandas; a continuación se graba otra línea con todas las bandas y así hasta terminar.
- **Bandas intercaladas por pixel (BIP):** Se van sucediendo los pixeles de las distintas bandas, hasta completar los pixeles y bandas.

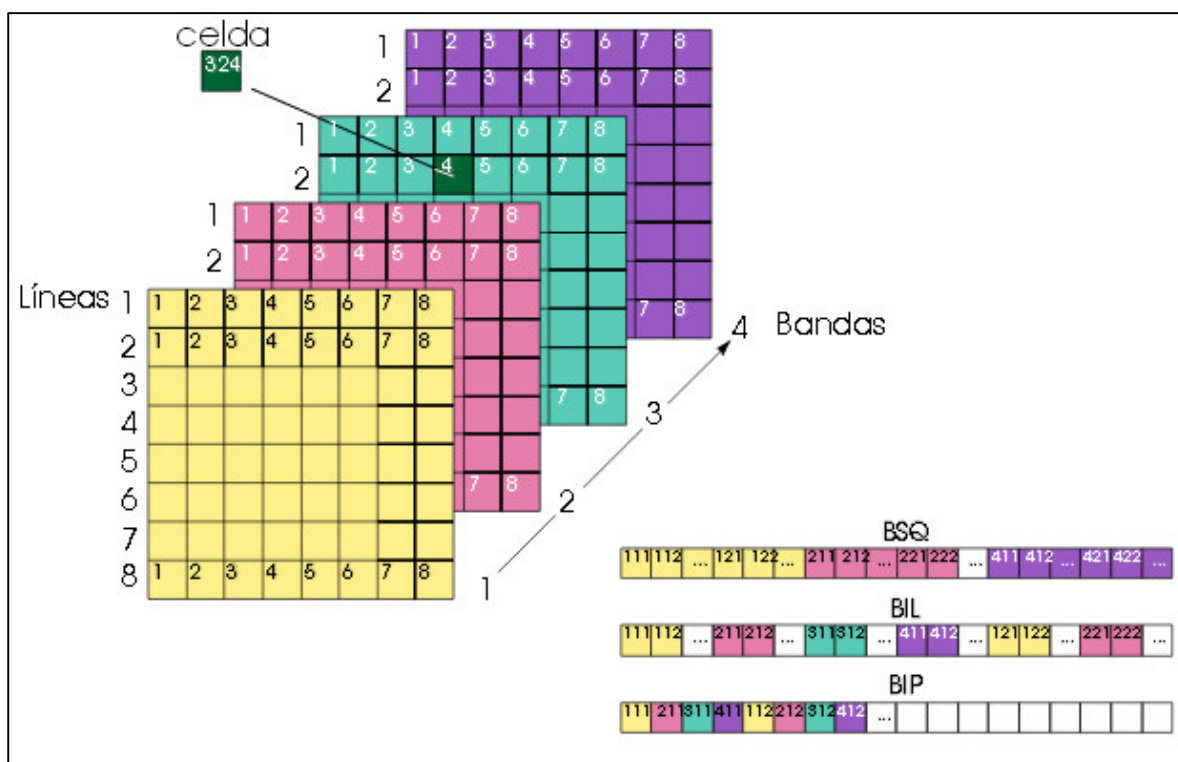


Figura 15. Formatos de grabación. Fuente. Datos tomados de Pinilla (2006b)

4. DESCRIPCIÓN GENERAL DEL ÁREA DE ESTUDIO

El área de estudio se encuentra ubicada políticamente en la Región Moquegua, abarcando parte de los distritos de Pacocha, El Algarrobar e Ilo y una región de mar del Océano Pacífico. El área de estudio es interceptada por el Río Osmore.

Límites:

- Al Noreste, con parte de los distritos de Pacocha y El Algarrobar.
- Al Noroeste, con Océano Pacífico y parte del distrito de Pacocha.
- Al Sureste, con parte de los distritos de Ilo y El Algarrobar.
- Al Suroeste, con Océano Pacífico y parte del distrito de Ilo.

El área de estudio: 102.038 km²

Datum: **WGS84**

Sistema de Coordenadas: **UTM**

Zona: **19 S**

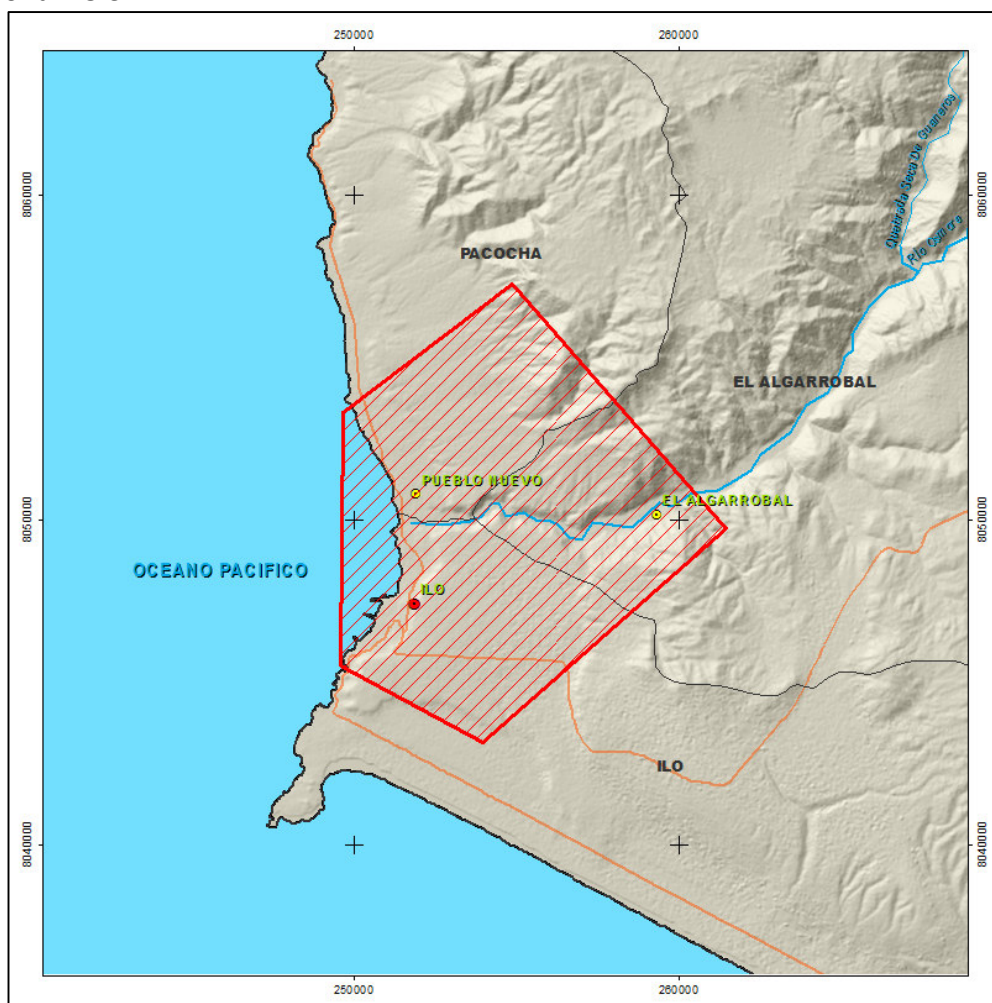


Figura 16. Mapa de ubicación política del área de estudio

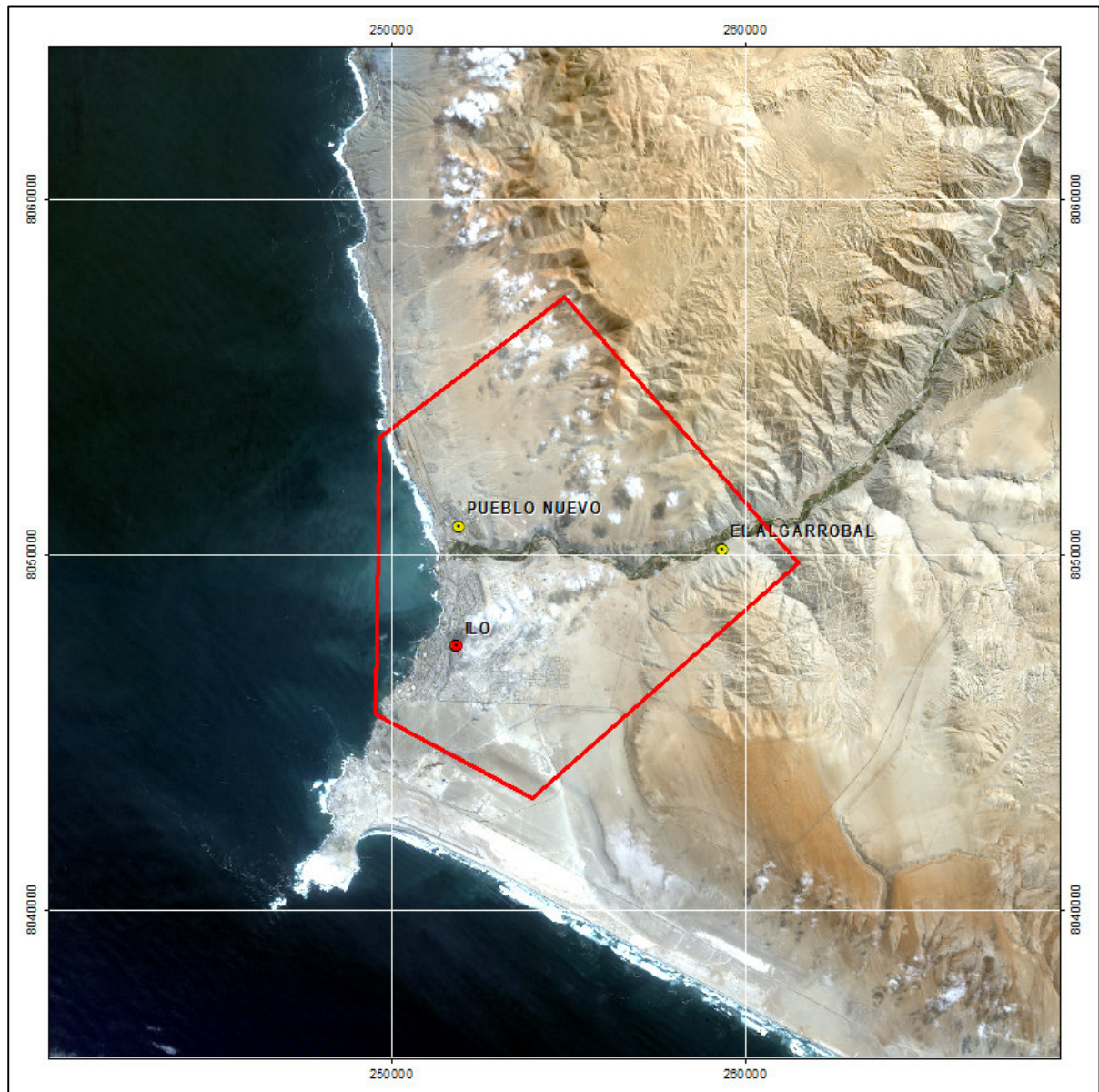


Figura 17. Mapa satelital del área de estudio. *Fuente.* Datos tomados de Google Earth

5. INSUMOS Y PROGRAMAS

5.1 *Imágenes de satélite WorldView 2*

WorldView-2 es el segundo satélite de segunda generación de la casa **DigitalGlobe**, su lanzamiento se realizó en Octubre de 2009. Actualmente ofrece un producto multiespectral de mayor calidad que en el mercado, ya que entre sus características se destaca su capacidad de adquirir imágenes multiespectrales con 8 bandas de resolución con la más alta precisión espacial. WorldView-2 le permite discriminar detalles más finos como vehículos, arrecifes poco profundos, árboles individuales, etc.

Combinado esto con su alta resolución espectral, proporcionará información en detalle de áreas tan diversas como la calidad de un camino, la profundidad del océano, la salud de las plantas, discriminación de especies vegetales, etc. (“Digital Globe capacidad,” 2016).



Capacidad de toma de imágenes de WorldView-2

WorldView-2 ofrece una mayor confiabilidad para la adquisición de imágenes satelitales. Con una capacidad para la toma de imágenes de hasta 975 000 km² por día (equivalente a la superficie de Francia y Alemania juntas), más un promedio de nuevas tomas de 1,1 días y capacidades estéreo de grandes superficies/longitudinales, WorldView-2 toma estratégicamente imágenes de alta resolución y actualizadas. WorldView-2 le permite a DigitalGlobe crear imágenes multiespectrales de alta resolución verdaderamente ubicuas, al ofrecer acceso disponible a las imágenes actuales e integrales de alta resolución (“DigitalGlobe capacidad,” 2016).

La altitud de órbita de WorldView-2 de 770 km en combinación con un giroscopio de control de momento (CMG) de vanguardia ofrece una rápida búsqueda de objetivos. Y con los sensores de pista longitudinal de dos direcciones, el CMG maniobrará al WorldView-2 como un pincel para captar una superficie máxima mayor a los 10 000 km² con un simple paso por la vertical. La agilidad y el escaneo en dos direcciones, también, permiten la toma de imágenes estéreo y longitudinales con eficiencia de más de 5 000 km² (“DigitalGlobe capacidad,” 2016).

WorldView-2 proporciona una resolución pancromática de 46 cm y una resolución multiespectral de 1.85 m. WorldView-2 puede recolectar hasta 1 millón de km² de imágenes de 8 bandas por día, lo cual mejora en gran medida la capacidad de recolección de imágenes multiespectrales de DigitalGlobe para una obtención más rápida y confiable (“DigitalGlobe datos,” 2016).

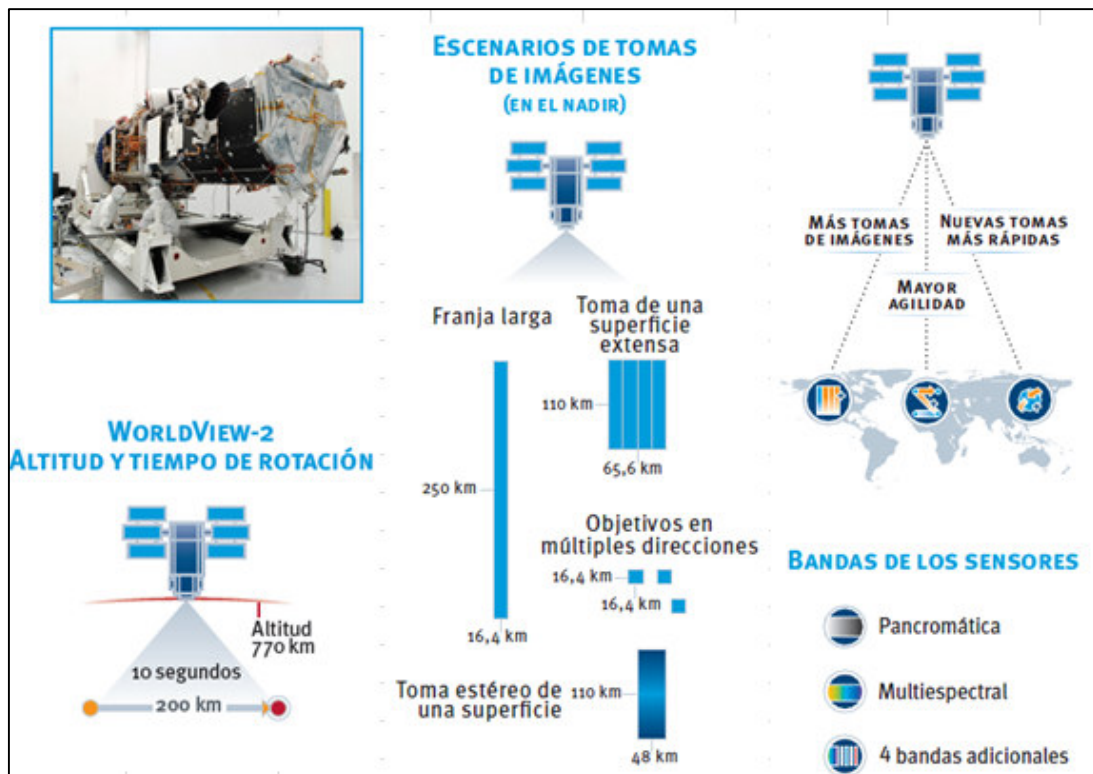


Figura 18. Características del satélite WordView 2. Fuente. Datos tomados de “DigitalGlobe capacidad” (2016)

Beneficios (“DigitalGlobe datos,” 2016):

- Proporciona imágenes altamente detalladas para la creación de mapas precisos, la detección de cambios y el análisis exhaustivo de imágenes. (Nota: debe hacerse un remuestreo de las imágenes a 50 cm para los clientes que no sean del gobierno estadounidense)
- Localiza geográficamente elementos con un margen de error menor a 5 m para crear mapas de áreas remotas y maximizar, así, la utilidad de los recursos disponibles.
- Recolecta, almacena y envía mediante enlace descendente un suministro de productos de imágenes globales, actualizadas con frecuencia mayor, que los sistemas competidores.

