



**Universidad Nacional Mayor de San Marcos**

**Universidad del Perú. Decana de América**

Dirección General de Estudios de Posgrado  
Facultad de Ingeniería de Sistemas e Informática  
Unidad de Posgrado

**Procesamiento de imágenes satelitales para  
caracterizar comportamiento de suelos mineros en el  
Perú**

**TESIS**

Para optar el Grado Académico de Magíster en Ingeniería de  
Sistemas e Informática con mención en Ingeniería de Software

**AUTOR**

Miryam Milagros COSME FELIX

**ASESOR**

Dr. Luzmila Elisa PRO CONCEPCIÓN

Lima, Perú

2020



Reconocimiento - No Comercial - Compartir Igual - Sin restricciones adicionales

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

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

## Referencia bibliográfica

---

Cosme, M. (2020). *Procesamiento de imágenes satelitales para caracterizar comportamiento de suelos mineros en el Perú*. Tesis para optar grado de Magíster en Ingeniería de Sistemas e Informática con mención en Ingeniería de Software. Unidad de Posgrado, Facultad de Ingeniería de Sistemas e Informática, Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Lima, Perú.

---

## Hoja de Metadatos complementarios

Código ORCID del autor	000002-2714-6291
DNI o pasaporte del autor	06326376
Código ORCID del asesor	0000-0003-0622-1173
DNI o pasaporte del asesor	08862360
Grupo de investigación	Tecnologías de Investigación con Aplicaciones en las Ciencias Biomédicas Information Technologies in Biomedical Science-“BIOMEDICAL-IT”
Agencia financiadora	Ninguna
Ubicación geográfica donde se desarrolló la investigación	Para este estudio se estableció cuatro puntos contaminados por la Minera Tintaya, ubicado en la Provincia de Espinar-Cuzco
Año o rango de años en que se realizó la investigación	2014 al 2019
Disciplinas OCDE	2.02.04 -- Ingeniería de sistemas y comunicaciones  URI http://purl.org/pe-repo/ocde/ford#2.02.04

Nota: tomar en cuenta la forma de llenado según las precisiones señaladas en la web (las tablas OCDE están incluidas).  
[https://sisbib.unmsm.edu.pe/archivos/documentos/recepcion\\_investigacion/Hoja%20de%20metadatos%20complementarios\\_30junio.pdf](https://sisbib.unmsm.edu.pe/archivos/documentos/recepcion_investigacion/Hoja%20de%20metadatos%20complementarios_30junio.pdf)



Universidad Nacional Mayor de San Marcos  
Universidad del Perú. Decana de América

Facultad de Ingeniería de Sistemas e Informática  
Vicedecanato de Investigación y Posgrado  
**Unidad de Posgrado**

**ACTA DE SUSTENTACIÓN VIRTUAL DE TESIS PARA OPTAR EL GRADO  
ACADÉMICO DE MAGÍSTER EN INGENIERÍA DE SISTEMAS E INFORMÁTICA CON  
MENCIÓN EN INGENIERÍA DE SOFTWARE**

A los ventidos (22) días del mes de octubre del 2020, siendo las diecinueve horas, se reunieron en la sala virtual <https://meet.google.com/shv-gojm-yck>, el Jurado de Tesis conformado por los siguientes docentes:

Mg. Juan Carlos Gonzales Suárez (Presidente)  
Mg. Luz Corina Del Pino Rodriguez (Miembro)  
Mg. Efraín Ricardo Bautista Ubillús (Miembro)  
Dra. Luzmila Elisa Pró Concepción (Asesor)

Se inició la Sustentación invitando a la candidata a Magíster **Miryam Milagros Cosme Felix**, para que realice la exposición oral y virtual de la tesis para optar el Grado Académico de Magíster en Ingeniería de Sistemas e Informática con mención en Ingeniería de Software, siendo la Tesis intitulada:

**“Procesamiento de Imágenes Satelitales para Caracterizar Comportamiento de Suelos  
Mineros en el Perú”**

Concluida la exposición, los miembros del Jurado de Tesis procedieron a formular sus preguntas que fueron absueltas por la graduando; acto seguido se procedió a la evaluación correspondiente, habiendo obtenido la siguiente calificación:

18 (Dieciocho) Muy Bueno

Por tanto el Presidente del Jurado, de acuerdo al Reglamento General de Estudios de Posgrado, otorga a la Bachiller **Miryam Milagros Cosme Felix** el Grado Académico de Magíster en Ingeniería de Sistemas e Informática con mención en Ingeniería de Software.

Siendo las 21:00 horas, el Presidente del Jurado de Tesis da por concluido el acto académico de Sustentación de Tesis.



Mg. **Juan Carlos Gonzales Suárez**  
(Presidente)



Mg. **Luz Corina Del Pino Rodriguez**  
(Miembro)



Mg. **Efraín Ricardo Bautista Ubillús**  
(Miembro)



Dra. **Luzmila Elisa Pró Concepción**  
(Asesor)

## **DEDICATORIA**

A Dios, por amarme tanto, porque sentí su presencia en mí día a día.

A mi hermano Kristhofer (QEPD), por su apoyo incondicional, por cada día que me ayudo a estudiar varios temas de la Maestría.

A mis hijos, porque son lo más bello que tengo en mi vida y son los que me impulsan cada día a seguir mejorando.

A mi familia por sus palabras de aliento y su confianza.

## **AGRADECIMIENTO**

Quiero expresar mis agradecimientos a todas aquellas personas que me brindaron su apoyo incondicional, las orientaciones y el conocimiento.

A la Universidad Nacional Mayor de San Marcos, en especial a la Facultad de Ingeniería de Sistemas e Informática por la oportunidad brindada para desarrollar este trabajo de investigación.

## RESUMEN

La presente investigación titulada “Procesamiento de imágenes satelitales para caracterizar comportamiento de suelos mineros en el Perú”, tiene como objetivo determinar el procesamiento de imágenes satelitales que logran caracterizar el comportamiento de suelos mineros en el Perú. Para el procesamiento de imágenes se utilizó la herramienta SOPI, que es un software geoespacial que tiene herramientas para visualizar, gestionar y hacer análisis de imágenes satelitales. Esta herramienta se adapta a las características de las misiones satelitales de observación de la Tierra. La metodología utilizada es bajo el enfoque no experimental, con un diseño descriptivo. La población fue cuatro puntos geográficos según latitud y longitud, correspondiente a la Provincia de Espinar en la unidad de la Mina Tintaya. Se empleó la revisión de documentos y 07 bandas en una imagen. Los resultados de la investigación, fue identificar que, en los lugares más cercano al relave, hay mayor presencia de colores amarillentos y tostado, que representa suelo sin cobertura, con presencia de color marrón tostado que representa poca o ninguna vegetación y el color azul oscuro representa agua en reposo no dominante en el paisaje. La investigación es una propuesta novedosa porque permite analizar gráficamente el estado del suelo por trabajos mineros, logrando el objetivo que es la caracterización del lugar en estudio, obtenidas a partir de la presencia de colores y la longitud de la onda, de igual manera se presentan trabajos futuros que podrían realizarse a partir de la presente tesis.

**Palabras claves:** Procesamiento de imagen satelital, Caracterización de suelos, Contaminación por la minería, Color, Longitud de onda.



## ABSTRACT

This research is entitled "Processing of satellite images to characterize behavior of mining soils in Peru". Therefore, it is necessary to identify the area affected by mining, collect images, and also it's necessary to evaluate parts of the affected area and analyze its spectral zone. For the processing of images, the SOPI tool was used, which is a geospatial software with typical tools for the visualization, arrangement and analysis of images. This tool adapts to the characteristics of satellite missions by earth observation. The methodology used is non-experimental research, with a descriptive design. The population was four geographic points according to latitude and longitude, corresponding to the Province of Espinar in Tintaya Mine. In this research, the document revision and 07 bands in an image were used. The results were to identify that in the places closest to the tailings, there is a greater presence of yellowish colors and toasting, which represents uncovered soil, with the presence of brown toasted color that represents little or no vegetation and the dark blue color represents water at rest and there is not existed in the landscape.

The research is an innovative proposal because it allows to analyze the state of the soil by mining works with graphs. This way, the objective was achieved and was obtained from the presence of colors and the wavelength. This research presents future works that could be done from this thesis.

**Keywords:** Satellite image processing, Soil characterization, Mining pollution, Color, Wavelength.

## INDICE

CARATULA 1 .....	i
HOJA DE RESPETO .....	ii
DEDICATORIA .....	iii
AGRADECIMIENTO .....	iv
RESUMEN .....	v
ABSTRACT .....	vi
INDICE .....	vii
LISTA DE FIGURAS .....	xi
LISTA DE CUADROS .....	xiii

### CAPITULO I: INTRODUCCIÓN

1.1. Situación problemática .....	2
1.2. Formulación del problema .....	4
1.2.1. Problema general.....	4
1.2.2. Problemas específicos .....	4
1.2.3. Justificación teórica .....	4
1.2.4. Justificación práctica .....	5
1.3. Objetivos .....	7
1.3.1. Objetivo general .....	7
1.3.2. Objetivos específicos.....	7

### CAPITULO 2: MARCO TEÓRICO

2.1. Marco filosófico o epistemológico de la investigación.....	9
2.2. Antecedentes de la investigación.....	11
2.3. Bases teóricas .....	20
2.3.1. Suelo .....	20
2.3.2. Tipos de muestra.....	22
2.3.3. Enfoque para el muestreo .....	22
2.3.4. Plan de muestreo .....	23
2.3.5. Punto de muestreo .....	23
2.3.6. Riesgo .....	23

2.3.7. Sitio contaminado .....	24
2.3.8. Minería y contaminación ambiental .....	24
2.3.9. Distribución regional de los pasivos ambientales mineros (PAMs) en el Perú 2006-2016 .....	24
2.3.10. Consecuencia de las actividades mineras en el medio ambiente .....	25
2.3.11. Fuentes de contaminación.....	26
2.3.12. La contaminación de los suelos.....	27
2.3.13. Uso de la tierra y control del medio ambiente.....	28
2.3.14. Impacto ambiental .....	29
2.3.15. Nivel máximo permisible.....	29
2.3.16. Plan de cierre .....	29
2.3.17. Programa de adecuación y manejo ambiental.....	29
2.3.18. Protección ambiental .....	30
2.3.19. Programa de monitoreo .....	30
2.3.20. Aplicaciones de la tecnología satelital en el área de percepción remota .....	30
2.3.21. Funcionamiento de la teledetección cuando se estudia el medio ambiente .....	30
2.3.22. Satélites de recursos naturales LANDSAT .....	31
2.3.23. Los modelos de paisaje .....	32
2.3.24. Metodología para evaluar el impacto visual provocado por la explotación mineral.....	33
2.3.25. Cuenca visual .....	35
2.3.26. Datos y métodos.....	35
2.3.27. Correcciones geométricas .....	36
2.3.28. Mejorar el contraste .....	36
2.3.29. La imagen en falso color rojo, verde y azul .....	36
2.3.30. Bandas más aconsejables a combinar .....	37
2.3.31. Componentes principales .....	37
2.3.32. Técnica tramo de correlación .....	37
2.3.33. Generar imagen de cociente .....	38

2.3.34. Imagen con combinación de bandas de información del sensor mapeador temático con modelos digitales .....	38
2.3.35. Softwares utilizados para el procesamiento de imágenes .....	39
2.3.36. Métodos utilizados para el análisis de suelos según el Ministerio de Energía y Minas del Perú .....	40
2.3.37. Equipos utilizados en la evaluación y muestreo de metales .....	42
2.3.38. Procedimiento actual de detección de metales en suelos .....	47
2.3.39. Proceso actual para detectar contaminantes.....	48
2.3.40. Procedimiento propuesto.....	50
2.3.41. Radiación electromagnética (REM) .....	51
2.3.42. Sistema Landsat7 Enhanced Thematic Mapper-Plus (ETM+)..	60
2.3.43. Flujo de procesos de la propuesta.....	61

### CAPITULO 3: METODOLOGÍA

3.1. Identificación de variables .....	69
<b>3.2. Operacionalización de variables</b> <b>70</b>	
3.3. Matriz de consistencia .....	70
3.4. Tipo y diseño de la investigación.....	71
3.4.1. Tipo de investigación .....	71
3.4.2. Diseño de la investigación .....	71
3.5. Unidad de análisis .....	72
3.6. Población de estudio .....	73
3.7. Tamaño de la muestra.....	74
3.7.1. Muestra.....	74
3.8. Selección de la muestra .....	74
3.9. Técnicas de recolección de datos .....	75

### CAPITULO 4: RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Análisis, interpretación y discusión de los resultados .....	76
4.2. Identificación de la zona afectada.....	77
4.3. Teoría sobre las bandas espectrales de los instrumentos ópticos.....	81
4.4. Presentación de los resultados.....	93

4.4.1. Análisis de resultados para el punto A .....	99
4.4.2. Análisis de resultados para el punto B .....	100
4.4.3. Análisis de resultados para el punto C .....	101
4.4.4. Análisis de resultados para el punto 4 .....	102

## CAPITULO 5: IMPACTOS

5.1. Propuesta para la solución del problema .....	104
5.2. Costo de implementación .....	105
5.3. Beneficios que aporta la propuesta .....	105
6. CONCLUSIONES.....	106
7. RECOMENDACIONES .....	108
8. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS .....	109
9. ANEXO.....	114

## INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Mapa de áreas de adquisición de HYPE08, Además del área 3 que se muestra en la figura, las áreas 1 y 2, ubicadas al norte de Olkiluoto. ....	16
Figura 2. Mapa de ubicación de las Comunidades Campesinas en la zona de influencia de la empresa BHP BILLINTON TINTAYA. ....	19
Figura 3. Datos tomados del Ministerio de Energía de Minas (2014). ....	23
Figura 4. Metodos para el análisis de suelos ..... 39	39
Figura 5. Metodos para el análisis de suelos ..... 40	40
Figura 6. Muestreador con succionador ..... 41	41
Figura 7. Diagrama de procesos el procedimiento de detección de contaminantes en suelos ..... 45	45
Figura 8. Enfoque Básico de Muestreo ..... 47	47
Figura 9. Adquisición de datos enfoque Básico de Muestreo ..... 48	48
Figura 10. Enfoque Básico de Muestreo ..... 49	49
Figura 11. Espectro Electromagnetico ..... 50	50
Figura 12. Frecuencia de la energía radiada desde los Cuerpos Negros a varias temperaturas.. ..... 51	51
Figura 13. Detección del color en sensores de visualización humana: absorción del cono rojo; absorción del cono verde; absorción del cono Azul; Colores aditivos y sustractivos ..... 52	52
Figura 14. Relación entre los colores ..... 53	53
Figura 15. Colores primarios con los diferentes tonos de grises en el eje acromático, entre el blanco y el negro; relación entre colores primarios, aditivos y sustractivos..... 53	53
Figura 16. a) Interacción entre la energía electromagnética y la superficie terrestre..... 54	54
Figura 17. a) Reflexión especular; b) Reflexión difusa..... 55	55
Figura 18. Curvas espectrales características de diferentes materiales ..... 56	56
Figura 19. Diferentes sensores y sus resoluciones..... 56	56
Figura 20. Flujo de procesos de la propuesta ..... 58	58
Figura 21. Imagen de la mina de Tintaya según las coordenadas ..... 60	60
Figura 22. Colores del espectro ..... 62	62
Figura 23. Longitud de onda asociada a cada banda de las misiones satelitales. .... <b>¡Error! Marcador no definido.</b>	
Figura 24. Curvas espectrales características de diferentes materiales. .... 63	63
Figura 25. Procesos del catalogo de base de datos satelital <b>¡Error! Marcador no definido.</b>	
Figura 26. Compilación de Magnitudes..... <b>¡Error! Marcador no definido.</b>	
Figura 27. División de los Diseños Transeccionales. .... 69	69

