

**UNIVERSIDAD NACIONAL AMAZÓNICA DE MADRE  
DE DIOS**

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**CARRERA PROFESIONAL DE INGENIERÍA FORESTAL Y  
MEDIO AMBIENTE**



**TESIS**

**“CUANTIFICACIÓN ESPACIAL DE AGUAS RESIDUALES EN EL  
CORREDOR MINERO DE MADRE DE DIOS AL AÑO 2017”**

**Tesis presentada por:**

Bachiller: CHILLIHUANI  
CORONADO, Wilson Eduardo

**Para optar el título profesional de:  
Ingeniero Forestal y Medio  
Ambiente**

**Asesor: Dr. Gabriel Alarcón Aguirre**

**Madre de Dios, PERÚ**

**2018**

**UNIVERSIDAD NACIONAL AMAZÓNICA DE MADRE  
DE DIOS**

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**CARRERA PROFESIONAL DE INGENIERÍA FORESTAL Y  
MEDIO AMBIENTE**



**TESIS**

**“CUANTIFICACIÓN ESPACIAL DE AGUAS RESIDUALES EN EL  
CORREDOR MINERO DE MADRE DE DIOS AL AÑO 2017”**

**Tesis presentada por:**

Bachiller: CHILLIHUANI  
CORONADO, Wilson Eduardo

**Para optar el título profesional de:  
Ingeniero Forestal y Medio  
Ambiente**

**Asesor:** Dr. Gabriel Alarcón Aguirre

**Madre de Dios, PERÚ  
2018**



## DEDICATORIA

Primeramente, a DIOS por ser mi guía, mi esperanza, por el día a día que da de vida seguir adelante. A mi madre, Victoria Coronado Fuente, por ser la persona que me apoya cada día, por su paciencia, acariño, comprensión, por ser uno de los motivos por la cual sigo adelante que uno necesita para seguir adelante. A mi padre, Francisco Chillihuani Cuchicari, por su apoyo, en esta tercera etapa de mi vida que es la universidad, a mis hermanos, Karina, Julio, Luis, Juan y Betzi, por su afecto y apoyo incondicional en todo este proceso para lograr el objetivo.

## **AGRADECIMIENTOS**

Agradecer primeramente a Dios por ser mi guía y permitir culminar esta tercera etapa de mi vida profesional. A la primera casa de estudios de formación profesional que es la Universidad Nacional de Madre de Dios, por la infraestructura donde durante los 5 años de mi etapa universitaria y a los profesores diversas especialidades que me formaron, por darme una formación profesional. En especial a los docentes de la carrera profesional de Ingeniería Forestal y Medio Ambiente especialmente al Dr. Gabriel Alarcón Aguirre, Ing. Mauro Vela Da Fonseca, M.Sc. Joel Peña Valdeiglesias, Dr. Francisco Román, por su orientación, disposición, revisión y valiosos aportes en el desarrollo de este trabajo. De manera especial a mis Co asesores Ing. Jorge Martin Pillaca Ortiz y Blgo. Jorge Caballero Espejo, miembros del equipo SIG. por su apoyo incondicional en todo este proceso, Agradecer al Centro de Innovación científica amazónica (CIN CIA) por permitirme formar parte de su equipo y realizar este proyecto MUCHAS GRACIAS.

## **PRESENTACIÓN**

El trabajo de investigación fue desarrollado como parte de la formación académica y de investigación, y requisito para obtener el título profesional de Ingeniero Forestal y Medio Ambiente en la Universidad Nacional Amazónica de Madre de Dios, así como, contribuir en la identificación, cuantificación y validar la precisión de los modelos de clasificación de aguas residuales, producto de la minería de oro aluvial en Madre de Dios (corredor minero).

La investigación aborda el tema, basado en el impacto que genera la actividad minera; formal, informal e ilegal en los cuerpos agua y humedales en área del corredor minero de Madre de Dios, para ello se planteo la aplicación del uso de imágenes de alta resolución PlanetScope de 3m x 3m, y métodos de procesamiento de imágenes robustos; Maximum Likelihood, Neural Net y Spectral Angle Mapper.

La información obtenida permitirá a los gobiernos locales, regionales y nacional focalizar y emprender programas de recuperación de áreas degradadas por minería.

## INDICE GENERAL

	<b>Pág.</b>
DEDICATORIA.....	i
AGRADECIMIENTOS.....	ii
PRESENTACIÓN .....	iii
RESUMEN.....	xii
ABSTRACT .....	xiii
INTRODUCCIÓN.....	1
<b>CAPÍTULO I: PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN .....</b>	<b>3</b>
1.1 Descripción del problema .....	3
1.2 Formulación del problema .....	4
1.2.1 General.....	4
1.2.2 Específicos.....	4
1.3 Objetivos del estudio .....	4
1.3.1 Objetivo general.....	4
1.3.2 Objetivos específicos .....	4
1.4 Variables.....	5
1.5 Operacionalización de variables .....	5
1.6 Hipótesis.....	6
1.7 Justificación .....	7
1.8 Consideraciones éticas.....	7
<b>CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO.....</b>	<b>9</b>
2.1 Antecedentes de estudio .....	9
2.1.1 Alcance internacional.....	9
2.1.2 Alcance nacional.....	12
2.1.3 Alcance local.....	15

2.2 Marco teórico.....	17
2.2.1 Sistemas de Informacion Geografica (SIG).....	17
2.2.2 Sensoramiento remoto.....	18
2.2.3 Radiación electromagnética.....	18
2.2.4 Imágenes análogas y digitales.....	20
2.2.5 Pixeles e imágenes ráster.....	21
2.2.6 Resolución.....	21
2.2.7 Técnicas de procesamiento de imágenes.....	22
2.2.8 Software de procesamiento de imágenes ENVI.....	25
2.2.9 Empresa Planet.....	27
Atributos de calidad.....	33
Precisión de posición geométrica.....	33
Cubierta de Nube.....	34
Banda de coregistro.....	35
Radiometría y precisión radiométrica.....	35
Metadata del producto.....	37
2.3 Definicion de términos.....	41
<b>CAPÍTULO III: METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN.....</b>	<b>44</b>
3.1 Tipo de estudio.....	44
3.2 Diseño de investigación.....	44
3.3 Población.....	44
3.4 Muestra.....	44
3.4 Método y técnicas.....	47
3.4.1 Lugar de estudio.....	47
3.4.2 Clima e Hidrografía.....	48
3.4.3 Método.....	49



3.4.4 Técnicas de recopilación de datos .....	51
3.4.5 Clasificación supervisada de la imagen satelital .....	53
3.5 Tratamientos de datos .....	56
3.5.2 Análisis estadístico.....	57
<b>CAPÍTULO IV: RESULTADOS DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN.....</b>	<b>58</b>
4.1 Cuantificación de los cuerpos de aguas residuales en la zona del corredor minero .....	58
4.2 Superficie de cuerpos de aguas residuales según tipo de operación minera .....	62
4.2.1 Evaluación de la precisión de los algoritmos de clasificación .....	63
CONCLUSIONES .....	69
SUGERENCIAS .....	70
BIBLIOGRAFÍA.....	71
ANEXOS .....	<b>81</b>

**INDICE DE TABLAS**

	<b>Pág.</b>
Tabla 1. Variables e indicadores del estudio.....	5
Tabla 2. Características de diversas regiones del espectro electromagnético .....	20
Tabla 3. PlanetScope constelación y el sensor.....	29
Tabla 4. Ambiente planetscope básicos del producto .....	31
Tabla 5. PlanetScope ortho tile geojson metadatos de esquema.....	38
Tabla 6. Información de adquisición de imágenes PlanetScope .....	51
Tabla 7. Características de la imagen de satélite PlanetScope.....	52
Tabla 8. Valoración del coeficiente kappa.....	56
Tabla 9. Reporte de la superficie de cuerpos de aguas residuales en la zona del corredor minero de Madre de Dios.....	61
Tabla 10. Reporte de la superficie de cuerpos de aguas residuales según tipo de operación minera .....	62
Tabla 11. Precisión global de resultados por método de clasificación.....	64
Tabla 12. Índice de kappa de resultados por método de clasificación.....	64
Tabla 13. Precisión de resultados por método de clasificación .....	65
Tabla 14. Categoría por superficie de cuerpos de aguas residuales por minería aurífera .....	67

## INDICE DE FIGURAS

	<b>Pág.</b>
<i>Figura 1.</i> Sensoramiento remoto desde diferentes plataformas. ....	18
<i>Figura 2.</i> El espectro electromagnético, desde rayos gamma hasta ondas de radio. ....	18
<i>Figura 3.</i> Características de las regiones del infrarrojo. ....	19
<i>Figura 4.</i> Estructura de una imagen digital de formato raster. ....	21
<i>figura 5.</i> Ejemplo de los cuatro tipos de resolución utilizando la banda 2 de Landsat TM. ....	22
<i>Figura 6.</i> Productos de imágenes del planet. ....	28
<i>Figura 7.</i> Planetscope escenas a conversión tile ortho. ....	32
<i>Figura 8.</i> Figura 8. Planetscope analytic ortho azulejos con RGB (izquierda) y nir de falso color compuesto (derecha). ....	32
<i>Figura 9.</i> Bandas PlanetScope analytic. ....	33
<i>Figura 10.</i> Cadena de procesamiento de imagen. ....	33
<i>Figura 11.</i> Distribución de muestras para validar aguas residuales producto de la minería aurífera en Madre de Dios. ....	46
<i>Figura 12.</i> Validación de aguas residuales producto de la minería aurífera con imágenes worldview de 0,38 m de resolución espacial. ....	46
<i>Figura 13.</i> Validación de aguas residuales producto de la minería aurífera con imágenes de dron de 0,04 a 0,06 m de resolución espacial. ....	47
<i>Figura 14.</i> Ubicación del área de estudio, corredor minero de madre de dios. ....	49
<i>Figura 15.</i> Diseño metodológico propuesto para la investigación. ....	50
<i>Figura 16.</i> Imagen de satélite planetscope, composición de banda 1-4-3 (2017-07-08). ....	52
<i>Figura 17.</i> Cuantificación de cuerpos de agua residuales de la minería de aurífera por el método de clasificación Maximum Likelihood. ....	59

<i>Figura 18.</i> Cuantificación de cuerpos de aguas residuales de la minería aurífera por el método de clasificación Neutal Net.....	59
<i>Figura 19.</i> Cuantificación de cuerpos de aguas residuales de la minería aurífera por el método de clasificación Spectral Angle Mapper.....	60
<i>Figura 20.</i> Neural Net; método con mejor resultado en la cuantificación de cuerpos de aguas residuales por la minería aurífera en Madre de Dios. .....	67

**INDICE DE ANEXOS**

	<b>Pág.</b>
Anexo 1. Matriz de Consistencia.....	83
Anexo 2. Instrumento.....	84
Anexo 3. Solicitud de autorización para la realización de estudios. ....	86
Anexo 4. Puntos de muestreo tomados por tipo de validación, corredor minero madre de dios.....	84
Anexo 5. Fichas de Validación de campo. ....	96
Anexo 6. Panel Fotográfico.....	105

## RESUMEN

El presente estudio muestra la cuantificación espacial de aguas residuales en el corredor minero de Madre de Dios al año 2017. La cuantificación de cuerpos de aguas residuales por la minería aurífera se realizó a través de los métodos de clasificación Máximo Likelihood, Neural, y Spectral Angle Mapper del software ENVI de imágenes PlanetScope (3 m x 3 m), el reporte muestra al método Neural Net como la de mejor precisión, con 12 287,30 ha, distribuidas en 7 690,29 ha en el tipo de operación artesanal “bomba de succión”, y 4 597,0041 ha con “maquinaria pesada”. Estos resultados se sustentan en la validación con datos de campo; imágenes de alta resolución, e imágenes obtenidas con Drone, la matriz de confusión (81,36%) e índice de kappa ( $\kappa$ ) (0,71) presentan una precisión de concordancia considerable, y una exactitud de productores y usuarios muy bajos en comparación con las demás metodologías.

Los métodos de clasificación Maximun Likelihood y Spectral Angle Mapper presentan resultados sobreestimados, siendo la más excesiva el método de Sepctral Angle Mapper con una diferencia de 69,55% con respecto al Neural Net.

En cuanto a la distribución de cuerpos de aguas residuales por categoría de superficie muestra una mayor proporción en el rango de 1 a 5 ha; operación artesanal con “bomba de succión” con 2 438,95 ha, y “maquinaria pesada” con 1 208,50 ha.

**Palabras clave:** Cuerpos de agua residual, minería aurífera, bomba de succión, maquinaria pesada, Máximo Likelihood, Neural Net, Spectral Angle Mapper.

## ABSTRACT

The present study shows the spatial quantification of wastewater in the Madre de Dios mining corridor to the year 2017. The quantification of wastewater bodies by gold mining was done through the methods of classification Maximum Likelihood, Neural, and Spectral Angle Mapper of the ENVI software of PlanetScope images (3m x 3m), the report shows the Neural Net method as the best precision, with 12 287.30 ha, distributed in 7 690.29 ha in the type of craft operation "suction pump ", And 4 597.00 ha with " heavy machinery ". These results are based on validation with field data; high resolution images, and images obtained with Drone, confusion matrix (81,36%) and kappa index (k) (0,71) present a considerable concordance accuracy, and an accuracy of very low producers and users in comparison with the other methodologies.

The methods of classification Maximun Likelihood and Spectral Angle Mapper present overestimated results, being the most excessive the method of Sepctral Angle Mapper with a difference of 69.55% with respect to Neural Net. As regards the distribution of wastewater bodies by surface category, it shows a greater proportion in the range of 1 to 5 ha; artisanal operation with "suction pump" with 2 438.95 ha, and "heavy machinery" with 1 208.50 ha.

**Key words:** Residual water bodies, aurifera mining, suction pump, heavy machinery, Maximum Likelihood, Neural Net, Spectral Angle Mapper.

## INTRODUCCIÓN

En la últimas décadas la Teledetección, percepción remota o sensoramiento remoto ha presentado avances impresionantes en el estudio de la cubierta terrestre y por consiguiente los recursos naturales (Fabregat 1999), asimismo, su objetivo se centra en la identificación de los materiales de la superficie terrestre y los fenómenos que en ella se operan a través firmas espectrales (Sacristán 2006). Por todo ello, la teledetección espacial cada día cobra mayor importancia en el estudio y del medio ambiente: “cambios de uso de suelo, oceanografía, recursos pesqueros, estudios costeros, contaminación, hidrogeología, geología, estimación de cosechas, control de plagas, incendios, producción agrícola, planificación urbana, etc.” (Pérez y Gonzalez 2011).

El área de estudio; el corredor minero de Madre de Dios, según la naturaleza de creación por Decreto de Urgencia (D.U.) N° 012-2010, alberga el desarrollo de actividades legales, informales e ilegales de minería de oro aluvial, que se contraponen con derechos existentes; concesiones forestales maderables, productos diferentes a la madera, forestación y reforestación, conservación, ecoturismo, agricultura, ganadería, y derechos preexistentes de comunidades nativas. El área presenta un clima tipo tropical: cálido, húmedo y con abundantes precipitaciones pluviales, cuerpos de agua y humedales, y por ende coexisten una variedad de escenarios paisajísticos, los cuales están asociados a coberturas vegetales muy diversas, ricas en endemismo, biodiversidad, y una ubicación estratégica por su cercanía a la reserva Nacional Tambopata, Parque Nacional Bahuaja Sonene, Parque Nacional El Manu, y la Reserva Comunal Amarakaeri (GOREMAD y IIAP 2009). Sin embargo, esta gran riqueza se ve amenazada por los procesos por la minería de oro, que ocasionan problemas socioambientales como; deforestación, degradación del suelo, contaminación de agua y suelos, trata de personas, alcoholismo, delincuencia, inmigración, entre otros aspectos (Alarcón et al. 2016; Hurtado 2014).

En este contexto, los cuerpos de agua y humedales en el corredor minero de Madre de Dios son los más afectados por esta actividad, quedando en la



mayoría de los casos aislados, desviados o como aguas residuales. La detección aguas residuales utilizando imágenes de alta resolución espacial en el área de estudio al año 2017, nos permitirá obtener información de forma directa, posibilitando la identificación, cuantificación, y su recuperación como parte de la gestión integral de los recursos hídricos de una cuenca.

## **CAPÍTULO I: PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN**

### **1.1 Descripción del problema**

La minería de oro aluvial formal, informal e ilegal que se desarrolla en el corredor minero y zonas de exclusión total para la minería en Madre de Dios, viene generando impactos directos e indirectos sobre la salud no sólo de los mineros que trabajan en condiciones de riesgo elevado a la exposición al polvo, la radiación solar excesiva, la humedad, el ruido, traumatismo mecánico vibratorio, exposición directa al mercurio especialmente en estado gaseoso presente en los lugares de compra de oro y otros productos químicos tóxicos, accidentes laborales frecuentes, sino también sobre la población general debido a las ingentes cantidades de mercurio vertido a las fuentes de agua que son utilizadas por los poblados de toda la cuenca del río Madre de Dios (Osores et al. 2010; Osores et al. 2012).

Las actividades mineras a cielo abierto sin control ni planificación, producen alteraciones a los suelos, al agua y a otros recursos debido a que se debe deforestar, excavar, extraer y transportar materiales, cambiando las condiciones naturales del paisaje, alterando ecosistemas, provocando la pérdida sustancial del suelo y aumentando el riesgo de presencia de fenómenos erosivos (Fernández 2012).

La actividad minera es, por sus características, una actividad con riesgo ambiental que obliga a un manejo responsable de cada uno de sus procesos y la internalización de las medidas de prevención. No hacerlo implica trasladar los impactos de contaminación (Torrejón 2016).

La minería aluvial en Amazonía requiere remover el suelo de poca capacidad orgánica y deforestar. Cuando se hace en cauces, cursos de agua o playas, implica si se usa maquinaria pesada o dragas - remover fondo y sedimentos y trasladarlos en forma de contaminación, y en los peores casos, alterar el curso de los ríos (Torrejón 2016).

La falta de información actualizada, elaboración de planes de manejo ambiental, para toma de decisiones a largo plazo, posiciona el uso de imágenes satelitales de alta resolución espacial para el monitoreo y cuantificación de aguas residuales producto de la minería de oro, y evidenciar los cambios producidos en cuerpos de agua y humedales.

## **1.2 Formulación del problema**

### **1.2.1 General**

¿Cuánto será la cantidad de aguas residuales que ocasiona la actividad minera en el corredor minero de Madre de Dios, a través del uso de imágenes de satélite de alta resolución espacial al año 2017?

### **1.2.2 Específicos**

- ✓ ¿Es posible comparar la superficie de cuerpos de aguas residuales según el tipo de operación de minería aurífera en el ámbito corredor minero de Madre de Dios?
- ✓ ¿Es posible comparar la precisión de los resultados de tres algoritmos de clasificación supervisada?

## **1.3 Objetivos del estudio**

### **1.3.1 Objetivo general**

Identificar y cuantificar aguas residuales que ocasiona la actividad minera utilizando imágenes de alta resolución espacial en el corredor minero de Madre de Dios, al año 2017.

### **1.3.2 Objetivos específicos**

- ✓ Cuantificar los cuerpos de aguas residuales en la zona del corredor minero de Madre de Dios.

- ✓ Comparar la superficie de cuerpos de aguas residuales según el tipo de operación de minería aurífera en el ámbito corredor minero de Madre de Dios.
- ✓ Comparar los resultados de tres algoritmos de clasificación supervisada.

## 1.4 Variables

### Variable Dependiente

- ✓ Cuerpos de aguas residuales.

### Variable Independiente

- ✓ Comportamiento del objeto en función de la unidad mínima de la imagen (Píxel).

## 1.5 Operacionalización de variables

*En la Tabla 1. Se presenta la operación de variables de investigación la misma esta complementado con la tabla de consistencia (Anexo 1).*

Tabla 1. *Variables e indicadores del estudio*

Objetivo	Variable	Dimensión	Indicadores	Finalidad
Cuantificar los cuerpos de aguas residuales en la zona del corredor minero de Madre de Dios	Área de cuerpos de agua	Ámbito del corredor minero	1. Superficie total 2. Inventario 3. Validación	Cuantificar el área total de los cuerpos de aguas residuales producto de la minería aurífera en el corredor minero de Madre de Dios.
Comparar la superficie de cuerpos de	Superficie de	Superficie	1. Superficie total 2. Conectividad	Comparar superficie total de los cuerpos de

aguas residuales según el tipo de operación de minería aurífera en el ámbito corredor minero de Madre de Dios.	cuerpos de agua		3. Sistema de planificación	agua residuales en los dos tipos de operaciones mineras
Comparar los resultados de tres algoritmos de clasificación supervisada.	Precisión de algoritmos	Algoritmos de clasificación	1. Almacenamiento 2. índice de kappa	comparar los resultados de 3 algoritmos de clasificación supervisada para indicar cuál es el mejor clasificador para el análisis de cuerpos de agua residuales por minería

## 1.6 Hipótesis

- ✓ **Hipótesis nula ( $H_0$ ):** A través de técnicas de procesamiento de imágenes de alta resolución no se puede cuantificar las aguas residuales por tipo de operación de minería en el corredor minero de Madre de Dios.
- ✓ **Hipótesis alterna ( $H_a$ ):** A través de técnicas de procesamiento de imágenes de alta resolución se puede cuantificar las aguas residuales por tipo de operación de minería en el corredor minero de Madre de Dios.

## **1.7 Justificación**

El reto más grande en el uso de tecnologías de sensoramiento remoto es adaptar la tecnología de imágenes a problemas específicos, para ello, se debe analizar si se puede solucionar con procesamiento de imágenes, conocer y estudiar las capacidades como las limitaciones que tiene, y determinar la utilización de algoritmos de clasificación para establecer su apropiada utilización para un determinado tipo de investigación a través del uso de imágenes de alta resolución espacial. Este trabajo, contribuye en diversas áreas de ingeniería, biología, geología, entre otras disciplinas, proporcionando una información concreta que les permite una mayor fiabilidad y toma de decisiones para proyectos de recuperación de áreas degradadas por minería, formular planes de manejo de aguas residuales, así como fuente información para la gestión del territorio.

La investigación se centra en la clasificación supervisada de imágenes PlanetScope estableciendo dos categorías en proceso de análisis, las cuales son suelo y aguas residuales por minería aurífera en el corredor minero de Madre de Dios. Para el análisis, procesamiento y validación de los resultados se contó con el apoyo del Centro de Teledetección para el Estudio y Gestión de los Recursos Naturales (CETEGERN - UNAMAD) y del Organismo No Gubernamental CIN CIA.

## **1.8 Consideraciones éticas**

Las tecnologías de sensoramiento remoto son una herramienta primordial para cubrir necesidades de información territorial, ya que permite realizar el monitoreo y cuantificación de los cambios productos de fenómenos naturales y antrópicos. A pesar de la amplia capacidad tecnológica de la teledetección para el estudio de la cubierta terrestre, existen importantes problemas que deben superarse para permitir un aprovechamiento adecuado de la información proporcionada por imágenes de satélite. En este escenario las imágenes de alta resolución minimizan estos problemas, proporcionando información más fiables sujetos a la realidad, y menores costos de validación

en campo. Por otro lado, el uso de tecnologías robustas y operativas validadas aporten ética y por consiguiente transparencia y eficiencia en los resultados.

La investigación usará aspectos metodológicos derivados de la clasificación supervisada, el cual seguirá un estricto proceso en base a los métodos Maximun Likelihood, Neural Net y Spectral Angle Mapper del software ENVI 5.3®, ArcGis Pro 2,1®, ArcGis 10,4,1®

A nivel de política institucional, la investigación se ciñe a la política marco de la Comisión Nacional de Investigación y Desarrollo Aeroespacial (CONIDA), creada por Decreto Ley N° 20643.

Asimismo, la ONG CIN CIA acepta el acuerdo a los términos de uso y políticas de privacidad que establece la empresa Planet en el navegador, “los usos de las imágenes satelitales son únicamente para uso personal, no comercial e informativo”, en este caso, para el desarrollo de la investigación.

A nivel de seguridad para el tesista y colaboradores en laboratorio, se uso las instalaciones de la ONG CIN CIA y del Centro de Teledetección para estudio y gestión de los recursos naturales (CETEGERN) de la Universidad Nacional Amazónica de Madre de Dios, el cual garantizo las condiciones necesarias y no se asumió ningún riesgo.

## **CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO**

### **2.1 Antecedentes de estudio**

#### **2.1.1 Alcance internacional**

Mantilla et al. (2000) identificaron zonas de contaminación de los cuerpos de agua de la cuenca del río Lerma (México), estableciéndose 10 segmentos críticos de acuerdo con el monitoreo efectuado y los criterios ecológicos para la protección de cuerpos receptores. Se concluyó, para el caso particular del Lerma, que los principales cuerpos receptores son angostos y el impacto de los contaminantes en la respuesta espectral, fue enmascarado por la resolución espacial de las imágenes empleadas (Landsat-TM) a través del promediado de la energía en el píxel, lo cual impidió la identificación directa de descargas contaminantes.

Salinas et al. (2002) identificaron y clasificaron humedales interiores naturales o artificiales en Tamaulipas, México, de importancia para aves acuáticas migratorias, “el estudio se han concentrado en los humedales naturales costeros o cuerpos de agua específicos en las tierras altas; sin embargo, estos levantamientos no han reflejado los cambios dramáticos en el paisaje, debido al desarrollo de la actividad agrícola en el norte de México en décadas recientes, la que junto con sus represas asociadas, proporciona alimento, agua y refugio a muchas aves migratorias y otras especies, lo cual no ha sido bien documentado, para ello se estudiaron algunos factores que pudieran influenciar el uso de humedales, como tamaño, vegetación asociada y proximidad a zonas agrícolas, el inventario de humedales interiores se basó en el análisis de siete imágenes del satélite Landsat ETM del año 2000, así como en datos de muestreo de 261 sitios de campo visitados durante 2001; se generaron mapas base y se aplicaron análisis de sistemas de información geográfica (SIG) para clasificar estos cuerpos de agua. Más de 23 000 humedales interiores fueron identificados en el estudio y la información



generada será de utilidad para desarrollar programas de manejo y protección de humedales de importancia para aves acuáticas migratorias en Tamaulipas”.