- Proporciona capacidad de realizar detección de cambios precisa, trazar mapas y realizar análisis en resoluciones sin precedentes en imágenes multiespectrales de 8 bandas.

Cuadro 4. Especificaciones del diseño. *Fuente.* Datos tomados de “DigitalGlobe datos” (2016)

Informe sobre el lanzamiento	Fecha: 8 de octubre del 2009 Vehículo de lanzamiento: Delta 7920 (9 montables) Lugar de lanzamiento: Base Vandenberg de la Fuerza Aérea, California.
Órbita	Altitud: 770 km Tipo: sincrónica con el sol, 10:30 am nodo descendente. Periodo: 100 min
Duración de la misión	De 10 a 12 años, incluidos todos los consumibles y degradables
Tamaño, masa y potencia de la nave espacial	5.7m (18.7 pies) de alto x 2.5 m (8 pies) de ancho. 7.1 m (23 pies) de ancho con los grupos solares desplegados. 2615 kg (5765 lb) Grupo solar de 3.2 kW, batería de 100 Ahr.
Bandas de sensores	Pancromático: 450 – 800 nm 8 multiespectrales: Costero: 400 - 450 nm Azul: 450 – 510 nm Verde: 510 – 580 nm Amarillo: 585 – 625 nm Rojo: 630 – 690 nm Banda espectral en el borde del rojo: 705 – 745 nm IR cercano 1: 770 – 895 nm IR cercano 2: 860 – 1040 nm
Resolución del sensor	Pancromático: GSD de 0.46 m en el nadir; GSD de 0.52 m 20° fuera del nadir. Multiespectral: GSD de 1.85 m en el nadir, GSD de 2.07 m 20° fuera del nadir.
Rango dinámico	11 bits por pixel
Ancho de barrido	16.4 km en el nadir
Determinación de posición y control	Estabilizada en los 3 ejes Accionadores: giroscopio de control de momento (Control Moment Gyros, CMG) Sensores: rastreadores estelares, unidad de referencia inercial (Inertial reference unit, IRU) en estado sólido, GPS
Precisión de dirección y	Precisión: <500 m al comenzar y finalizar la imagen. Conocimiento: compatible con la precisión de geolocalización

conocimiento	que figura a continuación.
Agilidad para la nueva determinación de objetos	Tiempo de rotación a 200 km: 10 s
Almacenamiento a bordo	2199 Gb de estado sólido con detección y corrección de errores (error detection and correction, EDAC)
Comunicaciones	Datos de imágenes y auxiliares: banda X de 800 Mbps Datos de gestión interna: 4, 16 o 32 Kbps en tiempo real, 524 Kbps almacenado, banda X Comando: banda S de 2 o 64 Kbps
Máxima superficie contigua recolectada en un solo paso (ángulo de 30° fuera del nadir)	Mono: 138 x 112 km (8 tiras [strips]) Estéreo: 63 x 112 km (4 pares)
Frecuencia de la revisita (a 40° latitud N)	1.1 días a GSD de 1 m o menos 3.7 días a 20° fuera del nadir o menos (GSD de 0.52 m)
Precisión de la geolocalización (error circular del 90%, CE90)	CE90 < 3.5 m demostrado sin puntos de control terrestre.
Capacidad	1 millón de km ² por día

Las imágenes que son entregadas, presentan un bajo porcentaje de cobertura de nubes; lo que permite realizar el pre-procesamiento de las imágenes, se describe la fecha de cada imagen, estos datos se encuentran en el nombre inicial de la imagen y sus archivos auxiliares con las que viene la imagen sin procesar (archivo XML)

Imagen sin proceso:

- 053530658020_01_P001 del 28 de Diciembre del 2013.

```
earliestAcqTime = 2013-12-28T15:22:36.122527Z;
latestAcqTime = 2013-12-28T15:22:36.122527Z;
datumName = "WE";
semiMajorAxis = 6378137.0000;
inverseFlattening = 298.257223563;
```

Figura 19. Parte de contenido del archivo XML de la imagen satelital. *Fuente.* Datos tomados de “GeoService Perú” (2014)

Nota:

- Todo los datos de la imagen se ubica en los archivos .XML (fecha y hora de la adquisición de la imagen, proyección de la imagen, resolución espacial, cobertura de nube, nombre del satélite, etc.)

5.2 Modelo de Elevación Digital (DEM) / DSM NEXTMap World 30 m

NEXTMap World 30m:

Se usa el Modelo Digital de Superficie (DSM) o Modelo de Elevación Digital (DEM) - Producto NEXTMap World30m de Intermap. El DSM se ha remuestreado a 15 metros, con la finalidad de tener un DSM más próximo.

Este DSM de 30 metros brinda el más preciso modelo de elevación mundial actualmente disponible en el mercado. Ha sido alineado y ajustado utilizando los datos de alta resolución del LiDAR de cobertura mundial, con 25 centímetros de precisión vertical, para obtener grandes mejorías sobre los productos originales de ASTER Global DEM de 30 metros y de los datos SRTM de 30- y 90-metros. Los procesos de agregación y conjugación de los diferentes conjuntos de datos, ha permitido a Intermap remover muchos de los artificios, tales como “valles” y “picos” presentes en las últimas versiones de ASTER y SRTM. Adicionalmente, el NEXTMap World 30 rellena los huecos de información y ajusta los desplazamientos verticales y horizontales presentes en los productos globales de datos ASTER y SRTM.

Para uso efectivo se re muestreo a 15m, con la finalidad de tener un pixel más cercano

NEXTMap® World MDS 30m es un Modelo Digital de Superficie (DSM) de 30 metros para toda el mundo disponible para la venta. NEXTMap® World MDS 30m es una combinación de datos ASTER de 30m, GTOPO de un kilómetro, que se han normalizado usando los datos del SRTM de 30m - 90m y del ICESAT LiDAR de 25 cm de resolución; el producto final es remuestrados con una resolución de 30m (“Intermap Nexmap,” 2012).

Este DSM de 30 m es el producto de elevación más actualizado del planeta que existe en el mercado hoy en día. Se ha validado contra LiDAR de alta precisión a nivel mundial (precisión vertical de 25 cm) para lograr un 12 m LE90% – una mejora significativa contra el producto ASTER de 30 m disponible hoy en día. Los procesos de agregación y fusión de otros bancos de datos de elevación han permitido que se pueda eliminar muchos de los objetos (por ejemplo, montículos en campos abiertos) característicos de la última versión de los datos ASTER. Se ha mejorado la precisión vertical de 20m LE90% a 12m LE90% con lo cual se puede ofrecer el mejor DSM a nivel comercialmente disponible en el mercado actual (“Intermap Nexmap,” 2012).

NEXTMap® World MDS permite las aplicaciones tales como (“Intermap Nexmap,” 2012):

- Cartografía base, topográfica y geológica

- Modelación de inundación
- Análisis de cuencas
- Análisis de cuencas visuales
- Respuesta de emergencia
- Clasificación de la cobertura del suelo
- Aplicaciones forestales
- La conservación de los recursos naturales
- Análisis de riesgos ambientales
- Planificación de infraestructura
- Ortorectificación de imágenes,
- Generación de curvas de nivel

BENEFICIOS (“GeoService Perú,” 2014):

- **Más preciso:** NEXTMap Mundial 30 agrega ASTER, SRTM y GTOPO utilizando control a escala mundial, combinado con la tecnología propietaria de fusión de datos de Intermap , para crear un conjunto de datos consistentes, sin fisuras, y sin vacíos, con precisión a partir de 5 metros.
- **Más completo:** Otros productos disponibles en el mercado sólo ofrecen hasta un 30 por ciento de la superficie terrestre. Con NEXTMap Mundial 30, los clientes reciben una cobertura del 100 por ciento del total de la tierra 150 millones de kilómetros cuadrados. La combinación de tecnologías de la fotogrametría, la interferometría, y de LiDAR ofrece las elevaciones más detalladas y actuales de todo el mundo. Figura N° 20.
- **Más accesible:** El precio del NEXTMap 30 Mundial es tan bajo por kilómetro cuadrado.
- **El más actual:** NEXTMap Mundial 30 está constantemente siendo mejorado con los últimos y mejores datos de elevación. En el marco del programa de mantenimiento de NEXTMap, los clientes podrán disfrutar de las actualizaciones NEXTMap Mundial 30 de forma automática.
- **El más flexible:** Ideal para aplicaciones tales como la ortorectificación de imágenes, cálculos de línea de vista, extracción de características y el desarrollo de mapas topográficos, manejo de riesgo de inundación, planificación de infraestructuras, la agricultura de precisión, la respuesta de emergencia, y la visualización 3D. Figura N° 21, 22.

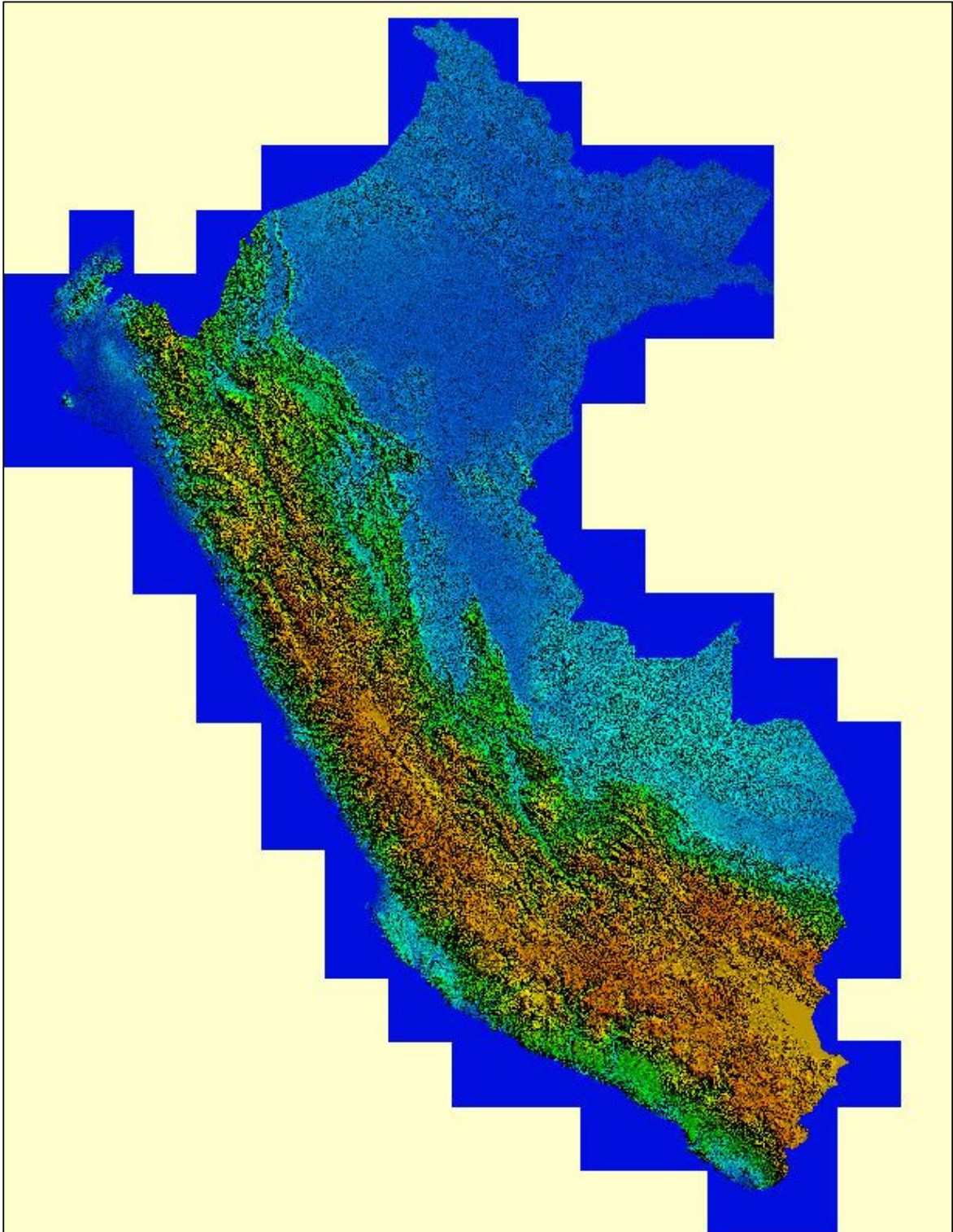


Figura 20. DSM Perú, Área Total: 1'286,000 km². *Fuente.* Datos tomados de "GeoService Perú" (2014)

VISTAS NEXTMap World 30m:

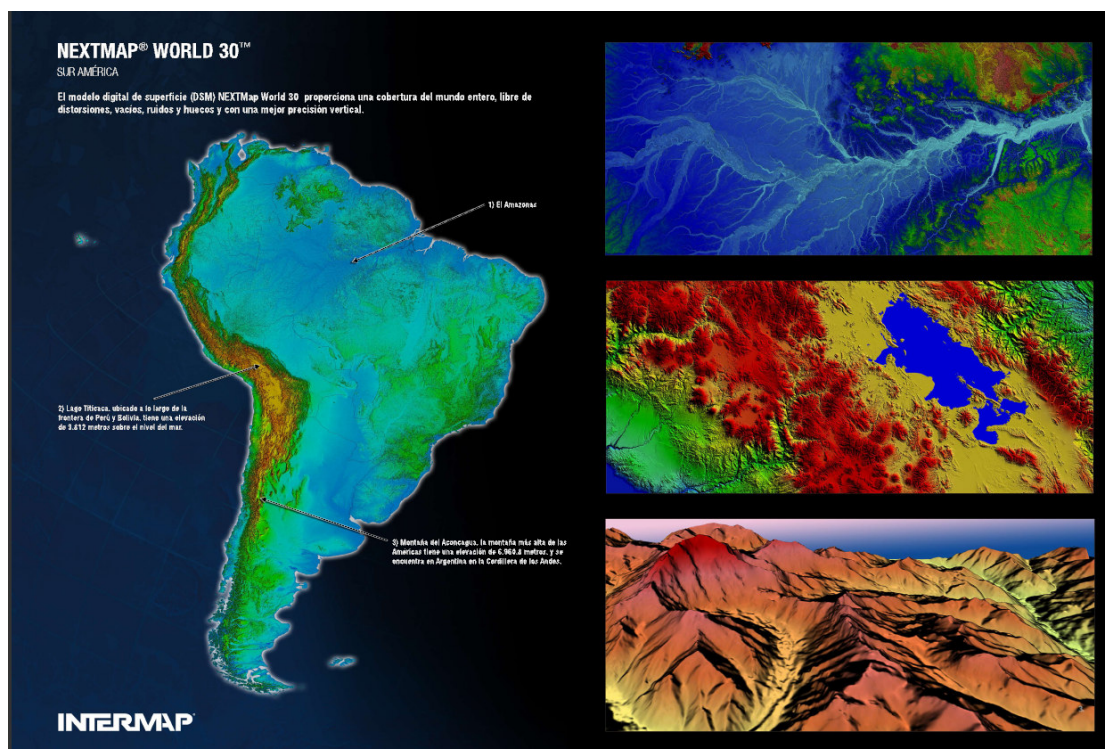
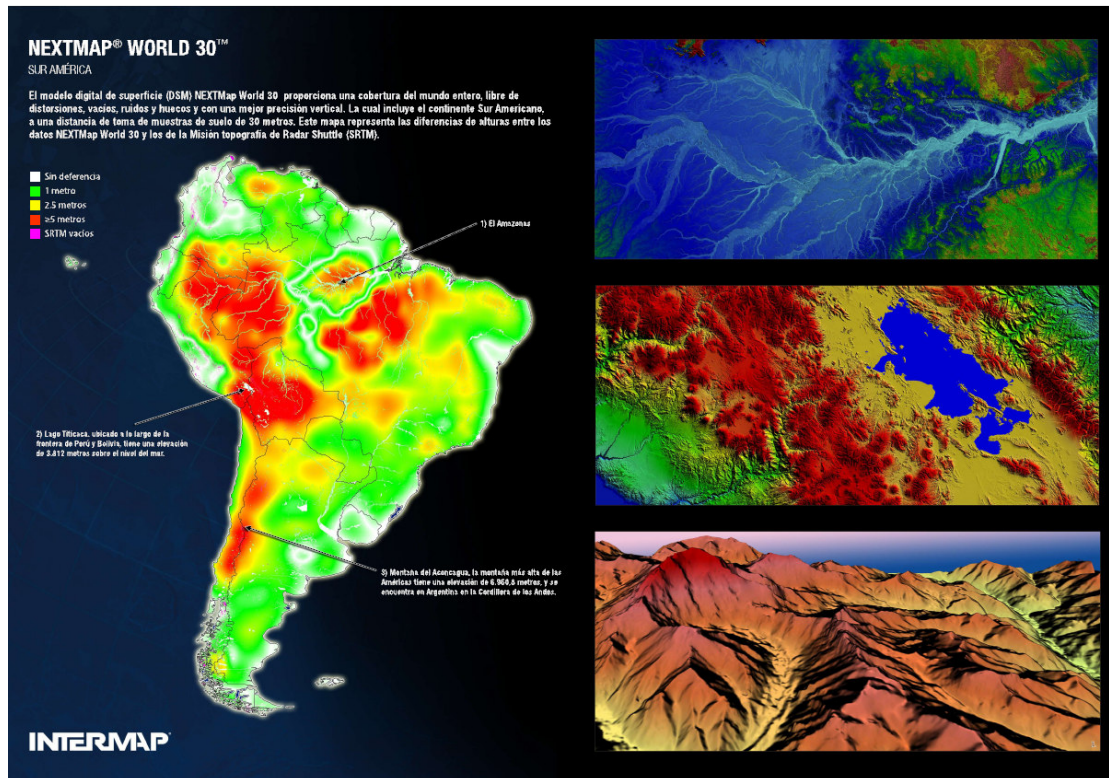


Figura 21. Vistas de DSM a Nivel Sur América. *Fuente.* Datos tomados de “GeoService Perú” (2014)



Figura 22. Ortoimagen DSM + Foto. *Fuente.* Datos tomados de “GeoService Perú” (2014)

PRECISIONES NEXTMap World 30m (“GeoService Perú,” 2014):

NEXTMap® Product Deliverable	Pixel Size/ Post Spacing*	Accuracy (RMSE)
World 30 Digital Surface Model (DSM)	30.0 m	5.0-10.0m

Cuadro 5. Precisiones NEXTMap World 30 m. *Fuente.* Datos tomados de “GeoService Perú” (2014)

	Máximo (m)	Mínimo (m)	Media (m)	Desviación Estándar (m)	Raíz Cuadrada del error cuadrático (RMSE) (m)	LE90 (m)	LE95 (m)
Todas las muestras	940.48	-601.97	-0.81	7.07	7.11	8.70	11.80
± 60°	940.48	-601.97	-1.20	5.55	5.68	7.80	10.00
> 60°	324.01	-510.88	3.10	15.04	15.36	20.01	27.82

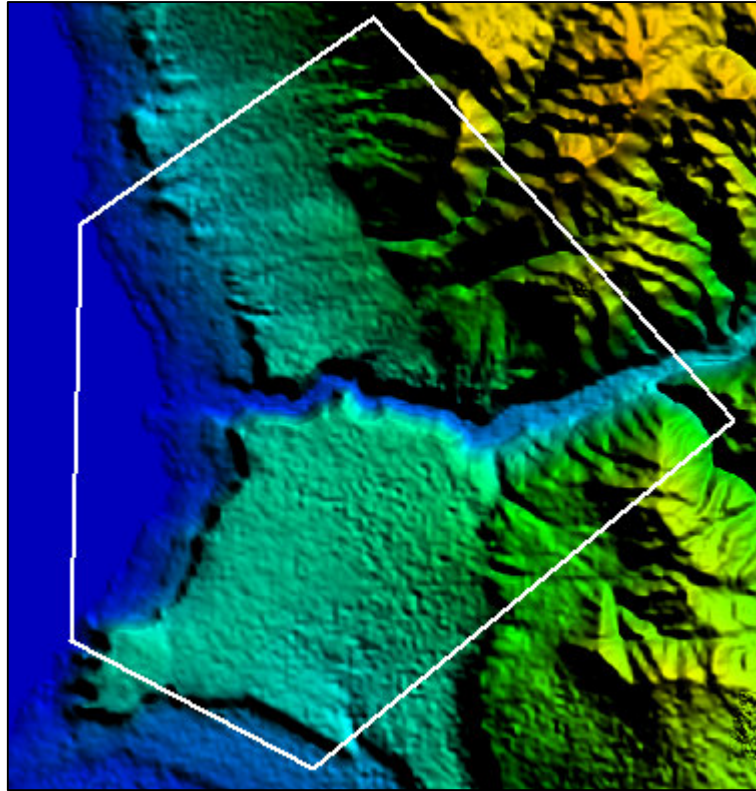


Figura 23. Modelo de Elevación Digital del Distrito de Ilo. *Fuente.* Datos tomados de “GeoService Perú” (2014)

5.3 Mediciones GPS

El Sistema de Posicionamiento Global (GPS) es un sistema de localización, diseñados para proporcionar estimaciones precisas de posición, velocidad y tiempo, se utiliza conjuntamente con una red de ordenadores y una constelación de 24 satélites para determinar mediante la triangulación la latitud, longitud y altitud de cualquier punto u objeto en la superficie terrestre (Medina y Gonzales, 2006).

Con el fin de obtener una buena precisión en la localización de las imágenes ortorectificadas se optó por usar puntos de control obtenidas mediante las técnicas diferenciales.

Cada Punto de Control (GCP), colectado en campo, tienen una ficha técnica que incluye coordenadas terrestres, una breve descripción, fotografía panorámica. (Ver Figura 24)





		DESCRIPCIÓN DE PUNTOS GPS	
NOMBRE: ILO_01	LOCALIDAD: PACOCHA	ESTABLECIDA POR: GEOSERVICE PERÚ S.A.C.	
UBICACIÓN: GARITA DE CONTROL		CARACTERÍSTICAS DE LA MARCA: FOTOIDENTIFICABLE	
LATITUD (S) WGS-84: S17°35'47.66920"		LONGITUD (W) WGS-84: O71°21'06.34166"	
NORTE (Y) WGS-84: 8052897.821		ESTE (X) WGS-84: 250418.717	
ALTURA ELIPSOIDAL: 44.583 m	ELEVACIÓN EGM96: 15.240 m	ZONA UTM: 19	ORDEN: C
IMÁGENES DE UBICACIÓN:			
			
IMÁGENES DE REFERENCIA:			
			
DESCRIPCIÓN:			
La estación "ILO_01", se encuentra ubicada en Prov. Ilo - Dist. Pacocha, el punto está al lado derecho de la carretera que lleva al c.p. Pueblo Nuevo, el punto está a 70m de la carretera en la esquina Suroeste del techo de la garita de control de la EMPRESA Ilo S.A, a 70 m está la poza de oxidación y a 50m noroeste está la caseta de monitoreo de la poza de oxidación.			
REFERENCIA: Hoja 36-t (Ilo) Escala 1/100 000			
DESCRITA POR: Freddy Chauca	REVISADO: Inq. Christian Garrido	JEFE PROYECTO: Inq. Belizario Blás S.	FECHA: Junio 2014

Figura 24. Ubicación del punto de control. Fuente. Datos tomados de "GeoService Perú" (2014)

5.4 Equipo de gabinete

A continuación se describen los principales equipos de gabinete y campo empleados en la realización del presente trabajo.

- 1 computadora: Intel (R) Core (TM) i7-3930K Procesador 3.2 GHz, Memoria RAM 32.0 GB, Disco duro de 1.81 T.
- Monitor de 24 pulgadas.
- Impresora HP c 2600.
- Conexión a red.
- Materiales de escritorio

5.5 Software

Los Programas que se usaron para el procesamiento de las imágenes de satélite fueron:

- **PCI Geomatics** versión 2013 para realizar la Orto rectificación.



Figura 25. Software PCI Geomatics 2013

- **Envi** (ENvironment for Visualizing Images) versión 5.1 para obtener algunos parámetros.



Figura 26. Software ENVI 5.1

6. METODOLOGÍA

La metodología aplicada para realizar el pre-procesamiento de la imagen WorldView-2, es la que se indicará en la siguiente Figura 27.

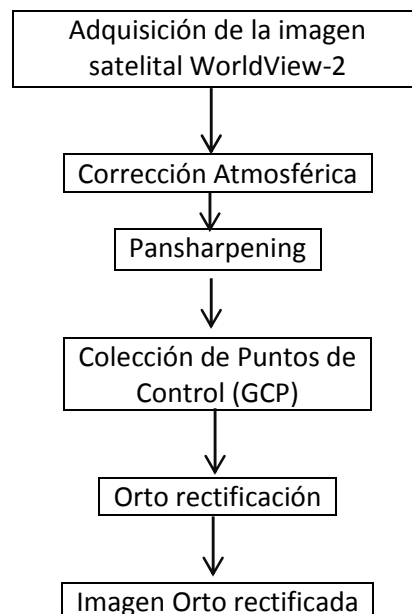


Figura 27. Diagrama de flujo del pre procesamiento.

6.1 Adquisición de la imagen satelital WorldView 2

En primer término, se procedió a la búsqueda y adquisición de la imagen del satélite WorldView-2, para el periodo establecido, verificando su disponibilidad y con un mínimo porcentaje de cobertura nubosa. La imagen del satélite WorldView-2, fue adquirida en formato TIFF, con 4 bandas multispectrales y 1 banda pancromática con sus respectivos archivos auxiliares que contienen información para realizar el proceso de la orto rectificación. Para la búsqueda se procedió de la siguiente manera

Primero: Ingresamos al buscador de DigitalGlobe

<https://browse.digitalglobe.com/>

Segundo: Existen varias maneras de definir el área de interés, dibujar un polígono, ingresar coordenadas o cargar un shape que se tiene del área de interés, con esta última opción se realizó, para ello en la pestaña polígono elegimos “Upload Shape file”

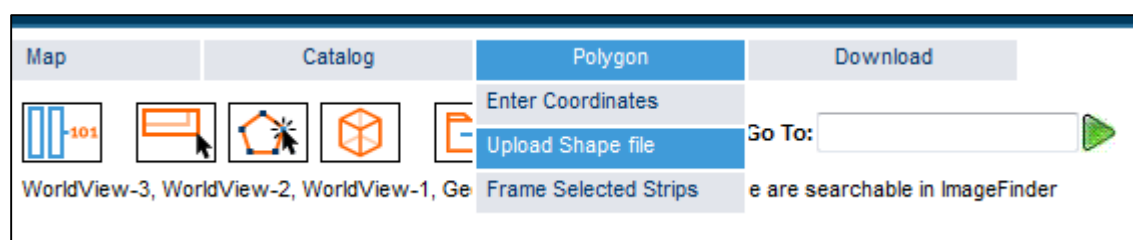


Figura 28. Carga del polígono del área de interés

Tercero: En la ventana que sale, damos clic en examinar, y buscamos el polígono “.shp” que tiene que estar en la proyección WGS-84 y luego en continuar.

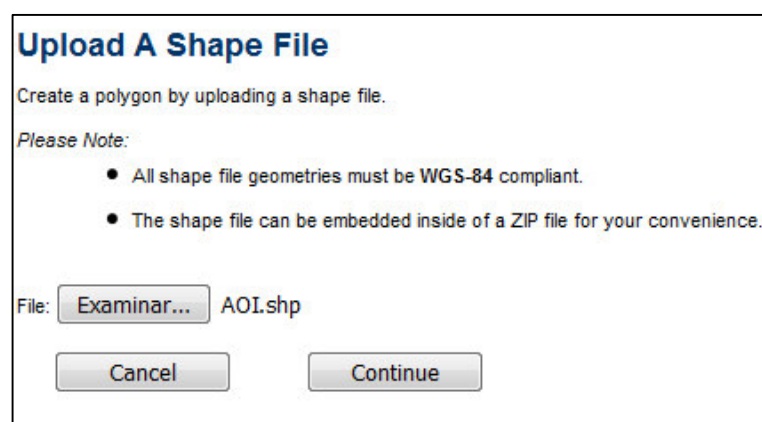


Figura 29. Polígono del área de interés

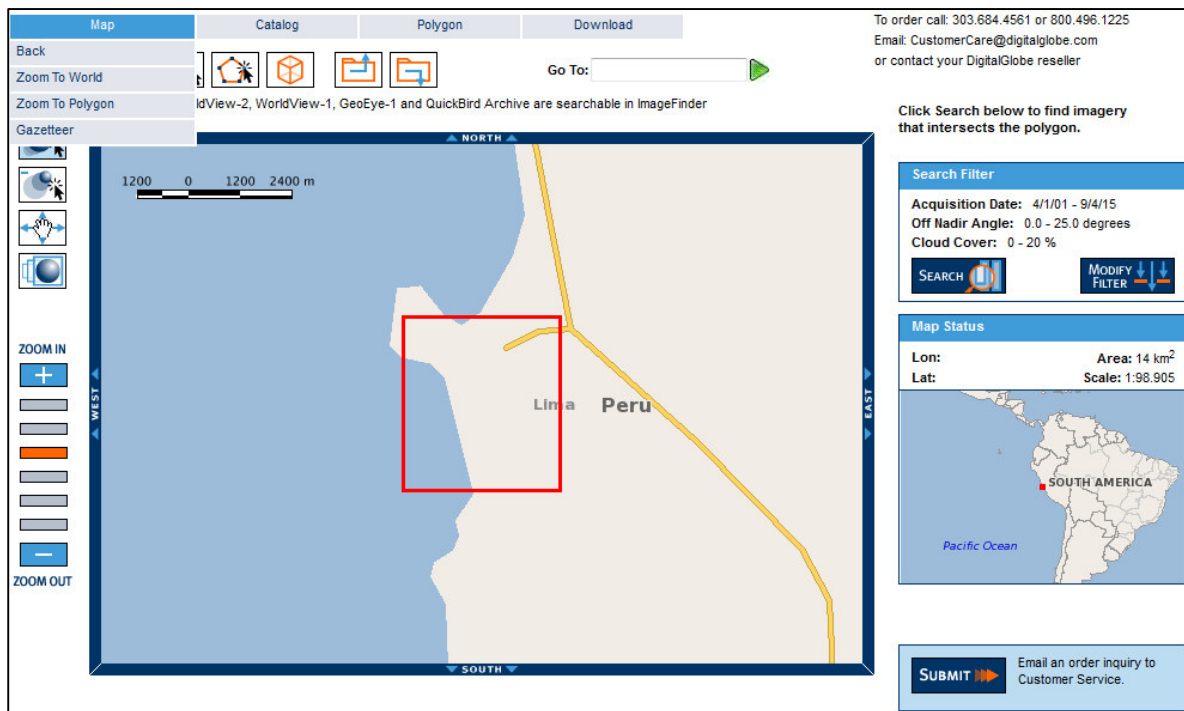


Figura 30. Ubicación en el buscador del área de interés

Cuarto: El siguiente paso es filtrar la búsqueda, basados en el tipo de sensor, las bandas multiespectrales que se necesitan para realizar un determinado trabajo, el intervalo de fecha, nubosidad, entre otras. Luego de elegir los filtros de búsqueda se le da en el botón “continue” para luego regresar a la ventana de la figura 30 para darle en “Search” la cual buscará poniendo de base el filtro de búsqueda que se definió anteriormente.