Figura 28. Zona de Estudio .....	72
Figura 29. Imágenes del satélite LANDSAT.... <b>¡Error! Marcador no definido.</b>	
Figura 30. Sensores Remotos Electromagneticos de Recursos Terrestres .	74
Figura 31. Coordenadas de la mina de Tintaya .....	75
Figura 32. Busqueda del lugar de estudio.....	76
Figura 33. Presentación de las imágenes que coinciden con el nombre de la ubicación.....	77
Figura 34. Imagen del área de cobertura .....	77
Figura 35. Imagen con todas las bandas seleccionada para descargarla....	78
Figura 36. Longitud de Onda asociada a cada banda.....	79
Figura 37. Firmas espectrales correspondiente a suelo con baja cobertura de vegetación.....	79
Figura 38. Imagen en lansat 5 , en combinación en color natural RGB (3 2 1). .....	81
Figura 39. Imagen en lansat 8 combinación de bandas en color natural .....	83
Figura 40. Imagen recortada de Lansat 5, en la combinación de color 2 3 1	84
Figura 41. Imagen recortada de Lansat 8, en la combinación de color 1 2 3	85
Figura 42. Imagen de lansat 8 en la combinación de color (3 2 1).....	86
Figura 43. Modelo de color para diferencias superficies terrestres, lad sat 8 en la combinación 5 4 3. ....	88
Figura 44. Zona de intervención.....	89
Figura 45. Análisis de la banda 5 infrarojo onda corta para medir la firma de los puntos..... <b>¡Error! Marcador no definido.</b>	
Figura 46. Análisis de la banda 4 infrarojo onda del infrarojo cercano para medir la firma de los lugares. ....	92
Figura 47. Análisis de la banda 3 infrarojo onda del rojo para medir la firma de los lugares.....	93
Figura 48. Análisis de la banda 1 azul para medir la firma de los lugares ...	94
Figura 49. Análisis de la banda 2 verde para medir la firma de los lugares. ....	94
Figura 50. Análisis de la banda 6 infrarojo onda corta para medir la firma de los lugares.....	95
Figura 51. Grafica con la firma espectral de la Zona del Relave.....	96
Figura 52. Grafica con la firma espectral de la Zona que se encuentra en las cercanías del relave minero .....	97
Figura 53. Grafica con la firma espectral de la Zona que se encuentra alejadas al relave minero.....	98
Figura 54. Grafica con la firma espectral de la Zona que se encuentra encuentra con mayor lejanía del Relave Minero .....	99

## INDICE DE CUADROS

Cuadro N° 1:	Evaluación de calidad escénica, criterios de ordenación y puntuación .....	33
Cuadro N° 2:	Equipo de muestreo de suelos .....	46
Cuadro N° 3:	Características radiométricas de los sensores enhanced thematic mapper-plus .....	57
Cuadro N° 4:	Coordenadas de la mina de Tintaya-Cuzco; <b>Error! Marcador no definido.</b>	
Cuadro N° 5:	Variables.....	66
Cuadro N° 6:	Operacionalización de variables.....	67
Cuadro N° 7:	Coordenadas de la mina de Tintaya-Cuzco.....	70
Cuadro N° 8:	Descripción de la unidad de análisis .....	70
Cuadro N° 9:	Coordenadas de la mina de Tintaya-Cuzco.....	75
Cuadro N° 10:	Características radiométricas de los sensores mapeador temático mejorado .....	80
Cuadro N° 11:	Cuadro comparativo de interpretación visual de usos y coberturas, anotación de que color se observa en la imagen .....	82
Cuadro N° 12:	Cuadro comparativo de interpretación visual de usos y coberturas, anotación de que color se observa en la imagen .....	83
Cuadro N° 13:	Cuadro comparativo de interpretación visual de usos y coberturas, anotación de que color se observa en la imagen .....	85
Cuadro N° 14:	Cuadro comparativo de interpretación visual de usos y coberturas, anotación de que color se observa en la imagen .....	86
Cuadro N° 15:	Agrupación de banda 5 4 3	
Cuadro N° 16:	Características básicas de los componentes del paisaje....	89
Cuadro N° 17:	Firmas del lugar que representa A, B, C y D para caracterizar .....	91
Cuadro N° 18:	Firmas de los 4 lugares de la muestra.....	96
Cuadro N° 19:	Firmas de la Zona del Relave.....	96
Cuadro N° 20:	Firmas de la Zona que se encuentra en las cercanías del relave minero.....	97
Cuadro N° 21:	Firmas de la Zona que se encuentra alejadas al relave minero .....	98
Cuadro N° 22:	Firmas de la Zona que se encuentra con mayor lejanía del relave minero.....	99



## **CAPITULO I: INTRODUCCIÓN**

Este trabajo tiene como objetivo “Determinar el procesamiento de imágenes satelitales que logran caracterizar el comportamiento de suelos mineros en el Perú”.

En el capítulo I se describe la situación problemática de la Provincia de Espinar, la justificación práctica y teórica, el problema y los objetivos.

En el capítulo II se han tomado en consideración los conceptos teóricos sobre Procesamiento de imagen satelital, minería, contaminación de suelos, caracterización de suelos, colores y longitud de onda.

En el capítulo III se describe la metodología utilizada bajo el enfoque no experimental, con un diseño descriptivo

En el capítulo IV se hace un análisis, interpretación y descripción de los resultados, identificando colores y analizando la firma espectral de la zona afectada en 04 zonas que se considera que hay contaminación.

En el capítulo V se explica el impacto del trabajo de investigación como propuesta de solución al problema, por ser una técnica grafica que ayuda a evaluar los impactos visuales de las operaciones mineras en cualquier momento de su desarrollo.

En el capítulo VI se explica las conclusiones del trabajo de investigación obtenidas a partir de la presencia de colores y el análisis de la firma espectral de la zona afectada.

Capitulo VII las recomendaciones para trabajos futuros.

Capitulo VIII las referencias bibliográficas.

Capitulo IX los anexos donde se consideran la matriz de consistencia y las empresas que generan contaminación entre otros.

## 1.1. Situación problemática

El trabajo de la industria minera afecta el suelo, Larrañaga (2008) afirma:

Que, uno de los problemas más grandes que se ha encontrado al gestionar suelos contaminados estudiados por la Comunidad Autónoma del País Vasco, es cavar los emplazamientos que están alterados y se hace por la necesidad exclusiva de obra. Esta situación genera residuos que ocupan espacio de vertederos, estos materiales deberían ser colocados en otro lugar donde no se pueda reutilizar. “A pesar que la legislación vigente prohíbe la reutilización de suelos afectados por la presencia de contaminantes, hay varios países europeos que tienen criterios técnicos, normas, infraestructura e instrumentos de gestión que hacen posible la reutilización de estos suelos. La Comunidad Autónoma del País Vasco debe trabajar también en esta línea con el objeto de buscar soluciones racionales y que contribuyan a evitar el colapso del sistema. (p. 96)

Según el Ministerio de Energía y Minas (2016) explica que:

La minería en nuestro país se remonta a siglos atrás, desde las culturas Pre Incas, los Incas utilizaban el oro y la plata para ceremonias religiosas. Entre las ciudades con larga tradición minera se encuentra Cuzco, Apurímac, Ancash, Ayacucho, Arequipa, Huancavelica, Cajamarca, Ica, La Libertad, Lima, Pasco y Puno. (p.6)

El trabajo que ha sido realizado por la industria minera ha provocado problemas al medioambiente, como, suelos con limitaciones físicas, químicas y biológicas para la vegetación y riesgo a la salud.

Sin embargo, con la intención de controlar para no generar más problemas de contaminación el Ministerio de Energía y Minas (2016) explica que:

En el Perú, en la década de los noventa se establece el marco regulatorio ambiental para las operaciones mineras con la finalidad de mitigar los impactos ambientales negativos, para el cierre de minas y pasivos ambientales mineros. Al 2016, se han registrado 8854 pasivos ambientales mineros, donde el 50% de ellos son riesgosos. (p. 794)

Estos Pasivos Ambientales contaminan fuentes de agua superficial y subterránea, suelos y el aire de sus alrededores, otros han causado

daños ambientales, pero el Estado aún no cuenta con adecuados mecanismos y estrategias para su atención. (p.10)

Las comunidades también son afectadas por la contaminación. Pinto (2014) explica. “Cómo los ríos y el flujo de las aguas van de Sur a Norte, por lo tanto, la contaminación ha podido afectar a las comunidades” (p.8).

Se han realizado análisis médicos a las personas de la comunidad. Pinto (2014) afirma que:

La contaminación afecta a la población ya que los resultados médicos obtenidos de las muestras clínicas, muestran concentraciones de arsénico, cadmio y mercurio. Así mismo las muestras ambientales dieron indicios de la existencia de arsénico, cadmio, plomo y mercurio en muestras del aire, agua para el consumo humano y el suelo superficial. por tanto, se hará el estudio la contaminación de suelo al Distrito de Espinar ubicado en el Departamento del Cuzco. (p.8)

Si esta situación continua se estaría atentando contra la salud de la población y el medio ambiente en la Provincia de Espinar. Así como la generación de una severa contaminación atmosférica, expresada en la gran cantidad de material particulado(polvo) que cubre los pastizales y las fuentes de agua, ocasionando asfixia y muerte de las alpacas, llamas, ovinos y animales menores. (p.15)

Por lo antes expuestos los trabajos mineros perjudica la salud de las personas, los pastizales que sirven de alimentos a los animales oriundos del lugar, se afectan los ríos que sirven para el regadío de cultivos y consumo humano.

## **1.2. Formulación del problema**

### ***1.2.1. Problema general***

¿De qué manera el procesamiento de imágenes satelitales logra caracterizar el comportamiento de suelos mineros en la Provincia de Espinar, Cuzco?

### **1.2.2. Problemas específicos**

- ¿En qué medida el procesamiento de imágenes satelitales contribuye en la identificación de la zona afectada por la minería en la Provincia de Espinar, Cuzco?
- ¿En qué medida el procesamiento de imágenes satelitales contribuye en la recopilación de la imagen de la zona afectada por la minería en la Provincia de Espinar, Cuzco?
- ¿En qué medida el procesamiento de imágenes satelitales contribuye en la evaluación de partes de la zona afectada por la minería en la Provincia de Espinar, Cuzco?
- ¿En qué medida el procesamiento de imágenes satelitales contribuye en el análisis de la firma espectral de la zona afectada por la minería en la Provincia de Espinar, Cuzco?

### **1.2.3. Justificación teórica**

La contaminación ambiental global afecta la salud de millones de personas, donde son afectados, el suelo, el aire y el agua.

Existen pasivos ambientales mineros que son peligrosos. Ministerio de Energía y Minas (2016) afirma que:

Al 2016 se han registrado 8854 pasivos ambientales mineros, donde el 50% de ellos son riesgosos y 6783 pasivos ambientales mineros pendientes de gestión. La información que se tiene sobre estos pasivos es muy limitada, y no hay un registro ni instrumento para el manejo de los pasivos de la pequeña minería y minería artesanal. No hay un control sobre suelos afectados por la minera y la minería informal que viene creciendo. (p. 794)

La comunidad de Espinar pide atención. PINTO (2014) afirma que:

Existen reclamos de la población de Espinar, que exigen atención, por la mortandad, aborto, nacimientos de animales deformes y las filtraciones desde las relaveras de Huinipampa y Paccpacco, en la Zona de influencia de Xstrata Tintaya. (p.210)

Por lo tanto, si se realizan remediaciones de los pasivos ambientales mineros existentes y evitar que se generen otros nuevos resulta necesario, ya que los pobladores se encuentran transitando entre suelos que contienen sustancias tóxicas.

Existe un pedido en el grupo de Medio Ambiente de Espinar, para que se implemente mecanismos de control. Pinto (2014) afirma que:

La implementación de un sistema integral de monitoreo y vigilancia ambiental con la corroboración de contaminación en los principales afluentes de la zona de influencia minera. (p.211)

De continuar la situación actual, estarán manteniendo un monitoreo deficiente, porque carece de credibilidad y de legitimidad porque faltan los mecanismos transparentes.

#### **1.2.4. Justificación práctica**

Actualmente se cuenta con métodos manuales para el análisis de los suelos. Pinto (2014) afirma que, “Se utilizan distintos tipos de métodos para analizar el suelo contaminado por metales, en su mayoría todos cumplen el mismo procedimiento que es la extracción de la muestra, y monitoreos comunitarios nada confiables” (p.212).

Generalmente este tipo de método carece de confiabilidad y riesgoso para la salud de la persona que se expone físicamente para recolectar la muestra.

Hay pasivos pendientes por remediación. El Ministerio de Energía y Minas (2016) afirma que, “Se han registrado 8,854 pasivos ambientales mineros, donde el 50% de ellos son riesgosos y 6,783 pasivos ambientales mineros pendientes de gestión” (p.794).

La inspección de estos lugares requiere de tiempo y personal técnico especializado para tener información actualizada sobre la condición actual de la zona afectada.

La aplicación de las nuevas tecnologías de detección remota, para analizar zonas afectadas podría aportar confiabilidad y legitimidad en los resultados. Terrence (2014) explica que “Se puede hacer uso de sensores remotos, imágenes aéreas, imágenes hiperspectrales, como herramientas para el monitoreo posterior al cierre de sitios de residuos peligrosos seleccionados” (p.2).

El trabajo a cielo abierto que realiza la industria minera, provoca daños al medio ambiente, generando cambios en las características de la zona donde se encuentra la mina. Fernandez, Batista, Bastola (2016) explican que:

Durante la explotación a cielo abierto de las minas, el paisaje sufre impactos adversos. Se ha realizado la investigación donde se evalúa el impacto visual provocado por la explotación minera de superficie en el yacimiento laterítico Punta Gorda, en Moa. Obteniendo como resultado que el estudio abre un nuevo campo en la evaluación del impacto visual de una explotación minera a cielo abierto en Cuba y constituye un aporte práctico que brinda información paisajística de interés para la toma de decisiones sobre la gestión y planificación del yacimiento, destacándose, además, por su utilidad para el buen ordenamiento minero ambiental de una región. (p.144)

Es necesario que en el Perú también se pueda implementar tecnologías para caracterizar suelos afectados por el trabajo que realiza la industria minera.