Estrada et al. (2013) evaluaron la “cobertura temporal de los humedales en la cuenca del Usumacinta, Balancán, tabasco, México, donde interpretaron de manera visual el uso de imágenes de satélite Landsat en las temporadas de mínima y máxima inundación (2007), encontrando un total de 13 289 ha (3,48 %) y 35 519 ha (8,66 %) de humedales delimitadas para mínima y máxima inundación, la cuantificación por subsistema arrojó que 9 140 ha fueron humedales ribereños, 3 180 ha lacustres y 968 ha palustres para mínima inundación, mientras que 15 687 ha fueron ribereños, 7 117 ha lacustres y 12 714 ha palustres en máxima inundación; la variación entre temporadas fluctuó entre 2,40 a 3,71 % en humedales ribereños, de 0,83 a 1,88 % en lacustres y de 0,25 a 3,07 % en palustres, en ambas temporadas los humedales se categorizaron en el intervalo de mayor o igual a 1 ha, pero menor a 50 ha (70,9 % para mínima inundación y 75,1 % para máxima inundación), la comparación de los humedales de los años 2006 vs 2007, muestran que los lacustres presentaron un aumento de 3 170 ha, los palustres una reducción de 16 542 ha y los ribereños un aumento de 4 800 ha, los resultados a través del uso del sistema de información geográfica (SIG), de imágenes Landsat multiespectrales (combinación de bandas 4,3,2) de dos temporadas, reportaron los humedales del municipio de Balancán en la cuenca del río Usumacinta, el cual servirá como insumos básicos para planes de manejo y ordenamiento del territorio de esta subregión del estado” (Estrada et al. 2014).

Ardila y Quintero (2013) a través del uso de la teledetección y sistemas de información geográfica “interpretaron zonas inundables en el río Soapaga en Boyaca, Colombia, donde delimitaron áreas inundadas producto del desbordamiento del río Soapaga, el área se determinó a partir de curvas de nivel obtenidas del modelo digital de elevación (MDE), de dos tipos de imágenes, una imagen óptica adquirida del sistema satelital RapidEye y una imagen de radar del programa cosmoskymed con resoluciones espaciales de 7m y 5m respectivamente, para este caso se utilizó el método Brovey

Transform, el cual fue desarrollado para aumentar los contrastes visuales en las zonas finas, bajas y altas del histograma de las imágenes, donde indican que el método Brovey también permite controlar la combinación RGB que se desea obtener, para este caso se utilizaron los canales 4,5,3 que resalta las zonas de humedad y cuerpos de agua, como parte de los resultados obtenidos tomando como insumos las curvas de nivel, donde se generó la superficie topográfica, luego con ayuda del geoprocésamiento se realizó una intersección entre dos capas una es la predial y la otra el área delimitada donde se obtuvo un resultado de área de inundación de 97 949,89 m<sup>2</sup>”.

Flórez et al. (2016) estudiaron la “identificación espacial de humedales continentales de Colombia, para ello construyeron un mapa a escala 1: 100 000, adicionalmente se integró un mapa de frecuencia de inundaciones generado con imágenes satelitales, donde se obtuvieron resultados de un total de 30 781 149 ha de humedales corresponde el 26,99 % del área continental nacional, donde utilizaron insumos como el componente hidrológico que conto de dos insumo red de drenaje construida a partir de la integración de la clase “cuerpos de agua”, para este estudio se tomó el insumo principal los humedales abiertos y bajo dosel, otros insumos utilizados para el análisis de los puntos de muestro fueron imágenes Landsat, imágenes de mosaicos de radar ALOS PALSAR, obtenidos en el año 2007 – 2011, modelo digital de terreno SRTM, imágenes Rapideye, quickbird y Deimos, los resultados arrojados por el procesamiento de las imágenes coincidieron con reportados inicialmente”.

Núñez y Toro (2017) en el análisis multitemporal realizado en el departamento de Huila en Colombia, “evaluó el desarrollo y análisis de dos etapas: La primera es un estudio multitemporal para cuatro periodos de los años (1987, 2000, 2010 y 2014), donde se identificó el avance espacial de las áreas degradadas o desérticas y una segunda etapa de un modelo espacial para determinar las áreas más sensibles a la desertificación de acuerdo a la influencia de indicadores climáticos, geomorfológicos, de Cobertura y usos del suelo; el área de estudio fue el Municipio de Villavieja, Baraya, Tello y Aipe, el primero, se utilizaron imágenes Landsat 5, Landsat 7 y Landsat 8

respectivamente que permitieron evaluar un rango total de tiempo para 27 años; en el segundo estudio, se construyó un modelo de sensibilidad ambiental con atributos espaciales que intervienen en el proceso de desertificación, a los que se les dio una calificación de influencia comprendidos entre “1” a “2” (valores cercanos a “1” con menos influencia y cercanos a “2” con más influencia a la degradación), dentro de la cobertura de suelo del año 2014 donde se determinaron 16 coberturas dentro de las cuales está la cobertura de cuerpos de aguas artificiales con 168,23 ha, para la cobertura de suelo al año 2010 los cuerpos de agua artificiales comprendieron 68,7 ha”.

Ortega et al. (2018) reportaron “las relaciones existentes entre el uso de del suelo y la calidad del agua de la cuenca del rio Juqueri, mediante las correlaciones canónicas que existen entre los parámetros que componen el ICA y los cambios en el uso del suelo en los últimos 30 años, esto a partir de imágenes de satélite LANDSAT 5, 7 y 8 mediante la clasificación supervisada, que determinó 6 clases de uso, los resultados obtenidos revelaron que los cuerpos de agua sufrieron una disminución de área que pasó del 1,1% al 0,68% disminuyendo en total el 0,42%; en relación a ICA en algunos puntos muestrales se observaron valores por debajo de 51 que se clasifica como agua de calidad *Regular* para el consumo humano, asimismo, se encontraron correlaciones entre la disminución en los valores de DBO por las áreas urbanas”.

### **2.1.2 Alcance nacional**

Pastor (2008) “evaluó los tipos de humedales de la cuenca del Pastaza y determinar su factibilidad para ser utilizados en la depuración de hidrocarburos en la cuenca del Pastaza, para el efecto se Identificó y caracterizó la Fisiográfica de los suelos, la de las comunidades vegetales; así como, la hidrología del área; se utilizó el método cualitativocuantitativo- cuasi experimental, el que a través de cuatro exploraciones entre julio 2007 a enero 2008 permitió acceder a la información, adicionalmente se utilizó datos del Sistema de Información Geográfica; con lo que se identificó los tipos

humedales de la zona; siendo los pantanales y aguajales muy importantes por su acción depuradora de la contaminación por hidrocarburos que suceden en la zona, se estableció que este fenómeno natural debe ser depurador puesto que los resultados muestran un rendimiento en un 60 - 70 %, de descontaminación”

Gonzales (2008) “aplico correcciones topograficas para la identificación y delimitación de cuerpos de aguas, para ello se aplicó el método de la corrección C, a una sub-escena de una imagen Landsat ETM+, en un SIG raster, haciéndose uso de su lenguaje de programación, posteriormente se usó un clasificador en árbol incluyendo como variable auxiliar un mapa raster de pendientes; la calidad de los resultados obtenidos tras realizar la clasificación digital de cuerpos de agua con la imagen corregida fue muy superior a la de los obtenidos antes de la corrección de las sombras, ya que se logra disminuir los píxeles mal clasificados como agua, a la vez que se obtiene una mejor delimitación del espejo de agua”.

García y Lleellish (2012) aplicaron “una metodología basada en imágenes de satélite Landsat para cartografiar los humedales alto andinos conocidos como bofedales en la cuenca alto andina del río Acari que comprende los departamentos de Arequipa y Ayacucho, para ello se utilizaron dos imágenes del satélite Landsat ETM+ cercanas al final de la estación húmeda y seca para captar la variabilidad espacial y temporal de estos ecosistemas y definir la mejor época para su cartografiado, la metodología aplicada se basó en el algoritmo de clasificación conocido como Análisis Lineal de Mezclas Espectrales (ALME), apoyado de la interpretación visual y la inclusión del modelo digital de elevación SRTM, donde datan resultados que luego fueron evaluados usando imágenes de satélite de alta resolución espacial, a través de matrices de contingencia, el algoritmo ALME fue capaz cartografiar los bofedales mayores de 0,8 ha, con una fiabilidad del productor entre 86,9 y 91,2 %, según la fecha de la imagen utilizada, aunque esto último no fue estadísticamente significativo con una probabilidad de ( $p = 0,95$ ), la fiabilidad del usuario fue en todos los casos del 100%, la fiabilidad global estuvo entre 89,8 y 93,2% y el índice Kappa entre 75 y 82%; el reporte indica que el uso

de esta metodología permitió conocer que en esta cuenca alto andina existen 2 828 ha de bofedales estimadas para el año 2000, que equivalen al 1,5% del área de la cuenca alta y al 0,6% del área de toda la cuenca”.

Espíritu et al. (2011) “muestra las principales aplicaciones de las diferentes técnicas de teledetección desde el espacio para la identificación de cuerpos de agua en áreas de alta montaña, el uso de diferentes índices como el EVI (Índice de Vegetación Mejorado) y NDWI (Índice de Agua de Diferencia Normalizada), determinan cierta precisión en la delimitación, sin embargo, ambos índices muestran pequeñas distorsiones mayores y menores debido a la sombra topográfica, lo que crea confusión en la identificación de píxeles que representan los cuerpos de agua, por lo tanto, algunos mal clasificación de ellos; para mejorar la precisión de la aplicación de umbrales de agua a través de tasas, se generó un Modelo de Elevación Digital (DEM), posteriormente se establecieron capas auxiliares en ráster de formatos de sombreado y pendiente, que se colocaron como una condición dentro de una clasificación y, finalmente, se discrimino información que no corresponde (sombras), a través de estas aplicaciones es posible eliminar píxeles mal clasificados, evitando dedicar más tiempo a la edición y enfocarse en corregir y validar la cobertura de los lagos”.

Torres (2016) “a través del uso de imágenes de satélite Google Earth identifiqué la zona afectada por Lemna en la Bahía interior de Puno, para ello distribuí la bahía interior de Puno en 8 zonas para su reconocimiento, los resultados muestran para cada zona: Zona 1 con un área de Lemna de 25 406,3m<sup>2</sup> , Zona 2 con un área de Lemna de 53 196,3m<sup>2</sup> , Zona 3 con un área de Lemna de 55 966,6m<sup>2</sup> , Zona 4 con un área de Lemna de 79 748,2m<sup>2</sup> , Zona 5 con un área de Lemna de 31 255,5m<sup>2</sup> , Zona 6 con un área de Lemna de 3 555,49m<sup>2</sup> , Zona 7 con un área de Lemna de 6 932,81m<sup>2</sup> , Zona 8 con un área de Lemna de 3 298,99m<sup>2</sup>; el uso de la imagen satelital en la bahía interior de Puno utilizando la programación en MatLab y terminando un programa con GUIDE de MATLAB fue amigable y fiable en su determinación”.

### 2.1.3 Alcance local

Swenson et al. (2011) “presentan la evidencia de la destrucción del ecosistema y de la demanda global producto de la extracción del oro donde detecta que la minería aluvial es un nuevo patrón de deforestación y que esta supera la deforestación de asentamientos cercanos; Elaboraron un mapa donde cuantifican la deforestación causada por la minería aurífera entre 2003 al 2009 en la región de Madre de Dios a través del análisis de imágenes satelitales con la finalidad de examinar la relación entre las zonas deforestadas por la minería con los incrementos de los precios mundiales del oro y las importaciones del mercurio en Perú, encontraron que la conversión de bosque primario es debido a la reciente y creciente minería junto con el aumento de los precios del oro, y esta muestra un aumento en la tasa de crecimiento, la cuantificación afirma que 15 500 ha de bosque y humedales primarios han pasado a ser deforestados en tres sitios mineros (Guacamayo, Colorado-Punquiri y Huepetue) desde agosto del 2009, ellos manifiestan una gran preocupación debido a que la deforestación minera es cada vez mayor con el tiempo y parece estar superando la deforestación neta durante los últimos años”.

Alarcón et al. (2011) “realizaron el estudio de la deforestación en el distrito de Inambari en los años 2000 – 2009, aplicando dos métodos; sin mejoramiento espectral; 6 931,54 ha deforestadas y con mejoramiento espectral – Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI); 7 641,50 ha y en la que asigna a la minería como mayor responsable de los cambios de bosque desprovista de vegetación”.

Asner et al. (2013) “evaluaron la minería aurífera en la región de Madre de Dios entre 1999 y 2012 a través de estudios de campo, mapas aerotransportados e imágenes satelitales de alta resolución, cuyo reporte asciende a más 50 000 ha deforestadas por minería aurífera para la Amazonía peruana sur, confirmando que hasta el 94% de las detecciones realizadas con CLASlite (Carnegie Landsat Analysis System-lit) suma una deforestación de 46 417ha entre el periodo 2009 al 2011, dejando una pequeña fracción de posibles operaciones mineras no confirmadas, asimismo demuestran que la minería aurífera está en crecimiento y recomiendan monitoreo con imágenes de alta resolución para su

cuantificación; Confirman el surgimiento de una nueva gran mina a fines del 2006 denominada Guacamayo que representó hasta el 13% del total del área regional minera hasta el 2012”.

Moreno (2013) “a través de imágenes LANDSAT determinó que el crecimiento de la deforestación en la provincia de Tambopata durante cuatro años, para el periodo 2007 y 2011 tiene una tasa deforestación de 970 ha al año un crecimiento muy rápido en corto tiempo, partiendo así de esta manera desde 212,89 ha para el 2007 hasta 4 041,72 ha para el 2011”.

Alarcón, et al. (2016) “cuantificaron las áreas deforestadas en una de las zonas más impactadas por el hombre, al suroeste de la ciudad de Puerto Maldonado (Puerto Maldonado – Inambari), las imágenes Landsat TM 5 y 8 OLI fueron procesados utilizando una clasificación semiautomática denominada “Random Forest” propuesto por la Mesa de Servicios Ambientales y Reducción de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero Causadas por la Deforestación y Degradación de los Bosques de la Región Madre de Dios, Perú; Los resultados reportaron una superficie deforestada para los años 1999-2013 de 55 426 ha, que representa una tasa anual de cambio de cobertura de 0,22% y una deforestación anual promedio de 3 246 ha/año, de ello se deducen para los años 1999-2008, 2008-2011 y 2011-2013 tasas anuales de cambio de 0,18%, 0,30% y 0,31%, con una deforestación anual promedio de 2 594 ha/año, 4 427 ha/año y 4 410 ha/año respectivamente; los cambios producidos en el área de estudio, muestran la sistemática conversión de bosque a deforestación para el año 2008-2011 con 29 478 ha, siendo la mayor responsable el avance de la minería aurífera aluvial influenciada por la pavimentación de la vía interoceánica y por el alza del precio del oro como el agente principal de la deforestación, y en menor orden, la ampliación de la frontera agrícola, la ganadería y la actividad forestal”.

Asner y Tupayachi (2017) “reportan que la extracción de oro en la Amazonía implica la extracción de bosques, la excavación del suelo y el uso de mercurio líquido, que en conjunto representan una gran amenaza para la biodiversidad, la calidad del agua, las reservas de carbono forestal y la salud humana; dentro del área de biodiversidad global de Madre de Dios, Perú, la extracción de oro

ha continuado a pesar de los numerosos decretos gubernamentales de 2012 y las acciones de aplicación en su contra, también se cree que la minería ingresó a las áreas protegidas del estado, pero se desconocen las tasas de invasión de mineros; Aquí, utilizamos teledetección de alta resolución para evaluar los cambios anuales en la extensión de la extracción de oro de 1999 a 2016 en toda la región de Madre de Dios, incluida la Reserva Nacional Tambopata de gran diversidad y la zona de amortiguamiento, a nivel regional, las pérdidas de bosque relacionadas con la extracción de oro promediaron 4437 ha año<sup>-1</sup>, una inflexión temporal a la baja en la tasa de crecimiento anual de la pérdida de bosques relacionada con la minería después de la acción del gobierno en 2012 fue seguida por una casi duplicación de la tasa de deforestación de la minería en 2013-2014, e área total estimada de la extracción de oro en toda la región aumentó alrededor del 40% entre 2012 y 2016, incluida la Reserva Nacional Tambopata, nuestros resultados revelan una necesidad urgente de más esfuerzo socioambiental y acción policial para combatir la minería ilegal de oro en la Amazonía peruana”.

## **2.2 Marco teórico**

### **2.2.1 Sistemas de Información Geográfica (SIG)**

SIG, “es un sistema compuesto por hardware, software, procedimientos y equipo humano para capturar, manejar, manipular, transformar, analizar y modelizar datos geográficos, permitiendo representar los objetos del mundo real en términos de posición, atributos y de las interrelaciones espaciales, con el objeto de analizar estos datos y de resolver problemas de gestión y planificación, en este contexto, actualmente las tecnologías de la Información Geográfica (TIG) han tenido un desarrollo notable en el ámbito de la Geoinformática, un contexto científico-tecnológico que posibilitó la convergencia de diferentes componentes a partir del núcleo formado por los Sistemas de Información Geográfica (SIG) durante su medio siglo de existencia“ (Buzai y Ruiz 2018).



## 2.2.2 Sensoramiento remoto

En términos estrictos, “el sensoramiento remoto usualmente se refiere a la tecnología de adquisición de información sobre la superficie terrestre (suelos y agua) y la atmósfera, usando sensores colocados a bordo de plataformas de transporte aéreo (aviones, globos aéreos) o transporte espacial (satélites, transbordadores espaciales) sin entrar en contacto con los objetos o eventos observados” (figura 1) (Mehl y Peinado 1997).



Figura 1. Sensoramiento remoto desde diferentes plataformas.

Fuente: Mehl y Peinado (1997).

## 2.2.3 Radiación electromagnética

Los sensores sobre las plataformas de sensoramiento remoto generalmente registran radiación electromagnética. “Las ondas electromagnéticas son energía transportada a través del espacio en forma de campos eléctricos y magnéticos periódicos, viajan a la velocidad de la luz ( $c = 2,99792458 \times 10^8$  m/s), y se caracterizan por poseer una frecuencia y una longitud de onda” (Gutiérrez y Nieto 2006).

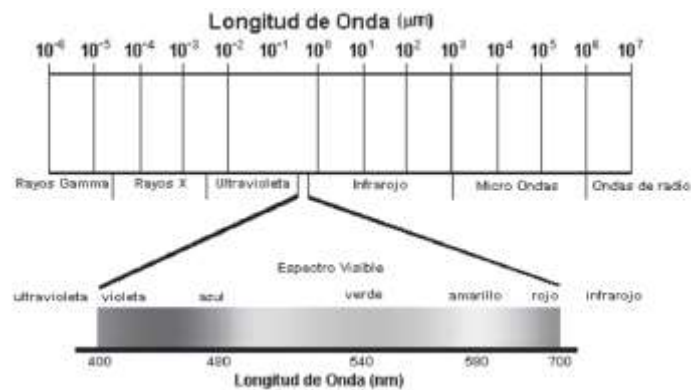


Figura 2. El espectro electromagnético, desde rayos gamma hasta ondas de radio.

Fuente: Gutiérrez y Nieto (2006).

El espectro electromagnético puede ser dividido en algunas regiones de longitud de onda (frecuencia), entre los cuales sólo una franja muy angosta (entre los 400 y 700 nm) es visible al ojo humano. Note que no hay límites claros entre estas fronteras. Las fronteras mostradas en la figura son aproximadas, y hay superposición entre dos regiones adyacentes. Unidades de longitud de onda; 1mm = 1000  $\mu\text{m}$ ; 1 $\mu\text{m}$  = 1000 nm; 1 GHz = 10<sup>9</sup> Hz., Las regiones del infrarrojo cercano y del infrarrojo medio del espectro electromagnético son conocidas como regiones infrarrojas de onda corta (*Short Wave Infrared Region – SWIR*), y se caracterizan por ser regiones de radiación reflejada, mientras que la región del infrarrojo lejano es conocida como región infrarroja de onda larga (*Long Wave Infrared Region – LWIR*) y se caracteriza por ser región de la radiación emitida (Gutiérrez y Nieto 2006).

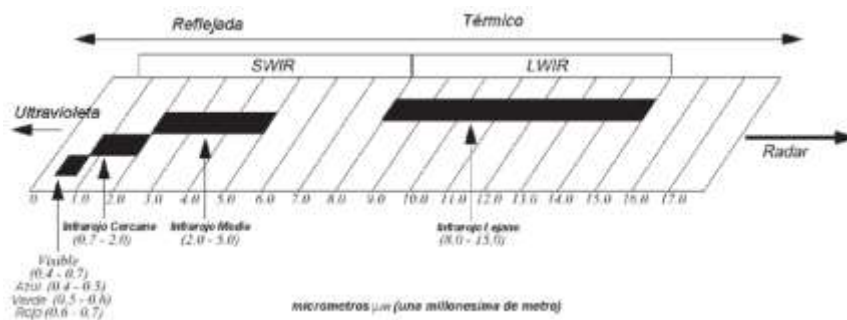


Figura 3. Características de las regiones del infrarrojo.

Fuente: (Gutiérrez y Nieto 2006).

“Cuando la radiación interactúa con la materia, algunas longitudes de onda son absorbidas y otras son reflejadas, es necesario el conocimiento de cómo la vegetación, suelos, agua y otras coberturas de la superficie terrestre reflejan y absorben la radiación para aprovechar adecuadamente los productos de los sensores remotos” (Gutiérrez y Nieto 2006). La Tabla 2 muestra las características de diversas regiones del espectro electromagnético.

Tabla 2. Características de diversas regiones del espectro electromagnético

Región	Longitud de onda	Banda o componentes
<b>Microondas</b>	1 mm a 1, las microondas se dividen en bandas de diferente frecuencia.	P: 0.3 – 1GHz (30 – 100 cm)
		L: 1 – 2 GHz (15 – 30 cm)
		S: 2 – 4 GHz (7.5 – 15 cm)
		C: 4 – 8 GHz (3.8 – 7.5 cm)
		X: 8 – 12.5 GHz (2.4 – 3.8 cm)
		Ku: 12.5 – 18 GHz (1.7 – 2.4 cm)
		K: 18 – 26.5 GHz (1.1 – 1.7 cm)
		Ka: 26.5 – 40 GHz (0.75 – 1.1 cm)
<b>Infrarrojo</b>	0.7 – 300 $\mu\text{m}$	Infrarrojo cercano (NIR): 0.7 – 1.5 $\mu\text{m}$
		SWIR: 1.5 - 3 $\mu\text{m}$
		Infrarrojo Medio (MWIR): 3 – 8 $\mu\text{m}$
		LWIR: 8 – 15 $\mu\text{m}$
<b>Luz visible</b>	400 nm a 700 n  Los componentes de color del espectro visible se encuentran aproximadamente en las regiones siguientes.	Infrarrojo Lejano (FIR): > 15 $\mu\text{m}$
		Rojo: 610 – 700 nm
		Naranja: 590 – 610 nm
		Amarillo: 570 – 590 nm
		Verde: 500 – 570 nm
		Azul: 450 – 500 nm
		Índigo: 430 – 450 nm
		Violeta: 400 – 430 nm
<b>Ultravioleta</b>	3 a 400 nm	

Fuente: Gutiérrez y Nieto (2006).

### 2.2.4 Imágenes análogas y digitales

El producto de un sistema de sensoramiento remoto es, usualmente, una imagen que representa la escena observada. “Una imagen es una representación bidimensional de objetos presentes en un escenario real. Las imágenes de los sensores remotos son representaciones de partes de la superficie terrestre vistas desde el espacio, las imágenes pueden ser análogas o digitales, un ejemplo de imágenes análogas son las fotografías aéreas, mientras que las imágenes satelitales obtenidas usando sensores electrónicos son ejemplos de imágenes digitales, las imágenes digitales se manejan con computadoras, y se puede producir copias análogas de ellas con una impresora” (López 2017).

### 2.2.5 Píxeles e imágenes ráster

"Una imagen digital consiste en un arreglo matricial bidimensional de elementos de imagen llamados píxeles (el término píxel es abreviación de *picture element*) ordenados en filas y columnas formando una malla (grid); las imágenes organizadas de esta manera son conocidas como imágenes ráster, cada píxel representa un área de superficie sobre la tierra, también un píxel tiene un valor de intensidad y una ubicación en la imagen bidimensional" (López 2017).

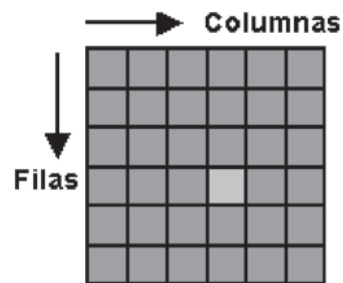


Figura 4. Estructura de una imagen digital de formato raster.

Fuente: López (2017).

### 2.2.6 Resolución

"La resolución es un término muy amplio, usado generalmente para describir la presencia de información en las imágenes de percepción remota, en tal sentido, deben considerarse cuatro tipos de resolución; espacial, radiométrica, espectral y temporal" (Tristán et al. 2007).