Figura 31. Filtrando la búsqueda de la imagen satelital

Quinto: Luego de dar clic en “Search” la ventana donde esta nuestra área de interés cambiara como en la figura 32 en donde los polígonos en tonos grises

representan imágenes tomadas en un determinado momento que abarca esta área de interés.

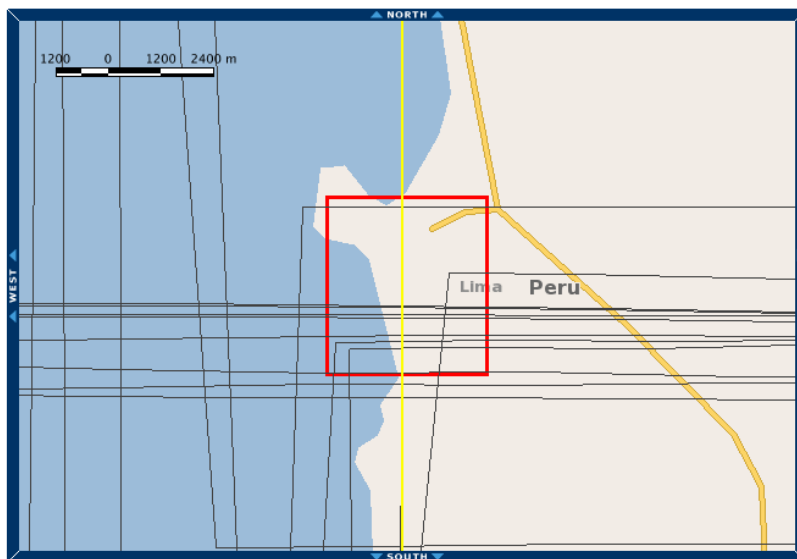


Figura 32. Imágenes satelitales que abarcan el área de interés

Además aparecerá una ventana en la cual están las características de cada imagen que abarca el polígono de tonos grises (ver Figura 33), luego de escoger la que cumpla con nuestros intereses, se procede a su posterior pedido.

https://browse.digitalglobe.com/imagefinder/catalogListDisplay.do?noCache=1441241071955

Catalog

22 images meet your filter criteria [Help](#) [Close](#)

Select	Browse Image	Catalog Id	Imaging Bands	Spacecraft	Acquisition Date	Total Max Off Nadir Angle	Area Max Off Nadir Angle	Area Min Sun Elevation	Area Max GSD	Total Cloud Cover Pct	Area Cloud Cover Pct	MS Aggr
<input type="checkbox"/>	View	101001000AC8D600	Pan-MS1	QB02	2009/12/15	18.01°	16.97°	66.39°	0.66 m	0%	0%	N/A
<input type="checkbox"/>	View	1050410004AD6C00	Pan-MS1	GE01	2013/12/26	19.56°	19.35°	63.42°	0.46 m	0%	0%	1x2
<input type="checkbox"/>	View	10504100032ACC00	Pan-MS1	GE01	2012/02/26	16.22°	14.43°	63.10°	0.43 m	45%	0%	1x1
<input checked="" type="checkbox"/>	View	10100100110B1300	Pan-MS1	QB02	2013/01/27	14.97°	11.28°	52.61°	0.64 m	28%	0%	N/A
<input type="checkbox"/>	View	1050410003493200	Pan-MS1	GE01	2012/04/07	20.40°	15.10°	58.00°	0.44 m	52%	3%	1x1
<input type="checkbox"/>	View	10504100032AEC00	Pan-MS1	GE01	2012/03/27	25.88°	24.80°	59.18°	0.49 m	31%	0%	1x1
<input type="checkbox"/>	View	1010010004254E00	Pan-MS1	QB02	2005/04/04	2.93°	2.51°	61.05°	0.61 m	20%	0%	N/A
<input type="checkbox"/>	View	1050410000C0B500	Pan-MS1	GE01	2012/04/21	23.55°	23.55°	57.07°	0.48 m	0%	0%	1x1
<input type="checkbox"/>	View	10504100014C0F00	Pan-MS1	GE01	2011/02/26	22.23°	21.21°	63.72°	0.47 m	0%	0%	1x1
<input type="checkbox"/>	View	10504100043D4F00	Pan-MS1	GE01	2013/12/15	18.75°	18.74°	63.36°	0.46 m	18%	11%	1x2
<input type="checkbox"/>	View	1050410003B7B400	Pan-MS1	GE01	2011/02/04	14.23°	13.43°	63.25°	0.44 m	8%	0%	1x1
<input type="checkbox"/>	View	101001000AA8F100	Pan-MS1	QB02	2009/11/22	8.51°	4.34°	68.49°	0.62 m	51%	0%	N/A
<input type="checkbox"/>	View	1050410002C64A00	Pan-MS1	GE01	2011/04/22	23.77°	23.09°	57.37°	0.48 m	1%	0%	1x1
<input type="checkbox"/>	View	105041000F521800	Pan-MS1	GE01	2013/12/15	18.75°	18.74°	63.36°	0.46 m	8%	0%	1x2
<input type="checkbox"/>	View	1050410004A5FF00	Pan-MS1	GE01	2013/12/18	17.77°	16.80°	65.14°	0.45 m	68%	0%	1x2

Figura 33. Catálogo de imágenes satelitales

La estructura de las carpetas que contiene la imagen satelital WV2 sin procesar es como se muestra en la Figura 34:

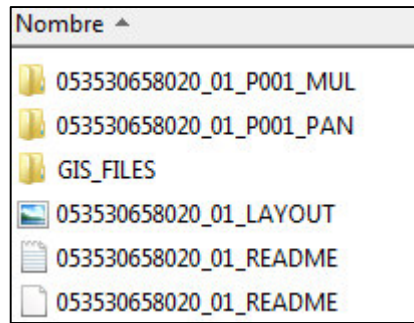


Figura 34. Carpetas que contienen la imagen satelital multiespectral y pancromática.
Fuente. Datos tomados de “GeoService Perú” (2014)

6.2 Corrección atmosférica

a) Proceso de Corrección atmosférica de las imágenes Satelitales

La atmosfera puede afectar la naturaleza de las imágenes de sensores remotos en un número de formas diferentes. A nivel molecular, los gases atmosféricos causan dispersión de Rayleigh que afecta progresivamente las longitudes de banda más cortas (provocando que el cielo se vea azul). Además los componentes atmosféricos principales como el oxígeno, el dióxido de carbono, el ozono y el vapor de agua (particularmente los dos últimos) causan la absorción de energía en longitudes de bandas seleccionadas. Las partículas de aerosol (un aerosol es una suspensión gaseosa de partículas líquidas o de sólidos finos) son el principal determinante de la neblina e introducen una dispersión Mie en gran medida no selectiva (es decir, que afecta a todas las longitudes de banda por igual). Los efectos atmosféricos pueden ser sustanciales (Eastman, 2003).

La corrección atmosférica busca entonces disminuir o eliminar las distorsiones que se introducen en las imágenes producto de la interacción de la atmósfera con el sensor. Los procedimientos habituales de corrección atmosférica en modelos físicos de transferencia radiativa a partir de información obtenida de la propia imagen y métodos de ajustes empíricos (Aguilar; Mora y Vargas, 2014).

Uno de los modelos más conocidos es MODTRAN (MODerate resolution atmospheric TRANsmission), el cual busca eliminar los efectos de la absorción y dispersión causados por las moléculas y partículas atmosféricas en suspensión, de la radiación recibida por el sensor y convertir esa radiancia a valores de reflectividad de superficie (Aguilar, *et al.* 2014).

FLAASH (Fast Line-of-sight Atmospheric Analysis of Spectral Hypercubes) es un módulo avanzado de corrección atmosférica disponible en el software

ENVI (ENvironment for Visualizing Images), el cual se basa en el algoritmo de transferencia de radiación MODTRAN4 desarrollado por Spectral Sciences Inc. Esta corrección atmosférica corrige en longitudes de onda en el visible (0.35 μ m-0.75 μ m), infrarrojo cercano (0.75 μ m-1.30 μ m) y ondas cortas del infrarrojo, hasta 3 μ m. Para este método, el valor de la reflectancia es calculado como una función de la radiancia total (L^*), de la irradiancia en la cima de la atmosfera (E_o), radiancia de la atmosfera (L_a) y de la transmitancia atmosférica en los dos caminos (T_s, T_v), todos estos parámetros están contenidos en el modelo MODTRAN4, incorporado en el software de procesamiento de imágenes satelitales ENVI (Aguilar, *et al.* 2014).

La ecuación para encontrar la reflectancia del suelo ρ se muestra a continuación (Sobrino, 2000):

$$\rho = \frac{(L^* - L_a)}{(L^* - L_a)S + \frac{E_o \mu_s T_s T_v}{\pi}} \quad (6)$$

Un paso previo para realizar la corrección atmosférica es convertir los niveles digitales a valores de radiancia, este proceso se denomina la corrección radiométrica.

b) Corrección radiométrica

La corrección radiométrica es un proceso de conversión de valores de niveles digitales (ND) a valores de radiancia. Este paso fundamental en los datos de imágenes, para ello se requiere los coeficientes de calibración. La ecuación utilizada para realizar la conversión de ND a valores de radiancia es (Pinilla, 2006a):

$$L_\lambda = \text{"Gain"} * ND + \text{"Offset"} \quad (7)$$

Dónde:

- L_λ : Radiancia espectral en la abertura del sensor en $\mu W (cm^2.sr.nm)^{-1}$
- "Gain": Coeficiente de calibración ganancia en unidades de $\mu W (cm^2.sr.nm)^{-1}/ND$
- "Offset": Representa el sesgo adicional

En esta fórmula, L_λ es la radiancia del pixel en una banda espectral específica y se calcula multiplicando la ganancia de dicha banda ("Gain") por el valor

del nivel digital (DN, en inglés) y luego adicionando el sesgo ("offset" o "bias") a dicho resultado.

6.3 Proceso de Fusión o Pan Sharpening

El proceso del Pansharp o fusión consiste en la combinación de las características de la imagen pancromática en niveles de grises de alta resolución espacial con su respectiva imagen multiespectral (con corrección atmosférica) con resolución espectral, teniendo como resultado una imagen fusionada en color de alta resolución que conserva las características de ambas imágenes, es decir una imagen multiespectral con 4 bandas y con una resolución espacial de 50 cm ("GeoSoluciones," 2008).

Los mejores resultados se obtienen cuando la imagen es recolectada simultáneamente y las resoluciones de los datos pancromáticos y multiespectrales se ajustan bastante. Las características espectrales del dato original serán conservadas en la imagen color de alta resolución resultante, esto significa que el análisis como la clasificación pueden ser hechas sobre la imagen pan-sharpened o fusionada con el beneficio agregado por la resolución espacial más alta ("GeoSoluciones," 2008).

Para realizar el proceso de Fusión de la imagen pancromática con la multiespectral se procedió a usar el módulo de Pansharp presente en el software PCI Geomatics, para ello se abrió ambas imágenes, luego tools -> Librarian -> PANSHARP y llegamos a la ventana de la Figura 35.

En la Figura 35, en el campo 1 "Imput Multiespectral Image Channel" seleccionamos y elegimos todas las bandas correspondientes a la imagen Multiespectral, es decir, elegimos las 8 bandas que tienen una resolución espacial de 2 m; en el campo 2 "Reference Image Channels" elegimos el orden de las bandas que tendrá el producto fusionado, en esta parte es recomendable considerar el mismo orden que tiene la imagen multiespectral para luego con el producto fusionado se haga las mismas combinaciones de bandas como si se trabajara con la muestra multiespectral, en otras palabras elegimos banda 1 como la primera, banda 2 como la segunda y así hasta la banda 8. En el campo 3 "Panchromatic Image Channel" elegimos la banda correspondiente a la banda pancromática que tiene una resolución espacial de 0.5 m. Y por último se da en clic en "Run" y obtenemos la imagen fusionada del ámbito de estudio (ver Figura 37). En la Figura 36 se puede observar la elección para cada campo.

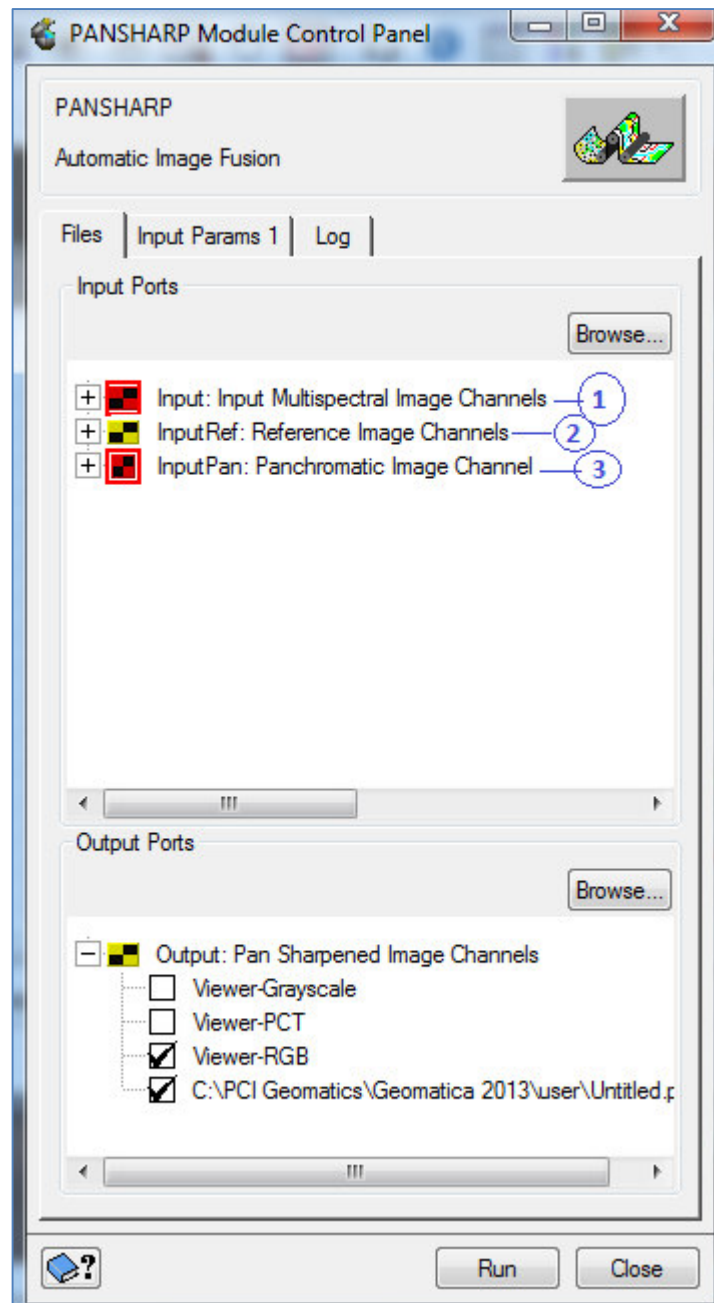


Figura 35. Panel de control Pansharp

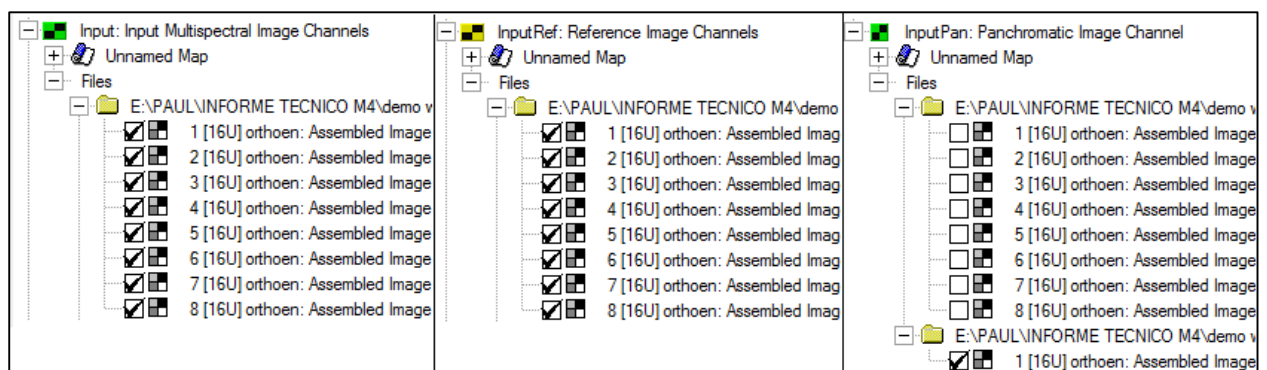


Figura 36. Ingreso de las bandas multiespectrales y pancromática para el proceso de Fusión.