El Peruano (2018). Así mismo según “Resolución Ministerial N°224-2018-MEM/DM, aprueba el Plan de Manejo de Pasivos Ambientales donde la Fase I es Actualización del Inventario Inicial: Identificación, caracterización y priorización de los pasivos ambientales mineros” (p.50).

Al tener una Resolución Ministerial que controla la actualización del inventario de los pasivos ambientales, con el uso de la tecnología se logró tener información actualizada sobre la característica de suelos afectados por la minería en el Provincia de Espinar, que hace que los organismos gubernamentales responsables de controlar la preservación del ambiente cuenten con información precisa para iniciar acciones de mejora en las poblaciones cercanas y en suelos afectados.

### **1.3. Objetivos**

#### ***1.3.1. Objetivo general***

Determinar el procesamiento de imágenes satelitales que logran caracterizar el comportamiento de suelos mineros en el Perú.

#### ***1.3.2. Objetivos específicos***

- Identificar la zona afectada por la minería en el Perú a través del procesamiento de imágenes.
- Recopilar imágenes de la zona afectada por la minería en el Perú a través del procesamiento de imágenes.
- Evaluar partes de la zona afectada por la minería en el Perú a través del procesamiento de imágenes.
- Analizar la firma espectral que representen partes de la zona afectada por la minería en el Perú a través del procesamiento de imágenes.

## CAPITULO 2: MARCO TEÓRICO

### 2.1. Marco filosófico o epistemológico de la investigación

SATELMAC (2013), explica que “La teledetección, tal y como se entiende actualmente, comenzó en el periodo de 1946 a 1950, cuando se lanzaron desde Nuevo México (EE.UU.) los primeros cohetes V-2 con pequeñas cámaras fotográficas instaladas en ellos como sensores remotos” (p.11).

La observación sistemática de la Tierra comenzó en el año 1960 con el lanzamiento del TIROS-1, primer satélite meteorológico con una cámara de televisión de baja resolución que permitía a los meteorólogos discriminar entre nubes, agua, hielo y nieve.

SATELMAC (2013), “El excitante futuro se hizo patente con los programas espaciales iniciales por los años 60: Mercury, Gemini y Apolo, alrededor de la Tierra, se llevó a cabo el primer experimento controlado de fotografía multiespectral para estudiar los recursos naturales de la superficie terrestre” (p.11).

El lanzamiento de Landsat al espacio ha generado aumento del interés por la teledetección. SATELMAC (2013) afirma que:

El Departamento de Interior de los Estados Unidos, en 1967 desarrolló el programa de Observación ERTS, conocido con el nombre de LANDSAT, el primer satélite de esta serie se lanzó el 23 de julio de 1972. A partir de los Satélites LANDSAT, el interés de la comunidad científica internacional y la sociedad en general por la teledetección ha crecido exponencialmente, contándose por miles de estudios realizados con las imágenes que proporcionan los satélites. (p.11)



Las imágenes satelitales ya han sido utilizadas para reconocer lineamientos de terrenos. González (2007), explica que:

Las imágenes de satélites han sido aplicadas en numerosos proyectos geológicos y estructurales, siendo este una de los métodos para estudiar estructuras y reconocer lineamientos de terrenos. Sus ventajas son:

- Por medio de las imágenes satelitales se puede cubrir amplias zonas y caracterizarlas.
- El trabajo de los sensores se realiza en el espectro más amplio y sin limitaciones para la región visible
- Los Sistemas de Información Geográfica integra fácilmente la información georreferenciada. (p.2)

Las imágenes se pueden agrupar para resolver problemas. García (1985) afirma que:

Las imágenes satelitales pueden ser procesadas, el Proceso Digital de imagen, bajo este nombre se agrupan en un amplio conjunto de técnicas, soportadas por un teórico común, aplicables a la resolución de problemas de muy diversa naturaleza, forma parte de una disciplina amplia, conocida y desarrollada como instrumento en el campo de la Ingeniería de Telecomunicación. El Procesamiento de imágenes, es un área de conocimiento relativamente nueva, que se ha desarrollado notablemente en los últimos años, gracias al espectacular abaratamiento de los medios informáticos, que trata de resolver un amplio conjunto de problemas planteados en torno a imágenes, tales como codificación eficiente, visión artificial, percepción visual, creación de imágenes, descripción, clasificación de estructuras, mejora, realce y restauración. (p.2)

Los efectos del trabajo de la industria minera en el ecosistema. Por la propia naturaleza de los procesos físico-químicos involucrados en la industria minera existe siempre, un riesgo potencial de contaminación del medio ambiente. Es necesario tener en cuenta que el problema de la contaminación no es igual para todas las empresas mineras, se debe tomar en cuenta que la minería está distribuida en tres sectores: pequeña, mediana y gran minería con diferente magnitud en sus operaciones y en sus niveles de recursos financieros lo cual genera diferencias en sus posibilidades para acceder a tecnologías modernas que le permitan un manejo medioambiental más limpio. De otro lado las empresas más antiguas fueron diseñadas para alcanzar la mayor rentabilidad, pero no necesariamente para minimizar la contaminación,

lo cual, si se está dando en las empresas nuevas, ello debido a la actual legislación ambiental del sector que fija niveles máximos permisibles de emisión de contaminantes (Tello, 2004, p.23).

## **2.2. Antecedentes de la investigación**

### **a) Teledetección para exploración mineral**

Sabins (1999), investiga sobre la teledetección donde se explica que es la ciencia de la adquisición, el procesamiento y la interpretación de imágenes y datos relacionados, adquiridos de aeronaves y satélites, que registran la interacción entre la materia y la energía electromagnética.

Estas imágenes de detección remota se utilizan para exploración minera en dos aplicaciones:

- i) Geología del mapa y las fallas y fracturas que localizan los depósitos de mineral.
- ii) Reconocer rocas hidrotermalmente alteradas por sus firmas espectrales.

Se hace uso de las imágenes satelitales Landsat del mapa temático toneladas métricas son ampliamente utilizadas para interpretar tanto la estructura como la alteración hidrotermal.

Las imágenes de relación de toneladas métricas procesadas digitalmente pueden identificar dos conjuntos de minerales de alteración hidrotermal; minerales de hierro y arcillas más alunita. En el estudio se analizó, las imágenes del norte de Chile en relación a toneladas métricas que definieron las perspectivas que ahora son importantes yacimientos de cobre en Collahuasi y Ujina. Los sistemas de imágenes hiperespectrales pueden identificar especies individuales de minerales de hierro y arcilla, que pueden proporcionar detalles de la zonificación hidrotermal.

La solidificación, que es un indicador importante de la alteración hidrotermal, no es reconocible en TM (toneladas métricas) e imágenes hiperespectrales.

El cuarzo no tiene características espectrales de diagnóstico en las longitudes de onda IR (infra roja) visible y reflejada registradas por estos sistemas. Las variaciones en el contenido de sílice son reconocibles en imágenes infrarrojas térmicas multiespectrales, que es un tema prometedor para la investigación.

La detección remota ha demostrado ser una valiosa ayuda para explorar los recursos minerales. Muchos depósitos de mineral se localizan a lo largo de patrones de fracturas regionales y locales que proporcionaron conductos a lo largo de los cuales las soluciones de mineralización penetraron las rocas del hospedador.

Las imágenes Landsat y de radar se utilizan para mapear estos patrones de fractura. Las rocas alteradas hidrotermalmente asociadas con muchos depósitos minerales tienen características espectrales distintivas que son reconocible en imágenes toneladas métricas procesadas digitalmente.

En el futuro, los escáneres hiperespectrales pueden identificar minerales de alteración específicos. Los sistemas de IR (infra rojo) térmicos multiespectrales tienen el potencial de mapear la silicificación hidrotermal.

La detección de rocas alteradas hidrotermalmente no es posible en áreas con vegetación, por lo que este entorno requiere otros métodos de teledetección.

Los espectros de reflectancia del follaje que crecen sobre áreas mineralizadas pueden diferir de los espectros de follaje en áreas adyacentes no mineralizadas. Las diferencias espectrales, sin embargo, son variables para diferentes especies de plantas. Se necesita investigación y desarrollo adicionales para la detección remota de depósitos minerales en terrenos con vegetación. El aporte de la investigación es:

- En una imagen tonelada métrica procesada digitalmente, un geólogo puede interpretar los tipos de rocas, la estructura y la alteración hidrotermal para una región de 31,000 km<sup>2</sup>.
- Ocurrencias de minerales hidrotermales importantes las arcillas y la alunita se expresan usando longitudes de onda indetectables por el ojo.
- La interpretación de la imagen producirá un mapa de localidades o prospectos con condiciones favorables para los depósitos minerales. La imagen también se puede usar para planear el mejor acceso desde el suelo a los prospectos.
- El geólogo de campo ahora puede localizar, evaluar y muestrear de manera eficiente los prospectos.

Algunos de los prospectos derivados de imágenes no merecerán una investigación adicional. Algunos depósitos potenciales no serán reconocidos en la imagen. Sin embargo, el trabajo de campo puede concentrarse en áreas con mayor potencial mineral. En resumen, la teledetección cuando se emplea adecuadamente es un valioso recurso técnico para la exploración minera. (p. 157-183)

**b) Una evaluación de las tecnologías de teledetección para la detección de la contaminación por fugitivos en sitios seleccionados de desechos peligrosos de Superfund en Pennsylvania**

Terrence, Fisher (2014) Esta evaluación se llevó a cabo para evaluar el potencial de uso de sensores remotos tradicionales, como imágenes aéreas y la tecnología emergente de detección remota, como imágenes hiperespectrales, como herramientas para el monitoreo posterior al cierre de sitios de residuos peligrosos seleccionados. Dieciséis sitios Superfund (SF) Lista de Prioridades Nacionales (NPL) en Pensilvania fueron fotografiados con un sensor de Reconocimiento Hiperespectral

Realizado de Alerta en Tiempo Real (ARCHER) de la Patrulla Aérea Civil (CAP) entre 2009 y 2012.

Los sitios eliminados son aquellos que han sido remediados y eliminado de la NPL. Las imágenes se procesaron para obtener un resplandor y se corrigieron atmosféricamente a reflectancia relativa con rutinas de software estándar utilizando el software Environment for Visualizing Imagery (ENVI, ITT-VIS, Boulder, Colorado).

Se aplicaron las rutinas estándar para la detección de anomalías, la recolección de elementos terminales, el estrés de la vegetación y el análisis espectral.

Se llevaron a cabo visitas in situ y trabajo de campo en 12 de los 16 sitios. El trabajo de campo consistió en la recolección de muestras de suelo; una inspección general de las condiciones del sitio; la recolección de sedimentos y muestras de agua donde las condiciones indicaban posibles contaminantes; y entrevistas informales con funcionarios locales, residentes y propietarios.

El análisis de laboratorio consistió en la recopilación y análisis de datos hiperespectrales, técnicas de procesamiento de imágenes espectrales y análisis de fluorescencia de rayos X (XRF) del suelo y los sedimentos de los metales.

En cuatro sitios, el acceso no se pudo obtener de manera oportuna u otros problemas técnicos imposibilitaron las visitas al sitio. Cada uno de los 12 sitios restantes se analizó para determinar el uso del suelo, la seguridad física, las anomalías de las imágenes, los puntos de interés y las identificaciones espectrales.

El muestreo del suelo se realizó en cada sitio con un analizador XRF, y se recogieron muestras del suelo para realizar confirmación y análisis en el laboratorio utilizando un espectrorradiómetro Analítico Espectral Devices (ASD) (Analytical Spectral Devices Inc., Boulder, Colorado).

La detección remota y las visitas de campo indicaron que hubo problemas de operación y mantenimiento en cuatro sitios: Aladdin

Plating, Hranica Landfill, Publicker Industries y Taylor Borough Dump. Estos problemas consistieron en equipos descartados y desechos industriales generales. En Taylor Borough, había grandes montones de escombros y material de desecho general. En el vertedero Hranica, hubo una descarga de lixiviado de color herrumbre (color naranja rojizo).

En general, 9 de los 12 sitios visitados eran relativamente limpios y no presentaban ningún problema detectable de preocupación con respecto a las operaciones y el mantenimiento, el estrés de la vegetación o la contaminación del suelo. Hubo problemas potenciales de contaminación detectados por el análisis hiperespectral en Bruin Lagoon, Hranica Landfill y Taylor Borough Dump. Bruin Lagoon muestra anomalías de vegetación aún inexplicables; Hranica Landfill y Taylor Borough contenían niveles considerables de basura y escombros. A pesar de que el objetivo del estudio era la capacidad de monitorear y detectar problemas potenciales en sitios de SF eliminados, la condición "limpia" de la mayoría de los sitios no dio lugar a una evaluación exhaustiva de la tecnología de detección remota en una variedad de condiciones del sitio. La investigación sobre la detección remota de contaminantes se basa en la existencia de esos contaminantes en la superficie o cerca de ella. La futura investigación de teledetección debería considerar la utilización de áreas de contaminación conocida. (p.157-183).

### **c) Detección de cambios ambientales mediante detección remota hiperespectral en el sitio de repositorio Olkiluoto**

Tuominen, Lipping (2011) Las imágenes hiperespectrales ofrecen oportunidades únicas en el monitoreo ambiental de la planta de energía nuclear y el sitio de repositorio de Olkiluoto: en comparación con las encuestas ambientales basadas en el muestreo de campo, la cobertura espacial y la densidad de las muestras son tremendamente mejores. La distancia de muestreo es solo de unos pocos metros mientras que el área de estudio puede exceder fácilmente los 1000 kilómetros cuadrados (el sitio nuclear es, por supuesto, más pequeño, pero para la adquisición

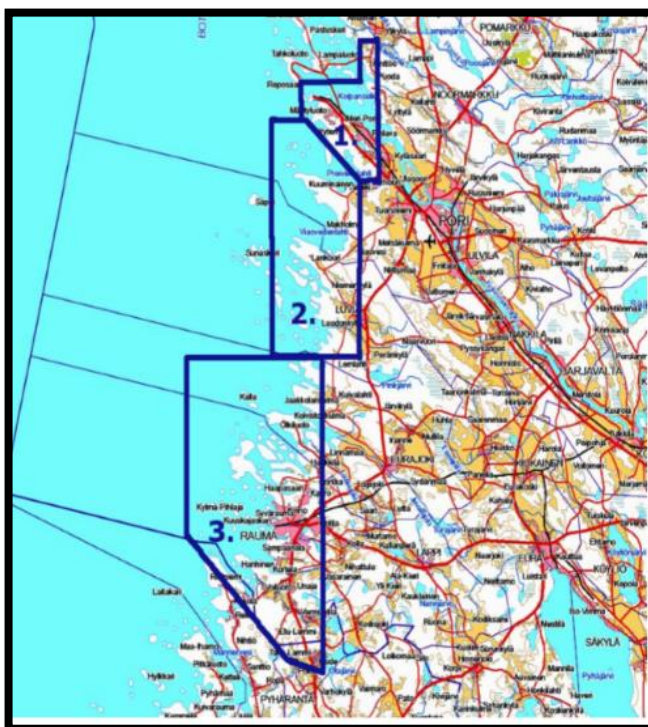
de datos para el caso de seguridad del repositorio, se requiere un área más amplia (Haapanen et al.). Cada píxel registrado contiene información ambiental cuantitativa y cualitativa detallada.