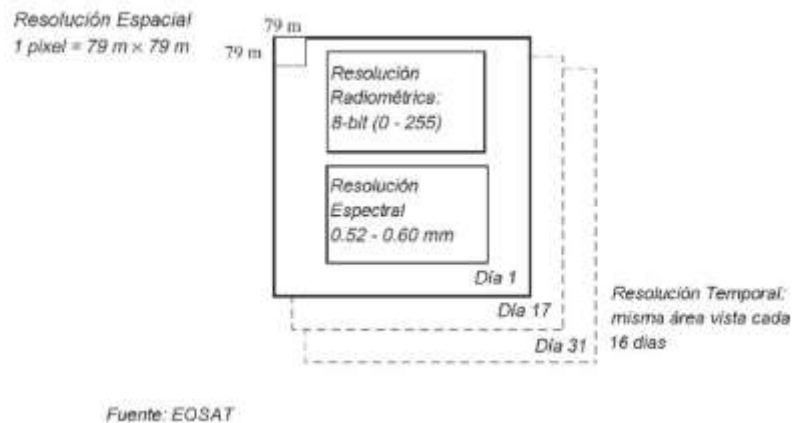


Figura 5. Ejemplo de los cuatro tipos de resolución utilizando la banda 2 de Landsat TM.

Fuente: Tristán, et al. (2007).

## 2.2.7 Técnicas de procesamiento de imágenes

### a) Análisis de Componentes Principales (PCA)

“El objetivo del Análisis de Componentes Principales (PCA) es resumir un grupo amplio de variables en un nuevo conjunto (más pequeño) sin perder una parte significativa de la información original, para el usuario final de los productos de la Teledetección, el objetivo del PCA es construir una o varias imágenes que incrementen su capacidad de diferenciar distintas coberturas; Es por ello que al realizar una composición color resulta interesante usar una combinación de tres componentes en lugar de las bandas espectrales, el PCA puede aplicarse como realce previo a la interpretación visual o como procesamiento anterior a la clasificación, en general, esta técnica incrementa la eficiencia computacional de la clasificación porque reduce la dimensionalidad de los datos” (Ferrero et al. 2002).

### b) Clasificación SAM (Spectral Angle Mapper)

Este algoritmo, “mide la similitud entre un espectro desconocido  $t$ , con uno referencial  $r$ , en  $n$ -dimensiones, estos espectros son tratados como vectores en  $n$ -espacios y el ángulo que forman se denomina "ángulo espectral"; Este valor en radianes es asignado al píxel correspondiente en la imagen resultante

SAM, es una clasificación supervisada en la que cada color de la imagen representa un tipo de material seleccionado (Oliva et al. 2011).

### **c) Clasificador Support Vector Machine (SVM)**

“SVM es un clasificador relativamente nuevo que tiene fuertes bases en el campo de la teoría de entrenamiento estadística, desde su comienzo en los 90s, ha encontrado un amplio rango de aplicaciones en problemas de reconocimiento de patrones, clasificación de imágenes, predicción financiera de series de tiempo, reconocimiento de rostros, análisis de señales biomédicas, diagnósticos médicos y minería de datos” (Rodríguez y Chica 2012).

“Este clasificador pertenece a la familia de los clasificadores lineales puesto que inducen separadores lineales o hiperplanos en espacios de características de muy alta dimensionalidad, a pesar de que se pueden adaptar de forma sencilla para actuar como clasificadores no lineales mediante la aplicación de una función o kernel no lineal sobre los datos de entrada, su principal objetivo es obtener una superficie (o hiperplano) capaz de separar las diferentes clases en las que se puede agrupar una distribución de datos en un espacio N-dimensional, utilizando para ello un proceso de optimización basado en la obtención de vectores que definen los límites de las clases” (Rodríguez y Chica 2012).

### **d) Clasificador de Máxima verosimilitud (probabilidad)**

“El clasificador de máxima verosimilitud es un algoritmo paramétrico que supone la distribución normal de los valores de los píxeles de cada clase., de esta forma, cada tipo de cubierta puede ser descrita por una función de probabilidad y los píxeles a clasificar se asignan a aquella clase que maximice dicha función; Este algoritmo es uno de los más empleados en teledetección por su robustez” (Chuvieco 2002; Richards y Richards 1999).

“La herramienta tiene en cuenta las varianzas y covarianzas de las firmas de clases cuando asigna cada celda a una de las clases representadas en el

archivo de firma, si se asume que la distribución de una muestra de clases es normal, una clase puede estar caracterizada por el vector del valor medio y la matriz de covarianza, dadas estas dos características para cada valor de celda, se calcula la probabilidad estadística para cada clase a fin de determinar la pertenencia de las celdas a la clase; cuando se especifica la opción Ponderación de la probabilidad a priori EQUAL, cada celda se asigna a la clase a la que tiene mayor probabilidad de pertenecer” (Chuvieco 2002; Richards y Richards 1999).

“Si la probabilidad de ocurrencia de algunas clases es mayor (o menor) que el promedio, se debe usar la opción FILE a priori con un Archivo de probabilidades a priori de entrada, los pesos de las clases con probabilidades especiales se especifican en el archivo a priori, en este caso, un archivo a priori ayuda a asignar las celdas que se superponen estadísticamente entre dos clases; estas celdas se asignan con mayor exactitud a la clase adecuada, dando como resultado una mejor clasificación, este enfoque de ponderación para la clasificación se conoce como el clasificador bayesiano” (Chuvieco 2002; Richards y Richards 1999).

### **e) Clasificador Neural Net**

“Técnica de clasificación de red neuronal feed-forward en capas, la técnica Neural Net usa una retropropagación estándar para el aprendizaje supervisado, puede seleccionar la cantidad de capas ocultas para usar y puede elegir entre una función de activación logística o hiperbólica; El aprendizaje se produce al ajustar los pesos en el nodo para minimizar la diferencia entre la activación del nodo de salida y la salida, el error se retroproyecta a través de la red y el ajuste de peso se realiza mediante un método recursivo, asimismo, puede usar la clasificación Neural Net para realizar una clasificación no lineal” (Richards y Richards 1999; Rumelhart et al. 1987).

### **2.2.8 Software de procesamiento de imágenes ENVI**

Es un software de procesamiento y análisis geoespacial líder del mercado. La última versión de ENVI hace más eficiente que nunca el proceso de trabajo analítico permitiéndote tener la información que necesitas más rápido. Con nueva interfaz de usuario más intuitiva, una visualización de alta velocidad, nuevas y avanzadas herramientas de procesamiento y una API flexible para que adaptes el software a tu organización muy fácilmente. ENVI 5 facilita la resolución de problemas obtenidos de las imágenes geoespaciales. Y, como todas las herramientas ENVI son accesibles desde ArcGIS®, los usuarios GIS pueden añadir información fácilmente a su trabajo diario, construyendo mapas y aplicaciones más robustas y completa (Canty 2014).

ENVI es conocido por su amplio conjunto de herramientas de análisis de imágenes y por sus flujos de trabajo automatizados, que te permiten extraer información crítica de las imágenes muy fácilmente. Ahora, ENVI 5 incluye nuevos usos automatizados y herramientas mejoradas que expanden tus posibilidades de procesamiento de imágenes y tu capacidad de análisis para que obtengas rápidamente las respuestas que necesitas de las imágenes y tomes decisiones más inteligentes (Canty 2014).

El ENVI es el mejor software para obtener información de imágenes geoespaciales de manera fácil, rápida y precisa. Por sus herramientas fáciles de usar, su funcionalidad comprobada y resultados rápidos su demanda se incrementa notoriamente en estos últimos años. Obtener información crítica a partir de imágenes geoespaciales, es cada vez más importante dada la creciente utilización de éstas como fuente de información. Por la misma razón, las herramientas y procesos son esenciales ya que deben extraer la información fácil y en forma precisa sin importar el tipo de aplicación que necesita, ya sea para propósitos de inteligencia, científicos o de planeación. Hoy en día, tanto científicos como analistas de imágenes, en una gran variedad de disciplinas, escogen ENVI, como la mejor solución de software para extraer información de imágenes geoespaciales. ENVI ofrece herramientas avanzadas y fáciles de usar para leer, explorar, preparar, analizar y compartir la información extraída de sus imágenes. Desarrollado



por expertos en procesamiento de imágenes y visualización de datos, ENVI está construido en una plataforma extensible que permite acceder fácilmente a la información y ajustar las aplicaciones ENVI a nuestras necesidades. Por su plataforma abierta, ENVI puede ser su solución sin importar el ambiente de trabajo: Windows, Macintosh, Linux o UNIX. ENVI soporta los formatos utilizados por numerosos satélites y sensores Aero- transportados incluyendo imágenes pancromáticas, multiespectrales, hiperespectrales, de radar y térmicas. ENVI puede leer más de 70 formatos de datos incluyendo HDF, GeoTIFF y JITC (NITF) (Canty 2014).

ENVI nos provee de herramientas automatizadas de procesamiento que permiten preparar fácil y rápidamente sus imágenes para visualización y para análisis adicionales. Con ENVI podremos:

- Registrar dos o más imágenes.
- Ortorectificar imágenes.
- Calibrar imágenes.
- Corregir las distorsiones atmosféricas en las imágenes.
- Crear y sobreponer capas vectoriales.
- Identificar Regiones de Interés (ROIs).
- Crear Modelos Digitales de Elevación (DEMs).
- Generar imágenes de alta resolución espectral y espacial.
- Realizar mosaicos y máscaras.
- Recortar y rotar imágenes.
- Determinar índices de vegetación.

ENVI nos ofrece una interface de usuario intuitiva y herramientas fáciles de usar para ver y explorar nuestras imágenes. Con ENVI podremos visualizar gran cantidad de datos y metadatos, compararlos y crear representaciones en tres dimensiones (Canty 2014).

### **a) Fundamentos básicos de ENVI**

“El uso básico del programa ENVI no difiere mucho respecto al de los programas anteriores, la primera opción del menú “*File*” proporciona todo tipo

de utilidades para abrir, guardar y exportar imágenes; Aunque se puede hacer uso de la opción genérica de apertura de imagen “*Open Image File*”, es mejor hacer uso de la opción “*Open External File*” ya que tiene pre-configuradas las opciones y formatos de una multitud de satélites y sensores” (Canty 2014).

## **b) Procesos de clasificación supervisada con ENVI**

“En la clasificación supervisada el usuario elige unas zonas de entrenamiento, estas zonas de entrenamiento se definen como grupos de píxeles que representen a un área homogénea o material y que serán asociadas a una clase; para crearlas en ENVI se utilizan las regiones de interés (ROIs), además, se puede garantizar la separabilidad de las clases para evitar solapamiento entre las mismas representándolas en un mapa n-dimensional (n-D *Visualizer*), ENVI tiene implementados una gran variedad de algoritmos de clasificación” (Canty 2014).

### **2.2.9 Empresa Planet**

“Planet utiliza un enfoque aeroespacial ágil para el diseño de sus satélites, control de la misión y los sistemas de operaciones; y el desarrollo de su plataforma basada en la web para el procesamiento de imágenes y la entrega; Planet emplea un “siempre en” método de captura de imágenes en contraposición al modelo de asignación de tareas tradicional utilizado por la mayoría de las compañías de satélite de hoy” (Planet-Team 2017).

#### **a) Descripción del Producto**

Planet opera las constelaciones de imágenes terrestres PlanetScope (PS) y RapidEye (RE). “Las imágenes se recopilan y procesan en una variedad de formatos para atender diferentes casos de uso, ya sea mapeo, aprendizaje profundo, respuesta a desastres, agricultura de precisión o análisis de imágenes temporales simples para crear productos de información enriquecidos” (Planet-Team 2017).

“Las imágenes satelitales de PlanetScope se capturan como una franja continua de imágenes de un solo cuadro conocidas como "escenas", las escenas se pueden adquirir como un solo fotograma RGB (rojo, verde, azul) o un fotograma dividido con una mitad RGB y un NIR (cerca de infrarrojo) la mitad dependiendo de la capacidad del satélite” (Planet-Team 2017).

“Planet ofrece tres líneas de productos para las imágenes de PlanetScope: un producto de Escena básica, un producto de Ortho Scene y un producto de Ortho Tile; El producto de escena básica es una parte superior de la radiación de la atmósfera (en el sensor) y un producto corregido por el sensor, el producto Basic Scene está diseñado para usuarios con capacidades avanzadas de procesamiento de imágenes y corrección geométrica, el producto no se orto rectifica ni se corrige debido a las distorsiones del terreno, las escenas en Orto son las capturas de imagen de un solo cuadro adquiridas por un satélite PlanetScope con pos procesamiento adicional aplicado, los mosaicos Ortho son escenas múltiples orto rectificadas en una sola tira que se han fusionado y luego dividido según una grilla definida” (Planet-Team 2017).

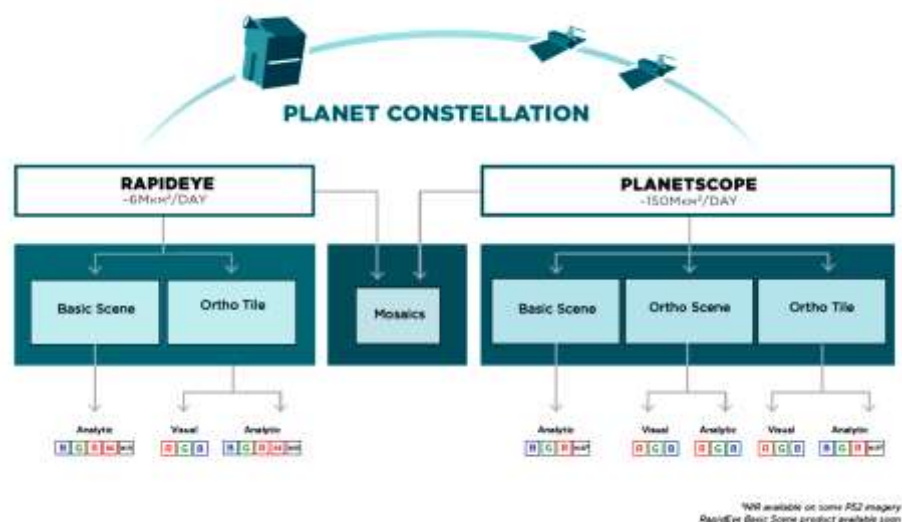


Figura 6. Productos de imágenes del Planet.

Fuente: Planet-Team (2017).

## b) PlanetScope constelación de satélites y sensor Características

“La constelación de satélites PlanetScope consiste en múltiples lanzamientos de grupos de satélites individuales, por lo tanto, la capacidad en órbita mejora constantemente en capacidad o cantidad, con mejoras tecnológicas desplegadas a un ritmo rápido; Cada satélite PlanetScope es un factor de forma CubeSat 3U (10 cm por 10 cm por 30 cm), la constelación completa de PlanetScope de aproximadamente 120 satélites será capaz de obtener imágenes de la Tierra entera todos los días (lo que equivale a una capacidad de recolección diaria de 150 millones de km<sup>2</sup> / día)” (Planet-Team 2017).

Tabla 3. *PlanetScope Constelación y el sensor*

Característica de la misión	Orbita de la estación espacial internacional	Orbita sincrónica solar
Altitud de orbita (referencia)	400 km (51,6 ° de inclinación)	475 km (~ 98 ° de inclinación)
Cobertura Max/Min de latitud	± 52 °	± 81,5 ° (dependiendo de la temporada)
Tiempo de cruce del Ecuador	Variable	09:30-11:30 am (hora solar local)
Tipo de sensor	Generador de imágenes de marco de tres bandas o Generador de imágenes de marco de cuatro bandas con filtro NIR de marco dividido	Generador de imágenes de marco de tres bandas o Generador de imágenes de marco de cuatro bandas con filtro NIR de marco dividido
Las bandas espectrales	Azul 455 - 515 nm	Azul 455 - 515 nm
	Verde 500 - 590 nm	Verde 500 - 590 nm
	Rojo 590 - 670 nm	Rojo 590 - 670 nm
	NIR 780-860 nm	NIR 780-860 nm
El muestreo del suelo Distancia (nadir)	3.0 m (aprox.)	3,7 m (en la altitud de referencia 475 kilómetros)
Ancho de franja	24,6 kilómetros x 16.4 km (en referencia altitud 475 kilómetros)	24,6 kilómetros x 16.4 km (en la altitud de referencia)
Gaza Máxima de Imagen por órbita	8.100 km <sup>2</sup>	20.000 km <sup>2</sup>
Vuelve a Tiempo	Variable	Todos los días en el nadir (principios de 2017)
Captura de Imagen Capacidad	Variable	150 millones de km <sup>2</sup> / día (principios de 2017)
Rango dinámico de la cámara	12-bit	12-bit

Fuente: Planet-Team (2017).

### c) Los productos de imágenes PlanetScope

Productos de imágenes PlanetScope están disponibles como escenas individuales básicos, escenas orto, o productos Azulejos Ortho.

El nombre de cada imagen adquirida PlanetScope está diseñado para ser único y permitir el reconocimiento más fácil y la clasificación de las imágenes. Incluye la fecha y hora de captura, así como la identificación del satélite que lo capturó. El nombre de cada producto imagen descargada se compone de los siguientes elementos:

<Fecha de adquisición> \_ <tiempo de adquisición> \_ <satellite\_id> \_ <ProductLevel> <bandProduct>. <Extensión>

El producto Escena básico está diseñado para usuarios con capacidades de procesamiento de imágenes avanzadas y un deseo de corregir geoméricamente el producto ellos mismos. El dato de las imágenes se acompaña de RPC para permitir orto rectificación por el usuario. Las correcciones radiométricas aplicados a este producto son (Planet-Team 2017):

- ✓ Corrección de las diferencias relativas de la respuesta radiométrica entre los detectores
- ✓ Top ajustado de la corrección atmosférica Resplandor
- ✓ Las correcciones del sensor geométricas aplican a este producto correcto para:
  - ✓ Distorsiones ópticas causadas por la óptica del sensor
  - ✓ Co-registro de bandas
- ✓ La siguiente tabla describe los atributos de la escena PlanetScope básica:

Tabla 4. Ambiente PlanetScope básicos del Producto

Atributos del Producto	Descripción
Componentes del producto y formatos	El producto PlanetScope Escena básico consta de los siguientes componentes de archivo: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Archivo de imagen – formato GeoTIFF</li> <li>• Metadatos Archivo – formato XML</li> <li>• coeficientes polinómicos racionales – formato XML</li> <li>• Miniaturas – formato GeoTIFF</li> <li>• Inutilizables máscara de datos de archivos (UDM) – formato GeoTIFF</li> </ul>
Contenido de información	
Bandas analíticas	3-banda de color natural (rojo, verde, azul) o 4-banda de imagen multiespectral (azul, verde, rojo, infrarrojo cercano)
Muestra de suelo Distancia	3,7 m (en la altitud de referencia 475 kilómetros)
Tratamiento	
Tamaño de píxel (orto rectificada)	N / A
Profundidad de bits	Analítica (DN): 12 bits   Analítica (Resplandor): 16 bits
La exactitud posicional	Menos de 10 m RMSE
Precisión de calibración	La precisión relativa de menos de 15% de desviación @ 1 std
Radiométrica	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Temporal y el Inter-Sensor</li> <li>• La precisión absoluta por satélite de menos de 20% @ 1 std desviación</li> </ul>
Proyección mapa	N / A

Fuente: Planet-Team (2017).

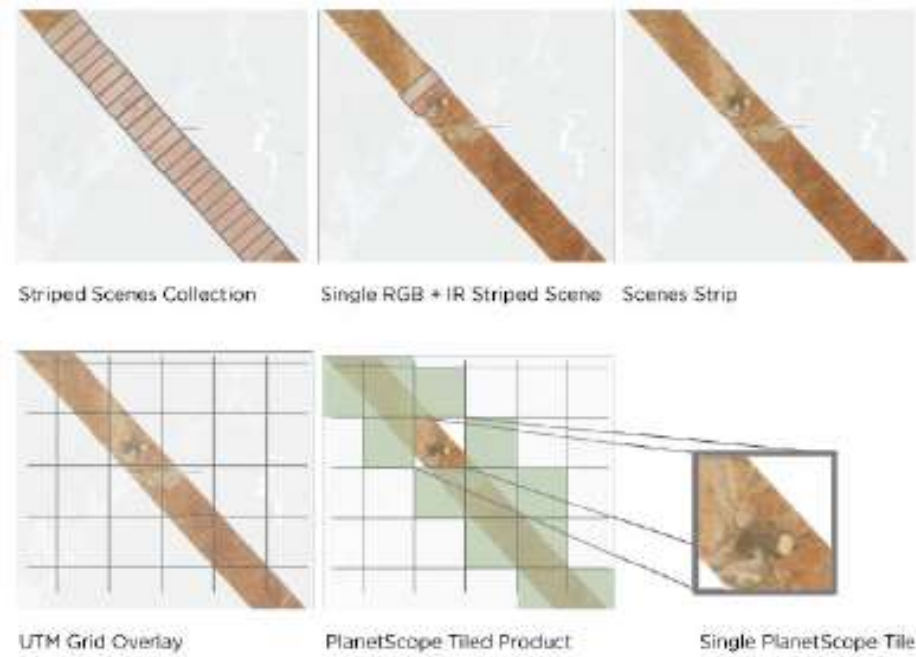


Figura 7. PlanetScope escenas a Conversión Tile Ortho.

Fuente: Planet-Team (2017).



Figura 8. PlanetScope Analytic Ortho Azulejos con RGB (izquierda) y NIR de falso color compuesto (derecha).

Fuente: Planet-Team (2017).

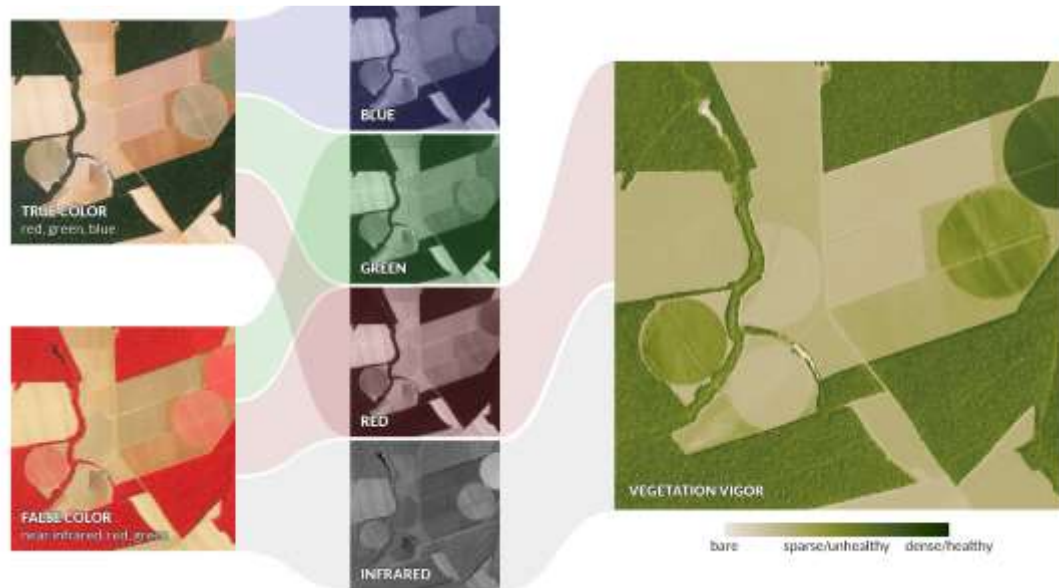


Figura 9. Bandas PlanetScope Analytic.

Fuente: Planet-Team (2017).

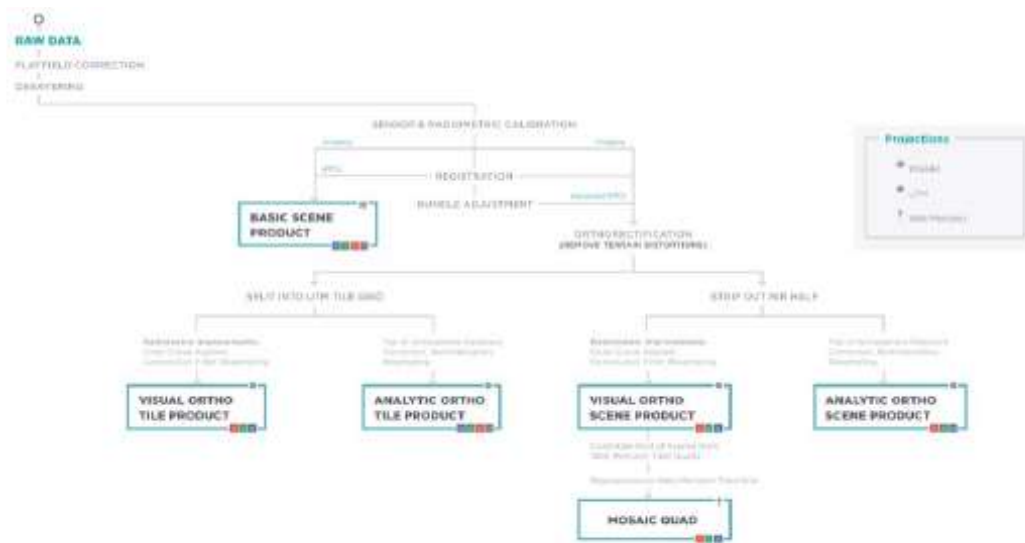


Figura 10. Cadena de Procesamiento de imagen.

Fuente: Planet-Team (2017).

#### d) Atributos de calidad

##### ✓ Precisión de posición geométrica

La precisión de localización de todos los productos de imágenes depende de la calidad de los datos de referencia utilizados: Ground Control Points (GCP)



y el modelo de elevación digital (DEM). Además, el ángulo de balanceo de la nave espacial durante la adquisición de imágenes y el número, así como la distribución de GCPs dentro de la imagen impactarán la precisión del producto final (Planet-Team 2017).