Figura 37. Muestra de la imagen pancromática, multispectral y la fusión respectivamente. *Fuente.* Datos tomados de “GeoService Perú” (2014)

6.4 Colección de Puntos de Control

La empresa GeoService Perú S.A.C. realizó un levantamiento de puntos de control en campo (GCPs) utilizando un GPS diferencial (Ver Anexo), en este levantamiento se obtuvieron 13 puntos de control.

Cada punto de control (GCP) tiene una ficha descriptiva la cual incluye coordenadas terrestres, una breve descripción, vistas desde el satélite y fotografías panorámicas (ver Figura 38).

El proceso de colección de puntos de control, consiste en definir la ubicación de los puntos de control en la imagen a orto rectificar haciendo uso del software PCI y asignar a estas coordenadas de imagen (Image pixel, Image line) sus correspondientes coordenadas proyectadas (Easting (X), Northing (Y), MSL Elev (Z)), tal como se muestra en la Figura 39, para este proceso nos guiamos de la ficha descriptiva (ver Figura 38).





GSP		DESCRIPCIÓN DE PUNTOS GPS	
NOMBRE: ILO_07	LOCALIDAD: GARIBALDI GHERSI	ESTABLECIDA POR: GEOSERVICE PERÚ S.A.C.	
UBICACIÓN: CERCO PERIMÉTRICO		CARACTERÍSTICAS DE LA MARCA: FOTOIDENTIFICABLE	
LATITUD (S) WGS-84: S17°38'09.09650"		LONGITUD (W) WGS-84: O71°20'08.63246"	
NORTE (Y) WGS-84: 8048569.700		ESTE (X) WGS-84: 252174.407	
ALTURA ELIPSOIDAL: 56.873m	ELEVACIÓN EGM96: 27.857m	ZONA UTM: 19	ORDEN: C
IMÁGENES DE UBICACIÓN:			
			
IMÁGENES DE REFERENCIA:			
			
DESCRIPCIÓN: La estación "ILO_07", se encuentra ubicada en la urbanización Garibaldi Gheresi - Ilo, el punto está entre la avenida Américo Garibaldi y Argentina, el punto es la esquina Suroeste del cerco perimétrico de la casa de la esquina, a 90m Noroeste está la losa deportiva y a 120m Suroeste está el estadio.			
REFERENCIA: Hoja 36-t (Ilo) Escala 1:100 000			
DESCRITA POR: Freddy Chauca	REVISADO: Ing. Christian Garrido	JEFE PROYECTO: Ing. Belizario Blás S.	FECHA: Junio 2014

Figura 38. Ficha descriptiva del punto de control. *Fuente.* Datos tomados de "GeoService Perú" (2014)

La Estación "ILO_07"

Point ID:	ILO_07		GCP
Image pixel:	5183.3	+/- 0.1	P
Image line:	17377.0	+/- 0.1	L
Easting (X):	252174.407	+/- 1.000	m
Northing (Y):	8048569.700	+/- 1.000	m
MSL Elev (Z)	27.857	+/- 1.000	m

Figura 39. Datos Ingresados desde la Ficha de Campo al proyecto del software PCI

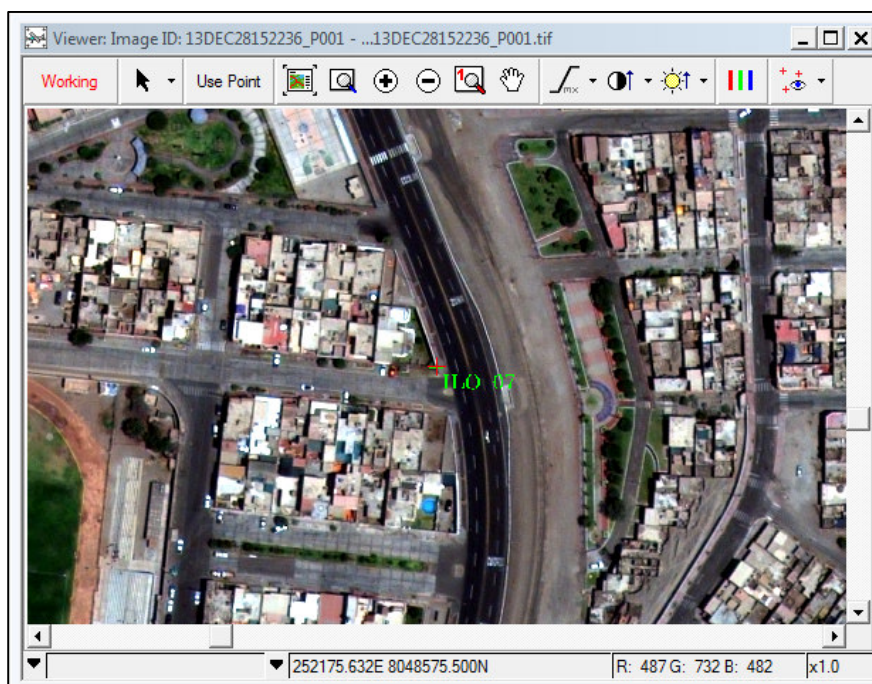


Figura 40. Ubicación de Punto de Control en la imagen. *Fuente.* Datos tomados de “GeoService Perú” (2014)

Nota: Se realizó el mismo procedimiento para los 13 puntos de control que están mostradas en la Cuadro 6.

Cuadro 6. Lista de los Puntos de Control utilizados en el proceso de la orto rectificación. *Fuente.* Datos tomados de “GeoService Perú” (2014).

GCP	X	Y	Z
ILO_01	250418.717	8052897.821	15.240
ILO_02	254612.793	8047959.843	191.190
ILO_03	251055.763	8046958.409	13.867
ILO_05	251375.300	8051555.559	26.970
ILO_06	251701.708	8049774.859	14.859
ILO_07	252174.407	8048569.700	27.857
ILO_08	253332.764	8047387.532	177.288
ILO_09	253224.895	8045842.080	167.934
ILO_10	255228.657	8045754.618	186.443
ILO_11	252616.214	8046622.163	167.004
ILO_12	255316.025	8049523.049	199.681
ILO_13	259303.499	8050099.421	108.192
ILO_14	253909.141	8045389.802	154.205

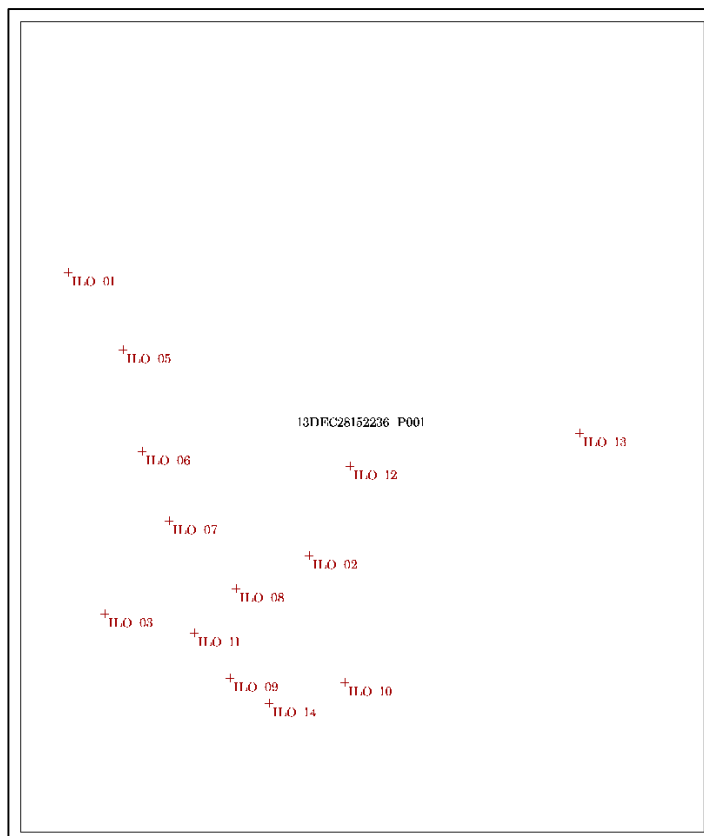


Figura 41. Visión general de la distribución de los puntos de control en el proyecto PCI. *Fuente.* Datos tomados de “GeoService Perú” (2014)

6.5 Proceso de la orto rectificación

Las imágenes satelitales deben prepararse de forma que se elimine la distorsión de la imagen debido a las variaciones espaciales ocurridas en el proceso de captura de la información e inherentes al movimiento del sensor (aleteo, cabeceo, variaciones en altura y velocidad, etc.) y por la necesidad de ajustar la información espacial a un sistema de referencia determinado (sistema geodésico, proyección cartográfica, etc.) a este proceso se le llama orto rectificación, este proceso permite realizar funciones sobre la imagen satelital tales como realizar medidas precisas y directas de distancias, ángulos, posiciones y áreas (García, W., *et al.* 2013).

Entonces este proceso de ortorectificación aplicado a la imagen satelital, produce una ortomagen donde cada pixel representa una posición verdadera sobre el terreno. En una imagen ortorectificada las distorsiones geométricas, las relacionadas a la topografía y las del sensor han sido removidas, dentro de una precisión específica, en donde se transforma la perspectiva central de la imagen satelital en una perspectiva ortogonal al terreno, donde la escala es constante, independiente de la altitud,

permitiendo realizar mediciones exactas de distancia y dirección (García, W., *et al.* 2013).

El proceso de ortorectificación ha sido posible debido a que la imagen satelital tienen los metadatos completos, tales como los archivos con extensiones XML, TIL, RPB e IMD.

El proceso de la ortorectificación consiste en tomar las coordenadas de la imagen asociado a los Coeficientes Polinomiales Racionales que son extraídos del archivo RPB y además se utiliza la altura para cada pixel de la imagen satelital, estos valores de elevación son obtenidos a partir de un Modelo de Elevación Digital (DEM).

Para garantizar la precisión requerida se usó los puntos de control mencionados en la sección 6.4

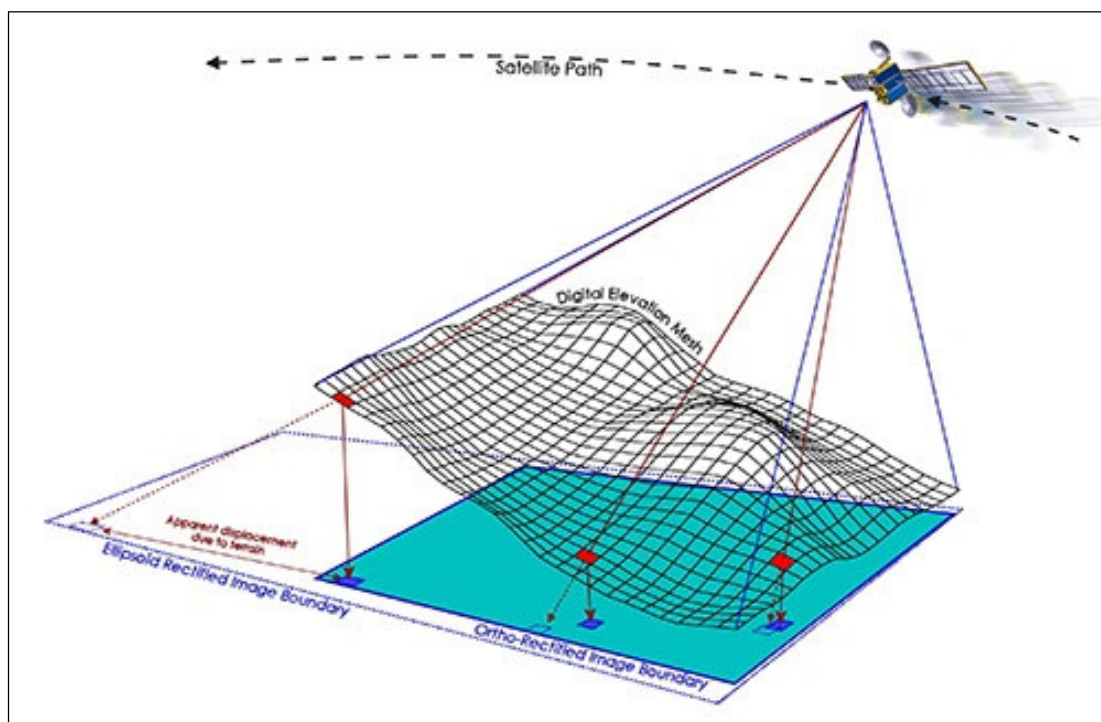


Figura 42. Proceso de orto rectificación. Fuente. Datos tomados de “GeoService Perú” (2014)

Características generales para el proceso

Como características generales para el proceso se tuvo en cuenta un Sistema de Referencia y Proyección Cartográfica, el que se usó para el proceso de orto rectificación fue:

- ✓ Elipsoide de referencia WGS84

- ✓ Datum Horizontal WGS84 Proyección Universal Transversal de Mercator (UTM)

Otro punto importante es la consideración del modelo de elevación digital (DEM) del área de interés para realizar el proceso de orto rectificación.

Los puntos de control GCP's tomados en campo son fundamentales también para el proceso de orto rectificación de imágenes y la localización de objetos con exactitud para así en conjunto con el DEM mejorar la precisión de la imagen orto rectificada.

Cabe resaltar que la precisión métrica con puntos de control es menos de 2m CE90% (para el 90% de los puntos).

6.5.1 Ejecutando el proceso de orto rectificación

Luego de haber ingresado todos los puntos de control (GCPs) en el proyecto de la imagen a orto rectificar se procedió a ejecutar el módulo de ortorectificación presente en el software PCI Geomatics, para ello se necesita ingresar son los siguientes datos:

- Imagen WorldView-2 con su respectivo archivo RPB.
- Puntos de control (GCP) de campo coleccionados.
- El modelo de elevación digital (DEM).