En junio de 2008 se llevó a cabo la campaña de vuelo hiperespectral HYPE08. La campaña fue un esfuerzo conjunto de Posiva Oy, la unidad de Pori de la Universidad de Tecnología de Tampere y la ciudad de Pori. La unidad Pori comenzó la investigación del procesamiento de datos hiperespectrales en 2006 en estrecha cooperación con el Servicio Geológico de Finlandia. Financiado en parte por Posiva, el grupo de procesamiento de señales de la unidad Pori ha desarrollado métodos para la corrección atmosférica, el control de calidad y la detección de cambios descritos más adelante en este informe.

La campaña de vuelo HYPE08 produjo exitosamente datos de referencia de alta calidad. La mayoría de los problemas iniciales relacionados con el procesamiento de datos se han resuelto, pero el trabajo de investigación se continuará para seguir desarrollando los métodos de detección de cambios, así como el procedimiento de interpretación manual.

Se debe organizar otra campaña de vuelo hiperespectral para registrar un segundo conjunto de datos que se utilizará en la detección de cambios. Las lecciones aprendidas durante la campaña HYPE08 permiten desarrollar un trabajo de campo más eficiente durante los vuelos.

El desarrollo de un sistema de monitoreo hiperespectral es un proceso continuo de I + D donde los resultados más significativos se muestran solo después del trabajo de varios años. Un mapa de las áreas de adquisición de HYPE08 se muestra en la Figura 1.1. Además del área 3 que se muestra en la Figura 3.1, las áreas 1 y 2, ubicadas al norte de Olkiluoto, fueron fotografiadas durante la campaña HYPE08. La imagen de esas áreas fue financiada por la Unidad Pori de la Universidad Tecnológica de Tampere.



**Figura 1. Mapa de áreas de adquisición de HYPE08, además del área 3 que se muestra en la figura, las áreas 1 y 2, ubicadas al norte de Oulkuoto. Fuente: Datos tomados de Tuominen, Lipping (2011)**

#### **d) El impacto visual que genera el trabajo de la minería en el yacimiento Punta Gorda Moa**

Fernández, Batista, Bastola (2016), explican que, durante la explotación a cielo abierto de las minas, el paisaje sufre impactos adversos. En este artículo se evalúa los cambios visuales que han sido generados por el trabajo minero en el yacimiento laterítico Punta Gorda, ubicado en Moa. El método indirecto del Bureau of Land Management, implementado a través de herramientas informáticas (Surfer 8.0, Didger 3.02, Gemcom 4.11, Autocad Civil 3d), permitió determinar las unidades de paisaje visual y las principales cuencas visuales, según el criterio de selección utilizado.

Se realizó también un análisis de la topografía, el color, la textura y la luminosidad de la cuenca visual. Los puntos de observación fueron seleccionados por sus características topográficas. Este estudio abre un



nuevo campo en la evaluación del impacto visual de una explotación minera a cielo abierto en Cuba y constituye un aporte práctico que brinda información paisajística de interés para la toma de decisiones sobre la gestión y planificación del yacimiento, destacándose, además, por su utilidad para el buen ordenamiento minero ambiental de una región.

Se defiende el criterio de que el paisaje forma parte del medio o entorno en el que se vive, por tanto, de él también depende la calidad de vida; esto reafirma que el paisaje es un elemento importante en aspectos de la vida social, cultural, y un recurso económico que puede contribuir al desarrollo y a la creación de empleo

Según la Norma Cubana (NC 93-06-101-1987), los paisajes son sistemas territoriales constituidos por componentes naturales y complejos de diferente rango taxonómico, formados bajo la influencia de los procesos naturales y de la actividad modificadora de la sociedad humana, que se encuentran en permanente interacción y se desarrollan históricamente.

La consecuente degradación de vastas áreas por la explotación de yacimientos minerales, el gran número de intrusiones visuales, sean caminos mineros, escombreras, equipos de transporte, líneas de transmisión eléctrica, talleres y otros, reducen la calidad del paisaje, entendiéndolo esta como la característica principal para su conservación y definida sobre la base de sus valores ecológico, perceptivo y cultural.

Esta reducción es proporcional a la intensidad del impacto y está relacionada con el grado de modificación, entre otros factores, debido al contraste en tamaño, forma o color (Cáncer 1999). Lo anterior demuestra que es imprescindible incorporar los estudios de impacto visual a los proyectos de explotación minera del territorio afectado, de ahí que el propósito de este trabajo haya sido evaluar el impacto visual que causa el trabajo de la minería en el yacimiento Punta Gorda.

La evaluación del impacto visual de una explotación minera debe ser un aporte práctico que brinde información paisajística de interés para la

toma de decisiones sobre la gestión y planificación territorial y para llevar a cabo los planes de ordenamiento minero ambiental de una región.

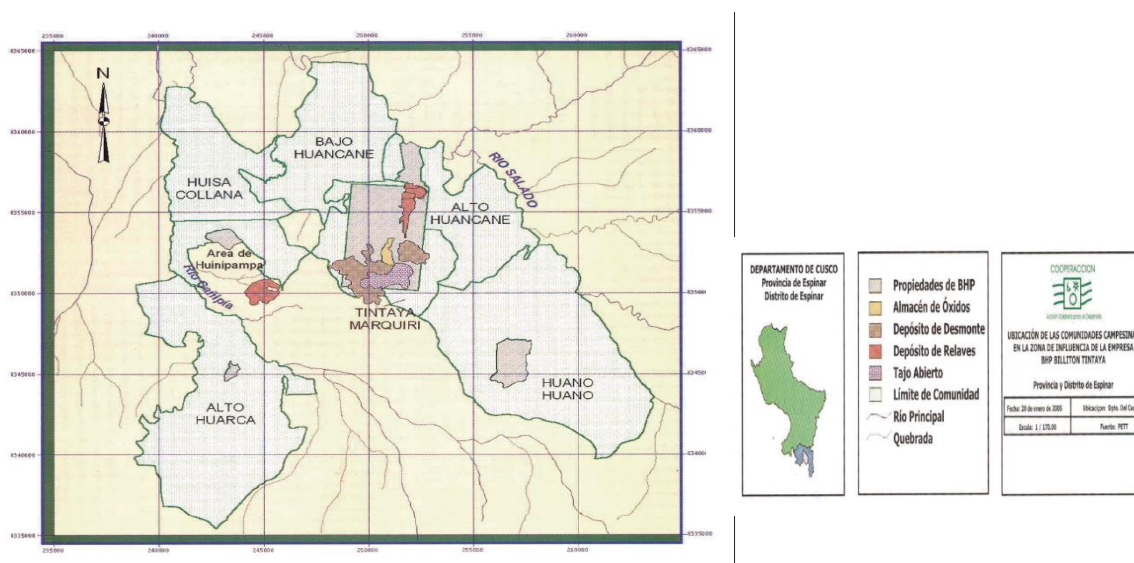
La propuesta de medidas de mitigación puede incluir en la fase de rehabilitación el uso de pantallas naturales, en especial de vegetación, seleccionando especies propias del lugar; de igual modo, el diseño de los caminos mineros, el emplazamiento de las escombreras, el equipamiento y la infraestructura de apoyo a la producción ha de hacerse en aquellos lugares de menor fragilidad visual (Karanakova y Panov 2011). (p. 141-159)

**e) Afirmaciones del informe técnico de la Municipalidad de Espinar**

I. El Ministerio del Ambiente (MINAM) explica en su informe de la provincia de Espinar que existe contaminación, generado por el trabajo minero que realiza la de la empresa minera Xstrata Tintaya.

II. El Centro Nacional de Salud Ocupacional y Protección del Ambiente para la Salud (Censopas) tiene un informe sobre las personas que están siendo expuestas en un cien por ciento al arsénico, talio y plomo, todo esto por el trabajo de la empresa Xstrata Tintaya

Así mismo en la mina Tintaya se realizó varios monitoreos ambientales, pero no son confiables por no gozar de credibilidad y de legitimidad por carecer de mecanismos que permita la participación y transparencia de los resultados.



**Figura 2. Mapa de ubicación de las comunidades campesinas en la zona de influencia de la empresa BHP BILLINTON TINTAYA.**  
Fuente: PINTO, H (2014).

## 2.3. Bases teóricas

Para el desarrollo de la investigación “Procesamiento de imágenes satelitales para caracterizar comportamiento de suelos mineros en el Perú”, se han tomado en consideración los siguientes conceptos teóricos.

### 2.3.1. Suelo

Ministerio del ambiente (2014) los suelos son conjuntos de partículas minerales producto de la desintegración mecánica o de la descomposición química de rocas pre existentes. (p,5)

#### Tipos de suelos por su formación

Existen tipos de suelos, la fundamentación teórica de Lizárraga (2000) ha investigado sobre Inventario de estudios de suelos del Perú, por lo tanto, se considera las siguientes definiciones sobre suelos:

- a) **No transportados.** - Es un tipo de suelo que está formado en el mismo lugar de la meteorización de la roca; las características son: tamaño de granos heterogéneos, permeables, porosos y con formas angulosas.
- b) **Transportado.** - Su formación es por la meteorización de la roca en un lugar que posteriormente ha sido transportado a otro sitio por agua, glaciares, viento y gravedad. Estos pueden ser:
- **Coluviales.** - Son suelos que tienen características de tamaño de granos heterogéneos, unos son bastante gruesos a fino, de formas angulosas, no se desgasta cuando es transportado y no es apto para fundaciones.
    - **Glaciares.** - Son aquellos suelos que han sido movilizados por hielo y agua. Estos suelos son heterogéneos ya que pueden ser inmensos bloques, hasta suelos muy granulados por consecuencia de muchas presiones y movimiento de las masas de hielos sus características son: la dimensión de los granos es redondeados, permeable y porosos.  
Entre estos suelos tenemos a los suelos: Morrenicos que sirven para la construcción de puentes, fundación, entre otros. Mayormente lo componen till y tillita y suelos deslave. (p.30)
  - **Aluviales.** - Son aquellos suelos que el agua los ha movilizado. La dimensión de sus granos es de grueso a fino, su forma es poco redondeada. Entre este tipo de suelos se encuentra:
    - **Suelos torrenciales.** - tienen granos de dimensión y gruesa hasta muy fino. (p.31)
    - **Suelos terrazas.** - Poseen granulometría heterogénea. Si es terraza se observa la erosión de 90° se tiene el perfil formado por grava gruesa muy compacta. (p.31)
    - **Suelos lacustres.** - La velocidad con que fluye el agua hace que los depósitos lacustres sean finos. (p.31)
  - **Suelos eólicos.** - Son suelos transportados por el viento. El viento transporta los materiales de tres maneras, por suspensión, saltación y rodamiento, según sea el tamaño del material y la velocidad del viento. (p.31)

Las formaciones de arcilla, limo y arena muy finas se denominan Loes y aquellos de arena mediana a gruesa se denomina Dunas.

- **Suelo dunas.** - Es Suelo suelto, no apto para fundación, son de grano muy fino (redondeado), con formas variadas de color gris. (p.31)
- **Suelo loes.** - son suelos que no son aptos para fundación, sus características es que son ligeramente compactos con gránulos finos, con poca permeabilidad y ángulo de fricción interna nula, con colores grises oscuros y no posee plasticidad. (p.32)

## Propiedades físicas de los suelos

Los suelos tienen características que Lizárraga (2000), explica que:

- a) **Suelos no cohesivos y cohesivos.** - Si existe una característica física inherente a la masa de granos de suelo consistente en que el humedecimiento y/o cualquier subsiguiente secado. Si los granos de

suelo se pegan de tal manera que es necesario aplicar alguna fuerza para separarlos en el estado seco, se dice que el suelo es cohesivo. Si los granos del suelo se separan después del secado y solamente se pegan cuando están húmedos debido a las fuerzas de tensión superficial en el agua, el suelo es sin cohesión o no cohesivo. (p.32).

**b) Relaciones gravimétricas y de volumen en un suelo.** - En un suelo se distinguen tres fases constituyentes: la Solida (partículas minerales), la líquida (generalmente agua) y la gaseosa (generalmente aire). Entre estas fases es preciso definir un conjunto de relaciones que se refieren a sus pesos y volúmenes, las cuales sirven para contar con conceptos mesurables. (p.32).

### **2.3.2. Tipos de muestra**

Para el análisis del suelo se debe obtener una muestra por lo tanto se define de la siguiente manera:

**Muestra compuesta.** - son muestras de suelo que está “constituida por un conjunto de muestras simples (sub muestras), convenientemente mezcladas y llevadas al laboratorio para su correspondiente análisis”. (Minam, 2014, p. 04).

**Muestra simple.** - “Son muestras colectadas en un tiempo y en un lugar particular, representan las condiciones puntuales de una muestra de la población en el tiempo que fue colectado” (Minam, 2014, p. 04).

**Muestra profunda.**- “Es la muestra que se ha obtenido en horizontes donde se encuentran contaminantes que se desea analizar” (Minam, 2014, p. 04).

### **2.3.3. Enfoque para el muestreo**

**a) Muestreo dirigido.** - “Actividad que consiste en tomar muestras representativas sobre puntos específicamente determinados, cuando se cuenta con información previa del sitio, se conoce el producto derramado y/o es evidente la extensión de la afectación “

**b) Muestreo de identificación.** - “Se orienta a evaluar si la zona está contaminada. Se debe entender que la referencia que se hace por

muestreo exploratorio en el DS- N°002-2013-MINAM, se entiende como referencia a muestreo de identificación”. (p.37)

- c) Muestreo de detalle.** - Se orienta hacia la identificación del lugar y la dimensión del terreno que se impactó. Así como la verificación de otros efectos por las sustancias señaladas en el DS- N°002-2013-MINAM.
- d) Muestreo de comprobación.** - Consiste en la verificación del nivel que se estableció en el Estándar de Calidad Ambiental (ECA) de suelos, el nivel de fondo, nivel de remediación que se determinó cuando se hace el estudio que evalúa el riesgo a la salud y el ambiente (ERSA).
- e) Muestreo de nivel de fondo.** - Se orienta para la identificación del nivel de fondo en el suelo.

#### ***2.3.4. Plan de muestreo***

Documentación que tiene las informaciones y programaciones que se relacionan con cada una de las partes que conforma el muestreo. Así mismo indica los criterios para la recolección de la muestra.

#### ***2.3.5. Punto de muestreo***

Es la zona donde se recolectan la muestra ya sean superficial o a profundidades.