Planet utiliza un método de rectificación imágenes únicas que minimiza los pasos de procesamiento para aumentar la eficiencia de procesamiento global de cara a las grandes cantidades de datos de imágenes que se descargarán y rectificado en la capacidad operativa plena (FOC). Este enfoque reduce pasos de remuestreo a través de un enfoque de procesamiento paralelo patentada que permite pasar de prima a las imágenes orto rectificadas sin degradación de la calidad de imágenes (Planet-Team 2017).

Para apoyar la integración y la compilación de varias imágenes en el tiempo, cada píxel se ajusta para Bayer enmascaramiento, Telescopio Geometría, Geometría orbital, Satélite precisión de puntería, y Topografía. Todas las baldosas orto se ortorrectificaron usando GCPs y DEM finas (30 m a 90 m de la fijación) a menos de 10 m RMSE exactitud posicional. Algunos 50,000 puntos se generan automáticamente cada imagen de satélite para y se convierten en un modelo matemático para que coincida con los puntos relevantes de una base de datos de unos 5 millones de puntos de control en tierra locales derivados de Landsat 8 y otras fuentes. El archivo Landsat 8 y base de datos de OpenStreetMap se referencian automáticamente para proporcionar rápidamente robusta, durante todo el año, los puntos de amarre (Planet-Team 2017).

### ✓ **Cubierta de Nube**

La estimación de la nube para PlanetScope se basa fuera de la luminosidad esperada de píxeles para un momento determinado del año. Una base de datos histórica por píxel se ha construido desde el archivo Landsat 8. Si la luminosidad de un píxel PlanetScope es significativamente mayor de lo esperado para esta época del año, el píxel se marca como 'nublado' (Planet-Team 2017).

Este método es rápido y sencillo, pero tiene limitaciones:

- Si una región puede estar cubierta por la nieve en un momento determinado del año, las nubes son mucho menos propensas a ser identificadas.
- nubes más oscuras son menos propensas a ser identificadas. Esto incluye tanto las nubes finas y las nubes auto-sombreado.
- Las áreas más brillantes, tales como superficies del desierto, arenas y salinas, son menos propensas a ser identificado como que contiene nubes.
- La reflexión especular medio día hora local son más propensos a ser marcado como nubes.

#### ✓ **Banda de coregistro**

La las “rayas” NIR RGB y son 2 adquisiciones separadas (aproximadamente 0,5 segundos de diferencia). La imagen se rectifica primero al suelo y cualesquiera escenas rectificadas adyacentes con alta precisión. Todos tiepoints de esta solución de rectificación (geográfica y coordenadas de imagen tuplas) se guardan para su uso futuro. El Planet Pipeline es entonces capaz de realizar rápidamente una operación similar a agrupar ajuste sobre todas las escenas en una tira, la optimización para la alineación suelo y co-registro banda. Si uno está familiarizado con el flujo de trabajo de ajuste paquete tradicional, pensar en ella como a sustitución de los modelos de cámaras con las ecuaciones RPC, con el beneficio añadido de tiepoints tierra (Planet-Team 2017).

#### ✓ **Radiometría y precisión radiométrica**

Se hace un esfuerzo significativo para asegurar la calidad del producto radiométrica imagen de todos los productos Imagery PlanetScope satélite. Esto se logra a través de un concepto de calibración del sensor vigorosa que se basa en la calibración de laboratorio, controles periódicos de las estadísticas de todos los datos de entrada de imagen, adquisiciones en los

sitios de calibración temporales seleccionados, y absolutos campañas de calibración suelo. La versión actual del producto incluirá los valores de radiancia calibrados utilizando un conjunto limitado de datos de calibración previas al lanzamiento en la analítica Ortho Azulejos. Esta versión preliminar tiene por objeto exponer a los usuarios al formato del producto resplandor. Nuestro objetivo es mantener la exactitud de la calibración de la constelación PlanetScope consistente en el tiempo con técnicas de calibración en órbita. La conversión a Resplandor y Top de reflectancia Ambiente (Planet-Team 2017).

Para convertir los valores de píxel de los productos de análisis para la luminosidad, es necesario multiplicar el valor DN por el factor de escala radiométrica, de la siguiente manera (Planet-Team 2017):

$$RAD(i) = DN(i) * radiometricScaleFactor(i), \text{ donde } radiometricScaleFactor(i) = 0,01$$

El valor resultante es el resplandor en el sensor de ese píxel en vatios por estereorradián por metro cuadrado ( $W / m^2 * SR * m$ ) (Planet-Team 2017).

Reflectancia es generalmente la relación entre la radiación reflejada dividida por la radiación entrante. Tenga en cuenta, que esta relación tiene un aspecto direccional. Para activar radiancias en una reflectancia es necesario relacionar los valores de radiancia (por ejemplo, el DNS píxeles) a la luminosidad del objeto se ilumina con. Esto se suele hacer mediante la aplicación de un software de corrección atmosférica a la imagen, porque de esta manera el impacto de la atmósfera a los valores de radiancia se elimina al mismo tiempo. Pero también sería posible descuidar la influencia de la atmósfera mediante el cálculo de la parte superior del Ambiente (TOA) de reflectancia en función únicamente de la distancia del sol y de la geometría de la radiación solar entrante. La fórmula para calcular la reflectancia TOA no tener en cuenta ninguna influencia atmosférica es la siguiente (Planet-Team 2017):

$$REF(i) = RAD(i) \frac{\pi * SumDist^2}{EAI(i) * \cos(SolarZenith)} \quad (1)$$

Con:  $i$  = Número de la REF banda = valor de Para RapidEye, los valores del IAE para las 5 bandas son:

Azul: 1.997,8 W / m<sup>2</sup>μm

Verde: 1.863,5 W / m<sup>2</sup>μm

Rojo: 1.560,4 W / m<sup>2</sup>μm

RE: 1.395,0 W / m<sup>2</sup>μm

NIR: 1.124,4 W / m<sup>2</sup>μm

Reflectancia espectral RAD = valor de radiancia

SunDist = distancia Tierra-Sol en el día de la adquisición de unidades astronómicas. El valor no es fijo, que varía entre 0,983 289 8,912 1,016 710 UA y UA 3335.

EAI = ex atmosférica

SolarZenith = Solar Zenith en grados (= 90 ° - elevación del sol). Para PlanetScope, los valores del IAE serán publicados en línea (Planet-Team 2017).

### ✓ **Metadata del producto**

“Los datos de azulejo Ortho en el planeta API contendrán metadatos en GeoJSON lectura mecánica y apoyado por compatibles con los estándares herramientas SIG (por ejemplo, GDAL y derivados, bibliotecas JavaScript). Los metadatos producto, también se proporciona en formato XML” (Planet-Team 2017).

La siguiente tabla describe el esquema de metadatos para GeoJSON Azulejos productos PlanetScope Ortho:

*Tabla 5. PlanetScope Ortho tile GeoJson Metadatos de esquema*

Parámetro	Descripción	Tipo
Adquirido	El tiempo de adquisición RFC 3339 de imágenes subyacentes.	cuerda
Anomalous_pixel	porcentaje de píxeles anómalos. Píxeles que tienen problemas de calidad de imagen documentados en la taxonomía de calidad (por ejemplo, columna caliente). Esto está representado espacialmente dentro de la UDM.	número
Black_fill	Relación de la imagen que contiene relleno negro artificial debido a la saturación de los datos reales.	número (0 - 1)
Cubierto de nubes	Proporción de la superficie cubierta por las nubes.	número (0 - 1)
Columnas	Número de columnas en la imagen.	número
Filas	Número de filas de la imagen	número
Epsg_code	El identificador de la celda de la cuadrícula que el producto imagería está viniendo de si el producto es un mosaico de imágenes (no se utiliza si la escena).	número
Cuadrícula de celdas	El identificador de celda de la cuadrícula del elemento cuadrículada.	cuerda
Gsd	La distancia de muestreo terrestre de la adquisición de la imagen.	número
Tipo de artículo		string (PSOrthoTile)
Origin_x	ULX coordenada de la extensión de los datos. Las referencias de coordenadas de la esquina superior izquierda de la imagen superior izquierdo.	numero
Origin_y	JULIO coordenada de la extensión de los datos. Las referencias de coordenadas de la esquina superior izquierda de la imagen superior izquierdo.	número
Actualizado		fecha
Proveedor	Nombre del proveedor de imágenes.	cadena ( "planetscope", "RapidEye")
Pixel_resolution	resolución de píxel de la imagen en metros.	número

Fuente: Planet-Team (2017).

## **Minería aurífera en Madre de Dios**

“La minería artesanal en el Perú es una actividad que toma gran impulso, con gran informalidad, en Madre de Dios, a partir de la década del 80, en un contexto de recesión económica, crisis del campo, violencia política generada

por el terrorismo lo que determinó procesos migratorios, principalmente a zonas con filiación aurífera, dado los altos precios alcanzados por este metal; lo que explica que un elevado porcentaje de esta actividad está orientado a la explotación de yacimientos auríferos aluviales, al promulgarse a comienzos del año 2002, la Ley N° 27651- “Ley de formalización y promoción de la Pequeña Minería y Minería Artesanal” y, posteriormente, su respectivo reglamento -D.S. 013-2002-E.M- se creó el marco jurídico perfectible para el reconocimiento oficial de la minería artesanal/ informal e incluso hasta para definirla, dado que anteriormente se tenía que recurrir en “préstamo” a la definición que sobre esta actividad había adoptado el Banco Mundial (“Tipo más primario de minería, caracterizado por individuos o grupos de individuos que explotan depósitos en pequeña escala con métodos manuales o equipos muy simples”) y obviamente se han creado también las condiciones básicas para aspirar a la integración de la minería artesanal/ informal en el sector de la economía formal” (Gutiérrez La Torre 2015).

## **Agua**

“El 71% del agua en La Tierra se encuentra en los mares y océanos, cubriendo el 71% de la superficie del globo, El 97 % de toda el agua existente es agua de mar, el 3% restante corresponde a agua dulce, alrededor del 2 % está congelada en los polos, el resto es agua dulce natural líquida, (1% del total) que en gran parte se encuentra en acuíferos muy profundos difíciles de aprovechar, La limitada disponibilidad de agua dulce, se agrava por su distribución desigual en las superficies continentales, generando zonas de abundancia y zonas de escasez “ (Chaparro 2009).

“El agua se utiliza en los procesos de exploración, en la explotación y en aquellos como los de concentración por flotación, en la fusión y electro refinación, o en el proceso hidro metalúrgico, el que consta de lixiviación, extracción por solventes y electro obtención” (Chaparro 2009).

“El agua es un compuesto con características únicas, de gran significación para la vida, el más abundante en la naturaleza y determinante en los procesos físicos, químicos y biológicos que gobiernan el medio natural, el

agua, al igual que el fuego, la tierra y el aire, fue para los griegos uno de los cuatro elementos que formaron el mundo; El griego Tales de Mileto creía que el agua era el principio de todas las cosas existentes, más tarde Empédocles, seguido por Platón y Aristóteles, la consideró como uno de los cuatro elementos básicos del universo, y luego, a fines del siglo XVIII, nadie puso en duda que el agua fuera un elemento simple; En 1775 el químico francés Macquer obtuvo algunas gotas de agua por combustión del hidrógeno; pese a ello, tres años después escribía que el agua parecía ser “una sustancia inalterable e indestructible” que no podía ser descompuesta; tal era la tenacidad con que se mantenían las ideas de Platón y Aristóteles” (Chaparro 2009). “Es un recurso natural finito, estratégico y vulnerable, esencial para sostener la vida; base para desarrollo económico, es insustituible para la sostenibilidad ambiental del Perú, actualmente es un recurso “conflicto” ya sea por uso o por contaminación” (Chaparro 2009).

“El agua es uno de los recursos más importantes para la vida en el planeta; Los seres humanos dependemos de su disponibilidad no sólo para el consumo doméstico, sino también para el funcionamiento y la continuidad de las actividades agrícolas e industriales, en las últimas décadas, con la finalidad de producir más alimentos y energía, así como de dotar del servicio de agua potable a una población cada vez más numerosa, la demanda por el líquido ha crecido significativamente, otro problema importante relacionado con la posibilidad de utilizar el agua es su grado de contaminación, ya que si no tiene la calidad adecuada puede agravar el problema de la escasez, las aguas de los cuerpos superficiales y subterráneos se contaminan por las descargas sin tratamiento previo, de aguas municipales e industriales, así como por los arrastres que provienen de las zonas que practican actividades agrícolas y pecuarias” (Chaparro 2009).

### **Cuerpos de Agua**

“Los cuerpos de agua como lagos, ríos y humedales ofrecen una variedad de recursos y comunidades acuáticas que pueden ser amenazadas por derrames de hidrocarburos” (Velásquez 2017).

“Por ejemplo, cuando los hidrocarburos contaminan cuerpos de agua superficiales estos, tienden a flotar debido a la diferencia de densidad que presentan con respecto al agua; por este motivo bloquean la penetración de la luz y el intercambio de gases, favoreciendo así la solubilización de materiales que afectan a las distintas poblaciones como el plancton o los micro invertebrados que viven en el fondo de ríos y pantanos” (Velásquez 2017).

### 2.3 Definición de términos

**Algoritmo:** “Aplicado a los SIG suele tratarse de un conjunto de operaciones de álgebra de mapas y/o sobre bases de datos que permiten obtener un resultado mediante combinación de información espacial y alfanumérica  
validación de un algoritmo: proceso de verificación mediante el cual se asegura (a) que el algoritmo está libre de errores sintácticos y de escritura y (b) que genera resultados correctos para cualquier combinación coherente de valores de las variables de entrada, no siempre es posible realizar una validación algorítmica completa” (Brassard y Bratley 1996).

**Banda:** “Rango de frecuencias del espectro electromagnético, por ejemplo, la banda 1 del sensor TM se define en el rango 0.45-0.52 mm” (Brizuela et al. 2007).

**Base de datos:** “Las bases de datos relacionales son un caso concreto en el que la información se organiza en relaciones (llamadas más frecuentemente “tablas”) que son conjuntos de tuplas (“registros”) cada una de las cuales integra información de un elemento en un conjunto de campos (uno por atributo del elemento); si dos tablas comparten un campo con valores dentro del mismo dominio, puede aplicarse una operación de unión mediante la cual las tuplas se enlazan en función de los valores del campo de enlace” (Martínez 2002).



**Celda:** “Elemento básico de información en una estructura ráster matricial representa el valor medio de un área rectangular superpuesta al terreno (es un concepto análogo al de pixel en una imagen digital)” (Sanz 2010).

**Clasificación:** “Proceso de agrupamiento de un conjunto de elementos en clases en el sentido estadístico, una clasificación pretende agrupar los elementos en clases internamente homogéneas pero diferenciables entre ellas por los valores de una o varias variables” (Gonzalez-Alonso et al. 1992).

**Imagen digital:** “Representación gráfica de un objeto mediante una matriz regular que recoge valores de reluctancia los valores de reflectancia suelen medirse mediante sensores sensibles a ciertos rangos de longitudes de onda de la luz; ejemplos de estos sensores son los transportados por plataformas aéreas (aviones o satélites) o los integrados en un escáner para la digitalización de documentos impresos” (Luque 2011).

**Pixel:** “Cada elemento discreto en los que se divide una imagen digital tecnicismo de origen inglés que procede de la contracción de picture element” (Li et al. 2017).

**Ráster:** “Modelo de datos en el que la realidad se representa mediante teselas elementales que forman un mosaico regular cada tesela del mosaico es una unidad de superficie que recoge el valor medio de la variable representada (altitud, reflectancia ...); las teselas pueden ser cuadradas (celdas) o no (triangulares, hexagonales...) un modelo de datos raster está basado en localizaciones” (Hijmans y van Etten 2014).

**Teledetección:** “Proceso de captura de información a distancia, sin contacto entre el aparato de medida y el objeto se aplica habitualmente en un sentido más restringido a las imágenes o datos captados mediante sensores

transportados por aviones o satélites; es común la extensión del concepto al análisis y la interpretación de la información, y no sólo a su captura” (Chuvieco 1996).

**Clasificación de Máxima Verosimilitud:** “Es un criterio estadístico de clasificación digital de imágenes, o lo cual se asigna cada pixel de la imagen a la categoría para la cual posee mayor probabilidad de pertenencia” (Tucker y Lewis 1973).

**Clasificación neural Net:** “Técnica de clasificación de red neuronal feed-forward en capas, la técnica Neural Net usa una retropropagación estándar para el aprendizaje supervisado, puede seleccionar la cantidad de capas ocultas para usar y puede elegir entre una función de activación logística o hiperbólica” (Richards y Richards 1999; Rumelhart, et al. 1987).

**Clasificación Spectral Angle Mapper:** Este algoritmo, “mide la similitud entre un espectro desconocido  $t$ , con uno referencial  $r$ , en  $n$ -dimensiones, estos espectros son tratados como vectores en  $n$ -espacios y el ángulo que forman se denomina ángulo espectral” (Oliva, et al. 2011).

**Mosaicos:** “Se trata de un ensamblaje de distintas imágenes aéreas o espaciales que cubren parte, al menos, del mismo territorio” (Miravet et al. 1998).

## **CAPÍTULO III: METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN**

### **3.1 Tipo de estudio**

La investigación es de tipo descriptiva, correlacional y predictivo (Baray 2006; Castro 2003; Cazau 2006; Hernández, et al. 2010), porque se somete a un análisis a través de un software donde usa algoritmos, a través del uso de las imágenes satelitales de alta resolución espacial para la cuantificación y comparación de cuerpos de agua residuales en dos tipos de operaciones en el corredor minero de Madre de Dios.

### **3.2 Diseño de investigación**

El diseño de investigación es Transaccional (transversal), ya que se analiza, se cuantifica los cuerpos de agua residual producto de la minería aluvial en el corredor minero de Madre de Dios (Baray 2006; Castro 2003; Cazau 2006; Hernández, et al. 2010).

### **3.3 Población**

Se consideró como población el corredor minero de Madre de Dios, que comprende una superficie de 733 104,75 ha (7 331,04 km<sup>2</sup>).

### **3.4 Muestra**

Para determinar el número de muestras de aguas residuales a verificar en campo o con imágenes de alta resolución se utilizó la distribución binomial de probabilidad (Anaya y Chuvieco 2010; Chuvieco y Hantson 2010), calculándose el tamaño de muestra mediante la fórmula (2):

$$n = \frac{Z^2 p(qN)}{(N-1)E^2 + Z^2 + pq} \quad (2)$$

Dónde:

Z: Es el valor de la curva normal estandarizada para un nivel determinado de probabilidad, 1,96 (95%).

p: indica el porcentaje de aciertos estimado, 0,50 (50%).

q: Indica el porcentaje de errores ( $q = 1 - p$ ), 0,50 (50%).

N: Tamaño de la población.

E: El error permitido, 0,05 (5%).

$$n = \frac{(1,96)^2 * 0,5(0,5 * 733\ 104,75)}{(733\ 104,75 - 1) * 0,05^2 + 1,96^2 + (0,5 * 0,5)}$$

$$n = 382,33 = 382$$

Esta muestra fue distribuida, de tal forma que sea representativa de la totalidad del mapa. Ello se dio a través de un diseño de muestreo probabilista, donde todas las unidades de muestreo presentes en el mapa tuvieron una probabilidad conocida superior a cero de ser seleccionadas, a esta probabilidad de selección se le denomina probabilidad de inclusión. Las técnicas de muestreo más empleadas en el proceso de evaluación de la contabilidad temática son: aleatorio simple, aleatorio estratificado, sistemático, sistemático no alineado y por conglomerados (François-Mas et al. 2003). Para nuestro caso se aplicó el muestreo *Aleatorio estratificado*. La muestra se realizó de acuerdo con las muestras de aguas residuales visualizadas en las imágenes de satélite (Figura 11) (Anexo 4).

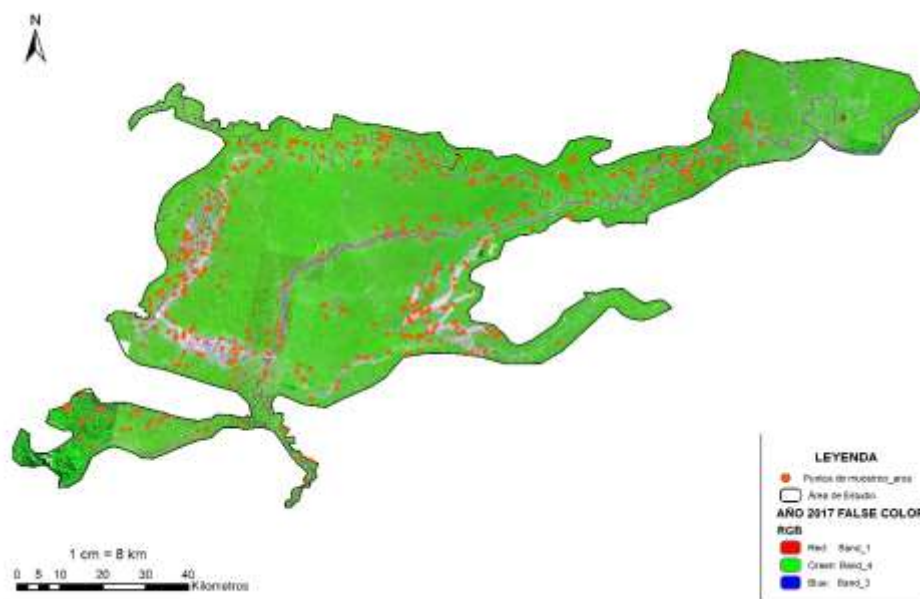


Figura 11. Distribución de muestras para validar aguas residuales producto de la minería aurífera en Madre de Dios.



Figura 12. Validación de aguas residuales producto de la minería aurífera con imágenes WorldView de 0,38 m de resolución espacial.



Figura 13. Validación de aguas residuales producto de la minería aurífera con imágenes de Drone de 0,04 a 0,06 m de resolución espacial.

### 3.4 Método y técnicas

#### 3.4.1 Lugar de estudio

El área de estudio corresponde al corredor minero Madre de Dios cuyo polígono superficie fue adaptada a la realidad actual con incremento expansión minera que abarca una superficie total de 733 104,75 ha. Las cuales limita de la siguiente manera:

**POR EL NOROESTE:** Limita con la zona de amortiguamiento del Parque Nacional del Manu y las áreas identificadas por la Zonificación Ecológica Económica (ZEE) de Madre de Dios como restringidas para la actividad minera, comprendida en la subcuenca del río De las Piedras de los distritos: Madre de Dios, Laberinto, Tambopata y Las Piedras de la provincia Tambopata.

**POR EL ESTE- SUR ESTE:** Limita con otras áreas restringidas para actividad minera identificadas por la ZEE y con la Zona de Amortiguamiento de la

Reserva Nacional de Tambopata del distrito Las Piedras, provincia de Tambopata.

POR EL SUR: Limita con las zonas de potencial agrícola y pecuario con restricciones para actividad minera identificada por la ZEE y con la Zona de Amortiguamiento de la Reserva Nacional de Tambopata del distrito Inambari, provincia Tambopata.

POR EL OESTE: Limita con áreas restringidas para actividad minera identificadas por la ZEE y la Reserva Comunal Amarakaeri, distrito de Hupethue de la provincia del Manu (Decreto de Urgencia (D.U.) N.º 012-(2010) (figura 14).

### **3.4.2 Clima e Hidrografía**

La temperatura es semicálida. Se observa que las mayores temperaturas se encuentran en la parte baja de la cuenca, donde los valores oscilan entre 25 y 26°C, correspondiente a las Estaciones Puerto Maldonado, Iñapari, Iberia y Pakitza. Los meses de mayor Temperatura se encuentran entre octubre y marzo (GOREMAD y IIAP 2009).

En cuanto a la humedad, el clima es de tipo muy lluvioso, cálido, muy húmedo con invierno seco y abundante precipitación durante todo el año, permanentemente húmedo por la alta concentración de vapor de agua en la atmosfera. Estas zonas se caracterizan por ser muy inestables (disminución de la temperatura con la altura), la temperatura promedio anual de verano a invierno es de 27°C y en periodos de friaje bajan hasta 10°C, más hacia el norte de menor magnitud. La variación de la temperatura horaria es perceptible y el ambiente es muy caluroso y sofocante al medio día y cálido en la noche (GOREMAD y IIAP 2009).

La hidrografía comprende los siguientes ríos: Madre de Dios, Inambari, Las Piedras, Puquiri, Huasoroco, Colorado, Tocabe, Palmichal, San Jacinto, Pariamanu, Madama, Chorrepa, Copamanu, Garrapatayoc, Laberinto, Shiringayoc, Lagarto, etc. (GOREMAD y IIAP 2009).