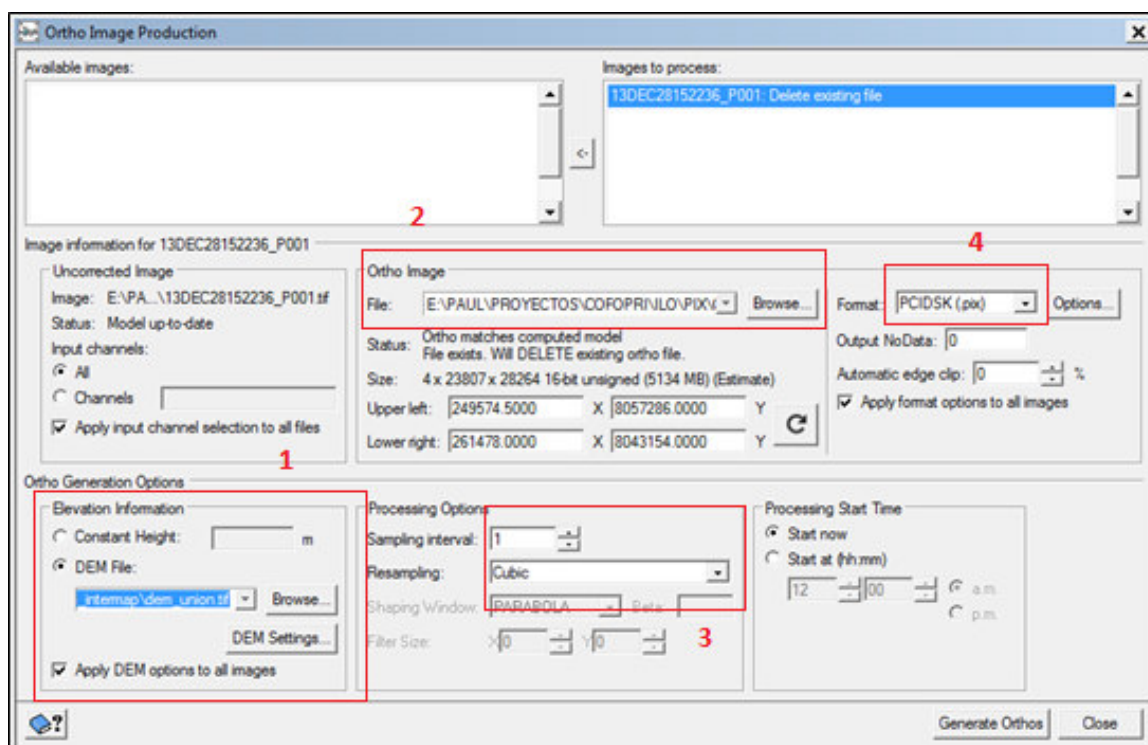


Figura 43. Dialogo de parámetros para la orto rectificación

En el campo 1 de la Figura 43 se elige el modelo de elevación digital (DEM) que en el presente caso fue el un DEM de 15m de resolución espacial, en este campo también hay la posibilidad de poner una altura constante a la región de interés pero sería inadecuado ya que este no representa fielmente las características de la superficie que abarca la imagen a orto rectificar, especialmente no se podría colocar una altura constante a zonas como el departamento de Ancash u otras de la sierra de nuestro territorio debido al relieve accidentado que presenta.

En el campo 2 se coloca el nombre y la salida de la imagen orto rectificada, debajo de este campo 2 hay una parte que hace alusión a los límites de la imagen a orto rectificar, estos son “Upper left” y “Lower right” (extremo superior izquierdo y extremo inferior derecho respectivamente) las cuales están en coordenadas UTM.

En el campo 3 se elige las opciones del proceso de re-muestro, entre ellas se tiene a: Nearest, Bilinear, Average filter, Median filter. El método de re-muestreo empleado para el proceso de la orto rectificación de las imágenes fue de convolución cúbica, esto permite obtener una imagen orto rectificada más definida en las vías, viviendas.

En el campo 4 se elige el formato de salida que por defecto el software PCI lo pone en formato PIX, pero también se puede elegir el formato TIF que es el más compatible con otros software de procesamiento.

7. RESULTADO

La imagen satelital fusionada y ortorectificada para el distrito de Ilo se puede observar en la siguiente figura:

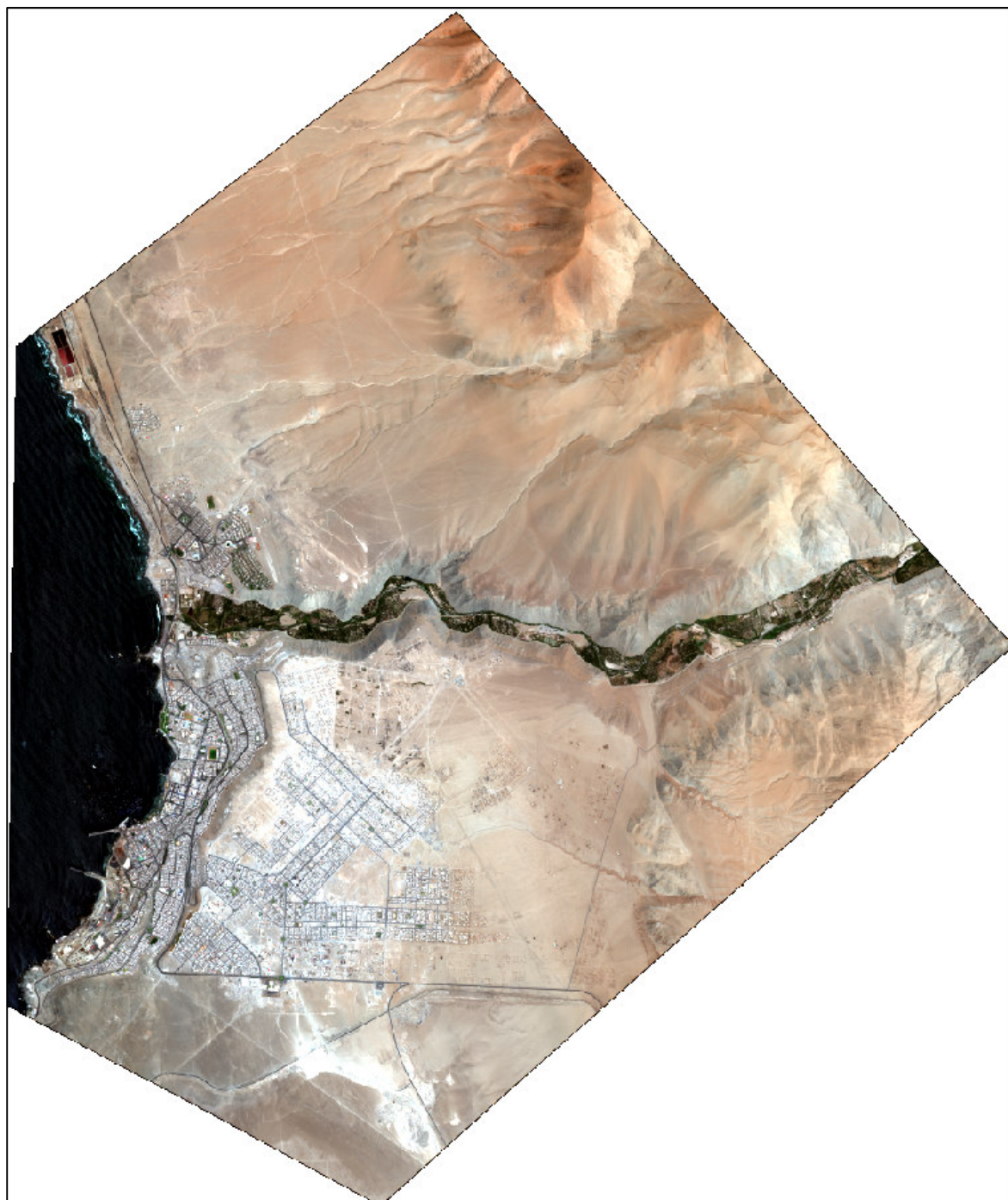


Figura 44. Imagen satelital ILO_WV2_50cm_13DEC28 fusionada y ortorectificada. *Fuente.* Datos tomados de "GeoService" (2014)

En el siguiente cuadro se muestran los errores RMS en unidades del tamaño de terreno, en las direcciones X e Y, además del error total XY, que es menor a 50 cm

Cuadro 7. Número de GCPs y RMS para cada escena en unidades de Terreno. *Fuente.* Datos tomados de “GeoService Perú” (2014)

Imagen original	GCP	X RMS	Y RMS	XY RMS
13DEC28152236_P001	13	0.21	0.20	0.29

Residual Summary for 13DEC28152236_P001			
GCPs:	13	X RMS:0.21	Y RMS:0.20
Check points:	0	X RMS:	Y RMS:
Tie points:	0	X RMS:	Y RMS:

Figura 45. Reporte de los errores medios cuadráticos (RMS) en ground. *Fuente.* Datos tomados de “GeoService Perú” (2014)

En el siguiente cuadro se muestra los errores RMS en unidades del tamaño del pixel, en las direcciones X e Y, además del error total XY, que es menor a la unidad del tamaño del pixel.

Cuadro 8. Número de GCPs y RMS para cada escena en unidades de Pixel. *Fuente.* Datos tomados de “GeoService Perú” (2014)

Imagen original	GCP	X RMS	Y RMS	XY RMS
13DEC28152236_P001	13	0.42	0.40	0.58

Residual Summary for 13DEC28152236_P001			
GCPs:	13	X RMS:0.42	Y RMS:0.40
Check points:	0	X RMS:	Y RMS:
Tie points:	0	X RMS:	Y RMS:

Figura 46. Reporte de los errores medios cuadráticos (RMS) en pixel. *Fuente.* Datos tomados de “GeoService Perú” (2014).

En las siguientes figuras (ver Figuras 47 - 59) se muestran los GCPs sobre la imagen orto rectificadas en las cuales se puede apreciar la proximidad de cada punto colectado en campo con su respectiva ubicación en la imagen satelital:

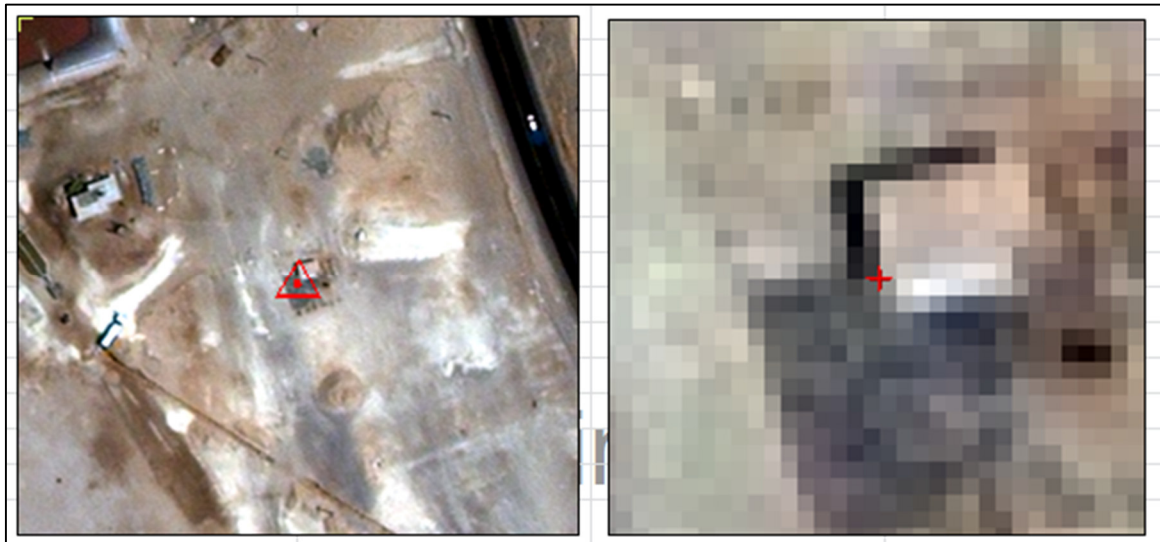


Figura 47. GCP ILO_01 en la imagen orto rectificada. *Fuente.* Datos tomados de “GeoService Perú” (2014)

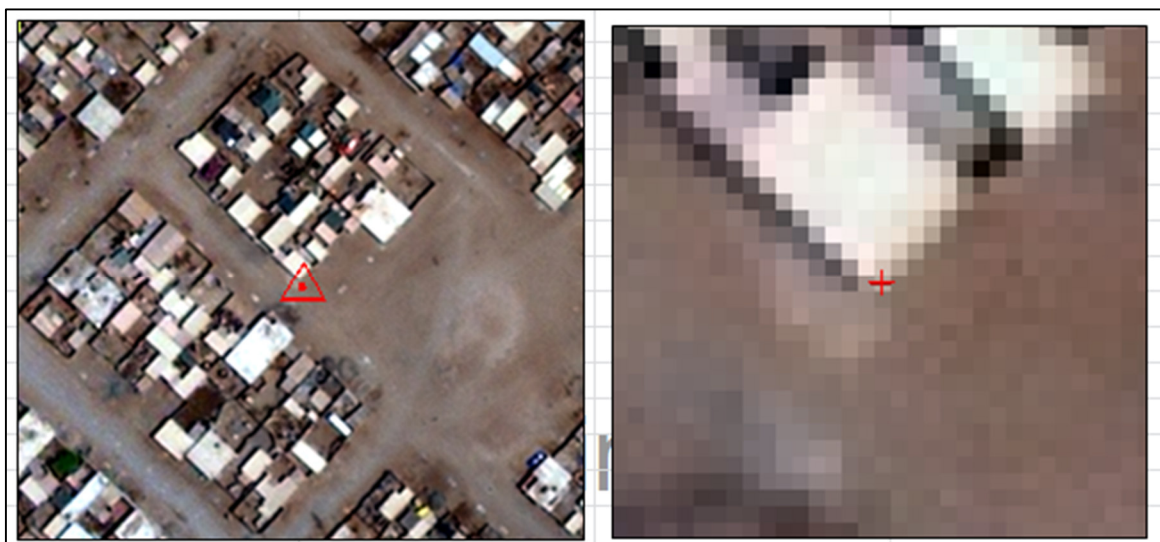


Figura 48. GCP ILO_02 en la imagen orto rectificada. *Fuente.* Datos tomados de “GeoService Perú” (2014)



Figura 49. GCP ILO_03 en la imagen orto rectificada. *Fuente.* Datos tomados de “GeoService Perú” (2014)



Figura 50. GCP ILO_05 en la imagen orto rectificada. *Fuente.* Datos tomados de “GeoService Perú” (2014)



Figura 51. GCP ILO_06 en la imagen orto rectificada. *Fuente.* Datos tomados de “GeoService Perú” (2014)

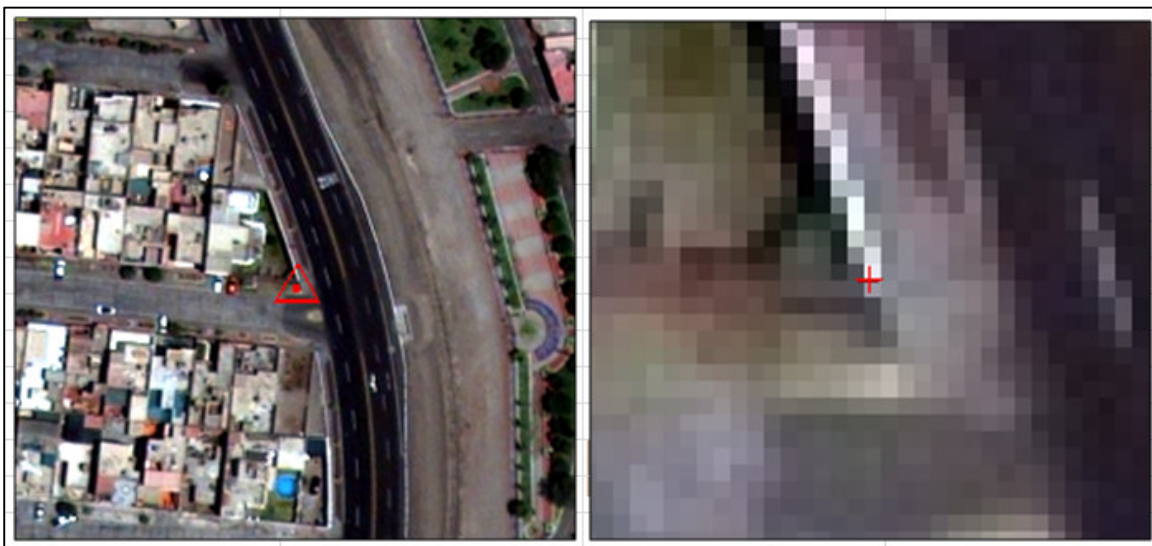


Figura 52. GCP ILO_07 en la imagen orto rectificada. *Fuente.* Datos tomados de “GeoService Perú” (2014)



Figura 53. GCP ILO_08 en la imagen orto rectificada. *Fuente.* Datos tomados de “GeoService Perú” (2014)



Figura 54. GCP ILO_09 en la imagen orto rectificada. *Fuente.* Datos tomados de “GeoService Perú” (2014)