#### ***2.3.6. Riesgo***

Posibilidad que un contaminante ocasione daños a la salud humana, en los ecosistemas o en la calidad de los suelos y del agua.

#### ***2.3.7. Sitio contaminado***

Lugar que ha sufrido alteraciones en su característica química por haber elementos químicos contaminantes riesgosos a la salud humana o el ambiente.

#### ***2.3.8. Minería y contaminación ambiental***

De la investigación de Espinoza (2000) explica lo siguiente:

**a. La Minería.** - El potencial minero del Perú es uno de los más grandes del mundo entero. Los minerales explotados en mayor volumen son el hierro, zinc, cobre y plomo, teniendo además gran importancia económica la explotación de plata y oro. En menores volúmenes el país también explota bismuto, cadmio, estaño, tungsteno y molibdeno.

**b. Minería formal.** - Es la minería que se desarrolla cumpliendo con todos los requisitos y permiso establecidos en la Ley minera (Ministerio de energía y minas).

**c. Minería informal.** - **Son aquellas** actividades de la minería que se realiza haciendo uso de equipos y maquinas que no cumple con las normativas administrativas, técnicos, sociales y medioambientales.

El Ministerio de Energía y Minas (2016) publica el inventario de pasivos ambientales mineros al 2016. Estos pasivos están distribuidos a lo largo del territorio nacional con 8854 Pasivos ambientales mineros (Anexo N°01).

### **2.3.9. Distribución regional de los pasivos ambientales mineros (PAMs) en el Perú 2006-2016**

Dispersión de PAMs por Distrito.

Región	Pasivos 2006	Pasivo 2010	Pasivos 2011	Pasivos 2012	Pasivos 2013	Pasivos 2014	Pasivos 2015	Pasivos 2016*
Amazonas		160	157	157	157	157	157	157
Ancash	133	804	1115	1202	1199	1200	1251	1284
Apurímac	43	139	149	149	149	149	149	149
Arequipa	42	116	307	331	357	383	372	376
Ayacucho	69	93	105	111	111	111	98	98
Cajamarca	20	976	1019	1022	1022	1050	1075	1183
Cusco	44	484	507	507	507	581	581	305
Huancavelica	67	760	830	831	831	864	858	911
Huánuco	23	135	169	313	313	313	313	301
Ica	31	49	132	132	132	132	124	123
Junín	51	378	395	502	550	637	637	715
La Libertad	14	445	487	503	503	510	510	492
Lambayeque	8	8	8	8	8	8	4	4
Lima	60	203	293	528	530	613	613	693
Madre de Dios	22	23	23	22	22	22	22	22
Moquegua	53	60	124	124	137	137	137	128
Pasco	40	391	429	429	429	454	454	575
Piura	18	14	14	14	14	14	24	24
Puno	79	257	522	621	1048	1049	1050	1129
San Martín	1	1	1	1	1	1	1	1
Tacna	32	61	69	69	186	186	186	184
<b>Total</b>	<b>850</b>	<b>5557</b>	<b>6855</b>	<b>7576</b>	<b>8206</b>	<b>8571</b>	<b>8616</b>	<b>8854</b>

**Figura 3. Datos tomados del Ministerio de Energía de Minas (2014).**

### **2.3.10. Consecuencia de las actividades mineras en el medio ambiente**

Tello (2004) explica que:

Por la propia naturaleza de los procesos físico-químicos involucrados en la industria minera existe siempre, a pesar de las medidas que se puedan dar un riesgo potencial de contaminación del medio ambiente.

Es necesario tener en cuenta que el problema de la contaminación no es igual para todas las empresas mineras, recordemos que la minería está distribuida en tres sectores: pequeña, mediana y gran minería con diferente magnitud en sus operaciones y en sus niveles de recursos financieros lo cual genera diferencias en sus posibilidades para acceder a tecnologías modernas que le permitan un manejo medioambiental más limpio.

De otro lado las empresas más antiguas fueron diseñadas para alcanzar la mayor rentabilidad, pero no necesariamente para minimizar la contaminación, lo cual, si se está dando en las empresas nuevas, ello debido a la actual legislación ambiental del sector que fija niveles máximos permisibles de emisión de contaminantes. (p. 23)

De la investigación de Tello (2004) se consideró las siguientes fundamentaciones:

### **2.3.11. Fuentes de contaminación**

Los principales puntos de producción de residuos y emisiones contaminantes están relacionados con los diferentes procesos de extracción, concentración y refinación. Según la naturaleza de los residuos generados, se puede ensayar la siguiente clasificación:

- a) Residuos sólidos.** Desmontes, Residuos de lixiviación, Residuos de flotación.
- b) Efluentes líquidos.** Agua de relaves, Efluente de lixiviación, Efluentes de los procesos de concentración, Agua de drenaje de minas subterráneas y superficiales, Efluentes de las refinerías.
- c) Emisiones gaseosas.** Gases producidos por equipos mineros, Gases de los procesos de tostado, Fundición y Refinación, Polvo.



**2.3.11.1. En la composición de estos residuos se puede encontrar los siguientes contaminantes.**

- a) Metales.** La naturaleza de los cuales depende del tipo de yacimiento y en algunas ocasiones del drenaje de la mina. Los metales que más frecuentemente se encuentran son: cobre, plomo, zinc, hierro, arsénico y cadmio. Dependiendo de su concentración, estos metales pueden llegar a ser letales para los organismos vivos, aunque existe ciertos factores tales como la acidez del medio, presencia de otros metales, etc. Los cuales pueden minimizar o aumentar su efecto.
- b) Acidez del medio.** Cuyo principal efecto es aumentar la concentración de los metales en solución.
- c) Reactivos diversos.** Empleados en varios procesos y que pueden ser de naturaleza orgánica u inorgánica. Los contaminantes inorgánicos están contruidos por los reactivos usados o sus sales derivadas, tales como el  $\text{NH}_4$ ,  $\text{OH}$ ,  $\text{CaCO}_3$ ,  $\text{HCl}$ ,  $\text{HNO}_3$ , etc. Los contaminantes orgánicos son trazas de los colectores, espumantes y modificadores usados en el proceso de flotación.
- d) Aceites lubricantes y Diesel.** Empleados en motores, maquinarias, etc. Los cuales si son eliminados en los cursos de agua pueden inferir con la oxigenación al formar una película delgada sobre esta.
- e) Sólidos en suspensión.** Los cuales se pueden encontrar en el agua de mina y los efluentes tanto de concentración como de extracción. De acuerdo a su tamaño estos pueden ser desde coloidales hasta material de fácil sedimentación que puede ser llevado por el aire.

f) **Gases.** Producidos por los procesos metalúrgicos. El más común es el SO<sub>2</sub>, existiendo otros como el cloro, el ácido clorhídrico gaseoso y los fluoruros. (p.24)

### **2.3.12. La contaminación de los suelos**

Es un aspecto importante en las degradaciones de suelos. La calidad de un suelo, puede ser afectada en forma negativa por las contaminaciones. Esto se encuentra asociado con la presencia de sustancias que a partir de un nivel de concentración se debe considerar como no deseable. Las sustancias que se consideran más peligrosas por causar daños potenciales son:

- a) Metales: Cromo (Cr), Cobalto (Co), Níquel (Ni), Cobre (Cu), Cinc (Zn), Arsénico (As), Molibdeno (Mo), Cadmio (Cd), Estaño (Sn), Bario (Ba), Mercurio (Hg), Plomo (Pb)
- b) Compuestos inorgánicos: Amonio (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>), Fluoruro (F<sup>-</sup>), Cianuro (CN)<sup>-2</sup>
- c) Compuestos aromáticos y poli aromáticos.
- d) Hidrocarburos clorados.
- e) Agroquímicos.

Todos estos compuestos pueden estar en los suelos por diversas fuentes como son: Lodos de plantas depuradoras, productos fitosanitarios y sus subproductos, purines de explotaciones ganaderas, contaminantes atmosféricos provenientes de los procesos industriales, agua residual que es empleado para la irrigación de las plantas, desechos industriales y residuos generados por las áreas urbanas, fertilizantes usado en exceso.

Los metales se pueden encontrar en el suelo en diferentes formas o estados de disponibilidad.

- La fracción soluble en agua

- La fracción cambiable
- La fracción absorbida, quilatada o ligada
- La fracción de los minerales secundarios, arcillosos y los óxidos metálicos insolubles
- La fracción de los minerales primarios.

Como se mencionó los residuos generados por la minería son de diversos tipos y aportan tanto contaminantes orgánicos como inorgánicos, con mayor o menor toxicidad y capacidad de ser biodegradados. Por lo tanto, las características de un suelo contaminado por la minería dependerán de la naturaleza de la explotación minera contaminante.

### ***2.3.13. Uso de la tierra y control del medio ambiente***

En este caso las imágenes satelitales se utilizan para la identificación y posterior análisis de los límites de áreas afectadas por desastres naturales o por impactos producidos por acción humana. La información obtenida mediante teledetección presta una valiosa ayuda para las actividades que comprende el plan urbano y para calcular los impuestos territorial, gracias al monitoreo constante de cómo se usa el suelo, se ha podido obtener registro, se ha realizado comparaciones y procesamientos de imágenes que ha permitido la simplificación y automatización de tareas. (Consejo de Ministros para el desarrollo digital y espacial de Chile, 2013, p.14)

### ***2.3.14. Impacto ambiental***

Estudios que se debe hacer a los proyectos para ser adjudicados a las mineras. Se evalúa y se hace descripciones de los aspectos físicos-naturales, biológicos, socio económicos y culturales de la zona de influencia del proyecto, con la intención de analizar los lugares naturales y prever los daños de la ejecución del proyecto, haciendo indicaciones de medidas de previsión y control a aplicar para lograr un desarrollo

armónico entre las actividades de la industria minera y el medio ambiente. (Decreto supremo N°016-93EM, 1993, art. 2°).

#### **2.3.15. Nivel máximo permisible**

Es cuando las concentraciones de varios contaminantes o uno, se encuentra por debajo de un nivel que no perjudica la salud de las personas y el ecosistema. (Decreto supremo N°016-93EM, 1993, art. 2°)

#### **2.3.16. Plan de cierre**

Son las medidas adoptadas por el titular de las actividades mineras antes de producir desechos gaseosos, líquidos o sólidos que pueden existir a largo plazo, mediano o en el corto plazo. (Decreto supremo N°016-93EM, 1993, art. 2°)

#### **2.3.17. Programa de adecuación y manejo ambiental**

Son las programaciones que considera acción e inversión necesarios para ser incorporados en las actividades mineras, el desarrollo tecnológico y aquellas acciones alternas que tienen la intención de disminuir y eliminar, vertimientos o las emisiones, para lograr el cumplimiento de niveles máximos permisibles que han sido normados por la autoridad competente. (Decreto supremo N°016-93EM, 1993, art. 2°)

#### **2.3.18. Protección ambiental**

Son las acciones de orden humano, social, científico, legal, económico y tecnológico; que tienen el objetivo de proteger los entornos naturales donde se están desarrollando las actividades mineras y las zonas de influencia, están evitando la degradación del lugar a un nivel que perjudica y que afecte la salud de las personas, la flora, la fauna o los ecosistemas. (Decreto supremo N°016-93EM, 1993, art. 2°)

### **2.3.19. Programa de monitoreo**

Técnicas y normativas adecuadas con métodos y tecnologías para realizar evaluaciones por la presencia de contaminantes que han sido vertidos en el medio ambiente (Decreto supremo N°016-93EM, 1993, art. 2°)

### **2.3.20. Aplicaciones de la tecnología satelital en el área de percepción remota**

La tecnología satelital es una herramienta que permite realizar fácilmente la gestión del territorio y de sus recursos naturales, en especial cuando un país cuenta con una geografía compleja y amplia entre sus fronteras, con presencia de importantes recursos naturales que es clave para el desarrollo económico de la nación, como lo es la minería entre otros.

### **2.3.21. Funcionamiento de la teledetección cuando se estudia el medio ambiente**

La teledetección es un sistema que adquiere información a distancia sobre la biosfera, se basa en las propiedades de la radiación electromagnética y la interacción con los objetos expuestos en la superficie de la tierra. (Romero, 2005, p.44)

### **2.3.22. Satélites de recursos naturales LANDSAT**

Romero (2015) explica que:

En el mes de julio de 1972 fue el primer satélite de recursos naturales lanzado por la NASA, luego se pusieron en órbita otros satelitales LANDSAT 2 Y LANDSAT 3 en enero de 1975 y marzo de 1978, con el objetivo de recoger datos para estudio.

La ubicación de los satélites está a 920 kilómetros sobre la superficie terrestre. El tiempo que transcurre en efectuar una órbita es de 103 minutos, barriendo la superficie terrestre cada 18 días y se obtiene información simultánea de lugares de la Tierra de 185\* 185Km (aproximadamente 34.000 km)

Estos satélites están provistos de sensores remotos de varios tipos, el primero es el RBU ( Return Beam Vidicon) que consiste en un sistema de cámaras de televisión. El segundo sensor es un equipo de barrido

multiespectral o MSS (Multispectral Scanner) que registra la energía reflejada por la superficie terrestre en las regiones verde, roja e infrarroja del espectro electromagnético. La unidad elemental de información tiene una resolución espacial de 79 metros. (p.45)

Desde 1972 se inició el lanzamiento de satélites provistos de sensores, que al ser colocados en órbita aseguran el recojo de información que puede ser utilizada para hacer estudios de investigación. Los sensores de los satélites registran la energía que fue reflejado por la superficie terrestre a lo largo del espectro electromagnético.

### **Características de los datos de teledetección**

La información que se obtiene por medio de la teledetección de los aviones o de los satélites está comprendido por tres tipos. Goillot (1976) explica que:

Una información espacial que representa la organización en el espacio físico de los elementos que constituyen la imagen. Otra información espectral que caracteriza y puede coincidir al conocimiento de la naturaleza de la superficie terrestre y una última información temporal que permite la detección de los cambios operados en la superficie de la tierra con el transcurso del tiempo. (p.76)

Romero (2005) afirma que:

Además, los sensores remotos, los de barrido multiespectral, realizan una percepción muy particular del Medio Ambiente y del paisaje que se caracteriza porque existe una homogeneización de la imagen que es función del nivel de resolución de los sensores o captores.

Tricart (1979) explica que, en definitiva, las propiedades que caracterizan la información:

La posibilidad de obtener información sobre aspectos del medio natural que escapan totalmente a nuestros sentidos (ondas de radar, infrarrojo de LANDSAT, entre otros). La experiencia natural del hombre es, por lo tanto, nula en estos dominios espectrales, y por esta razón se realizan visualizaciones que tienen una función y utilidad análogas a las fotografías aéreas, y que se denominan imágenes para evitar la confusión.

Estas informaciones que son registradas por los sensores, y que miden la cantidad de energía reflejada o emitida por los objetos naturales que componen el paisaje son de tipo numérico, y se prestan al tratamiento matemático.