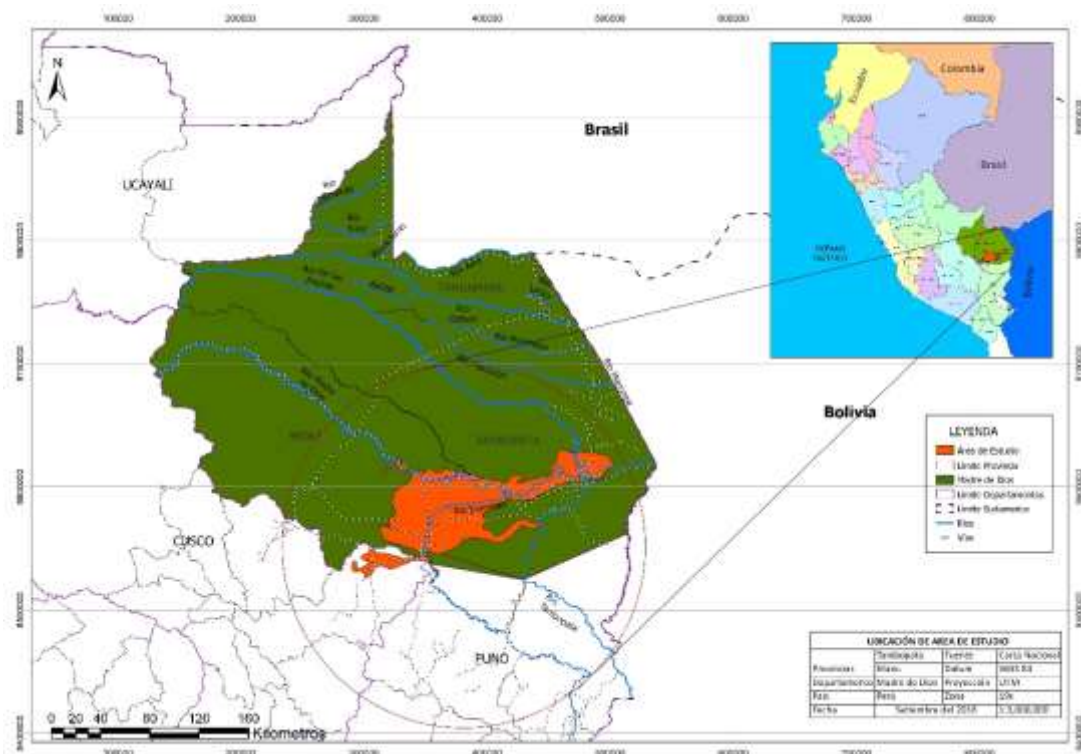


Figura 14. Ubicación del área de estudio, corredor minero de Madre de Dios.

### 3.4.3 Método

El procesamiento e interpretación de las imágenes del satélite PlanetScope, así como para la validación estadística de la interpretación de los cuerpos de agua producto de la minería aurífera, se utilizó la metodología adaptada de CORINE Land Cover (IDEAM 2010), el cual define una metodología específica para realizar el inventario de la cobertura de la tierra. La base de datos de Corine Land Cover Colombia (CLC) permite describir, caracterizar, clasificar y comparar las características de la cobertura de la tierra, interpretadas a partir de la utilización de imágenes de satélite de resolución media a alta (PlanetScope), para la construcción de mapas de cobertura a diferentes escalas. La investigación considero en la categoría de cuerpos de aguas residuales producto de la minería aurífera a las subcategorías: 1. Bomba de succión, y 2. Maquinaria pesada.



A continuación, se presenta el diseño metodológico para la obtención del producto final (Figura 15).

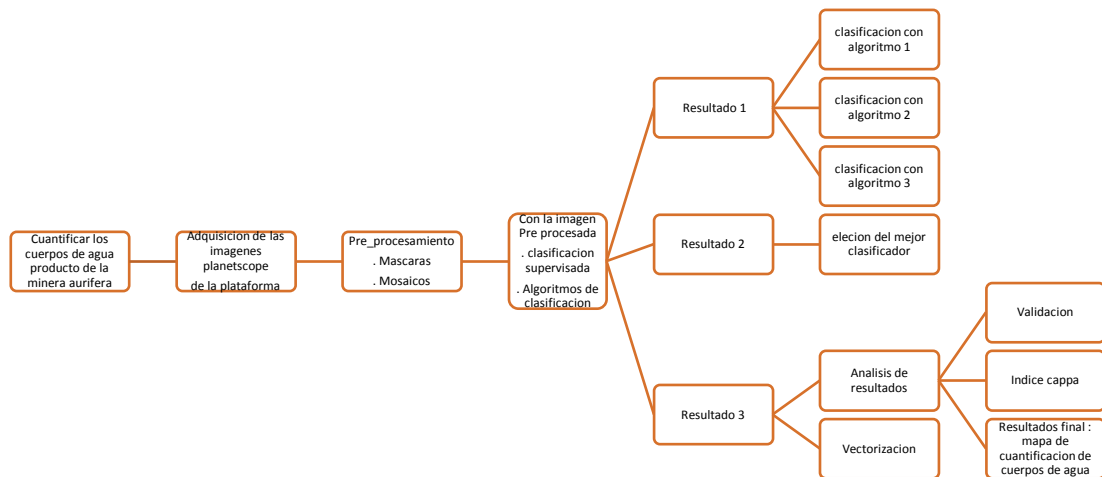


Figura 15. Diseño metodológico propuesto para la investigación.

Fuente: IDEAM (2010).

Las actividades realizadas fueron: Registro, preprocesamiento, clasificación de imágenes satelitales, verificación y cuantificación de los cuerpos de agua por minería en dos tipos de operaciones mineras.

El proceso se basó en una clasificación multiespectral supervisada en base al método de Maximum Likelihood, Neural Net y Spectral Angle Mapper de los softwares ENVI 5.3®, ArcGis Pro 2,1®, ArcGis 10,4,1® proporcionadas por la ONG CINCIAS y el Centro de Teledetección para el estudio y gestión de los recursos naturales (CETEGERN). Previamente a este proceso se distribuyó puntos de validación, para lo cual se realizará a través de la recolección de puntos de aguas residuales como áreas entrenamiento extraídas del corredor minero de Madre de Dios, imágenes de alta resolución WorldView de 0,38 m (año 2017), e imágenes de drones con una resolución espacial de 0,04 a 0,06 m (año 2018). La verificación in situ se desarrolló mediante el uso de GPS (Garmin Map 60 CSx, y Garmin Map 62 CSx). Seguidamente se realizó la validación a través de una matriz de confusión mixta; datos de campo e

imágenes de alta resolución (cuya exactitud será medida mediante el índice de Kappa).

Para la realización del presente estudio se utilizó el sistema de Información Geográfica (SIG), la información cartográfica del área de estudio fue proporcionada por la ONG CINCIA y el Centro de Teledetección para el estudio y gestión de los recursos naturales (CETEGERN).

### 3.4.4 Técnicas de recopilación de datos

Material bibliográfico: Esta etapa se realizó durante todo el proceso de la elaboración de la tesis, a través de la búsqueda exhaustiva de información especializada concerniente a la investigación.

Selección de coberturas y obtención de imágenes de satélite:

1. Inicialmente se obtuvo información cartográfica del área de estudio de la ONG CINCIA y del Centro de Teledetección para el Estudio y Gestión de Recursos Naturales (CETEGERN) de la Universidad Nacional Amazónica de Madre de Dios.
2. Seguidamente se utilizó imágenes de alta resolución provenientes del satélite PlanetScope, con una resolución de 3m x 3m por píxel, del año 2017, obtenidas del servidor del planetscope.com, cubriendo el área del corredor minero de Madre de Dios, y proporcionadas por la cuenta de la ONG CINCIA (Tabla 6).

Tabla 6. *Información de adquisición de imágenes PlanetScope*

<b>Sensor</b>	<b>Cobertura</b>	<b>Fecha de Imagen</b>
PlanetScope	Corredor minero	08 de Julio 2017

Fuente: Planet-Team (2017).



Figura 16. Imagen de satélite PlanetScope, composición de banda 1-4-3 (2017-07-08).

Tabla 7. Características de la imagen de satélite PlanetScope

Características de la misión	Orbita de la estación espacial internacional	Orbita sincrónica solar
Altitud de orbita (referencia)	400 km (51,6 ° de inclinación)	475 km (~ 98 ° de inclinación)
Cobertura Max/Min de latitud	± 52 °	± 81,5 ° (dependiendo de la temporada)
Tiempo de cruce del Ecuador	Variable	09:30-11:30 am (hora solar local)
Tipo de sensor	Generador de imágenes de marco de tres bandas o Generador de imágenes de marco de cuatro bandas con filtro NIR de marco dividido	Generador de imágenes de marco de tres bandas o Generador de imágenes de marco de cuatro bandas con filtro NIR de marco dividido
Las bandas espectrales	Azul 455 - 515 nm	Azul 455 - 515 nm
	Verde 500 - 590 nm	Verde 500 - 590 nm
	Rojo 590 - 670 nm	Rojo 590 - 670 nm
	NIR 780-860 nm	NIR 780-860 nm
El muestreo del suelo Distancia (nadir)	3,0 m (aprox.)	3,7 m (en la altitud de referencia 475 kilómetros)

Ancho de franja	24,6 kilómetros x 16.4 km (en referencia altitud 475 kilómetros)	24,6 kilómetros x 16.4 km (en la altitud de referencia)
Gaza Máxima de Imagen por órbita	8 100 km <sup>2</sup>	20 000 km <sup>2</sup>
Vuelve a Tiempo	Variable	Todos los días en el nadir (principios de 2017)
Captura de Imagen Capacidad	Variable	150 millones de km <sup>2</sup> / día (principios de 2017)
Rango dinámico de la cámara	12-bit	12-bit

Fuente: Planet-Team (2017).

Para la selección de las imágenes PlanetScope, se consideró que el barrido de la toma no presente nubosidad, ya que podría inferir negativamente en la clasificación supervisada de los cuerpos de agua residual producto de la minería de oro en el área de estudio. Para ello se seleccionó imágenes de época no lluviosa.

### 3.4.5 Clasificación supervisada de la imagen satelital

Tratamiento digital que se basa en intensidad radiométrica de cada píxel en las distintas bandas utilizadas para su interpretación. La clasificación para el presente estudio comprendió tres (3) fases:

- 1. Pre-Procesamiento**, el cual consistió en realizar todos los procesos necesarios para la preparación de los datos satelitales, para su posterior clasificación, comprendiendo así desde la unión de bandas hasta el recorte del área de interés.
- 2. Procesamiento**, el cual consistió en la clasificación propiamente dicha de la imagen, en donde se localiza lugares concretos en la imagen de satélite (con ayuda de información de campo e interpretación de fotografías aéreas o por conocimiento propio) que representen ejemplos homogéneos de los tipos de cubierta del suelo a determinar. Estos lugares se denominan “áreas de entrenamiento” porque sus características espectrales se usan para que el algoritmo de

clasificación las compare estadísticamente con las de otra parte cualquiera de la imagen (Chuvieco y Hantson 2010; Jensen et al. 1991). El presente estudio utilizó la clasificación multiespectral supervisada en base al método de Maximum Likelihood, Neural Net, y Spectral Angle mapper del software ENVI.

“La clasificación de probabilidad máxima supone que las estadísticas para cada clase en cada banda se distribuyen normalmente y calcula la probabilidad de que un píxel determinado pertenezca a una clase específica” (Richards y Richards 1999). “A menos que seleccione un umbral de probabilidad, todos los píxeles se clasifican, cada píxel se asigna a la clase que tiene la mayor probabilidad (es decir, la máxima verosimilitud), si la probabilidad más alta es menor que un umbral que especifique, el píxel permanece sin clasificar” (Richards y Richards 1999). ENVI implementa la clasificación de máxima verosimilitud calculando las siguientes funciones discriminantes para cada píxel en la imagen (Richards y Richards 1999):

$$g_i(x) = \ln p(\omega_i) - \frac{1}{2} \ln |\Sigma_i| - \frac{1}{2} (x - m_i)^t \Sigma_i^{-1} (x - m_i) \quad (3)$$

Dónde:

$i$  = clase

$x$  = datos  $n$ -dimensionales (donde  $n$  es el número de bandas)

$p(\omega_i)$  = probabilidad de que la clase  $\omega_i$  ocurra en la imagen y se asume igual para todas las clases

$|\Sigma_i|$  = determinante de la matriz de covarianza de los datos en la clase  $\omega_i$

$\Sigma_i^{-1}$  = su matriz inversa

$m_i$  = vector medio

El algoritmo de clasificación de red neuronal feed-forward en capas, usa una retropropagación estándar para el aprendizaje supervisado. El aprendizaje se produce al ajustar los pesos en el nodo para minimizar la diferencia entre la activación del nodo de salida y la salida, por lo

tanto el error se retroproyecta a través de la red y el ajuste de peso se realiza mediante un método recursivo, que puede usar la clasificación Neural Net para realizar una clasificación no lineal (Richards y Richards 1999; Rumelhart, et al. 1987).

Mientras que el algoritmo de clasificación Spectral Angle Mapper (SAM) mide la similitud entre un espectro desconocido  $t$ , con uno referencial  $r$ , en  $n$ -dimensiones, estos espectros son tratados como vectores en  $n$ -espacios y el ángulo que forman se denomina "ángulo espectral"; Este valor en radianes es asignado al píxel correspondiente en la imagen resultante SAM, es una clasificación supervisada en la que cada color de la imagen representa un tipo de material seleccionado (Oliva, et al. 2011).

$$\alpha = \cos^{-1} \left\{ \frac{\sum_{i=1}^{nb} t_i r_i}{(\sum_{i=1}^{nb} t_i^2)^{1/2} (\sum_{i=1}^{nb} r_i^2)^{1/2}} \right\} \quad (4)$$

Donde:

$nb$  = numero de bandas

$t_i$  = prueba espectral

$r_i$  = espectro de referencia

- 3. Post-Clasificación**, la Post-clasificación es el "método que requiere de la rectificación y clasificación de cada imagen, para luego ser comparados píxel a píxel" (Jensen, et al. 1991; Xiuwan 2002), en el caso del estudio, hay muy poca información para determinar aguas residuales producto de la minería de oro aluvial, por lo que se adaptara técnicas de clasificación de cobertura de uso de suelo para su clasificación. Posteriormente se realizará la validación a través de una matriz de confusión (cuya exactitud será medida mediante el índice de Kappa). Concluida esta fase, se procederá a transformar los resultados a un formato vectorial para su procesamiento.

### 3.5 Tratamientos de datos

Para el tratamiento de datos se aplicó la matriz de confusión, test de estadística descriptiva usada para comparar una clasificación resultante con información real de terreno (Chuvienco 2002; Chuvienco y Hantson 2010; Elijah y Jensen 1996). La precisión del test fue medido por el Índice de Kappa el cual refleja la “concordancia inter-observador y puede ser calculado en tablas de cualquier dimensión, siempre y cuando se contrasten dos observadores” (Cerde y Villarroel 2008).

“El coeficiente kappa ( $\kappa$ ) toma valores entre -1 y +1; mientras más cercano a +1, mayor es el grado de concordancia inter-observador, por el contrario, un valor de  $\kappa = 0$  refleja que la concordancia observada es precisamente la que se espera a causa exclusivamente del azar” (Cerde y Villarroel 2008). “La interpretación del coeficiente kappa se realiza correlacionando su valor con una escala cualitativa que incluye seis niveles de fuerza de concordancia” (“pobre”, “leve”, “aceptable”, “moderada”, “considerable” y “casi perfecta”), simplificando la comprensión del mismo (Cerde y Villarroel 2008).

Tabla 8. *Valoración del coeficiente kappa*

<b>Coeficiente Kappa</b>	<b>Fuerza de la Concordancia</b>
<b>0,00</b>	Pobre ( <i>Poor</i> )
<b>0,01 – 0,20</b>	Leve ( <i>Slight</i> )
<b>0,21 – 0,40</b>	Aceptable ( <i>Fair</i> )
<b>0,41 – 0,60</b>	Moderada ( <i>Moderate</i> )
<b>0,61 – 0,80</b>	Considerable ( <i>Substantial</i> )
<b>0,81 – 1,00</b>	Casi perfecta ( <i>Almost perfect</i> )

Fuente: Cerde y Villarroel (2008); Landis y Koch (1977).

Para el estudio se aplicó una validación mixta; 1. Una salida de campo con la finalidad de tomar datos del terreno, y 2. Verificar las unidades clasificadas en imágenes de alta resolución, para posteriormente contrastar con los datos

generados en gabinete a través de una Matriz de Confusión e Índice de Kappa.

La colección de datos de campo se siguió el formato del Centro para el Estudio de Instituciones, Población y Cambios en el Medio Ambiente de la Universidad de la Indiana (CIPEC) (Anexo 2).

### **3.5.1 Análisis estadístico**

Para el análisis estadístico se usó la estadística descriptiva e inferencial, para ello se aplicó el programa Microsoft Excel, ENVI 5,3®, ArcGIS Pro 2,1®, ArcGIS 10,4,1®.

Para el primer objetivo, sobre cuantificar los cuerpos de aguas residuales en la zona del corredor minero de Madre de Dios, se aplicó modelos predictivos para la clasificación de imágenes de satélite PlanetScope para el año 2017. La cuantificación de aguas residuales se obtuvo a través de una clasificación multiespectral supervisada en base al método de Máximo Likelihood, Neural Net (Richards y Richards 1999), y Spectral Angle Mapper (SAM) (Oliva, et al. 2011). Posteriormente se realizó la validación a través de una matriz de confusión (cuya exactitud será medida mediante el índice de Kappa) (Cerdeira y Villarreal 2008; Landis y Koch 1977).

Respecto al segundo y tercer objetivo, sobre comparar la extensión de cuerpos de aguas residuales según el tipo de operación de minería aurífera y comparar los resultados de tres algoritmos de clasificación supervisada en el ámbito corredor minero de Madre de Dios, se utilizó el programa Microsoft Excel, y la precisión de la validación de la clasificación por tipo de operación, a través de una matriz de confusión (cuya exactitud será medida mediante el índice de Kappa) (Cerdeira y Villarreal 2008; Landis y Koch 1977).



## **CAPÍTULO IV: RESULTADOS DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN**

### **4.1 Cuantificación de los cuerpos de aguas residuales en la zona del corredor minero**

La imagen de satélite PlanetScope de fecha 08 de julio del año 2017, se seleccionó del portal Planet. El criterio de selección fue que tenga la mínima presencia de nubosidad. Para el estudio, la imagen que cubre el área no presenta nubosidad (figura 15).

Para la selección de los sitios de entrenamiento se utilizó el módulo de Perfil Espectral (Spectral Profile) y Region de Interes (ROI) del software ENVI 5,3®, herramienta que nos permite realizar la colecta de perfiles e identificar las coberturas para la clasificación de la imagen satelital del periodo 2017.

Para la clasificación de los cuerpos de agua producto de la minería aurífera, se utilizó la metodología adaptada de CORINE Land Cover (IDEAM 2010), el cual define una metodología específica para realizar el inventario de la cobertura de la tierra. La base de datos de Corine Land Cover Colombia (CLC) permite describir, caracterizar, clasificar y comparar las características de la de los cuerpos de aguas residuales, interpretadas a partir de la utilización de imágenes de satélite de resolución media y alta (PlanetScope), para la construcción de mapas de cobertura a diferentes escalas.

La clasificación multiespectral supervisada en base al método de Maximum Likelihood, con la combinación de bandas 1, 4, 3 de la Imagen PlanetScope para el periodo 2017, reportó 25 133,80 ha de cuerpos de aguas residual producto de la minería aurífera (figura 16 y tabla 9).

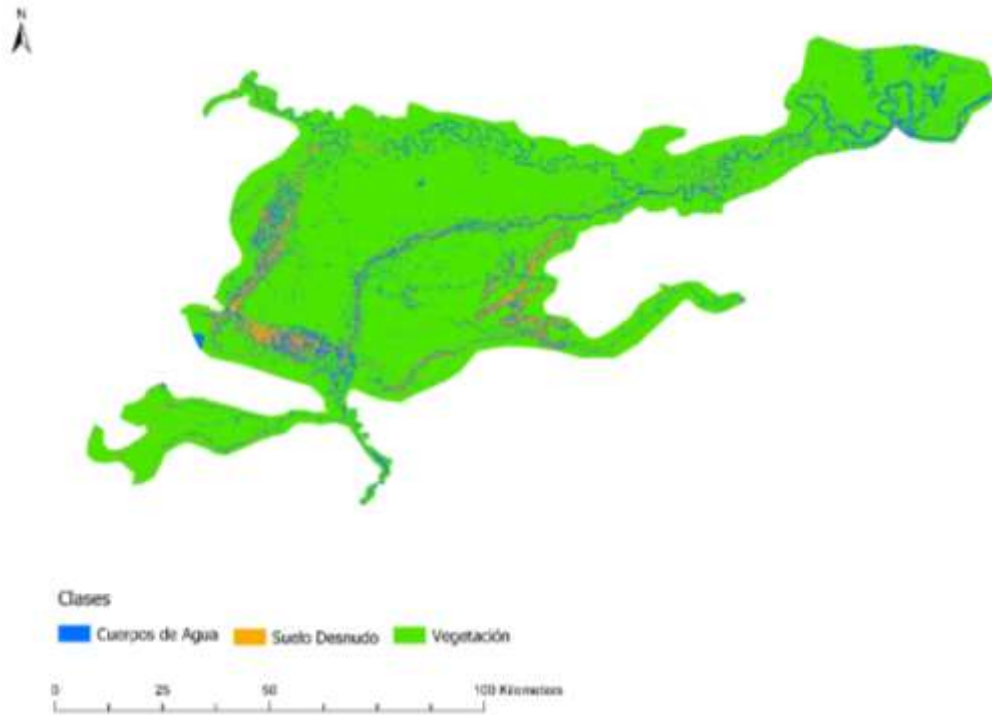


Figura 17. Cuantificación de cuerpos de agua residuales de la minería de aurífera por el método de clasificación Maximum Likelihood.

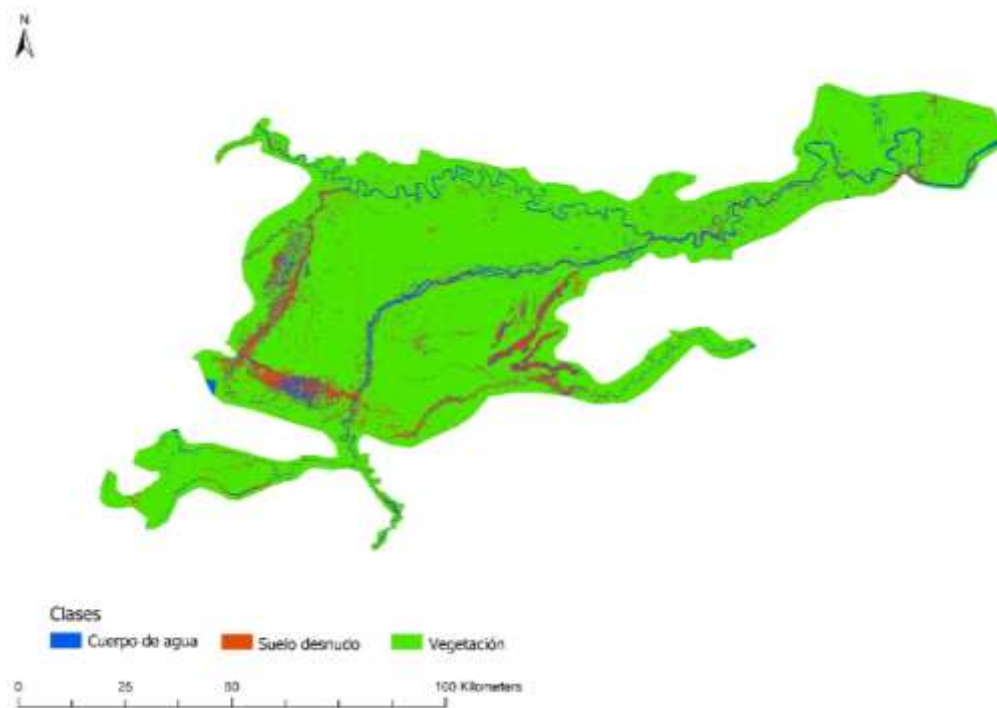


Figura 18. Cuantificación de cuerpos de aguas residuales de la minería aurífera por el método de clasificación Neural Net.

La clasificación multiespectral supervisada en base al método Neural Net, con la combinación de bandas 1, 4, 3 de la Imagen PlanetScope para el periodo 2017, reporto 12 287,30 ha de cuerpos de aguas residual producto de la minería aurífera (figura 17 y tabla 9).

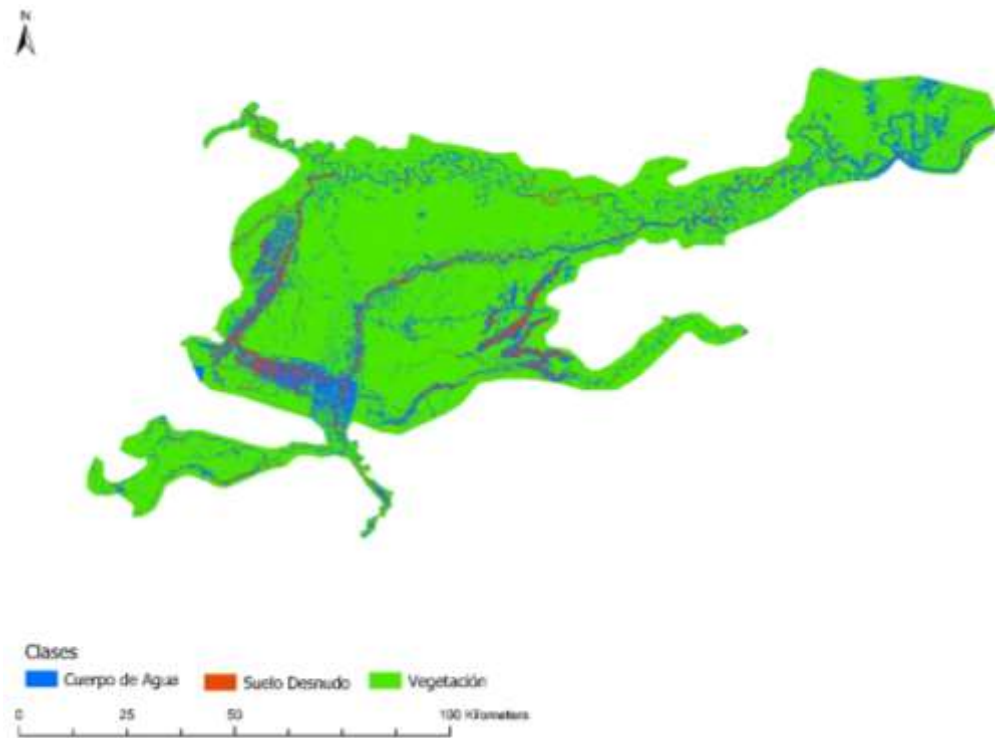


Figura 19. Cuantificación de cuerpos de aguas residuales de la minería aurífera por el método de clasificación Spectral Angle Mapper.