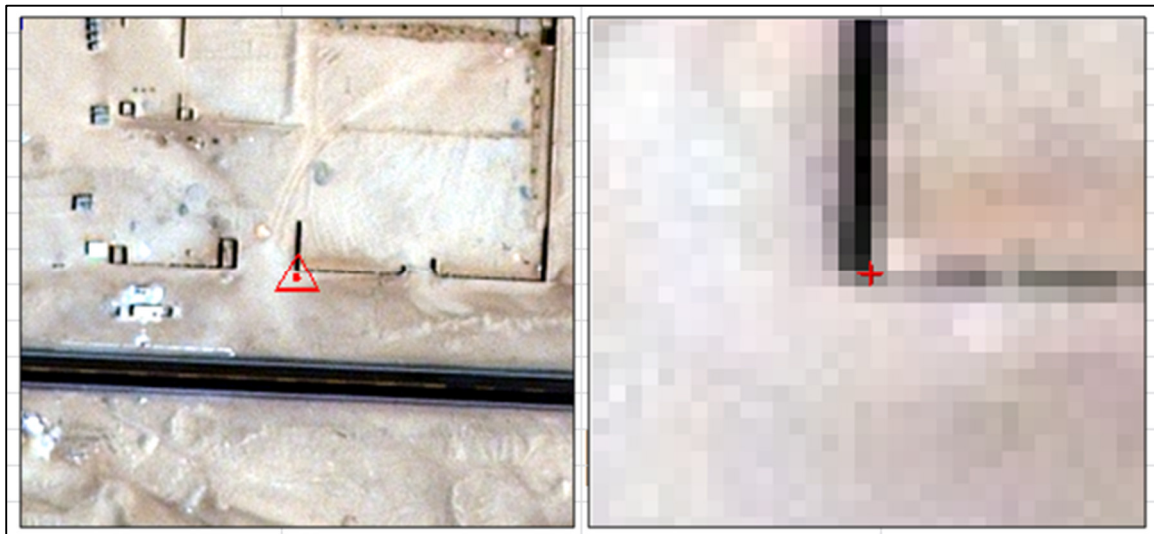


Figura 55. GCP ILO_10 en la imagen orto rectificada. *Fuente.* Datos tomados de “GeoService Perú” (2014)



Figura 56. GCP ILO_11 en la imagen orto rectificada. *Fuente.* Datos tomados de “GeoService Perú” (2014)

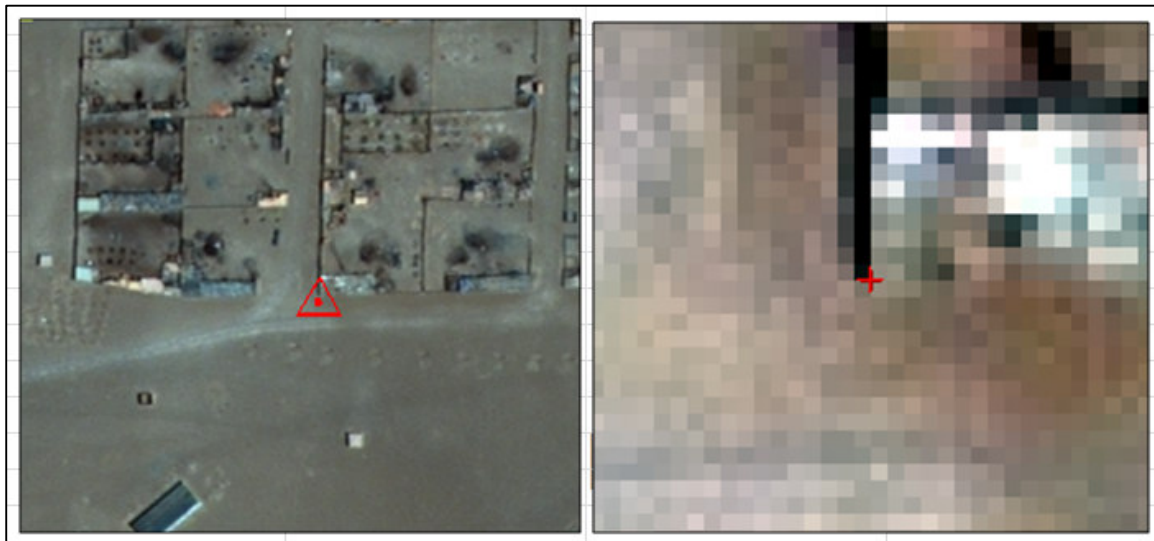


Figura 57. GCP ILO_12 en la imagen orto rectificada. *Fuente.* Datos tomados de “GeoService Perú” (2014)

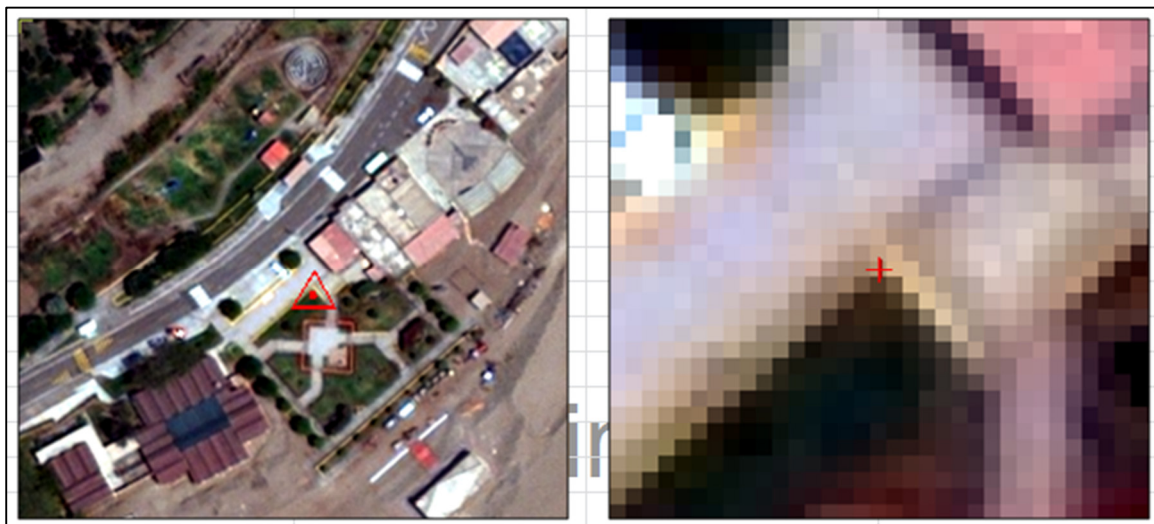


Figura 58. GCP ILO_13 en la imagen orto rectificada. *Fuente.* Datos tomados de “GeoService Perú” (2014)

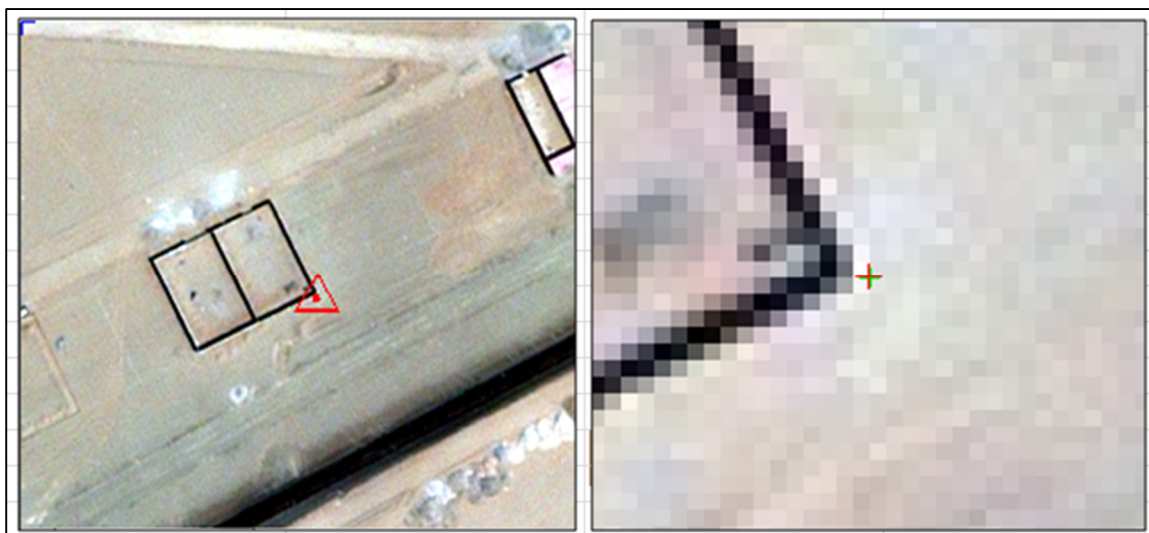


Figura 59. GCP ILO_14 en la imagen orto rectificada. *Fuente.* Datos tomados de “GeoService Perú” (2014)

Bien es cierto que en el cuadro 7 y 8 se muestra un error general que es dado por el mismo software PCI, a continuación en el cuadro 9 mostramos los errores individuales por cada GCP, estos representan la distancia entre la posición del GCP ubicado en el software PCI con respecto a la ubicación de ese mismo GCP en la imagen ya orto rectificada:

Cuadro 9. Errores de los GCPs en la imagen orto rectificada. *Fuente.* Datos tomados de “GeoService Perú” (2014)

Punto ID	Error (m)
ILO_01	0.42
ILO_02	0.62
ILO_03	0.16
ILO_05	0.03
ILO_06	0.50
ILO_07	0.09
ILO_08	0.68
ILO_09	0.17
ILO_10	0.49
ILO_11	0.76
ILO_12	0.26
ILO_13	0.19
ILO_14	0.45

8. PRODUCTO FINAL

Al usuario final se le entrega una imagen ortorectificada en formato PIX y TIFF con el siguiente código:

- ILO_WV2_50cm_13DEC28

En donde el primer término de la nomenclatura representa el distrito de Ilo, el siguiente el tipo de sensor con el que fue tomada la imagen satelital que es WorldView 2, el siguiente representa la resolución del pixel, 50 cm y el último representa la fecha de la imagen ortorectificada, 28 de diciembre del 2013.

Además de la imagen orto rectificada, se entrega las coordenadas de los puntos de control en formato "shapefile" y en formato "KMZ", este último formato ofrece la posibilidad de visualizarlo directamente en GoogleEarth. Las fotos de campo también forman parte de la entrega, en ellas se cuentan con un promedio de cuatro fotos panorámicas por cada punto de control (GCP) y gracias a ella es posible la ubicación en la imagen satelital a procesar.

9. OBSERVACIONES

- A. En los trabajos de levantamiento de GCPs (Puntos de Control), se presentaron constantemente durante todo la duración del proyecto los siguientes problemas, de mayor o menor grado en cada ámbito, tales como:
 - Prohibido el acceso e ingreso a zonas de propiedad privada (fábricas, urbanizaciones, asentamientos humanos, etc.)
 - Zonas de alta delincuencia o protegidos por delincuentes.
 - Zonas o residencias privadas, militares, policiales, etc.
 - Problemas sociales (cierre de carreteras, paros, huelgas, etc.)
 - Algunos GCP fueron de difícil acceso debido a la propia geografía del lugar.
- B. Las condiciones climáticas no favorecían para que se realice la toma de la imagen satelital la que hacia un retraso en el inicio del proceso de orto rectificación.
- C. En algunos ámbitos, especialmente de la sierra peruana se observaban que la altura del GCP colectado en campo variaba mucho con respecto al del DEM (alrededor de 10m en algunas ocasiones) en este caso el DEM tuvo que ser editado en el área de fotogrametría, posteriormente de ser

editado el DEM se procedía a orto rectificar la imagen satelital; sin esta edición el error en el plano horizontal podía pasar los 6 metros.

- D. Antes de realizar los trabajos de campo en la obtención de GCPs se sugirió puntos a tomar teniendo la imagen cruda y con la ayuda de Google Earth se presentaron capturas a diferentes escalas del punto sugerido escogido principalmente porque se encontraba bien definido en la imagen satelital, estas capturas fueron acompañadas de un cuadro en con sus coordenadas UTM y con fotos de Street View de la plataforma de Google Earth. Esto se hizo con la intención de evitar que se tomaran GCPs en estructuras que aún no estaban en la imagen satelital a procesar.

10. RECOMENDACIONES

- A. Lo que principalmente afecto el desarrollo de este proyecto fue en la toma de puntos de control (GCPs) y estos se debieron principalmente a la falta de los siguientes puntos:
- No se realizó las coordinaciones necesarias con los Gobiernos Regionales, Municipalidades Provinciales, Municipalidades Distritales, oficinas zonales de COFOPRI, para tener facilidades en el trabajo de campo (Colecta de GCPs necesario)
 - Una carta de presentación de la empresa Geoservice Perú S.A.C. indicando que estamos realizando levantamiento de Puntos de Control en los centros poblados, capitales de distritos, capitales de provincia a nivel nacional.
- B. Se recomienda un mínimo de 10 GCPs por cada 100 km² de área de imagen satelital para así garantizar una imagen ortorectificada de mayor precisión y que estos GCPs estén bien distribuidos sobre el área a trabajar

11. CONCLUSIONES

- El producto que es la imagen satelital ortorectificada en la que se puede llevar a cabo mediciones más precisas que si lo hiciéramos sobre imágenes crudas. Esta precisión está representado en un indicador principal que es el RMSE (Root Mean Square Error) y en español puede ser traducido como error medio cuadrático; estos valores se pueden observar en los cuadros 7, 8 y 9 que tiene un error medio cuadrático menor a un metro.
- El resultado del proceso de ortorectificación da una imagen que considera las deformaciones del terreno y que de esta forma sea fielmente representado asistido por la ayuda importante y esencial de colección de puntos de control de terreno (GCP por sus siglas en ingles) y de un modelo de elevación digital (DEM) adecuado.
- El valor del RMSE es la clave que nos da las pautas para saber a qué escala geométrica van a poder ser generados los productos cartográficos o topográficos que se desean derivar a partir de las imágenes ortorectificadas. El organismo FGDC (Federal Geographic Data Committee) ayuda a definir estándares en cuanto a la producción cartográfica o topográfica se refiere, esto incluye un cuadro que relaciona el RMSE con su equivalente en escala de mapa [21]. Cabe recalcar que el RMSE en metros para el presente trabajo fue de 0.29 (ver Cuadro 7).

Cuadro 10. Estándar de precisión para Mapas a gran escala Clase 1. *Fuente.* Datos tomados de “Federal Geographic” (1998)

Clase 1. Precisión planimétrica RMSE (metros)	Escala de mapa
0.0125	1:50
0.025	1:100
0.050	1:200
0.125	1:500
0.25	1:1,000
0.50	1:2,000
1.00	1:4,000
1.25	1:5,000
2.50	1:10,000
5.00	1:20,000

- Es de gran importancia también que la imagen ortorectificada se le entregue en valores de reflectancia ya que al realizar este proceso de corrección atmosférica se está quitando los efectos de la atmosfera, esto se realiza para poder hacer un análisis posterior de clasificación observando sus firmas espectrales.