Los datos extraídos de los servicios de teledetección nos revelan ciertos aspectos de los ecosistemas difíciles de estudiar, prácticamente desconocidos, contribuyendo de una forma eficaz al conocimiento de los mismos y de su funcionamiento (detección de enfermedades en las plantas, efectos del estrés debido a la falta de agua, transpiración, régimen térmico, etc.). (p.45)

Permite seguir la evolución de las grandes extensiones forestales que persisten en la superficie del globo, tener una visión de conjunto sobre los efectos producidos por las grandes catástrofes (como, por ejemplo, sequías) y reconocer ciertos fenómenos de contaminación a gran escala en el cielo y en el mar. (, p.46)

Por lo antes expuestos a través de la teledetección se puede obtener información de varios kilómetros de terreno, obteniendo características del lugar representado en números que han sido registrados por los sensores que miden la energía que refleja los objetos naturales expuestos en la superficie terrestre.

### **2.3.23. Los modelos de paisaje**

Romero (2005) explica que es:

Los sistemas de información geográficos integran datos de los sensores remotos. Esta combinación sinérgica produce un banco de datos multivariantes y multitemporales que posibilitan una configuración matemática del paisaje, de la misma forma que un modelo en tres dimensiones del terreno se representa por un mapa topográfico.

La utilización de datos espectrales puede proporcionar ventajas en aquellos problemas referentes a la mapeación de tipos de cubierta del suelo y en los modelos de planificación física del territorio. (p.52)

Mateo (2008) explica que:

El paisaje geográfico o geosistema, como categoría científica general de carácter transdisciplinario, se concibe como un sistema espacio-temporal, complejo y abierto, que se origina y evoluciona justamente en la interfase naturaleza-sociedad, en un constante estado de intercambio de energía, materia e información, donde su estructura, funcionamiento, dinámica y evolución, reflejan la interacción entre los componentes naturales (abióticos y bióticos),

técnico-económicos y socio-culturales (Mateo 2008; Salinas-Chávez 1991, NC 93-06-101-1987; Miravet –Sánchez et al. 2014).

### **2.3.24. Metodología para evaluar el impacto visual provocado por la explotación mineral**

Aguilera, Fernández, Legrá, Rojas (2016) afirma que:

La metodología busca cuantificar la modificación introducida durante el desarrollo de la actividad minera y que los pasos de la metodología son:

- Identificación de las unidades de paisaje visual
- Valoración de la calidad visual de las unidades de paisaje determinadas
- Valoración de la fragilidad visual del lugar de estudio
- Selección de los puntos de observación y mayor visibilidad
- Determinación de la cuenca visual. (p,147)

#### **Identificación de las unidades de paisaje visual del yacimiento.**

Según las dimensiones del territorio se hace la delimitación espacial. En ese territorio hay presencia de unidades de paisaje que cubren el territorio. (p. 147)

**Valoración del paisaje por las agencias americanas.** Para estudiar la calidad visual de la zona se aplicó el método indirecto del BLM (Bureau of Land Management 1980). Método que se basa en la evaluación de las características visuales básicas de los componentes del paisaje. Se asigna un valor a cada componente según los criterios de valoración. (p.149)

**Procedimiento de estimación de impacto visual VIA.** Se procede asignar un valor a cada componente según los criterios de valoración del Bureau of Land Management 1980. (p.98)



**Cuadro 1. Evaluación de calidad escénica, criterios de ordenación y puntuación**

Vegetación	Masas boscosas y gran variedad de tipos	Alguna variedad en la vegetación, pero solo uno	Poca o ninguna variedad o contraste en la vegetación
Puntuación	5	3	1
Agua	Factor dominante en el paisaje; apariencia limpia y clara, aguas blancas (rápido y cascado) o lámina de agua en reposo	Agua en movimiento o reposo, no dominante en su paisaje	Ausente o inapreciable
Puntuación	5	3	0
Color	Combinaciones de colores intensas y variadas, o contraste agradable entre suelo, vegetación, roca, agua y nieve	Alguna variedad e intensidad en los colores y contraste en el suelo, roca y vegetación, sin ser elemento dominante	Muy poca variación de color o contraste, colores apagados
Puntuación	5	3	1
Fondo escénico	El paisaje potencia mucho la calidad visual.	El paisaje circundante incrementa moderadamente la calidad visual del conjunto.	El paisaje adyacente no ejerce influencia en la calidad del conjunto

**Fuente: Datos tomados de González, Carreño (2016).**

Se usan una serie de valores para el análisis visual y evaluar la calidad.

Aguilera (2016) afirma que:

Se hace la consulta a expertos y con base a criterios reflejados en la tabla, para el análisis de la calidad visual se usó los siguientes valores:

- a. Excelente (26 puntos)
- b. Muy alta (de 20 a 25 puntos)
- c. Alta (de 15 a 19)
- d. Moderada (de 10 a 14)
- e. Baja (de 0 a 9)

Estos valores se usan para evaluar la calidad escénica de un lugar que se está observando desde una cuenca visual.

### **2.3.25. Cuenca visual**

Es el lugar o el terreno que se quiere visualizar desde un punto. Tevar (1996) afirma que:

Son los lugares que se pueden ver desde un punto de observación, o es el entorno visual de un punto. La cuenca visual común de los puntos que pertenecen a una zona es la intersección del conjunto de las cuencas visuales correspondientes a dichos puntos; esto es, el subconjunto de puntos que son vistos desde todos los puntos de la zona. (p.100)

### **2.3.26. Datos y métodos**

Las imágenes deben ser tratadas y para ello se deben realizar combinaciones entre las siete bandas. González, Carreño (2007) explica que:

Las 7 bandas del Thematic Mapper permiten un estudio de rango del espectro que comprende desde lo visible hasta el infrarrojo lejano. Cuenta con una resolución espacial de 30 x 30 en las 7 bandas que corresponde al infrarrojo térmico a excepción que en la banda seis tiene una resolución de 120 x 120 m. En las imágenes Enhanced Thematic Mapper que tienen características diferentes, la resolución espacial es de 15 x 15 en pancromático y su tratamiento consiste en correcciones geométricas y de proyección, el mejoramiento visual de las imágenes por aumento de contraste y el estudio de los espectros de las diferentes formaciones para la mejor elección de las bandas a combinar. También toma en cuenta la composición de imágenes RGB por combinación de bandas, el estudio de componentes principales, aplicación de técnica de Decorrelation Stretch, generar imágenes de cocientes y superposición con otras bandas de información como Modelos Digitales del Terreno. (p. 48)

La resolución espacial en las siete bandas permite el tratamiento de la imagen en combinación de varias bandas

### **2.3.27. Correcciones geométricas**

La información que registra los sensores podría tener errores. González, Carreño (2007) explica que “Consiste en tratar los errores geométricos que tienen los datos que envía el satélite, para que la imagen pueda ser proyectada en un sistema de coordenadas cartográficas y que se pueda integrar en un sistema de información geográfica que facilite su interpretación y análisis” (p. 51).

### **2.3.28. Mejorar el contraste**

Las características de la imagen deben visualizarse en el monitor y para ello se podría ajustar la resolución de la información registrada. Chuvieco (2000) afirma que “Es adaptar la resolución de la información radiométrica a la capacidad de visualización del monitor. Logrando ajustar los valores que tienen un rango de 0 a 256, a unos valores que resalten en los monitores por medio de la predistribución de los valores del histograma de frecuencias de la imagen” (p. 52).

### **2.3.29. La imagen en falso color rojo, verde y azul**

Chuvieco (2000) explica que “para formar una imagen en color se deben hacer combinaciones de tres bandas, para resaltar la información en base a los colores. Esta combinación se puede aplicar cuando se pretende resaltar vegetación saludable, ya que se combinan las bandas del infrarrojo cercano donde la vegetación tiene una respuesta muy alta. También está la combinación definida como color verdadero, que simula una foto con color real, para lograrlo se debe combinar las bandas del espectro visible del sensor Thematic Mapper, Rojo=3, verde=2 y azul=1, cuya notación es Thematic Mapper 3, 2, 1. (González, Carreño, 2007, p. 53)

### **2.3.30. Bandas más aconsejables a combinar**

Chuvieco (2000) explica que “cada pixel contiene información por eso se debe seleccionar aquellos pixeles con menor cubierta vegetal a través de los índices de vegetación normalizados. Este tratamiento está especialmente indicado en una zona como el NO peninsular con una importante cubierta vegetal. El análisis de los espectros se ha realizado en las zonas con menor índice de vegetación normalizado mediante una máscara” (González, Carreño, 2007, p. 53)

### **2.3.31. Componentes principales**

Chuvieco (2000) explica “Se fundamenta en la fuerte correlación que puede existir entre las diferentes bandas y, por tanto, en que parte de la información se repite. De esta forma, se resume un grupo de variables en un nuevo conjunto más pequeño sin perder una parte significativa de la información” (González, Carreño, 2007, p. 53).

Como el sensor registra información de zonas extensas y al analizar las tramas puede haber información que se repite, por tal motivo se debe resumir en un conjunto menor tomando en cuenta las partes principales de la información.

### **2.3.32. Técnica tramo de correlación**

“Consiste en obtener los componentes principales de tres bandas, posteriormente se contrastan las bandas resultantes y después se realiza la transformación inversa para volver a las bandas principales”. (González, Carreño, 2007, p. 53)

Se deben contrastar los componentes entre la banda principal y la resultante.

### **2.3.33. Generar imagen de cociente**

“Consiste en la división de los valores espectrales de dos bandas. De esta forma se obtienen relaciones que destacan los materiales que más se parecen. La ventaja del proceso es que las relaciones son constantes, independientemente de la iluminación, con lo que la influencia de la topografía desaparece” (González, Carreño, 2007, p. 53).

Se puede destacar información de los cuerpos presentes en la superficie de la tierra al dividir los valores espectrales en dos bandas.

### **2.3.34. Imagen con combinación de bandas de información del sensor mapeador temático con modelos digitales**

Permite obtener modelo realista 3D. González, Carreño (2007) comenta características de las bandas:

**Banda 1:** frecuencia azul desde 0.45 a 0.52 micrones. Útil para detección de cuerpos de agua, mapeo de costas, contraste entre suelo y vegetación.

**Banda 2:** frecuencia verde desde 0.52 a 0.60 micrones. Útil para evaluar la salud de la vegetación a través de sus valores de reflectancia verde.

**Banda 3:** Frecuencia azul desde 0.63 a 0.69 micrones. Banda de absorción de clorofila. Apta para la clasificación de la cubierta vegetal

**Banda 4:** Frecuencia de infrarrojo cercano desde 0.76 a 0.90 micrones. Apta para analizar niveles de biomasa, delimitación de cuerpos de agua y clasificación de rocas

**Banda 5:** Frecuencia de infrarrojo medio desde 1.55 a 1.75 micrones. Generalmente usada para medir el contenido de humedad en vegetación y suelo. También es útil para diferenciar entre nieve y nubes

**Banda 6:** Frecuencia del infrarrojo termal desde 10.40 a 12.50 micrones. Útil en el análisis de stress de vegetación, análisis de humedad del suelo y mapeo térmico. (p. 54)

**Banda 7:** Frecuencia de infrarrojo medio desde 2.08 a 2.35 micrones. Especialmente seleccionada por su potencial para la discriminación de rocas y para el mapeo hidrotermal. Mide la cantidad de Hidróxilos (OH) y la absorción de agua.

Así mismo, se identifica y se describe los diferentes métodos de detección y evaluación de metales contaminantes en suelos, los softwares que se utilizan y equipos usados actualmente, cada uno de ellos debidamente resumido de tal modo que se pueda distinguir sus características y funciones.

### **2.3.35. Softwares utilizados para el procesamiento de imágenes**

- a) **SOPI.** Es un software geoespacial que posee herramientas que permite visualizar, gestionar, tratar y el analizar imágenes que han sido registrado por sensores remotos. Este software se adapta a los requerimientos de los usuarios y a las características de misiones satelitales de observación de la Tierra. (CONAE 2013).

**I.) Características:** software desarrollado para procesar imágenes digitales que han sido registrado por los sensores satelitales, cuenta con herramientas de trabajo vectorial.

Posee un ambiente de dos y tres dimensiones de trabajo similar al sistema de información geográfica, direccionado a la administración de proyectos y con una serie de tareas amigable y escalable, que permite soportar una cantidad de usuarios desde alumnos de nivel secundario hasta profesionales. (p.5)

**II.) Funciones:** permite visualizar y manejar imágenes registrados por los sensores satelitales, la cobertura es vectorial y es una herramienta interactiva, permite navegar por coordenadas, consultar pixel, animación de imágenes. (CONAE 2013) explica que SOPI es:

- Soporta varios formatos del tipo Shapefile, KML, ALOS, JPEG, PNG, BMP, Geo Tiff, Fast, CEOS, NOAA AVHRR, GPS eXchange y de capas remotas WMS (según estándar **Open Geospatial Consortium**).
- La imagen se puede visualizar en 3D o 2D con múltiples visualizadores que están sincronizados.
- La imagen es desplegada y tratada como raster que combina 3 bandas rojo, verde, azul seleccionando el realce del histograma, se apila las bandas, se recorta espacial y espectral con enmascaramiento y calcular estadísticamente.
- Se edita vectorialmente con medidas rápidas, creando mapas.
- Se hace georreferenciación con puntos de control del terreno, permite hacer Transformaciones geográficas en reproyección, corregistro imagen a imagen.
- Incluye procesos que son espaciales con escalamiento y aplicación de filtros que permite detección de bordes, pasa-bajo, pasa-alto. (p.6)

Software amigable y escalable que permite visualizar la imagen haciendo combinaciones entre las bandas.

### **2.3.36. Métodos utilizados para el análisis de suelos según el Ministerio de Energía y Minas del Perú**

Los métodos que se describen son los utilizados actualmente de forma tradicional. (Ministerio de Energía y Minas. 2000).