En el caso de la clasificación multiespectral supervisada en base al método Spectral Angle Mapper (SAM), con la combinación de bandas 1, 4, 3 de la Imagen PlanetScope para el periodo 2017, reporto 40 349,76 ha de cuerpos de aguas residual producto de la minería aurífera (figura 18 y tabla 9).

Tabla 9. *Reporte de la superficie de cuerpos de aguas residuales en la zona del corredor minero de Madre de Dios*

<b>Metodo de clasificación</b>	<b>Area total (ha)</b>
Maximum Likelihood	25 133,80
Neural Net	12 287,30
Spectral Angle Mapper	40 349,76

La cuantificación de cuerpos de aguas residuales en el corredor minero de Madre de Dios por los métodos de clasificación; Maximum Likelihood, Neural Net, y Spectral Angle Mapper (SAM) presentan variaciones de moderado a drástica, en general, ello es debido a que la radiación solar reflejada aumenta en todas las bandas con el aumento en la concentración de sedimentos, aumentando la sensibilización y productividad primaria de los cuerpos de agua en las imágenes de satélite PlanetScope (Flórez, et al. 2016; Mantilla, et al. 2000; Salinas, et al. 2002).

Del mismo modo, muchas sustancias que contaminan provocan cambios en el comportamiento espectral del agua. Sin embargo, algunos contaminantes no producen una diferencia observable en la respuesta espectral como puede ser los gases disueltos (nitrógeno, dióxido de carbono), las sales inorgánicas, mercurio metálico, y compuestos inorgánicos de mercurio (Flórez, et al. 2016; Mantilla, et al. 2000). En ese sentido, la identificación de cuerpos de aguas residuales presentó un problema fuerte en la interpretación, por lo que tuvo que aplicarse una validación y contraste visual a detalle del del área de estudio. El problema en la identificación de cuerpos de agua residual es la confusión espectral con otras fuentes de agua, presentando similitud en la conducción de energía y resolución del píxel en la imagen, el canal de energía del principal cuerpo receptor (cuerpos de agua residual) es angosto y los contaminantes poco impactan la respuesta espectral, por lo que la resolución espacial adquirió un papel fundamental y enmascaró las interacciones que se llevan en el interior del píxel a través del promediado de la energía, lo cual genero la confusión de clases espectrales. Similares dificultades presentaron estudios realizados por Ortega, et al. (2018); Núñez y Toro (2017); Flórez, et al. (2016); Alarcón, et al. (2016); Ardila y Quintero (2013); Estrada, et al.

(2013); Swenson, et al. (2011); Alarcon (2011); Salinas, et al. (2002); Mantilla, et al. (2000).

## 4.2 Superficie de cuerpos de aguas residuales según tipo de operación minera

Los resultados en cuanto a la superficie de cuerpos de aguas residuales según tipo de operación minera y método de clasificación determinan:

La clasificación multiespectral supervisada en base al método de Maximum Likelihood, con la combinación de bandas 1, 4, 3 de la Imagen PlanetScope para el periodo 2017, reporto 15 107,23 ha en la operación “bomba de succion” y 10 026,56 ha con “maquinaria pesada” de cuerpos de aguas residual producto de la minería aurífera (tabla 10).

En cuanto a la clasificación multiespectral supervisada en base al método de Neural Net, con la combinación de bandas 1, 4, 3 de la Imagen PlanetScope para el periodo 2017, reporto 7 690,29 ha en la operación “bomba de succion” y 4 597,00 ha con “maquinaria pesada” de cuerpos de aguas residual producto de la minería aurífera (tabla 10).

Mientras que, en la clasificación multiespectral supervisada en base al método de Spectral Angle Mapper (SAM), con la combinación de bandas 1, 4, 3 de la Imagen PlanetScope para el periodo 2017, reporto 23 806,86 ha en la operación “bomba de succion” y 16 542,89 ha con “maquinaria pesada” de cuerpos de aguas residual producto de la minería aurífera (tabla 10).

Tabla 10. *Reporte de la superficie de cuerpos de aguas residuales según tipo de operación minera*

Metodo de clasificación	Superficie por tipo de operación (ha)		
	Bomba de succión	Maquinaria pesada	Total
Maximum Likelihood	15 107,23	10 026,56	25 133,80
Neural Net	7 690,29	4 597,00	12 287,30
Spectral Angle Mapper	23 806,86	16 542,89	40 349.76

En los tres métodos se determina que los cuerpos de aguas residuales por la minería aurífera en Madre de Dios se deben en mayor proporción por el tipo de operación con “bomba de succión”.

En cuanto a la cuantificación de cuerpos de agua residual, si bien ya es un problema como se describe en el acápite anterior, la identificación por tipo de operación minera (bomba de succión y maquinaria pesada) se complica aún más. Existe mayor confusión espectral con otras fuentes de agua, presentando mayor similitud en la conducción de energía y resolución del píxel en la imagen, el canal de energía del principal cuerpo receptor (cuerpos de agua residual) es más angosto y la respuesta espectral de los contaminantes es mínima, por lo que la resolución espacial adquirió un papel fundamental y enmascaró las interacciones que se llevan en el interior del píxel a través del promediado de la energía. Este comportamiento se encontró en hallazgos reportados por Ortega, et al. (2018); Núñez y Toro (2017); Flórez, et al. (2016); Alarcón, et al. (2016); Ardila y Quintero (2013); Estrada, et al. (2013); Swenson, et al. (2011); Alarcon (2011); Salinas, et al. (2002); Mantilla, et al. (2000).

#### **4.2.1 Evaluación de la precisión de los algoritmos de clasificación**

La evaluación de la precisión de la clasificación de la imagen PlanetScope del año 2017, reporta un 80,057% (Maximum Likelihood), 81,36% (Neural Net), y 65,36% (Spectral Angle Mapper) de precisión global (tabla 11), mientras que el coeficiente Kappa muestra una clasificación total del área de estudio de 0,70, 0,71, y 0,50 para los métodos Maximum Likelihood, Neural Net, y Spectral Angle Mapper respectivamente (tabla 12).

Según los rangos del coeficiente kappa ( $\kappa$ ) (0,70 y 0,71), presenta una fuerza de concordancia considerable (0,61 – 0,80), por lo que se deduce que nos encontramos ante una correcta clasificación de la categoría, y que simplifica la comprensión del área de estudio (Cerdea y Villarroel 2008). Mientras que en

el caso del rango del coeficiente de kappa (k) (0,50), presenta una fuerza de concordancia moderada (0,41 – 0,60), por lo que se deduce que nos encontramos ante una discreta clasificación de la categoría, y que no simplifica la comprensión del área de estudio (Cerdea y Villarroel 2008).

Tabla 11. *Precisión global de resultados por método de clasificación*

<b>Algoritmo de clasificación</b>	<b>Precisión global (%)</b>
<b>Maximum Likelihood</b>	80,05
<b>Neural Net</b>	81,36
<b>Spectral Angle Mapper</b>	65,36

Tabla 12. *Indice de Kappa de resultados por método de clasificación*

<b>Algoritmo de clasificación</b>	<b>Kappa</b>
<b>Maximum Likelihood</b>	0,70
<b>Neural Net</b>	0,71
<b>Spectral Angle Mapper</b>	0,50

Los errores de “omisión” y “comisión” expresan dos enfoques del mismo problema. “Los primeros se refieren a una definición imperfecta de la categoría y los segundos, a una delimitación excesivamente amplia, desde otro punto de vista, algunos autores hablan de exactitud del usuario y del productor. La primera está en relación inversa con los errores de omisión, mientras la segunda lo está con los de comisión” (Barandela 1987; Cortijo y erez de la Blanca 1996). En nuestro caso, se utilizó 382 puntos de muestreo, 191 verificados en campo, 115 a través de imágenes de alta resolución (WorldView), y 76 de imágenes tomada con Drone.

Para el caso del método de Maximum Likelihood, del total, 331 fueron clasificadas como cuerpos de agua residual por minería de oro, y 51 fueron confundidas con otra categoría. Neural Net presento, del total, 338 fueron clasificadas como cuerpos de agua residual por minería de oro, y 44 fueron confundidas con otra categoría. Mientras que en el caso de Spectral Angle

Mapper, del total, 295 fueron clasificadas como cuerpos de agua residual por minería de oro, y 87 fueron confundidas con otra categoría.

Tabla 13. *Precisión de resultados por método de clasificación*

Metodo de clasificación	Nivel de clasificación	Referencias totales	Clasificados Totales	Número Correcto	Productores (omisión) Precisión	Usuarios (comisión) Precisión
Maximum Likelihood	Cuerpos de aguas residuales por minería de oro	382	331	331	86,65%	100,00%
Neural Net		382	338	332	88,48%	98,22%
Spectral Angle Mapper		382	295	276	77,23%	93,56%

Según Hudson (1987), el Índice de Kappa o coeficiente de conformidad de capa, es una medida de la exactitud de la clasificación y su varianza es usada en la comunidad de teledetección, para realizar pruebas estadísticas de diferencias significativas, cuando la efectividad global es elevada se corresponde con un valor elevado del Índice de Kappa, aunque no es una relación lineal muestra un elevado grado de concordancia.

El estudio persento un mejor comportamiento a nivel de matrix de confusión e índice de kappa por el método de Neural Net con valores de 81,36% y 0,71, presentando una concordancia considerable, por lo que determina que las fases de muestreo, de pre-procesamiento de las muestras de aprendizaje/control, la fase del entrenamiento y método de clasificación han sido certeros (Hart 1968; Pontius 2000; Preparata y Shamos 1985).

Según los resultados obtenidos por el metodo de clasificacion, en general, hay una diferencia considerable entre las metodologías utilizadas para medir los cuerpos de aguas residuales por minería aurífera al año 2017. Los valores reportados mediante la metodología Neural Net y Maximum Likelihood es de 51,11% (tabla 9 y 10). Los resultados entre la metodología de Neural Net y Spectral Angle Mapper (SAM) son más drásticas, indicando una diferencia de



69,55% (tabla 9 y 10). Mientras que los resultados entre la metodología de Maximum Likelihood y Spectral Angle Mapper (SAM) es de 37,71% (tabla 9 y 10).

Por su parte, la matriz de confusión (81,36%) e índice de kappa (k) (0,71) (tabla 11, 12, y 13) revela que la exactitud de productores y usuarios son de niveles más bajos para Neural Net en comparación con las demás metodologías. Estos datos contrastan con las verificaciones visuales a través de imágenes de alta resolución WorldView e imágenes de Drone.

Por lo que se asume, que la cuantificación de cuerpos de aguas residuales por minería aurífera por el método de clasificación Neural Net es más preciso (figura 19). Mientras que los métodos Maximum Likelihood y Spectral Angle Mapper (SAM) presentan una alta sobrestimación, siendo esta última más drástica. Esta precisión se debe a la sensibilidad del método, discrimina mejor la respuesta espectral de los cuerpos de agua residual, mayor diferenciación en la conducción de energía y resolución del píxel en la imagen. A pesar de que la respuesta espectral de los contaminantes es mínima, la resolución espacial adquirió un papel fundamental en el método y enmascaró correctamente las interacciones que se llevan en el interior del píxel a través del uso del promedio de energía. Esta funcionalidad se debe a la clasificación no paramétrica robusta cuando las respuestas espectrales de las clases no siguen una distribución normal, el conjunto de ecuaciones que queda almacenado en la red neuronal es similar a las ecuaciones que dividen el espacio en diversas entradas, hace una suma ponderada de las mismas y produce una salida a partir de la aplicación en base a una función umbral a la media ponderada (cuerpos de agua residual). Este comportamiento se encontró en hallazgos similares reportados por Ortega, et al. (2018); Núñez y Toro (2017); Flórez, et al. (2016); Alarcón, et al. (2016); Torres (2016); Ardila y Quintero (2013); Estrada, et al. (2013); Moreno (2013); García y Llellish (2012);

Swenson, et al. (2011); Alarcon (2011); Espíritu, et al. (2011); Salinas, et al. (2002); Gonzales (2008); Mantilla, et al. (2000).

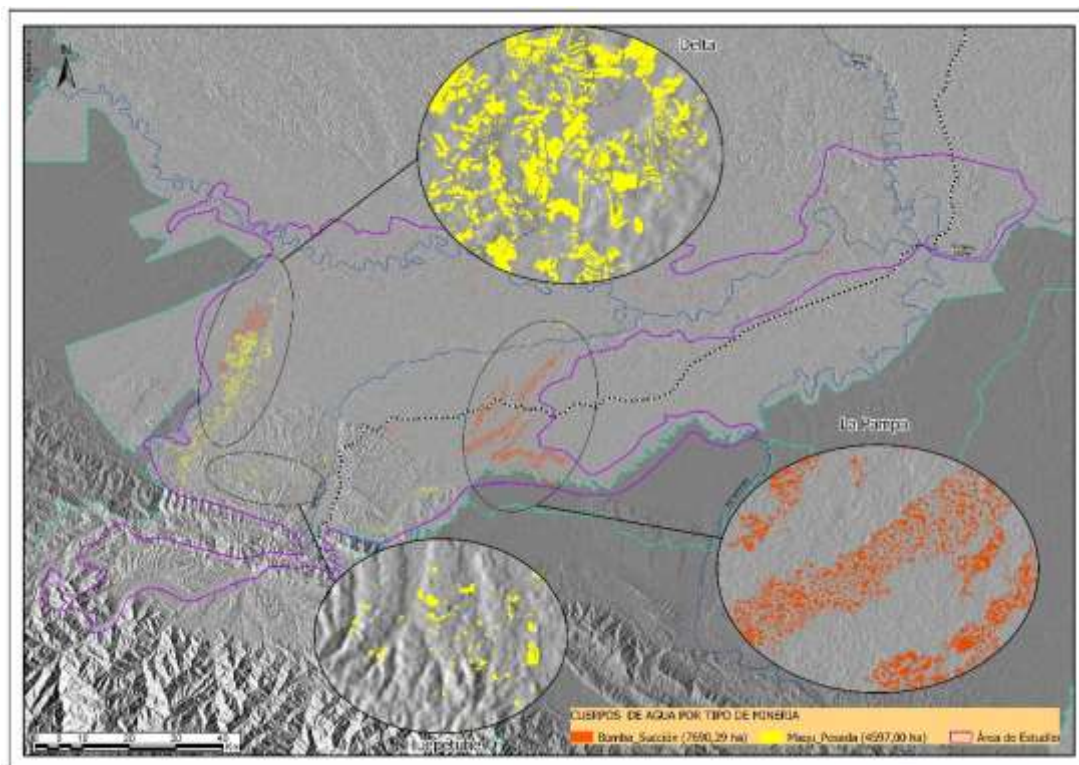


Figura 20. Neural Net; metodo con mejor resultado en la cuantificación de cuerpos de aguas residuales por la minería aurífera en Madre de Dios.

Tabla 14. Categoría por superficie de cuerpos de aguas residuales por minería aurífera

Tipo de operación	Categoría por superficie de cuerpos de agua (ha)					Total
	0-0,5	0,5-1	1-5	5-10	>10	
Bomba de succión	1 971,52	915,15	2 438,95	885,80	1 478,85	<b>7 690,29</b>
Maquina Pesada	1 083,49	400,54	1 208,50	534,34	1 370,13	<b>4 597,00</b>
<b>Total</b>	<b>3 055,01</b>	<b>1 315,69</b>	<b>3 647,45</b>	<b>1 420,14</b>	<b>2 848,98</b>	<b>12 287,30</b>

Los resultados mostrados en la figura 19 y tabla 14, determina que la deforestación y degradación de suelos esta influenciada por el tipo de operación minera. La investigación muestra que la minería artesanal con

“bombas de succión” es más frecuente y peligrosa que la minería con “maquinaria pesada”; el 62,59% del bosque deforestado y suelo degradado ha sido provocado con la metodología artesanal, mientras que la deforestación y degradación del suelo con “maquinaria pesada” representa el 37,41%.

En cuanto al daño al suelo para el manejo de la regeneración natural, en el caso de “bombas de succión”, el daño es mayor, porque se lava el suelo a alta presión, hasta llegar a la capa donde se encuentra el oro. Mientras que la maquinaria pesada el daño es menor ya que al removerse la tierra, esa capa podría volver a ser recolocada nuevamente en el cierre de mina.

Por otro lado, la distribución de cuerpos de aguas residuales por categoría de superficie muestra una mayor proporción en el rango de 1 a 5 ha; en el tipo de operación artesanal “bomba de succión” con 2 438,95 ha, y “maquinaria pesada” con 1 208,50 ha. Seguida de la categoría de 0 a 0,5 ha; en el tipo de operación artesanal “bomba de succión” con 1 971,52 ha, y “maquinaria pesada” con 1 083,49 ha, y en menor proporción en la categoría de 0,5 a 1 ha; en el tipo de operación artesanal “bomba de succión” con 915,15 ha, y “maquinaria pesada” con 400,54 ha.

Los resultados mostrados marcan un precedente en cuanto a la pérdida de bosques y la generación de cuerpos aguas residuales por la minería aurífera en Madre de Dios, ya que la mayoría de investigaciones se enmarcan en la cuantificación de áreas deforestadas y degradadas por la minería de oro (Alarcon 2011; Alarcón, et al. 2016; Asner, et al. 2013; Asner y Tupayachi 2017; Swenson, et al. 2011), el cual incluye los cuerpos de aguas residual en sus diferentes modalidades de operación.

## CONCLUSIONES

Se cuantificó los cuerpos de aguas residuales por la minería aurífera a través de los métodos de clasificación de imágenes PlanetScope; Máximum Likelihood, Neural, y spectral Angle Mapper, reporta a Neural Net como la de mejor precisión, con 12 287,30 ha.

Se comparó la superficie por tipo de operación de minería que es distribuida en 7 690,29 ha en el tipo de operación artesanal “bomba de succión”, y 4 597,00 ha con “maquinaria pesada” correspondiente al algoritmo de mejor precisión Neural Net.

Se comparo los resultados de tres algoritmos de clasificación de imágenes PlanetScope atraves de la matriz de confusión, maximun Likelihood, Neural Net, y Spectral Angle Mapper, reporta Neural Net como la mejor precisión, sustentadas en la validación de datos de campo , imágenes de alta resolución espacial, e imágenes obtenidas con drones, la matriz de confusión (81,36%) e índice de Kappa (k) (0,71), presenta una precesión de concordancia considerable, mientras los métodos Máximum Likelihood y Spectral Angle Mapper presentan resultados sobre estimados, siendo la mas excesiva el método Spectral Angle Mapper con una diferencia de 65,55% con respecto al Neural Net.

## **SUGERENCIAS**

Los avances tecnológicos en teledetección permiten el monitoreo y detección de cambios de uso del suelo cada vez más precisos, sin embargo, es muy importante considerar que su valor solo se define con la interpretación que con base en la experiencia humana se haga de la misma. Así como de su potencial como apoyo para la toma de decisiones en la gestión del territorio

Es necesario un sistema de vigilancia ambiental de la actividad minera en Madre de Dios articulado al satélite PeruSat-1.

Es necesario que el satélite per'u sat-1 de propiedad del gobierno peruano y operado por la agencia espacial CONIDA determine protocolos de acceso similares a la plataforma U.S. Geological Survey y European Space Agency (ESA) en el uso de imágenes.

## BIBLIOGRAFÍA

ALARCÓN, G., DÍAZ, J., VELA, M., GARCÍA, M. y GUTIÉRREZ, J. Deforestación en el sureste de la amazonia del Perú entre los años 1999-2013; caso Regional de Madre de Dios (Puerto Maldonado–Inambari). *Journal of High Andean Research*, 2016, 18(3), 319-330.

ALARCÓN, G., FRISANCHO, R., CORREA, G., ULLOA, J., VELA, M., DÍAZ, J., PUMA, M., PORTAL, L., BOURONCLE, C., MENDOZA, J. R. y VÁSQUEZ, J. Detección de cambios de cobertura boscosa a través del análisis multitemporal de imágenes satelitales en el distrito de Inambari. *Biodiversidad Amazonica*. ISSN: 2075-8081, 2011, 3, 9.

ANAYA, J. A. y CHUVIECO, E. Validación para Colombia de la estimación de área quemada del producto L3JRC en el periodo 2001-2007/Validation of the L3JRC burned area product estimation in Colombia from 2001 to 2007. *Actualidades Biológicas*, 2010, 32(92), 29.

ARDILA, J. F. y QUINTERO, O. Y. Aplicación de la teledetección y los sistemas de información geográfica en la interpretación de zonas inundables. caso de estudio: río soapaga, sector paz de río, boyacá. *Ciencia e Ingeniería Neogranadina*, 2013, 23(2).

ASNER, G. P., LLACTAYO, W., TUPAYACHI, R. y LUNA, E. R. Elevated rates of gold mining in the Amazon revealed through high-resolution monitoring. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 2013, 110(46), 18454-18459.

ASNER, G. P. y TUPAYACHI, R. Accelerated losses of protected forests from gold mining in the Peruvian Amazon. *Environmental Research Letters*, 2017, 12(9), 094004.

BARANDELA, R. *The Nearest Neighbor rule: an empirical study of its methodological aspects*. 1987.

BARAY, H. L. Á. *Introducción a la metodología de la investigación*. Edtion ed.: Juan Carlos Martínez Coll, 2006. ISBN 8469019996.

BRASSARD, G. y BRATLEY, P. *Fundamentals of algorithmics*. Edtion ed.: Prentice Hall Englewood Cliffs, 1996.

BRIZUELA, A., AGUIRRE, C. y VELASCO, I. Aplicación de métodos de corrección atmosférica de datos Landsat 5 para análisis multitemporal. Memorias. Teledetección. Hacia un mejor entendimiento de la dinámica global y regional. Madrid, España, 2007, 21.

BUZAI, G. y RUIZ, E. Geotecnósfera. Tecnologías de la información geográfica en el contexto global del sistema mundo. Anekumene, 2018, (4), 88-106.

CANTY, M. J. *Image analysis, classification and change detection in remote sensing: with algorithms for ENVI/IDL and Python*. Edtion ed.: Crc Press, 2014. ISBN 1466570385.

CASTRO, F. El proceso de investigación y su esquema de elaboración. Editorial Uyapar. Caracas, 2003.

CAZAU, P. Introducción a la investigación en ciencias sociales. Lima. Editorial Universidad Ricardo Palma, 2006.

CERDA, J. y VILLARROEL, L. Evaluación de la concordancia inter-observador en investigación pediátrica: Coeficiente de Kappa. Revista chilena de pediatría, 2008, 79(1), 54-58.

CHAPARRO, E. Los procesos mineros y su vinculación con el uso del agua. Curso: Políticas para el uso sostenible del agua y prestación eficiente de servicios públicos vinculados a ella. Perspectiva desde CEPAL, 2009.

CHUVIECO, E. Empleo de imágenes de satélite para medir la estructura del paisaje: análisis cuantitativo y representación cartográfica. Serie Geográfica, 1996, 6, 131-147.

----- Teledetección espacial: la observación de la Tierra desde el espacio 2002.

CHUVIECO, E. y HANTSON, S. Procesamiento estándar de imágenes Landsat. Documento técnico de algoritmos a aplicar. Version1. Plan Nacional de Teledetección. Instituto Geográfico Nacional. On line. [http://www.ign.es/PNT/pdf/especificacionestecnicas-pnt-medar-landsat\\_v2-2010.pdf](http://www.ign.es/PNT/pdf/especificacionestecnicas-pnt-medar-landsat_v2-2010.pdf), 2010.

CORTIJO, F. y EREZ DE LA BLANCA, N. Image classification using non-parametric classifiers and contextual information. International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, 1996, 31, 120-124.

DECRETO DE URGENCIA. Declaran de interés nacional el ordenamiento minero en el departamento de Madre de Dios DECRETO DE URGENCIA N° 012-2010. PERÚ. 2010.

ELIJAH, R. y JENSEN, J. R. Remote sensing of mangrove wetlands: relating canopy spectra to site-specific data 1996.

ESPÍRITU, T. C., ORTIZ, D. C., CADENAS, E. L., ALBORNOZ, I. A. y RAMÍREZ, A. Z. Identificación de lagunas de Alta Montaña en el Perú mediante técnicas de Teledetección Espacial y Modelos de Elevación Digital. Anais XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR, Curitiba, PR, Brasil, 30 de abril a 05 de maio de 2011, INPE p.7836, 2011.

ESTRADA, F., BARBA, E. y RAMOS, R. Cobertura temporal de los humedales en la cuenca del Usumacinta, Balancán, Tabasco, México. Universidad y ciencia, 2013, 29(2), 141-151.



ESTRADA, F., BARBA, E. y RAMOS, R. Cobertura temporal de los humedales en la cuenca del usumacinta, balancán, tabasco, México. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios*, 2014, 29(2).

FABREGAT, V. Fundamentos teóricos del control de las extracciones mediante teledetección. Medidas y evaluación de las extracciones de agua subterránea, 1999, 89-105.

FERNÁNDEZ, O. S. Elaboración de un estado de arte para los impactos ambientales que genera la pequeña minería de oro en aluvión y tecnologías apropiadas para su prevención, mitigación y corrección 2012.

FERRERO, S., PALACIO, M. y CAMPANELLA, O. R. Análisis de componentes principales en teledetección. consideraciones estadísticas para optimizar su interpretación. *Teledetección*, 2002, 17, 43-54.