12. BIBLIOGRAFÍA

1. **Aguilar H.; Mora R.; Vargas C. (2014).** Centro Nacional de Alta Tecnología, Costa Rica. Atmospheric Correction Methodology for Aster, RapidEye, Spot 2 and Landsat 8 images with Envi Flaash module software.
2. **Aguilar Sesser Miguel (2004).** Fotointerpretación, Espectro Electromagnético. Instituto de Agrimensura – Facultad de ingeniería, UdelaR.
3. **Centro Nacional de Información y Comunicación Educativa, Gobierno de España (CNICE) (2006).** Concurso cnice. Fundamentos de Teledetección. Obtenido desde http://concurso.cnice.mec.es/cnice2006/material121/unidad1/i_resolucion.htm
4. **Chuvieco Emilio (1995).** Fundamentos de Teledetección Espacial. Segunda edición, Madrid.
5. **DigitalGlobe, Capacidad de Toma de Imágenes de WorldView-2 (2016).** Obtenido desde <http://www.gttimaging.com/Home/WorldView2/WorldView2Capacity-DS-WV2C-ES-A4.pdf>
6. **DigitalGlobe, Hojas de Datos WorldView 2 (2016).** Obtenido desde http://global.digitalglobe.com/sites/default/files/DG_WorldView2_DS_PROD.pdf
7. **Eastman J. Ronald (2003).** IDRISI Kilimanjar, Guía para SIG y Procesamiento de Imágenes.
8. **Fernández Tomás (2008).** Apuntes del 2º curso de IT en Topografía, EPS Jaén, Imágenes Digitales, Universidad de Jaén, España.
9. **García, W; Marchand, G; Llactayo, W; Salcedo, K; Victoria, E; Zambrano, A. (2013).** Protocolo – Orto rectificación de Imágenes Landsat.
10. **GeoService Perú (2014).** Informe Pre Procesamiento de la Imagen Satelital WorldView-2 en el distrito de Ilo.
11. **GeoSoluciones (2008).** Manual de PCI Geomatica 10.
12. **Grupo Técnico Teledet Uruguay (2007).** Interacciones Atmosféricas. Obtenido desde <http://www.teledet.com.uy/tutorial-imagenes-satelitales/atmosfera-dispersion-absorcion.htm>

13. **Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras José Benito Vives D'andreis (2003).** Proyecto Indicadores de Línea Base, Protocolos de Monitoreo.
14. **Intermap – Nexmap (2012).** Obtenido desde <http://www.geosoluciones.cl/nextmap/>
15. **Lillesand Thomas; Kiefer Ralph; Chipman Jonathan (2004).** “Remote Sensing and Image Interpretation”. 5a. ed. Wiley.
16. **Medina Hugo; Gonzales Víctor (2006).** Capacitación para trabajadores mineros de Cerro Rico – Base Rey.
17. **Pinilla Ruiz Carlos (2006a).** Curso de Teledetección, Correcciones Radiométricas. Departamento de ingeniería cartográfica. Universidad de Jaén, España.
18. **Pinilla Ruiz Carlos (2006b).** Curso de Teledetección, Imagen Digital. Departamento de ingeniería cartográfica. Universidad de Jaén, España.
19. **Sarría Francisco Alonso (2003).** Apuntes de Teledetección y SIG, Fotointerpretación y Teledetección. Universidad de Murcia, España.
20. **Scan Terra Consultores (2006).** Obtenido desde http://www.scanterra.com.ar/conozca_mas.html
21. **Sobrino José A. (2000).** Teledetección, Universidad de Valencia.
22. **The Federal Geographic Data Committee (1998).** Geospatial Positioning Accuracy Standars – National Standard for Spatial Data Accuracy.
23. **Vargas Ruben D. (1999).** ITC-ESA. Boudewijn van Leeuwen, ITC – RSG - GTS. Proyecto UNESCO-RAPCA. Cursos de capacitación, Sistema de Teledetección – Introducción.
24. **Welti Reinaldo (2013).** La explicación del azul de cielo. Una aventura del pensamiento. Rosario – Argentina.

ANEXOS

ANEXO 1. Respecto a la obtención de los puntos de control

Los Puntos de Imagen Control Horizontal Vertical (PICHV), se encuentran distribuidos dentro del área del proyecto en los distritos Pacocha e Ilo de la provincia de Ilo, en el departamento de Moquegua, de acuerdo al detalle siguiente (GeoService Perú):

Cuadro 11. Ubicación de los 14 PICHV – Ilo- Moquegua

N°	PUNTO	DISTRITO	PROVINCIA	DEPARTAMENTO
1	ILO_01	Pacocha	Ilo	Moquegua
2	ILO_02	Ilo	Ilo	Moquegua
3	ILO_03	Ilo	Ilo	Moquegua
4	ILO_04	Ilo	Ilo	Moquegua
5	ILO_05	Pacocha	Ilo	Moquegua
6	ILO_06	Ilo	Ilo	Moquegua
7	ILO_07	Ilo	Ilo	Moquegua
8	ILO_08	Ilo	Ilo	Moquegua
9	ILO_09	Ilo	Ilo	Moquegua
10	ILO_10	Ilo	Ilo	Moquegua
11	ILO_11	Ilo	Ilo	Moquegua
12	ILO_12	Algarrobal	Ilo	Moquegua
13	ILO_13	Algarrobal	Ilo	Moquegua
14	ILO_14	Ilo	Ilo	Moquegua

a. Instrumentos y equipos:

▪ Receptores Trimble R-6	02
▪ Receptores GNSS TOPCON HIPER II	02
▪ Trípode	02
▪ Base nivelante	02
▪ Batería de 12 voltios	04
▪ Software de gabinete TBC v.2.7	01
▪ Ordenador portátil (laptop)	01
▪ Navegador GPS-Garmin	02
▪ Cámara fotográfica	02
▪ Winchas de 5m	02

b. Características técnicas del receptor GNSS TOPCON HIPER II

CAPACIDADES DE SEGUIMIENTO

Número de canales:		72 canales universales
Señales seguidas	GPS	L1 CA, L1/L2 Código-P, L2C
	GLONASS	L1/L2 CA, L1/L2 Código-P
	SBAS	WAAS, EGNOS, MSAS

PRECISIÓN POSICIONAMIENTO*1

Estático	L1+L2	H: 3 mm + 0.5 ppm V: 5 mm + 0.5 ppm
----------	-------	-------------------------------------

INTERFACE USUARIO

Operación un solo botón de		Para encendido, reset receptor, inicialización memoria
Panel pantalla		Indicadores 22 LED de estado

GESTIÓN DE DATOS

Formato de datos		RTCM SC104 1/2.2/2.3/3.0/3.1, CMR, CMR+, NMEA, TPS
Ratio actualización/Output*2		1 Hz, 5 Hz, 10 Hz, 20 Hz
Puerto comunicación		RS-232C (4.800 a 115.200 bps)

COMUNICACIÓN INALÁMBRICA

Modem Bluetooth®		V.1.1, Class 1, 115.200 bps
Radio UHF*3		Interna, receptor (RX) y transmisor (TX), 410 a 470 MHz
Modem GSM*3		Interno

PROTECCIÓN MEDIOAMBIENTAL

Protección Polvo / Agua tapados		IP67 (IEC 60529:2001) con todos los conectores
Choque ECM),		Protección contra inmersión temporal hasta 1 m de profundidad Caída de jalón de 2 m, SAEJ1455, Sección 4.7 (4G)
Temperatura uso/almacenaje		MIL-STD 202G, Método 214A -40°C a +65°C / -45°C a +70°C
Humedad		100%, condensación

FÍSICAS

Carcasa		Aleación de magnesio
Tamaño		Diámetro 184 x Altura 95 mm
Peso receptor HiPer II/BDC58		1.1 kg / 195 g

ALIMENTACIÓN

Batería estándar BDC58		Extraíble, batería recargable Li-ion, 7.2V, 4.3 Ah
Tiempo de uso a 20°C		7.5 horas en modo estático con conexión Bluetooth
Cargador CDC68		Tiempo recarga Aprox. 4 horas a 25°C (de 100 a 240V AC (50/60 Hz)*4)
Alimentación externa		
Voltaje de entrada		6.7 a 18V DC

c. Características técnicas del Sistema GPS Trimble R6

MEDICIONES

- ✓ Tecnología Trimble R-Track para soporte GLONASS
- ✓ Chip GNSS topográfico personalizado Trimble Maxwell™ avanzado
- ✓ Correlador múltiple de alta precisión para medidas de pseudodistancia de GNSS
- ✓ Sin filtrado, datos de medidas de pseudodistancia sin suavizado, para lograr un bajo ruido, bajo índice de error multipath, un bajo tiempo de correlación y una alta respuesta dinámica
- ✓ Medidas de fase portadora de L1, L2 y L5 de muy bajo ruido con una precisión <1 mm en un ancho de banda de 1 Hz
- ✓ Las razones de señal-ruido de L1, L2 y L5 se señalan en dB-Hz
- ✓ Probada tecnología de rastreo de baja elevación de Trimble
- ✓ 72 Canales:
 - Código GPS L1 C/A, Portadora de Ciclo Completo L1/L2
 - Código GLONASS L1 C/A , Código L1 P, Código L2P, Portadora de Ciclo Completo L1/L2
 - Soporte SBAS WAAS/EGNOS

RENDIMIENTO DE POSICIÓN 1

Posicionamiento GPS diferencial de código

Horizontal 0,25 m + 1 ppm RMS

Vertical 0,50 m + 1 ppm RMS

Precisión de posicionamiento

diferencial SBAS2 por lo general, menos de 5 m 3DRMS

LEVANTAMIENTOS GNSS ESTÁTICOS

Estáticos de alta precisión

Horizontal 3 mm + 0,1 ppm RMS

Vertical 3,5 mm + 0,4 ppm RMS

Estáticos y Fast Static

Horizontal 3 mm + 0,5 ppm RMS

Vertical 5 mm + 0,5 ppm RMS

Levantamientos cinemáticos en tiempo real

Línea base <30 km

Horizontal 8 mm + 0,5 ppm RMS

Vertical 15 mm + 0,5 ppm RMS

Tiempo real con red de estaciones

Horizontal 8 mm + 0,5 ppm RMS

Vertical 15 mm + 0,5 ppm RMS

Tiempo de inicialización. Generalmente <15 segundos

Fiabilidad de la inicialización. Generalmente >99,9%

d. Metodología

Dada las características del proyecto según la información proporcionada, fue necesario tener presente algunos factores principales que afectan en la calidad de los resultados, para el caso de este proyecto se analizan las siguientes características que se detalla a continuación:

Método diferencial del Sistema de Posicionamiento Global

Este método consiste en recibir la señal electromagnética emitida por los satélites de la constelación que conforman el Sistema de Posicionamiento Global para determinar la posición relativa de puntos sobre la superficie terrestre.

El uso de la Estación Permanente en Moquegua (MQ01), Ilo (MQ02)

El método diferencial GPS consiste en recibir datos en un punto por conocer en referencia a las coordenadas de un punto de origen conocido en el mismo lapso de tiempo y de los mismos satélites.

Enlazar el punto a determinar (Rover) a un punto de coordenadas conocidas (Base) genera una línea base, apoyado en la alta consistencia de la implementación del sistema de navegación por satélite y a la adecuada aplicación de técnicas en su manejo, con ello hoy en día se obtienen buenos resultados.

Control horizontal y vertical

La posición horizontal se determina por parámetros del elipsoide **WGS84**, y son generados por las efemérides de los satélites para cada instante en el tiempo. Actualmente para Perú, el elipsoide de uso oficial es el **WGS84**.

Igualmente la posición vertical se determina sobre el elipsoide **WGS84** lo cual no es compatible con la cota del terreno; esta altura elipsoidal puede ser reducida a un modelo geoidal matemático, para ello se interpolan las coordenadas Latitud y Longitud para cada punto, obteniéndose de esta manera una elevación geoidal, que para este proyecto es el modelo geoidal **EGM96** que es el mismo modelo que emplea el **Instituto Geográfico Nacional (IGN)**.

e. Ejecución

La empresa GEOSERVICE S.A.C. a través de su sección topografía y de Geodesia, realizó el establecimiento de Puntos de imagen control horizontal vertical PICHV, determinando coordenadas geográficas en el sistema WGS-84.

Para el establecimiento de los PICHV, se contempló el desplazamiento de dos (02) brigadas Rover o móvil y la puesta en estación del equipo (Receptor GNSS TOPCON HIPER II y Sistema GPS Trimble R6), en los puntos establecidos, localizados en el área de los distritos de Ilo, y Pacocha en la provincia de Ilo, en el departamento de Moquegua.

f. Post proceso

Para el Post proceso y cálculo de las coordenadas se empleó el Software Trimble Business Center V.2.8.2, que tiene dos módulos para el manejo de los datos tomados por los receptores en campo.

ProcessBaseline: Se emplea para procesar los datos de líneas bases formadas entre un punto de coordenadas conocidos y el punto de coordenadas por determinar, en esta primera etapa los datos pueden ser editados de tal forma que obtengamos la mejor solución posible para un punto.

Adjust Network: Este es un módulo de ajuste de figuras formadas por las líneas base obtenidos del procesamiento para cada punto; en esta etapa es que se obtienen los resultados con componentes de error para cada punto y así estimar la precisión del trabajo realizado, este módulo nos permite obtener mayor seguridad en la determinación de las coordenadas.

Luego del post proceso las coordenadas de los puntos de control se presentaron en coordenadas UTM WGS-84 y coordenadas geodésicas WGS-84

Nota: en promedio el tiempo de procesamiento para cada punto fue de 40 minutos, es decir el tiempo que el receptor estuvo procesando en campo por cada GCPs.

ANEXO 2. Respecto a la corrección atmosférica

Para la corrección atmosférica primero se procedió a realizar la corrección radiométrica, es decir pasar los datos de ND a valores de radiancia, para ello se usó el método de "Gain and Offset" del software Envi, para ello se usó la ecuación 7; los valores "Gain and Offset" son extraídos del archivo IMD contenido en la imagen satelital. El valor de "Gain" se obtiene del cociente $\text{absCalFactor}/\text{effectiveBandwidth}$

y el valor de “Offset” es cero para una WV2, estos cocientes se hacen para cada una de las bandas de la imagen satelital.

Los parámetros obtenidos del archivo IMD (que se encuentran en la imagen satelital a procesar) se pueden apreciar en el cuadro 12 con estos coeficientes y usando la ecuación 7 se obtienen los valores de radiancia en unidades $W * m^{-2} * \mu m^{-1} * sr^{-1}$

```

BEGIN_GROUP = BAND_C
  ULLon = 151.18503178;
  ULLat = -33.83168403;
  ULHAE = 45.58;
  URLon = 151.23994980;
  URLat = -33.83248037;
  URHAE = 45.58;
  LRLon = 151.23900915;
  LRLat = -33.87831192;
  LRHAE = 45.58;
  LLLon = 151.18406181;
  LLLat = -33.87751422;
  LLHAE = 45.58;
  absCalFactor = 9.295654e-03;
  effectiveBandwidth = 4.730000e-02;
  TDILevel = 24;
END_GROUP = BAND_C

```

Figura 60. Vista del archivo IMD de la imagen mutiespectral

Cuadro 12. Coeficientes de calibración para WV-02

Banda	absCalFactor	effectiveBandwidth	Gain
Coastal	9.30E-03	4.73E-02	0.196525454545
Blue	1.26E-02	5.43E-02	0.232196132597
Green	9.71E-03	6.30E-02	0.154175730159
Yellow	5.10E-03	3.74E-02	0.136392727273
Red	1.10E-02	5.74E-02	0.192268815331
Red Edye	4.54E-03	3.93E-02	0.115511933842
Near-IR1	1.22E-02	9.89E-02	0.123799797776
Near-IR2	9.04E-03	9.96E-02	0.090785481928

Luego para obtener los valores en reflectancia se usa el módulo de corrección atmosférica contenido en el software Envi 5.1 denominado FLAASH, los valores de ingreso para este proceso, son los valores de la imagen satelital en radiancia calculados anteriormente, a continuación se muestra una captura con los parámetros de dicho módulo.

FLAASH Atmospheric Correction Model Input Parameters

Input Radiance Image: F:\PAUL\INFORME TECNICO M4\demo wv2\WorldView-2\procesos\CA\metodo 2\11APR03001446-M2AS_rad

Output Reflectance File: F:\PAUL\INFORME TECNICO M4\demo wv2\WorldView-2\procesos\CA\metodo 2\11APR03001446-M2AS_ref

Output Directory for FLAASH Files: C:\Users\PAS\AppData\Local\Temp\

Rootname for FLAASH Files:

Scene Center Location: DD <-> DMS

Lat: -33 51 17.97

Lon: 151 12 43.22

Sensor Type: WorldView-2

Sensor Altitude (km): 770.000

Ground Elevation (km): 0.018

Pixel Size (m): 2.000

Flight Date: Dec 28 2013

Flight Time GMT (HH:MM:SS): 15 : 22 : 36

Atmospheric Model: Tropical

Aerosol Model: No Aerosol

Water Retrieval: No

Aerosol Retrieval: None

Water Column Multiplier: 1.00

Initial Visibility (km): 40.00

Buttons: Apply, Cancel, Help, Multispectral Settings..., Advanced Settings..., Save..., Restore...

Figura 61. Parámetros del módulo de corrección atmosférica – Envi 5.1