Parámetro	Métodos Analíticos	Referencia US EPA	Fuente	Reipiente	Tiempo de Conservación
Plata	AA/ICP/ICP (AES)	3113B/3120B/6010	2,1	P, G	6 meses
Azufre (elemental)	Horno Leco /AA	Leco/3113B	2	P, G	6 meses
Talio	AA/ICP/ICP (AES)	3113B/3120B/6010	2,1	P, G	6 meses
Estaño	AA	7870	2	P, G	6 meses
Vanadio	AA/ICP/ICP (AES)	3113B/3120B/6010	2,1	P, G	6 meses
Zinc	AA/ICP/ICP (AES)	3113B/3120B/6010	2,1	P, G	6 meses
<b>Hidrocarburos Aromáticos Monocíclicos</b>					
Benceno	GC, MS	8240B/8260A	1	G, T	7 días
Clorobenceno	GC, MS	8240B/8260A	1	G, T	7 días
1,2-diclorobenceno	GC, MS	8240B/8260A	1	G, T	7 días
1,3-diclorobenceno	GC, MS	8240B/8260A	1	G, T	7 días
1,4-diclorobenceno	GC, MS	8240B/8260A	1	G, T	7 días
Benceno Etilado	GC, MS	8240B/8260A	1	G, T	7 días
Estireno	GC, MS	8240B/8260A	1	G, T	7 días
Tolueno	GC, MS	8240B/8260A	1	G, T	7 días
Xileno	GC, MS	8240B/8260A	1	G, T	7 días
<b>Compuestos Fenólicos</b>					
Fenoles no Clorinados	HRGC, LRMS	8270B	1	G, T	7 días
Clorofenoles	HRGC, LRMS	8270B	1	G, T	7 días
<b>Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos (PAHs)</b>					
Benzo(a)antraceno	HRGC, LRMS	8270B	1	G, T	7 días
Benzo(a)pireno	HRGC, LRMS	8270B	1	G, T	7 días
Benzo(b)fluoranteno	HRGC, LRMS	8270B	1	G, T	7 días
Benzo(k)fluoranteno	HRGC, LRMS	8270B	1	G, T	7 días
Dibenz(a,b)antraceno	HRGC, LRMS	8270B	1	G, T	7 días
Indeno(1,2,3-c,d)pireno	HRGC, LRMS	8270B	1	G, T	7 días
Naftaleno	HRGC, LRMS	8270B	1	G, T	7 días
Fenantreno	HRGC, LRMS	8270B	1	G, T	7 días
Pireno	HRGC, LRMS	8270B	1	G, T	7 días

**Figura 4. Metodos para el análisis de suelos.**

**Fuente: Datos tomados del Ministerio de Energia de Minas (2014).**

Parámetro	Métodos Analíticos	Referencia US EPA	Fuente	Recipiente	Tiempo de Conservación
Quinoleína	HRGC, LRMS	8270B	1	G, T	7 días
Tiofeno	HRGC, LRMS	8270B	1	G, T	7 días

**LEYENDA:**

AA – Espectrofotómetro de adsorción atómica      ICP – Plasma inductivamente acoplada  
 AES – Espectroscopio de emisión atómica      LS – Baja resolución  
 ECD – Detector de captura de electrones      MS – Espectrometría de masas  
 G – Vidrio      P – Polietileno  
 GC – Cromatografía de Gas      T – Tapa revestida de teflón  
 HR – Alta Resolución

**Fuente:**

1 – US EPA, 1983a  
 2 – APHA, 1998  
 3 – US EPA 1983b

**Figura 5. Métodos para el análisis de suelos.**

**Fuente: Datos tomados del Ministerio de Energía de Minas.**

Actualmente se utilizan métodos para el análisis de suelos. Ministerio de Energía y Minas (2000) explica que:

Los métodos listados en la figura son para realizar el Análisis Químico de los medios afectados, donde existen los protocolos de muestreo que son descripciones escritas de procedimientos específicos a seguirse en la colección, empaado, etiquetado, preservación, transporte, almacenamiento y documentación de muestras. Mientras más específico sea un protocolo de muestreo, menor será la posibilidad de error o de interpretaciones erróneas. Estos métodos han sido científicamente validados. (p.13)

Todos estos métodos en su protocolo para la obtención de la muestra el técnico debe hacer una exposición física en el lugar que se presume hay contaminación. Así como hay que tomar en cuenta que se debe hacer un recorrido para movilizarse y seleccionar los puntos de control del terreno ya que el viento muchas veces hace movilizaciones del polvo y



se debe procurar una muestra confiable que permita la obtención de datos correctamente.

### **2.3.37. Equipos utilizados en la evaluación y muestreo de metales**

#### **a) Muestreador con succionador.**

Se usan equipos para monitorear el nivel de contaminación. Ministerio de Salud (2010) explica que:

“La ciudad de la Oroya cuenta con un complejo metalúrgico, que procesa los concentrados de las minas de la empresa propietaria del complejo y por otro lado presta servicios a terceros, durante el monitoreo de la calidad del aire las actividades en la empresa DOE RUN PERU se encontraban paralizadas. Geográficamente hablando La Oroya es un punto estratégico de interconexión entre los pueblos de la costa, la sierra y la selva. Para el muestreo de las Partículas Menores a 10micras, se emplea un equipo muestreador de alto volumen con un motor de aspersión de alto flujo, el cual succiona el aire del ambiente haciéndolo pasar a través de un filtro de fibra de cuarzo. La concentración de las partículas suspendidas se calcula determinando el peso de la masa recolectada y el volumen de aire muestreado. Las unidades de partículas menores a 10 micras se expresan en microgramos por metro cúbico (Ng/m3)”. (p.7)

Metales: Cobre, Plomo, Manganeso, Fierro, Zinc.

Método de Referencia Activo de la EPA

Capítulo N°1, CFR 40 Parte 50 Apéndice G



**Figura 6.** Muestreador con succionador

**Fuente:** Datos tomados del Informe N°00627-2010/DEPA-APCCA/DIGESA(2010).

Son obtenidos del filtro empleado en el muestreo de partículas totales suspendidas, del cual se hace un tratamiento químico con ácido nítrico y luego de filtrar, evaporar y concentrar la prueba, se lee en el Espectrofotómetro de Absorción Atómica.

Metales: Cobre, Plomo, Manganeso, Fierro, Zinc, Cromo y Cadmio  
Método de Referencia Activo de la EPA Capítulo N°1, CFR 40, Parte 50, Apéndice G Son obtenidos del filtro empleado en el muestreo de PM10, del cual se hace un tratamiento químico con ácido nítrico y luego de filtrar, evaporar y concentrar la prueba, se lee en el Espectrofotómetro de Absorción Atómica. Las unidades de los metales pesados se encuentran expresados en microgramos por metro cúbico (Ng/m<sup>3</sup>). (p.7)

### **b) Mapeo de estructuras geológicas.**

El problema de este método es que para hacer la evaluación ambiental se usa dos métodos diferentes. El segundo se basa primeramente en un tratamiento químico, para que posteriormente pueda ser leído en el espectrofotómetro de absorción atómica. (p.7)

### **c) El método de espectrofotometría.**

MINAN (2004) explica que “Para determinar el nivel de cadmio total se hace por el método de absorción atómica por llama. Este método tiene como objetivo identificar cadmio en residuos y el agua que genera la industria en un rango de 0,025 a 3 mg/L. Así mismo se puede calcular en mayor o menor nivel de concentración por dilución o concentración de la muestra. El muestreo y la preservación se hacen al recolectar en frasco de polietileno de alta densidad de 1L de capacidad de cierre hermético. Ajustar a pH<2 con ácido nítrico (6.1). Analizar antes de 6 meses”. (p.8)

## **I. EQUIPOS Y MATERIALES QUE USA EL MÉTODO.**

MINAM(2014) nombra los equipos y materiales que usa el método: “Espectrofotómetro de absorción atómica con llama, balanza analítica de precisión 10 mg, plancha calefactora, papel de filtro libre de ceniza, balanza analítica de precisión 0,1 mg, pipetas aforadas de 5 - 100 ml, matraces aforados de 25 - 1000 ml, erlenmeyers de 100 - 125 ml. Todo el material de vidrio

utilizado deberá lavarse con detergente y agua y enjuagarse por inmersión en una solución de HNO<sub>3</sub> al 5% v/v durante toda la noche, o un enjuague único con una solución de HNO<sub>3</sub> al 20% v/v. Luego se enjuagan tres veces con agua destilada”. (p.9)

## **II. PROCEDIMIENTO.**

### **Digestión de la muestra**

MINAM (2014) explica que “homogeneizar la muestra, consiste en disponer de una estimación del contenido total de cadmio en la muestra, se debe realizar una toma con pipeta aforada tal que la solución final esté en el rango de medida. La toma mínima a realizar será de 5,00 ml, en el caso de muestras muy concentradas diluirlas luego de la digestión. En el caso de estimar un contenido de cadmio menor a 0,025 mg/L, y de ser necesario, concentrar la muestra durante la digestión. Transferir la toma a un Erlenmeyer de 100 - 125 mL. Paralelamente se realiza un blanco de digestión sustituyendo la muestra por agua destilada. Si las características físicas de la muestra son tales que no se puede realizar una toma representativa de la misma con pipeta aforada, se realiza una toma en peso”. (p.9)

MINAM (2014) explica a su vez que se debe “agregar 5 mL de HNO<sub>3</sub>. Calentar en una plancha calefactora tal que se obtenga una ebullición leve, concentrar al menor volumen tal que no ocurra precipitación. Si es necesario agregar más ácido y seguir calentando hasta obtener una solución clara. No permitir que la solución se seque durante el calentamiento. Puede quedar un pequeño precipitado no soluble en agua que es luego filtrado. En caso de que la digestión con HNO<sub>3</sub> no sea suficiente, usar mezcla de ácidos (sulfúrico y/o clorhídrico). En este caso la medida se realizará por adiciones estándar”. (p.10)

MINAM (2014) explica “Lavar el Erlenmeyer con agua, si es necesario filtrar con papel de filtro lavando abundantemente el precipitado, y recoger el filtrado en un matraz aforado. Dejar enfriar a temperatura ambiente y llevar a volumen con agua destilada, homogeneizar”. (p.10).

MINAM (2014) “La curva de calibración es, preparar soluciones estándar entre 0,025 y 3,0 mg/L de cadmio a partir de la solución 6.5, con el agregado de HNO<sub>3</sub> tal que su concentración final sea del 1%”. (p.10).

MINAM (2014) para la “determinación directa se tienen los parámetros instrumentales: Lámpara de cátodo hueco o de descarga sin electrodo de cadmio Longitud de onda: 228,8 nm, corrección de fondo: lámpara de deuterio, combustible: acetileno, oxidante: aire, tipo de llama: oxidante. Así mismo realizar la curva de calibración con los estándares de 0,025 a 3 mg/L. Medir las muestras y blancos”. (p,10)

#### **DETERMINACIÓN POR ADICIONES ESTÁNDAR.**

MINAM (2014) explica que “los parámetros instrumentales son: lámpara de cátodo hueco o de descarga sin electrodo de cadmio, Longitud de onda: 228,8 nm, corrección de fondo: lámpara de deuterio, combustible: acetileno, oxidante: aire, tipo de llama: oxidante. Realizar una medida aproximada del contenido de cadmio en la muestra (x). Tomar 4 alícuotas iguales de la muestra con pipeta aforada en matraces aforados: A, B, C y D. En el matraz A aforar con agua destilada. Realizar en los 3 matraces restantes adiciones de solución estándar de cadmio tal que la concentración en el matraz B sea el doble que la concentración en A; en el matraz C el triple y en el D cuatro veces la concentración de A. Tener en cuenta que la suma del contenido de cadmio de la muestra más la adición no supere los 3mg/L”. (p.11)

El problema es que como se observa en las imágenes el usuario se expone para obtener el resultado del suelo.

2.3.38. Procedimiento actual de detección de metales en suelos

a. Flujo de procesos

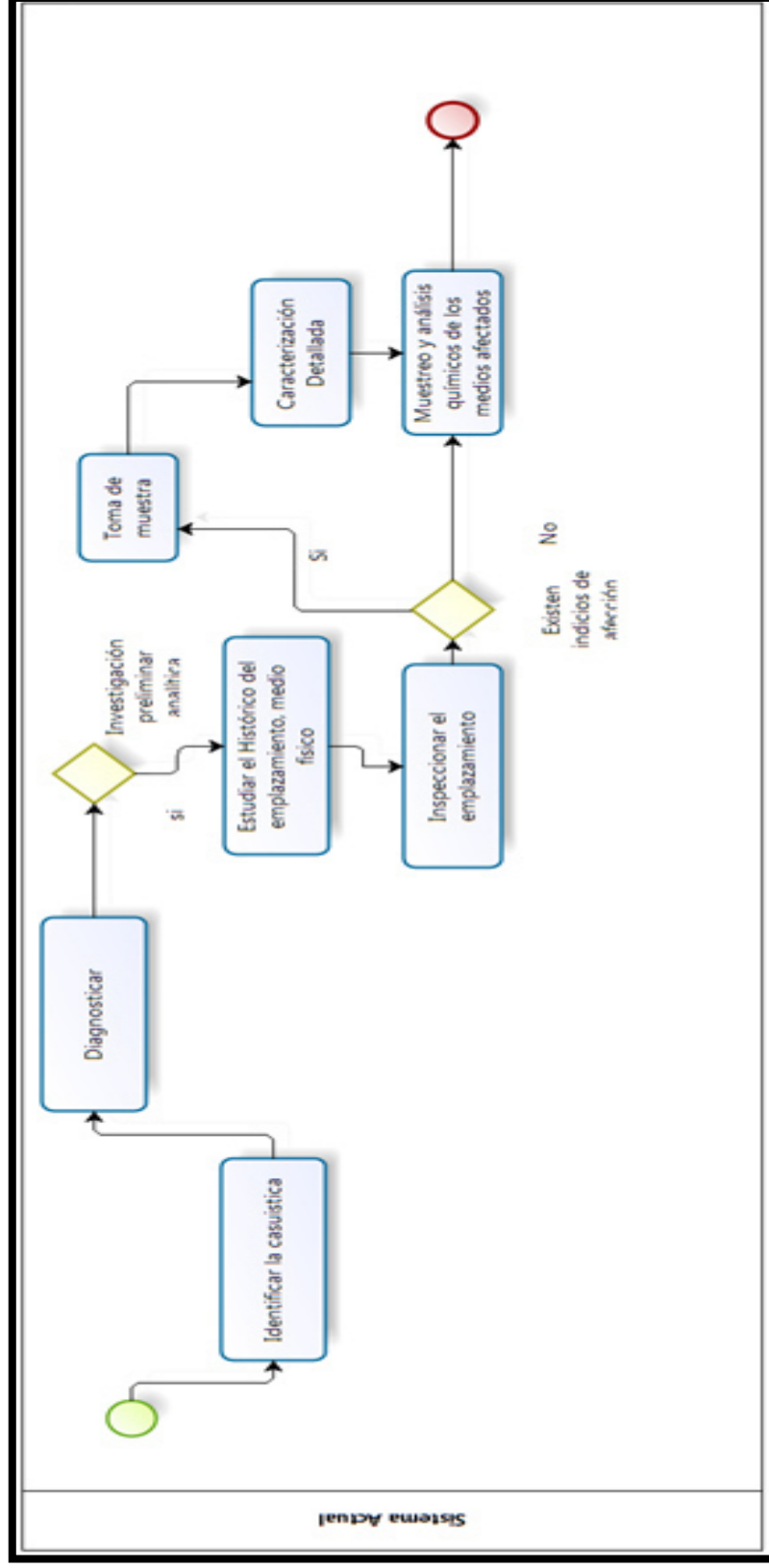


Figura 7. Diagrama de procesos del procedimiento de detección de contaminantes en suelos.  
Fuente: Elaboración propia.