FLÓREZ, C., ESTUPIÑÁN-SUÁREZ, L. M., ROJAS, S., APONTE, C., QUIÑONES, M., ACEVEDO, Ó., VILARDY, S. y JARAMILLO, Ú. Identificación espacial de los sistemas de humedales continentales de Colombia. *Biota Colombiana*, 2016, 17(1).

FRANÇOIS-MAS, J., REYES DÍAZ-GALLEGOS, J. y PÉREZ-VEGA, A. Evaluación de la confiabilidad temática de mapas o de imágenes clasificadas: una revisión. *Investigaciones geográficas*, 2003, (51), 53-72.

GARCÍA, E. y LLEELLISH, M. Cartografiado de bofedales usando imágenes de satélite Landsat en una cuenca altoandina del Perú. *Revista de Teledetección*, 2012, 38, 92-108.

GONZALES, E. G. Aplicación de la corrección del sombreado topográfico para la identificación y delimitación de cuerpos de agua en la región andina del Perú dentro de un SIG raster. *Geofocus: Revista Internacional de Ciencia y Tecnología de la Información Geográfica*, 2008, (8), 1.

GONZALEZ-ALONSO, F., CUEVAS, J. y SALETA, J. Clasificación de la cubierta vegetal del centro de España mediante una imagen digitalizada del radar SIR-A y una imagen Landsat MSS.[Classification of the vegetal land cover in central Spain using a digitized SIR-A image and a Landsat MSS image]. Investigación agraria. Producción y protección vegetales-INIA (España).(1992, 7(3), 355-365.

GOBIERNO REGIONAL DE MADRE DE DIOS (GOREMAD) E INSTITUTO DE INVESTIGACIÓN DE LA AMAZONIA PERUANA (IIAP). Macro Zonificación Ecológica Económica de Madre de Dios. In G.D.R.N.Y.M. AMBIENTE. Madre de Dios - Perú, 2009, p. 208.

GUTIÉRREZ, C. P. y NIETO, Á. L. M. *Teledetección: nociones y aplicaciones*. Edtion ed.: carlos perez, 2006. ISBN 8461116135.

GUTIÉRREZ LA TORRE, T. A. Impactos mineros, agropecuarios y de la conservación en la calidad del agua y los sedimentos, cuenca Tambopata, Madre de Dios 2015.

HART, P. The condensed nearest neighbor rule (Corresp.). IEEE transactions on information theory, 1968, 14(3), 515-516.

HERNÁNDEZ, R., FERNÁNDEZ, C. y BAPTISTA, P. Metodología de la Investigación (Quinta edición ed.)(J. Mares Chacón, Ed.) Mexico, México DF. In.: McGraw-Hill/Interamericana Editores, SA de CV, 2010.

HIJMANS, R. J. y VAN ETTEN, J. raster: Geographic data analysis and modeling. R package version, 2014, 2(8).

HUDSON, W. D. Correct formulation of the kappa coefficient of agreement. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 1987, 53(4), 421-422.

HURTADO, J. Análisis, modelamiento y simulación espacial del cambio de cobertura del suelo, entre las áreas naturales y las de origen antrópico en la

provincia de Napo (Ecuador), para el período 1990-2020. Facultad de Ingeniería, 2014.

INSTITUTO DE HIDROLOGÍA METEOROLOGÍA Y ESTUDIOS AMBIENTALES (IDEAM). Leyenda nacional de coberturas de la tierra. Metodología CORINE Land Cover adaptada para Colombia escala 1: 100.000. In.: Instituto de Hidrología Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM), Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC), and Corporación Aotónoma Regional del Magdalena (CORMAGDALENA), Bogotá, Colombia, 2010.

JENSEN, J. R., LIN, H., YANG, X., RAMSEY III, E., DAVIS, B. A. y THOEMKE, C. W. The measurement of mangrove characteristics in southwest Florida using SPOT multispectral data. *Geocarto International*, 1991, 6(2), 13-21.

LANDIS, J. R. y KOCH, G. G. The measurement of observer agreement for categorical data. *biometrics*, 1977, 159-174.

LI, S., KANG, X., FANG, L., HU, J. y YIN, H. Pixel-level image fusion: A survey of the state of the art. *Information Fusion*, 2017, 33, 100-112.

LÓPEZ, D. M. L. Introducción a los datos tipo raster 2017.

LUQUE, R. M. El uso de la cartografía y la imagen digital como recurso didáctico en la enseñanza secundaria. Algunas precisiones en torno a Google Earth 2011.

MANTILLA, M. G., SANVICENTE, C. H. y IZURIETA, D. J. Identificación de las zonas de contaminación de los cuerpos de agua de la cuenca del río Lerma mediante la interpretación de imágenes de satélite y ubicación de las principales descargas de aguas residuales, 2000, p.v.

MARTÍNEZ, G. Base de Datos. Documento en línea] Disponible: <http://www.monografias.com/trabajos27/bases-datos/bases-datos.shtml> [Consulta: 2009, Marzo 18], 2002.

MEHL, H. y PEINADO, O. Fundamentos del procesamiento digital de imágenes. Aplicación de la teledetección y de los sistemas de información geográfica en la gestión de recursos naturales. Parte I: Fundamentos teóricos y prácticos, 1997.

MIRAVET, C., SANTAMARÍA, J., COIRAS, E., UREÑA, J., ESCUDERO, J. y SARASÚA, A. Generación semi-automática de mosaicos. Aplicación de técnicas de fusión de imágenes. Revista de Teledetección, 1998, 10, 31-38.

MORENO, S. R. D. Calculo de la tasa de deforestación anual en el periodo 2001-2011 en la provincia de Tambopata con imágenes de NDVI (MOD13) de MODIS, mediante relación de ajuste de recta. En: Anais XVI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR, Foz do Iguaçu, PR, Brasil, 13 a 18 de abril de 2013, INPE. P. 1346-1354, 2013.

NÚÑEZ, E. J. y TORO, O. A. Desarrollo de un modelo espacial a partir de herramientas de procesamiento digital de imágenes para cuantificar la tendencia de la desertificación del desierto de la Tatacoa, en el departamento del Huila 2017.

OLIVA, P., MARTÍN, P. y CHUVIECO, E. Burned area mapping with MERIS post-fire image. International journal of remote sensing, 2011, 32(15), 4175-4201.

ORTEGA, D. J. P., ORTEGA, J. A. S., MONCAYO, P. C. C., VARGAS, I. A. D. y POMPÊO, M. L. M. Determinación de degradación de recursos hídricos mediante correlaciones canónicas del uso de suelos y calidad de aguas en cuencas hidrográficas. Revista de Investigación Agraria y Ambiental, 2018, 9(1).

OSORES, F., GRÁNDEZ, J. A. y FERNÁNDEZ, J. L. Mercurio y salud en Madre de Dios, Perú. *Acta medica peruana*, 2010, 27(4), 310-314.

OSORES, F., ROJAS, J. E. y MANRIQUE, C. H. Minería informal e ilegal y contaminación con mercurio en Madre de Dios: Un problema de salud pública. *Acta medica peruana*, 2012, 29(1), 38-42.

PASTOR, R. Evaluación de los humedales naturales como sistemas potenciales para la depuración de hidrocarburos en la cuenca del pastaza loreto-Perú, 2007-2008 2008.

PÉREZ, M. y GONZALEZ, L. Aplicaciones de la teledetección y SIG en la caracterización de humedales en la Reserva de la Biosfera de la Mancha Húmeda. Universidad Complutense de Madrid. Pedraza–Peñalosa P, Betancur J. y Franco–Roselli.(2005). Chisacá. Un recorrido por los páramos andinos. Segunda edición. Instituto de Ciencias Naturales e Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander Von Humboldt. Bogotá, Colombia, 2011, 340.

PLANET-TEAM. Planet Application Program Interface: In Space for Life on Earth. 2017. Available from Internet:<<https://api.planet.com>>.

PONTIUS, R. G. Quantification error versus location error in comparison of categorical maps. *Photogrammetric engineering and remote sensing*, 2000, 66(8), 1011-1016.

PREPARATA, F. P. y SHAMOS, M. I. Introduction. In *Computational Geometry*. Springer, 1985, p. 1-35.

RICHARDS, J. A. y RICHARDS, J. *Remote sensing digital image analysis*. Edtion ed.: Springer, 1999. ISBN 3642300618.

RODRÍGUEZ, V. y CHICA, M. Clasificación de imágenes de satélite mediante software libre: nuevas tendencias en algoritmos de Inteligencia Artificial. In *XV*

*Congreso Nacional de Tecnologías de la Información Geográfica, Madrid, AGE-CSIC. 2012, p. 19-21.*

RUMELHART, D. E., MCCLELLAND, J. L. y GROUP, P. R. *Parallel distributed processing*. Edtion ed.: MIT press Cambridge, MA, 1987.

SACRISTÁN, F. Teledetección satelital en la visión territorial y sistemas de protección ambiental urbano-rural (1ª parte). *Urbano*, 2006, 9(14).

SALINAS, W. E., TREVIÑO, E. J., JARAMILLO, J. G. y CAMPOS, J. A. Identificación y clasificación de humedales interiores del estado de Tamaulipas por percepción remota y sistemas de información geográfica. *Investigaciones geográficas*, 2002, (49), 74-91.

SANZ, M. S. D. Nuevos algoritmos de entrenamiento y visualización de redes neuronales autoorganizativas para su aplicación en teledetección. Universidad Politécnica de Madrid, 2010.

SWENSON, J. J., CARTER, C. E., DOMEQ, J.-C. y DELGADO, C. I. Gold mining in the Peruvian Amazon: global prices, deforestation, and mercury imports. *PloS one*, 2011, 6(4), e18875.

TORREJÓN, J. A. V. Mecanismo de producción más limpia: EL reúso de aguas residuales en la actividad minera. *Vox Juris*, 2016, 30(2), 263-278.

TORRES, E. Identificación del área afectada por Lemna en la bahía de Puno utilizando procesamiento digital de imágenes 2016.

TRISTÁN, P., DOORN, J. H. y WAINSCHEK, R. El problema de normalización en súper-resolución de imágenes satelitales. In *IX Workshop de Investigadores en Ciencias de la Computación*. 2007.

TUCKER, L. R. y LEWIS, C. A reliability coefficient for maximum likelihood factor analysis. *Psychometrika*, 1973, 38(1), 1-10.

VELÁSQUEZ, J. A. Contaminación de suelos y cuerpos de agua por hidrocarburos en Colombia. Fitorremediación como estrategia biotecnológica de recuperación 2017.

XIUWAN, C. Using remote sensing and GIS to analyse land cover change and its impacts on regional sustainable development. International journal of remote sensing, 2002, 23(1), 107-124.

**ANEXOS**



**Anexo 1. Matriz de consistencia.**

**Título: Cuantificación espacial de aguas residuales en el corredor minero de Madre de Dios al año 2017.**

PROBLEMA GENERAL	HIPOTESIS GENERAL	OBJETIVO GENERAL	VARIABLES	INDICADORES	METODO	ESTADÍSTICA
¿Cuánto será la cantidad de aguas residuales en el corredor minero de Madre de Dios, a través del uso de imágenes de satélite de alta resolución espacial al año 2017?	A través de técnicas de procesamiento de imágenes de alta resolución no se puede cuantificar las aguas residuales por tipo de operación de minería en el corredor minero de Madre de Dios.	Identificar y cuantificar aguas residuales utilizando imágenes de alta resolución espacial en el corredor minero de Madre de Dios, al año 2017.	Variable Dependiente: cuerpos de aguas residuales.  Variable Independiente: comportamiento del objeto en función de la unidad mínima de la imagen (Pixel).	1. Superficie total 2. Inventario  3. Validación 4. Superficie total 5. Conectividad  6. Sistema de planificación 7. Almacenamiento  8. índice de kappa	1. Clasificación supervisada a través de los métodos: Maximum Likelihood y Neural Net.  2. Validación de precisión de los métodos con trabajos de campo e imágenes de alta resolución.	1. Algoritmos de clasificación supervisada de imágenes de satélite. 2. Estadística descriptiva. 3. Índice de concordancia (kappa).
PROBLEMAS ESPECIFICOS	HIPOTESIS ESPECÍFICOS	OBJETIVOS ESPECÍFICOS				
1. ¿Cuánto será la cantidad de cuerpos de aguas residuales en la zona del corredor minero de Madre de Dios? 2. ¿Es posible comparar la extensión de cuerpos de aguas residuales según el tipo de operación de minería aurífera en el ámbito corredor minero de Madre de Dios? 3. ¿Es posible comparar la precisión de los resultados de tres algoritmos de clasificación supervisada?		1. Cuantificar los cuerpos de aguas residuales en la zona del corredor minero de Madre de Dios. 2. Comparar la extensión de cuerpos de aguas residuales según el tipo de operación de minería aurífera en el ámbito corredor minero de Madre de Dios. 3. Comparar los resultados de tres algoritmos de clasificación supervisada.	✓ área de cuerpos de agua. ✓ Extensión de cuerpos de agua. ✓ Precisión de algoritmos.			


## Anexo 2. Instrumento


## Formulario acondicionado por el Centro de Innovación Científica Amazónica

<p align="center"><b>“CUANTIFICACIÓN ESPACIAL DE AGUAS RESIDUALES EN EL CORREDOR MINERO DE MADRE DE DIOS AL AÑO 2017”</b></p> <p align="center"><b>FORMULARIO PARA LA MUESTRA DE ENTRENAMIENTO (ME)</b></p>	
<p><b>Tipo de Observación:</b> <input type="checkbox"/> Observación dentro de la muestra <input type="checkbox"/> Observación en la orilla <input type="checkbox"/> Observación a Distancia</p>	
<p>ID DE INVESTIGACION <u>CEARCMDD</u> ID DE PAIS: <u>PERU</u> ID DE DEPARTAMENTO: <u>MADRE DE DIOS</u> ID DE PROVINCIA: <u>TAMBOPATA</u></p>	
<p>ID DE DISTRITO: _____ ID SECTOR: _____</p>	
<p>ME#: _____</p>	
<p>FECHA DE HOY (d/m/a) ___/___/2018 HORA _____</p>	
<p>LOCAL _____ COLECTOR _____</p>	
<p>CLASE DE LA ME: _____ AREA DE LA ME / PROPIETARIO: _____</p>	
<p>PRODUCTOS DE IMAGEN USADOS: ID de imagen/fecha: _____ Composición de Color: _____</p>	
<p>ME CLASE DE LA IMAGEN ANALIZADA CLASE _____</p>	
<p>CLASE OBSERVADA: Cuerpos de agua <input type="checkbox"/> Suelo desnudo <input type="checkbox"/> Pastizales <input type="checkbox"/></p>	
<p>COORDENADAS GEOGRAFICAS EN EL CAMPO: UTM Zona 19 Datum: <u>WGS84</u></p>	
<p>UTM (X) _____ [m] UTM (Y): _____ [m] ELEVACION: _____ msnm</p>	
<p>INFORMACIÓN DEL GPS: ARCHIVO: _____ Veracidad estimada: _____</p>	
<p>UBICACIÓN TOPOGRÁFICA DE LA ME: Cresta _____; Falda _____; Planicie _____ Angulo de Pendiente: _____ ° (0-90°) Azimut (dirección hacia debajo de la pendiente máxima donde el agua correría naturalmente) _____ (0-360°)</p>	
<p>CLASE DE ACCESIBILIDAD: Muy difícil <input type="checkbox"/> Difícil <input type="checkbox"/> Moderado <input type="checkbox"/> Fácil <input type="checkbox"/> Muy Fácil <input type="checkbox"/></p>	
<p align="right">Distancia estimada desde la carretera: _____ km</p>	
<p><b>FOTOS DE LOS PUNTOS CARDINALES</b></p>	
<p>Foto al Norte: _____ Foto al sur: _____ Foto al Este: _____</p>	
<p>Foto al Oeste: _____</p>	
<p>ME marcada en los productos de imagen: No ___ Sí ___ Si no, explique: _____</p>	
<p>_____</p>	
<p>_____</p>	
<p>_____</p>	
<p><b>Otras observaciones:</b></p>	
<p>_____</p>	
<p>_____</p>	
<p>_____</p>	



## Anexo 3. Solicitud de autorización para la realización de estudios

 **UNIVERSIDAD NACIONAL AMAZÓNICA DE MADRE DE DIOS**  
Decanatura de la Facultad de Ingeniería  
"Año del Diálogo y la Reconciliación Nacional"



**RESOLUCIÓN DE DECANATURA N° 171-2018-UNAMAD-DFI**

Puerto Maldonado, 25 de junio de 2018

**VISTO:**

El Memorando N° 471-2018-UNAMAD-R/DFI, de fecha 18 de junio de 2018; Exp. N° 1619 e Informe N° 005-2018-JPV, de fecha 15 de junio de 2018, Estatuto de la Universidad Nacional Amazónica de Madre de Dios, Reglamento de Grados y Títulos de la Universidad Nacional Amazónica de Madre de Dios, y:

**CONSIDERANDO:**

Que, mediante Ley N° 27297, de fecha 05 de julio del año 2000, se crea la Universidad Nacional Amazónica de Madre de Dios.

Que, mediante Resolución de Consejo Universitario N° 525-2017-UNAMAD-CU, de fecha 21 de agosto de 2017, se aprueba el Reglamento General de Grados y Títulos de la Universidad Nacional Amazónica de Madre de Dios.

Que, mediante Resolución de Decanatura N° 127-2018-UNAMAD-VRA-DFI, de fecha 18 de mayo de 2018, se **confirma**, la Comisión Revisora Ad-Hoc para la revisión del proyecto de tesis, presentado por el bachiller Wilson Eduardo Chillhuani Coronado, para que opte el Título Profesional de Ingeniero Forestal y Medio Ambiente, la misma que está integrada por los siguientes docentes: M.Sc. Joel Peña Valdeiglesias (Presidente), Ing. Mauro Vela Da-Fonseca (Secretario) y M.Sc. Jorge Cardozo Soárez (Vocal).

Que, mediante Informe N° 005-2018-JPV, de fecha 15 de junio de 2018, la Comisión Revisora Ad-Hoc, remite al Decano de la Facultad de Ingeniería, la **aprobación** del Proyecto de Tesis titulado "Cuantificación Espacial de Aguas Residuales en el Corredor Minero de Madre de Dios al año 2017", presentado por el bachiller Wilson Eduardo Chillhuani Coronado.

Que, mediante Memorando N° 471-2018-UNAMAD-R/DFI, de fecha 18 de junio de 2018, el Decano de la Facultad de Ingeniería, autoriza proyectar la resolución de aprobación de Proyecto de Tesis presentado por el bachiller Wilson Eduardo Chillhuani Coronado.

Estando dentro de las atribuciones conferidas al Decano, por la Ley Universitaria N° 30220; el Estatuto de la Universidad Nacional Amazónica de Madre de Dios y en uso de las atribuciones conferidas mediante Resolución de Comité Electoral Universitario N° 015-2016-UNAMAD-CEU de fecha 28 de abril de 2016.




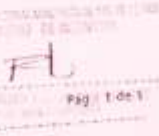
**SE RESUELVE:**

**ARTÍCULO PRIMERO: APROBAR**, el Proyecto de Investigación de Tesis titulado "Cuantificación Espacial de Aguas Residuales en el Corredor Minero de Madre de Dios al año 2017", presentado por Wilson Eduardo Chillhuani Coronado, Bachiller de la Escuela Profesional de Ingeniería Forestal y Medio Ambiente.

**ARTÍCULO SEGUNDO: DISPONER**, se notifique con la presente resolución al **ASESOR, Dr. Gabriel Alarcón Aguirre**, para conocimiento y fines pertinentes.

**ARTÍCULO TERCERO: NOTIFICAR**, al Bachiller Wilson Eduardo Chillhuani Coronado, que su proyecto ha sido inscrito en el registro de trabajos de investigación de la Facultad, tal como establece el artículo 35 del Reglamento General de Grados y Títulos de la Universidad Nacional Amazónica de Madre de Dios.

**REGÍSTRESE, COMUNÍQUESE Y ARCHÍVESE.**

DECANATURA DE LA FACULTAD DE INGENIERIA  
Av. Jorge Chávez N° 1160 - Ciudad Universitaria - Puerto Maldonado

Pag. 1 de 1

Anexo 4. Puntos de muestreo tomados por tipo de validación, corredor minero Madre de Dios.

<b>N°</b>	<b>Tipo Validación</b>	<b>Este</b>	<b>Norte</b>
1	Campo	319762	8560193
2	Campo	319918	8559023
3	Campo	319812	8558986
4	Campo	320009	8560852
5	Campo	319620	8560357
6	Campo	319790	8560285
7	Campo	319400	8560270
8	Campo	319796	8559104
9	Campo	319941	8558896
10	Campo	327897	8562028
11	Campo	331492	8563473
12	Campo	333831	8587361
13	Campo	400129	8583901
14	Campo	334933	8582030
15	Campo	306262	8548112
16	Campo	306257	8541799
17	Campo	402452	8562337
18	Campo	421000	8605238
19	Campo	377339	8608167
20	Campo	382876	8565846
21	Campo	418832	8600181
22	Campo	459021	8606322
23	Campo	483333	8613688
24	Campo	349203	8608775
25	Campo	394560	8604602
26	Campo	396410	8589385
27	Campo	384604	8562557
28	Campo	447789	8599279
29	Campo	394023	8562833
30	Campo	398541	8602318
31	Campo	306173	8547991
32	Campo	375927	8606876
33	Campo	358266	8551885
34	Campo	386384	8585620
35	Campo	341731	8552137
36	Campo	417147	8560790
37	Campo	377616	8588370
38	Campo	340580	8556016
39	Campo	380974	8568972

40	Campo	380982	8588149
41	Campo	382470	8566590
42	Campo	330061	8582955
43	Campo	317584	8543604
44	Campo	341565	8602567
45	Campo	384943	8605879
46	Campo	393265	8565691
47	Campo	420330	8603912
48	Campo	409462	8592655
49	Campo	432852	8601755
50	Campo	383657	8601633
51	Campo	393169	8574198
52	Campo	434491	8602906
53	Campo	362101	8582066
54	Campo	409456	8594020
55	Campo	329868	8562122
56	Campo	374253	8565104
57	Campo	383566	8608862
58	Campo	352489	8563924
59	Campo	384992	8568615
60	Campo	357718	8552096
61	Campo	319944	8564883
62	Campo	375573	8607153
63	Campo	423059	8599460
64	Campo	358606	8527912
65	Campo	336659	8583382
66	Campo	385500	8562461
67	Campo	352210	8559807
68	Campo	343831	8541861
69	Campo	337229	8585619
70	Campo	389043	8603347
71	Campo	375634	8609320
72	Campo	385970	8567959
73	Campo	425523	8596416
74	Campo	454575	8604397
75	Campo	333829	8576773
76	Campo	382001	8569031
77	Campo	340171	8608555
78	Campo	349900	8557964
79	Campo	377604	8586899
80	Campo	405461	8599931
81	Campo	326461	8575639
82	Campo	303138	8545345
83	Campo	321444	8540624

84	Campo	430258	8600648
85	Campo	374554	8606018
86	Campo	387018	8568340
87	Campo	390116	8600976
88	Campo	354851	8608880
89	Campo	333946	8582234
90	Campo	388552	8564486
91	Campo	334970	8578193
92	Campo	383114	8599781
93	Campo	436973	8597837
94	Campo	324698	8573280
95	Campo	394844	8588897
96	Campo	401598	8563159
97	Campo	466308	8611982
98	Campo	411973	8600204
99	Campo	340798	8550493
100	Campo	374894	8588053
101	Campo	406993	8599865
102	Campo	418006	8599525
103	Campo	401125	8590637
104	Campo	441904	8605431
105	Campo	329765	8573212
106	Campo	320119	8560293
107	Campo	335133	8592572
108	Campo	424282	8594611
109	Campo	341854	8559420
110	Campo	317243	8566648
111	Campo	328613	8576735
112	Campo	438938	8598167
113	Campo	337384	8595399
114	Campo	445814	8597169
115	Campo	400824	8591913
116	Campo	335676	8596250
117	Campo	383792	8568100
118	Campo	368022	8555118
119	Campo	311007	8544926
120	Campo	386759	8563208
121	Campo	388857	8578275
122	Campo	330473	8587307
123	Campo	398605	8585691
124	Campo	410248	8601481
125	Campo	327723	8587258
126	Campo	371079	8603953
127	Campo	310334	8544954

128	Campo	347734	8551674
129	Campo	357271	8605021
130	Campo	408719	8598529
131	Campo	330367	8582131
132	Campo	341784	8556588
133	Campo	385339	8604335
134	Campo	348973	8602876
135	Campo	396360	8598561
136	Campo	356875	8555385
137	Campo	401703	8600349
138	Campo	360188	8607480
139	Campo	338102	8574336
140	Campo	367139	8568420
141	Campo	338968	8576705
142	Campo	382529	8571331
143	Campo	392824	8565511
144	Campo	419193	8597856
145	Campo	333975	8595347
146	Campo	385528	8603967
147	Campo	332199	8580272
148	Campo	340404	8592917
149	Campo	387387	8561252
150	Campo	399045	8559997
151	Campo	430326	8600899
152	Campo	336856	8586986
153	Campo	356421	8608825
154	Campo	411085	8588088
155	Campo	400209	8558608
156	Campo	327792	8574391
157	Campo	456053	8607234
158	Campo	350150	8603899
159	Campo	402762	8587022
160	Campo	326429	8563393
161	Campo	322962	8564208
162	Campo	333153	8558196
163	Campo	362368	8605286
164	Campo	357164	8533533
165	Campo	388380	8590673
166	Campo	411378	8591489
167	Campo	457404	8603860
168	Campo	449707	8598671
169	Campo	364097	8610245
170	Campo	385108	8587855
171	Campo	404407	8598559



172	Campo	454706	8619873
173	Campo	330521	8575863
174	Campo	338851	8559555
175	Campo	434132	8601043
176	Campo	308370	8542771
177	Campo	385344	8558894
178	Campo	386447	8602448
179	Campo	355411	8608703
180	Campo	420455	8590293
181	Campo	365948	8608192
182	Campo	396448	8558307
183	Campo	366996	8607368
184	Campo	332762	8577945
185	Campo	341618	8560862
186	Campo	334021	8557903
187	Campo	340079	8600138
188	Campo	382779	8604822
189	Campo	351318	8607550
190	Campo	354445	8607513
191	Campo	464973	8608249
192	WorldView	336095	8592636
193	WorldView	348742	8553675
194	WorldView	339430	8594575
195	WorldView	445086	8604095
196	WorldView	399946	8603032
197	WorldView	318956	8544557
198	WorldView	377289	8562864
199	WorldView	340964	8556383
200	WorldView	449251	8606406
201	WorldView	339727	8583013
202	WorldView	419829	8598908
203	WorldView	460591	8613003
204	WorldView	370665	8557215
205	WorldView	334443	8584096
206	WorldView	349715	8563306
207	WorldView	359879	8547421
208	WorldView	396850	8558164
209	WorldView	406234	8599312
210	WorldView	342004	8558347
211	WorldView	397617	8601919
212	WorldView	347638	8601571
213	WorldView	331110	8591312
214	WorldView	353667	8574791
215	WorldView	387675	8574682

216	WorldView	329961	8585732
217	WorldView	339023	8593094
218	WorldView	401978	8592817
219	WorldView	366679	8569003
220	WorldView	308381	8536009
221	WorldView	355089	8605880
222	WorldView	388029	8563243
223	WorldView	325948	8575591
224	WorldView	430281	8600891
225	WorldView	375122	8604099
226	WorldView	384941	8588298
227	WorldView	386993	8565521
228	WorldView	338368	8561730
229	WorldView	371953	8608734
230	WorldView	338551	8596442
231	WorldView	403571	8562864
232	WorldView	457323	8606514
233	WorldView	347136	8607891
234	WorldView	436963	8596057
235	WorldView	395113	8563346
236	WorldView	347099	8606649
237	WorldView	446220	8601441
238	WorldView	362279	8582164
239	WorldView	429062	8595796
240	WorldView	333248	8539594
241	WorldView	356251	8553837
242	WorldView	330090	8558444
243	WorldView	396660	8573111
244	WorldView	362359	8607790
245	WorldView	397190	8598978
246	WorldView	315742	8539957
247	WorldView	382737	8562195
248	WorldView	362735	8569952
249	WorldView	344711	8563552
250	WorldView	328760	8580778
251	WorldView	328204	8562283
252	WorldView	330143	8572344
253	WorldView	338406	8589709
254	WorldView	333046	8561777
255	WorldView	328778	8555467
256	WorldView	384233	8570378
257	WorldView	447628	8601962
258	WorldView	459963	8629629
259	WorldView	376762	8610178

260	WorldView	330046	8574433
261	WorldView	346531	8558309
262	WorldView	351848	8565325
263	WorldView	443600	8603408
264	WorldView	330224	8581109
265	WorldView	332147	8564447
266	WorldView	357162	8533132
267	WorldView	330655	8585423
268	WorldView	387253	8568845
269	WorldView	422125	8592997
270	WorldView	379864	8599887
271	WorldView	391364	8569032
272	WorldView	461425	8614920
273	WorldView	372371	8557145
274	WorldView	386846	8572744
275	WorldView	461742	8612753
276	WorldView	335016	8540018
277	WorldView	323717	8572510
278	WorldView	329985	8563084
279	WorldView	370191	8610136
280	WorldView	456822	8607677
281	WorldView	302334	8545873
282	WorldView	394213	8589528
283	WorldView	381671	8562430
284	WorldView	362206	8569565
285	WorldView	370052	8608151
286	WorldView	447149	8601020
287	WorldView	461250	8615371
288	WorldView	464466	8612207
289	WorldView	418190	8600924
290	WorldView	378207	8610127
291	WorldView	393599	8564441
292	WorldView	327742	8565877
293	WorldView	393075	8575940
294	WorldView	388396	8577204
295	WorldView	381219	8568932
296	WorldView	382235	8558133
297	WorldView	343644	8602732
298	WorldView	420978	8604332
299	WorldView	370353	8603095
300	WorldView	327903	8555478
301	WorldView	330640	8586797
302	WorldView	439346	8599654
303	WorldView	447888	8599887

304	WorldView	411764	8597982
305	WorldView	317419	8540188
306	WorldView	312666	8542260
307	Drone	332294	8577607
308	Drone	305634	8538238
309	Drone	439351	8603877
310	Drone	461308	8613688
311	Drone	359200	8599563
312	Drone	393176	8574123
313	Drone	396177	8579131
314	Drone	414456	8595991
315	Drone	325844	8543169
316	Drone	305825	8541984
317	Drone	344616	8603437
318	Drone	346547	8607912
319	Drone	383307	8565531
320	Drone	392420	8578520
321	Drone	451275	8603195
322	Drone	388999	8590199
323	Drone	402508	8588983
324	Drone	321921	8568267
325	Drone	448601	8602958
326	Drone	343352	8559253
327	Drone	342087	8554505
328	Drone	344964	8561608
329	Drone	331844	8582888
330	Drone	381605	8586720
331	Drone	322116	8541825
332	Drone	330780	8555206
333	Drone	344237	8606331
334	Drone	342269	8601918
335	Drone	444597	8605528
336	Drone	375660	8610912
337	Drone	406952	8590834
338	Drone	341527	8596778
339	Drone	365889	8551312
340	Drone	353942	8539454
341	Drone	411763	8598153
342	Drone	327533	8572418
343	Drone	385394	8567426
344	Drone	388070	8573641
345	Drone	405350	8590045
346	Drone	363248	8566830
347	Drone	324226	8542073

348	Drone	349591	8560772
349	Drone	400704	8584850
350	Drone	397503	8599758
351	Drone	395390	8579860
352	Drone	358307	8608369
353	Drone	419798	8591023
354	Drone	392828	8569830
355	Drone	325688	8567380
356	Drone	325513	8582397
357	Drone	385255	8574427
358	Drone	384659	8561728
359	Drone	321779	8571162
360	Drone	381309	8590321
361	Drone	302459	8544862
362	Drone	365556	8549765
363	Drone	400641	8599545
364	Drone	327112	8581594
365	Drone	380847	8562690
366	Drone	329779	8576829
367	Drone	352638	8561989
368	Drone	390106	8561059
369	Drone	423860	8596497
370	Drone	329975	8572981
371	Drone	325041	8571564
372	Drone	374961	8603570
373	Drone	434629	8600661
374	Drone	450708	8604145
375	Drone	390239	8569111
376	Drone	383525	8569559
377	Drone	377607	8609462
378	Drone	322141	8569820
379	Drone	389347	8578901
380	Drone	342929	8608122
381	Drone	386579	8604342
382	Drone	339195	8589989

Anexo 4. Fichas de validación de campo.

Acondicionado por CINCIA  
"CUANTIFICACIÓN ESPACIAL DE AGUAS RESIDUALES EN EL CORREDOR MINERO DE MADRE DE DIOS AL AÑO 2017"  
FORMULARIO PARA LA MUESTRA DE ENTRENAMIENTO (ME)

Tipo de Observación:  Observación dentro de la muestra  Observación en la orilla  Observación a Distancia

ID DE INVESTIGACION: CEARCMDD ID DE PAIS: PERU ID DE DEPARTAMENTO: MADRE DE DIOS ID DE PROVINCIA: TAMBOPATA  
ID DE DISTRITO: Muyqueyche ID SECTOR: \_\_\_\_\_ ME#: 01  
FECHA DE HOY (d/m/a): 01/03/2018 HORA LOCAL: 7:40pm COLECTOR: Canal de Cocha, Muro  
CLASE DE LA ME: Agua AREA DE LA ME / PROPIETARIO: \_\_\_\_\_  
PRODUCTOS DE IMAGEN USADOS: ID de imagen/fecha: \_\_\_\_\_ Composición de Color: \_\_\_\_\_

ME CLASE DE LA IMAGEN ANALIZADA CLASE: \_\_\_\_\_  
CLASE OBSERVADA: Cuerpos de agua  Suelo desnudo  Pastizales   
COORDENADAS GEOGRAFICAS EN EL CAMPO: UTM Zona: 19 Datum: WGS84  
UTM (X): 719362 [m] UTM (Y): 8560193 [m] ELEVACION: 328 msnm  
INFORMACIÓN DEL GPS: ARCHIVO: 18-03-01 Veracidad estimada: \_\_\_\_\_  
UBICACIÓN TOPOGRÁFICA DE LA ME: Cresta \_\_\_\_\_ Falda \_\_\_\_\_ Planicie \_\_\_\_\_ Angulo de Pendiente: 90° (0-90°) Azimut (dirección hacia abajo de la pendiente máxima donde el agua correría naturalmente): \_\_\_\_\_ (0-360°)  
CLASE DE ACCESIBILIDAD: Muy difícil  Difícil  Moderado  Fácil  Muy Fácil   
Distancia estimada desde la carretera: \_\_\_\_\_ km

FOTOS DE LOS PUNTOS CARDINALES  
Foto al Norte: \_\_\_\_\_ Foto al sur: \_\_\_\_\_ Foto al Este: 153924 Foto al Oeste: 153915

ME marcada en los productos de imagen: No  Si  Si no, explique: \_\_\_\_\_

Otras observaciones:  
La zona es una zona verde con un campo de cultivo de papas (tuberos) con una  
altura de 328 msnm

Acondicionado por CINCIA  
"CUANTIFICACIÓN ESPACIAL DE AGUAS RESIDUALES EN EL CORREDOR MINERO DE MADRE DE DIOS AL AÑO 2017"  
FORMULARIO PARA LA MUESTRA DE ENTRENAMIENTO (ME)

Tipo de Observación:  Observación dentro de la muestra  Observación en la orilla  Observación a distancia

ID DE INVESTIGACIÓN: CEARCMDDO ID DE PAIS: PERU ID DE DEPARTAMENTO: MADRE DE DIOS ID DE PROVINCIA: TAMBOPATA

ID DE DISTRITO: \_\_\_\_\_ ID SECTOR: Buenos Aires ME#: 02

FECHA DE HOY (d/m/a): 09/01/2018 HORA LOCAL: 4:10:00 COLECTOR: Ignacio Chiriqui

CLASE DE LA ME: Salida al AREA DE LA ME / PROPIETARIO: \_\_\_\_\_

PRODUCTOS DE IMAGEN USADOS: ID de imagen/fecha: \_\_\_\_\_ Composición de Color: \_\_\_\_\_

ME CLASE DE LA IMAGEN ANALIZADA CLASE: \_\_\_\_\_

CLASE OBSERVADA: Cuerpos de agua  Suelo desnudo  Pastizales

COORDENADAS GEOGRAFICAS EN EL CAMPO: UTM Zona: 19 Datum: WGS84

UTM (X): 219018 [m] UTM (Y): 9438019 [m] ELEVACIÓN: 332 msnm

INFORMACIÓN DEL GPS: ARCHIVO: 30101 Veracidad estimada: \_\_\_\_\_

UBICACIÓN TOPOGRÁFICA DE LA ME: Cresta: \_\_\_\_\_ Falda: \_\_\_\_\_ Planicie: \_\_\_\_\_ Ángulo de Pendiente: \_\_\_\_\_ " (0-90°) Azimut (dirección hacia debajo de la pendiente máxima donde el agua correría naturalmente): \_\_\_\_\_ (0-360°)

CLASE DE ACCESIBILIDAD: Muy difícil  Difícil  Moderado  Fácil  Muy Fácil   
Distancia estimada desde la carretera: \_\_\_\_\_ km

FOTOS DE LOS PUNTOS CARDINALES

Foto al Norte: 160413 Foto al sur: 160419 Foto al Este: 160423 Foto al Oeste: 160427

ME marcada en los productos de imagen: No  Si  Si no, explique: \_\_\_\_\_

Otras observaciones:  
Disco de suelo desnudo cubierto de cenizas generadas en incendio  
con un área de 200 x 60 m, presencia de árboles pequeños  
espes (arboles), Zopilotes (colibríes) pequeños, colinas (volcanes)  
contorno de operación minera (maquinaria grande)





Acondicionado por CINCIA  
"CUANTIFICACIÓN ESPACIAL DE AGUAS RESIDUALES EN EL CORREDOR MINERO DE MADRE DE DIOS AL AÑO 2017"  
FORMULARIO PARA LA MUESTRA DE ENTRENAMIENTO (ME)

Tipo de Observación:  Observación dentro de la muestra  Observación en la orilla  Observación a Distancia

ID DE INVESTIGACION CEARCMDD ID DE PAIS PERU ID DE DEPARTAMENTO: MADRE DE DIOS ID DE PROVINCIA: TAMBOPATA

ID DE DISTRITO: Huancabamba ID SECTOR: Quintana ME#: 01

FECHA DE HOY (d/m/a): 02/06/2018 HORA LOCAL: 09:29 COLECTOR: Erillem

CLASE DE LA ME: \_\_\_\_\_ AREA DE LA ME / PROPIETARIO: \_\_\_\_\_

PRODUCTOS DE IMAGEN USADOS: ID de imagen/fecha: \_\_\_\_\_ Composición de Color: \_\_\_\_\_

ME CLASE DE LA IMAGEN ANALIZADA CLASE \_\_\_\_\_

CLASE OBSERVADA: Cuerpos de agua  Suelo desnudo  Pastizales

COORDENADAS GEOGRAFICAS EN EL CAMPO: UTM Zona: 19 Datum: WGS84

UTM (X) 37 0009 (m) UTM (Y) 9360852 (m) ELEVACION: 322 msnm

INFORMACIÓN DEL GPS: ARCHIVO: 160002 Veracidad estimada: \_\_\_\_\_


UBICACIÓN TOPOGRÁFICA DE LA ME: Cresta: \_\_\_\_\_ Falda: \_\_\_\_\_ Planicie: \_\_\_\_\_ Angulo de Pendiente: \_\_\_\_\_ ° (0-90°) Azimut (dirección hacia abajo de la pendiente máxima donde el agua correría naturalmente): \_\_\_\_\_ (0-360°)

CLASE DE ACCESIBILIDAD: Muy difícil  Difícil  Moderado  Fácil  Muy Fácil   
Distancia estimada desde la cámara: \_\_\_\_\_ km

FOTOS DE LOS PUNTOS CARDINALES

Foto al Norte: 163855 Foto al sur: 163857 Foto al Este: 164002 Foto al Oeste: 164000

ME marcada en los productos de imagen: No  Si  Si no, explique: \_\_\_\_\_

Otras observaciones:  
cercas al colegio de la Comunidad Bandera, a lado de la casa (curda) en un  
lugar con distancia de 8m o 10m, pero parecen los espacios de  
la familia Pineda (Papa) y sus hijos.  


Acondicionado por CINCIA

"CUANTIFICACIÓN ESPACIAL DE AGUAS RESIDUALES EN EL CORREDOR MINERO DE MADRE DE DIOS AL AÑO 2017"  
FORMULARIO PARA LA MUESTRA DE ENTRENAMIENTO (ME)

Tipo de Observación:  Observación dentro de la muestra  Observación en la orilla  Observación a Distancia

ID DE INVESTIGACION: GEARCMDD ID DE PAIS: PERU ID DE DEPARTAMENTO: MADRE DE DIOS ID DE PROVINCIA: TAMBOPATA

ID DE DISTRITO: Agropurita ID SECTOR: San Antonio ME#: 05

FECHA DE HOY (d/m/a): 10/15/2018 HORA LOCAL: 9:49 am COLECTOR: Luis

CLASE DE LA ME: Pantano (superficie) AREA DE LA ME / PROPIETARIO: \_\_\_\_\_

PRODUCTOS DE IMAGEN USADOS. ID de imagen/fecha: \_\_\_\_\_ Composición de Color: \_\_\_\_\_

ME CLASE DE LA IMAGEN ANALIZADA CLASE: \_\_\_\_\_

CLASE OBSERVADA: Cuerpos de agua  Suelo desnudo  Pastizales

COORDENADAS GEOGRAFICAS EN EL CAMPO: UTM Zona: 19 Datum: WGS84

UTM (X): 319620 [m] UTM (Y): 8360307 [m] ELEVACION: 294 msnm

INFORMACIÓN DEL GPS: ARCHIVO: P013 Veracidad estimada: \_\_\_\_\_

UBICACIÓN TOPOGRÁFICA DE LA ME: Cresta \_\_\_\_\_ Falda \_\_\_\_\_ Planicie \_\_\_\_\_ Angulo de Pendiente: \_\_\_\_\_ ° (0-90°) Azimut (dirección hacia abajo de la pendiente máxima donde el agua corre naturalmente): \_\_\_\_\_ (0-360°)

CLASE DE ACCESIBILIDAD: Muy difícil  Difícil  Moderado  Fácil  Muy Fácil   
Distancia estimada desde la carretera: \_\_\_\_\_ km

FOTOS DE LOS PUNTOS CARDINALES

Foto al Norte: 095551 Foto al sur: 096245 Foto al Este: 095519 Foto al Oeste: 096301

ME marcada en los productos de imagen: No  Si  Si no, explique: \_\_\_\_\_

Otras observaciones:  
Area de vegetación poco densa, con árboles nativos, con puntos de agua  
contando la especie de árbol (cacaotales, plátanos, etc.) y otros árboles (caña, etc.)  
contando la especie de árbol (cacaotales, plátanos, etc.) y otros árboles (caña, etc.)

Acondicionado por CINCIA  
 "CUANTIFICACIÓN ESPACIAL DE AGUAS RESIDUALES EN EL CORREDOR MINERO DE MADRE DE DIOS AL AÑO 2017"  
 FORMULARIO PARA LA MUESTRA DE ENTRENAMIENTO (ME)

Tipo de Observación:  Observación dentro de la muestra  Observación en la orilla  Observación a Distancia

ID DE INVESTIGACION CEARCMDD ID DE PAIS PERU ID DE DEPARTAMENTO: MADRE DE DIOS ID DE PROVINCIA: TAMBOPATA

ID DE DISTRITO: Guaymas ID SECTOR: Guaymas ME#: 06

FECHA DE HOY (d/m/a) 10/05/2018 HORA LOCAL: \_\_\_\_\_ COLECTOR: \_\_\_\_\_

CLASE DE LA ME: Cuerpo de Agua AREA DE LA ME / PROPIETARIO: \_\_\_\_\_

PRODUCTOS DE IMAGEN USADOS: ID de imagen/fecha: \_\_\_\_\_ Composición de Color: \_\_\_\_\_

ME CLASE DE LA IMAGEN ANALIZADA CLASE \_\_\_\_\_

CLASE OBSERVADA: Cuerpos de agua  Suelo desnudo  Pastizales

COORDENADAS GEOGRAFICAS EN EL CAMPO: UTM Zona: 18 Datum: WGS84

UTM (X) 318290 (m) UTM (Y) 8160205 (m) ELEVACION: 303 msnm

INFORMACION DEL GPS: ARCHIVO: 100919 Veracidad estimada: \_\_\_\_\_

UBICACIÓN TOPOGRÁFICA DE LA ME: Cresta: \_\_\_\_\_; Falda: \_\_\_\_\_; Planicie: \_\_\_\_\_; Angulo de Pendiente: \_\_\_\_\_° (0-90°) Azimut (dirección hacia debajo de la pendiente máxima donde el agua correría naturalmente): \_\_\_\_\_ (0-360°)

CLASE DE ACCESIBILIDAD: Muy difícil  Difícil  Moderado  Fácil  Muy Fácil   
 Distancia estimada desde la carretera: \_\_\_\_\_ km

FOTOS DE LOS PUNTOS CARDINALES

Foto al Norte: 100919 Foto al sur: 100921 Foto al Este: 100926 Foto al Oeste: 100931

ME marcada en los productos de imagen: No  Si  Si no, explique: \_\_\_\_\_

Otras observaciones:  
Para Corriente con Suenos de inestabilidad con presencia de los ruidos  
de ruidos, al estar se ve una gran zona (Plataforma de Plataformas)  
con el ruido se puede escuchar con ayuda de un micrófono



Acondicionado por CINCIA  
"CUANTIFICACIÓN ESPACIAL DE AGUAS RESIDUALES EN EL CORREDOR MINERO DE MADRE DE DIOS AL AÑO 2017"  
FORMULARIO PARA LA MUESTRA DE ENTRENAMIENTO (ME)

Tipo de Observación:  Observación dentro de la muestra  Observación en la orilla  Observación a distancia

ID DE INVESTIGACION: CEARCMINDO ID DE PAIS: PERU ID DE DEPARTAMENTO: MADRE DE DIOS ID DE PROVINCIA: TAMBOPATA

ID DE DISTRITO: Mueyestants ID SECTOR: Bambamarca ME#: 018

FECHA DE HOY (d/m/a): 10/3/2018 HORA LOCAL: 11:40 pm COLECTOR: Luis Lopez

CLASE DE LA ME: \_\_\_\_\_ AREA DE LA ME / PROPIETARIO: \_\_\_\_\_

PRODUCTOS DE IMAGEN USADOS: ID de imagen/fecha: \_\_\_\_\_ Composición de Color: \_\_\_\_\_

ME CLASE DE LA IMAGEN ANALIZADA CLASE: \_\_\_\_\_

CLASE OBSERVADA: Cuerpos de agua  Suelo desnudo  Pastizales

COORDENADAS GEOGRAFICAS EN EL CAMPO: UTM Zona: 18 Datum: WGS84

UTM (X): 318796 [m] UTM (Y): 8559124 [m] ELEVACION: 323 msnm

INFORMACIÓN DEL GPS: ARCHIVO: \_\_\_\_\_ Veracidad estimada: \_\_\_\_\_

UBICACIÓN TOPOGRÁFICA DE LA ME: Cresta: \_\_\_\_\_ Falda: \_\_\_\_\_ Planicie: \_\_\_\_\_ Angulo de Pendiente: \_\_\_\_\_ ° (0-90°) Azimut (dirección hacia abajo de la pendiente máxima donde el agua correría naturalmente): \_\_\_\_\_ (0-360°)

CLASE DE ACCESIBILIDAD: Muy difícil  Difícil  Moderado  Fácil  Muy Fácil   
Distancia estimada desde la carretera: \_\_\_\_\_ km

FOTOS DE LOS PUNTOS CARDINALES

Foto al Norte: 164443 Foto al sur: 164446 Foto al Este: 164452 Foto al Oeste: 164454

ME marcada en los productos de imagen: No  Si  Si no, explique: \_\_\_\_\_

Otras observaciones:  
caso de agua dulce (rotada por folios) - la muestra de agua dulce  
relativamente, porque (para)

Condicionado por CINCIA

"CUANTIFICACIÓN ESPACIAL DE AGUAS RESIDUALES EN EL CORREDOR MINERO DE MADRE DE DIOS AL AÑO 2017"  
FORMULARIO PARA LA MUESTRA DE ENTRENAMIENTO (ME)

Tipo de Observación:  Observación dentro de la muestra  Observación en la orilla  Observación a distancia

ID DE INVESTIGACION: CEARCMMDD ID DE PAIS: PERU ID DE DEPARTAMENTO: MADRE DE DIOS ID DE PROVINCIA: TAMBOPATA

ID DE DISTRITO: Buzetuvie ID SECTOR: Banbarra ME#: 07

FECHA DE HOY (d/m/a): 20.12.2018 HORA LOCAL: 12:10 COLECTOR: Wilson

CLASE DE LA ME: \_\_\_\_\_ AREA DE LA ME / PROPIETARIO: \_\_\_\_\_

PRODUCTOS DE IMAGEN USADOS: ID de imagen/fecha: \_\_\_\_\_ Composición de Color: \_\_\_\_\_

ME CLASE DE LA IMAGEN ANALIZADA CLASE: \_\_\_\_\_

CLASE OBSERVADA: Cuerpos de agua  Suelo desnudo  Pastizales

COORDENADAS GEOGRAFICAS EN EL CAMPO: UTM Zona: 19 Datum: WGS84

UTM (X): 319441 (m) UTM (Y): 8558846 (m) ELEVACION: 779 msnm

INFORMACIÓN DEL GPS: ARCHIVO: \_\_\_\_\_ Veracidad estimada: \_\_\_\_\_

UBICACIÓN TOPOGRÁFICA DE LA ME: Cresta: \_\_\_\_\_ Falda: \_\_\_\_\_ Planicie: \_\_\_\_\_ Ángulo de Pendiente: \_\_\_\_\_ ° (0-90°) Azimut (dirección hacia debajo de la pendiente máxima donde el agua correría naturalmente): \_\_\_\_\_ (0-360°)

CLASE DE ACCESIBILIDAD: Muy difícil  Difícil  Moderado  Fácil  Muy Fácil   
Distancia estimada desde la carretera: \_\_\_\_\_ km

FOTOS DE LOS PUNTOS CARDINALES

Foto al Norte: 121147 Foto al sur: 121150 Foto al Este: 121154 Foto al Oeste: 121157

ME marcada en los productos de imagen: No  Sí  Si no, explique: \_\_\_\_\_

Otras observaciones:

seco con cantidad de partículas (resacas) tipo de puro negro.  
con presencia de pedri (zonarios) (caraculinas), espores de plantas  
leños, tipo e melastomatáceas (musaes) fondo color blanco.

Anexo 5. Panel fotográfico.



Foto 1. Captura de datos de campo.



Foto 2. Puntos UTM en campo.



Foto 3. Captura de puntos UTM.



Foto 4. Acezando al punto UTM de cuerpos de aguas residuales.