### 2.3.39. Proceso actual para detectar contaminantes

Este modelo constituye la base para diseñar el resto de los trabajos, como la estrategia de muestreo y análisis químico de los medios afectados (suelo). Ministerio de Energía y Minas (2000) Revisión del Modelo Conceptual desarrollado durante la etapa inicial para la toma de muestra explica:

- Depende del tipo de análisis que se realizará según el tipo de investigación se colecta muestra vegetal una porción del suelo de aproximadamente 1500g de la capa más superficial ya que los metales, por lo general se acumulan en la capa más superficial del suelo.
- Las muestras dependiendo como fueron obtenidas puede ser representativa.
- Las propiedades de los suelos son variables de forma horizontal y transversal al paisaje y vertical hacia la profundidad del suelo.
- El suelo se divide de forma homogénea y en clases.
- Se debe usar equipo de seguridad adecuado para la persona, se hace observaciones y se toman fotos del lugar.
- Se anotan las rutas que se pueden usar para acceder al lugar.
- Tomar notas y hacer un mapa de las zonas que están en proceso y aquellas zonas que ya no cuenta con desechos tóxicos.
- Registrar los caminos de migración que son potenciales contaminantes como son los estanques, dispersión del viento, canal de riego, quebradas agua subterránea, actividad humana, entre otros.
- La topografía y vegetación muerta o afectada.
- Se utiliza cintas para hacer mediciones, brújula para marcar de forma precisa los puntos del muestreo.
- Se señalan espacios colocando una marcación relativa fija del suelo como por ejemplo una pared, un cerco, entre otros.
- Uso de herramientas básicas: la cuchara o cucharón de draga, el extractor de núcleos, los dispositivos de barreno o sonda, o las zanjas
- Las muestras se colocan en bolsos plásticos, que deben ser sellados de forma hermética y ser refrigerados 4°C tan rápido como es posible.

**Cuadro N° 2. Equipos que se usan para muestrear el suelo.**

Equipo	Aplicación al Diseño de Muestreo	Ventajas y Desventajas
Cucharilla de dragado	Suelos con superficie suave, 0-100cm	Económico, fácil de aplicar y descontaminar
Dispositivo que extrae núcleos del suelo	Suelo suave, 0-60cm	Relativamente fácil de usar con capacidad de profundidad limitada; puede ser difícil para descontaminar
Barreno manual o eléctrico	Suelo de 15cm-5m	Buena capacidad de profundidad, en su aplicación se usa también con el barreno de balde para coleccionar muestras, daña el núcleo del suelo se necesita de dos a más operadores, difícil para descontaminar, el barreno eléctrico requiere de motor activado a gasolina (potencial de contaminación cruzada)

Zanjas	Todo tipo de suelo 0-lecho rocoso	Buena capacidad de profundidad, daña el núcleo del suelo, puede requerir retroexcavadora o intensa mano de obra, difícil para descontaminar, costo más elevado
--------	-----------------------------------	--

**Fuente: Datos extraídos del informe del Ministerio de Energía y Minas (2000).**

MINEM (2000) explica que “existen 3 tipos de enfoques para el Muestreo: al azar, selectivo y sistemático: El Muestreo Selectivo. Es cuando se seleccionan el lugar para el muestreo en función de diferentes características obvias o típicas, incluyendo factores como la visibilidad del área de un derrame de químicos, cambio de color del suelo, las áreas de perturbación física anterior o las áreas sin vegetación o con vegetación muerta. El Muestreo Sistemático. Consiste en ubicar puntos seleccionados a distancias uniformes entre sí, con la finalidad de lograr total cobertura de una población concreta. El Muestreo al Azar. Aquí se pueden hacer n combinaciones y el número de veces depende del tamaño de la muestra. Lo más factible es cuando se combina el muestreo de forma al azar, sistemático y selectivo, es más factible; donde el esquema debiera ser lo más flexible como para poder hacer ajustes durante el trabajo de campo. Es decir, se basa en la teoría de probabilidad”. (p.16)

Las limitaciones por falta de acceso a las zonas de muestreo que han sido preseleccionados, las nuevas formaciones o la condición climática del lugar contaminado, pueden generar ajustes importantes en el plan de muestreo (p.16)

Enfoque	Número Relativo de Muestras	Desviación Relativa	Base para la Selección de Sitios de Muestreo
Selectivo	El más pequeño	La más amplia	Historia previa, evaluación visual y/o criterio técnico
Sistemático	Mayor	Más pequeña	Rejilla o patrón consistente
Al azar	El máximo	La menor de todas	Simple selección al azar

**Figura 8. Enfoque básico de muestreo.**

**Fuente: Datos extraídos del informe del Ministerio de Energía y Minas (2000).**

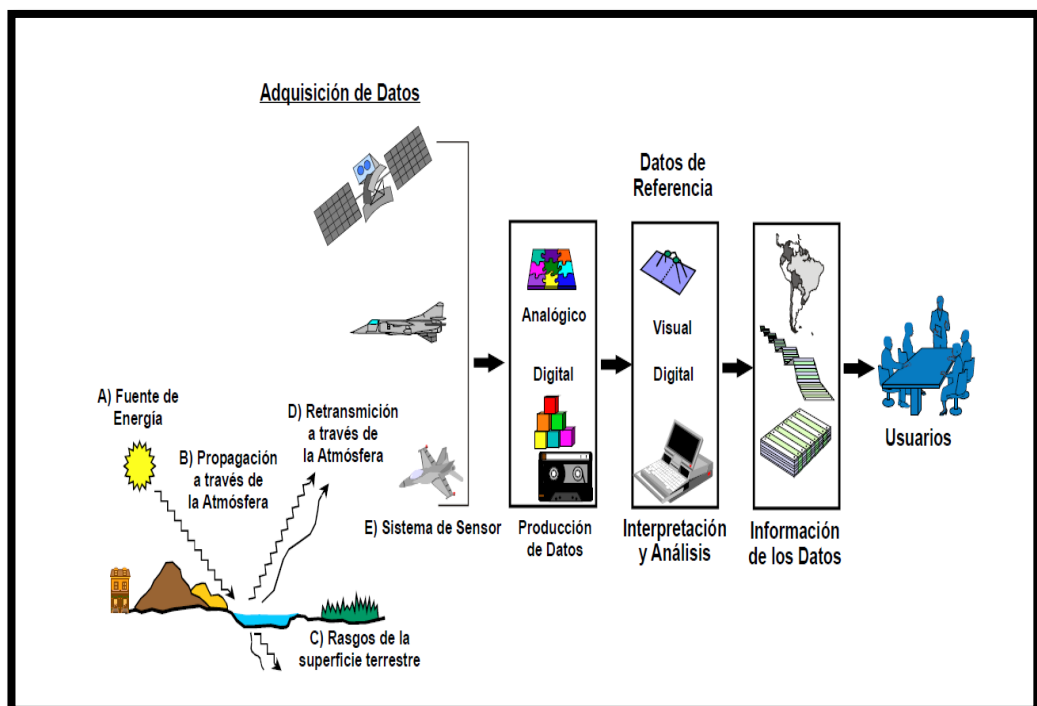
### 2.3.40. Procedimiento propuesto

Pérez, D (2007) Los Sistemas satelitales son aparatos de gran efectividad en el envío de datos remotos a tiempo real, imágenes, videos y otras informaciones de alta calidad.

La utilización de los nuevos sistemas en la estación nuclear de Fukushima – Japón es un ejemplo actual de las bondades y aptitudes de tecnologías empleadas.

De igual manera, la aplicación más temprana y más importante de las imágenes hiperespectrales es localizar los minerales que están expuestas o erosionadas en las zonas de suelo.

La adquisición de la información, se realiza mediante el proceso digital de la imagen, que utiliza diferentes técnicas para realizar información de interés, condensar, extraer, identificar y realzar los datos. (p.2)



**Figura 9. Adquisición de datos enfoque básico de muestreo.**  
**Fuente: Datos extraídos del artículo de Pérez, D. (2007).**



### 2.3.41. Radiación electromagnética (REM)

La luz representa una forma de radiación electromagnética que se transporta en forma de onda a través de un campo electromagnético.

Pérez (2007) explica que:

La luz visible en la naturaleza representa radiación electromagnética (REM), el cual es transportado por una onda en un campo electromagnético o como un flujo de partículas, llamados fotones, y que no tienen masa. Los fotones con la energía más alta corresponden a las longitudes de onda más cortas, la cual describe la propagación de la energía electromagnética en forma armónica y sinusoidal a la velocidad de la luz. (p.3)

La distancia de un máximo de la onda al siguiente es la longitud de onda y el número de picos que pasan por un punto fijo en el espacio por unidad de tiempo es la frecuencia. (p.5)

Según la física, la ecuación de las ondas:

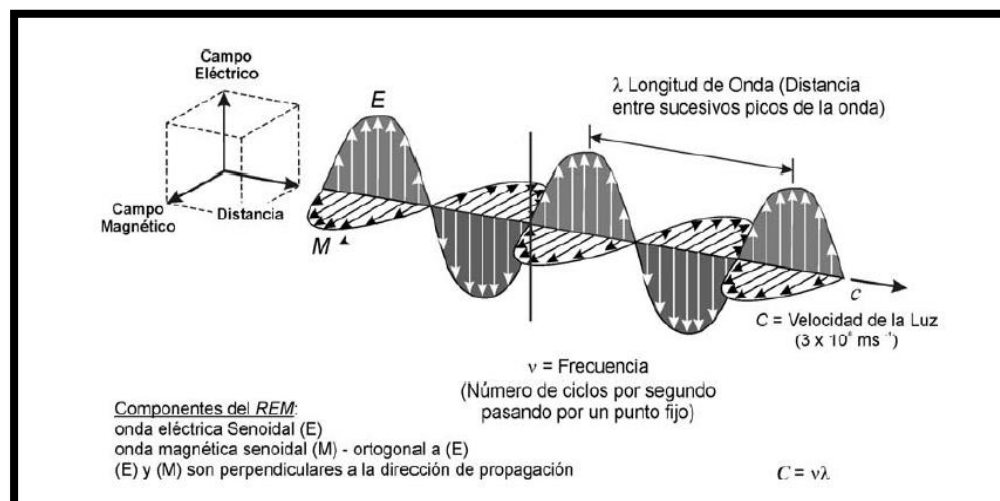
$$c = v\lambda, \quad v = c/\lambda \quad (1)$$

Donde:

C=La velocidad de la luz con la constante ( $3 \times 10^8$  m/seg)

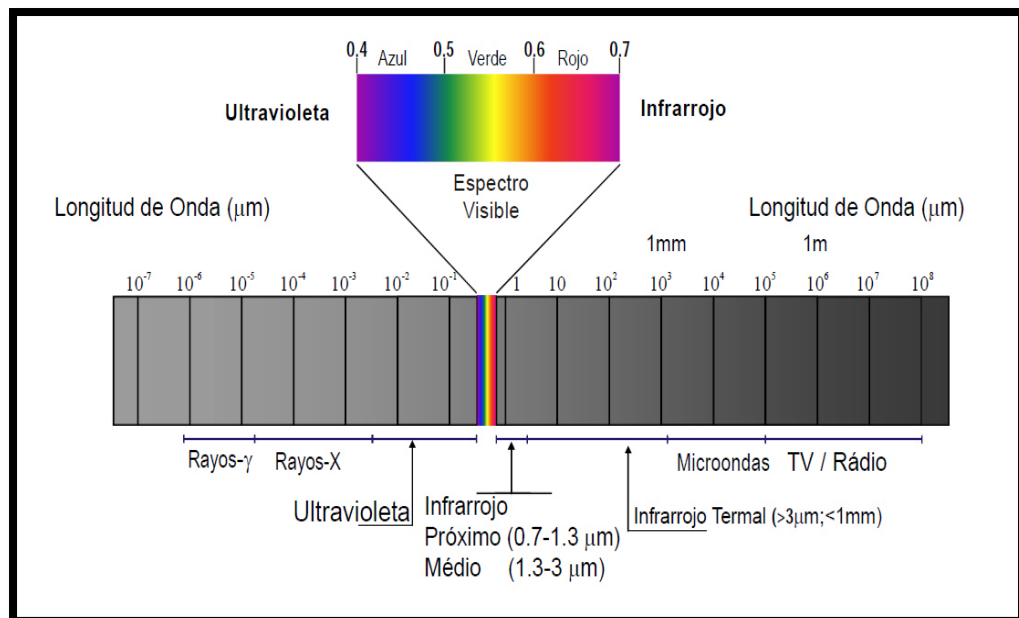
V=Frecuencia de la luz ciclos por segundo o en hercios (Hz)

$\lambda$ (lambda)=Longitud de onda de la luz en metros. (p.5)



**Figura 10 . Enfoque básico de muestreo.**  
**Fuente: Datos extraídos del artículo de Pérez, D (2007).**

Pérez (2007) explica que “La distribución de radiación electromagnética según la energía es el espectro electromagnético y la longitud de onda, la energía y la frecuencia es la región del espectro. En función de la posición de las ondas electromagnéticas pueden ser caracterizadas por los sensores remotos en micrón ( $1\mu\text{m}=10^{-6}\text{ m}$ ). Donde el rango de longitudes de ondas del espectro electromagnético se extiende desde la radiación cósmica hasta las ondas de radio”. (p,6)



**Figura 11. Radiación electromagnética en el espectro Electromagnético.**  
**Fuente: Datos extraídos del artículo de Pérez, D. (2007).**

Pérez (2007) “La energía ultravioleta se encuentra en la parte visible del espectro. Del otro lado del espectro visible y a continuación del extremo rojo hay tres categorías diferentes de ondas infrarrojas, el infrarrojo cercano (0.7 a 1.3  $\mu\text{m}$ ) el infrarrojo medio (1.3 a 3  $\mu\text{m}$ ) y el infrarrojo termal (más allá de 3  $\mu\text{m}$  y hasta menos de 1mm)”. (p.6)

Pérez (2007) “La región del espectro “visible” es muy pequeña, el ojo humano se extiende solo desde los 0.4 hasta aproximadamente los 0.7  $\mu\text{m}$ , el color “azul” corresponde al rango de 0.4 a 0.5  $\mu\text{m}$ , el verde de 0.5 a 0.6  $\mu\text{m}$  y el rojo de 0.6 a 0.7  $\mu\text{m}$ . En esta región del visible, se produce el máximo de energía solar que llega a la tierra.” (p.6)

Pérez (2007) “Las regiones localizadas entre 1 y 2.5  $\mu\text{m}$  corresponde al infrarrojo próximo de reflexión, y es donde la intensidad de la radiación

solar reflejada es aún dominante. Las radiaciones de estas longitudes de onda se registran por medio de radiómetros. Esta región es de gran interés en la ciencia de la tierra, ya que dentro de ella se originan gran parte de las absorciones que caracterizan el espectro de ciertos minerales y rocas”. (p.6)

Pérez (2007) “Las regiones entre 3 y 5  $\mu\text{m}$  corresponde al infrarrojo medio. Es la región de transición entre la radiación solar(reflexión) y la radiación terrestre(emisión), aunque la emisión es dominante. El poder de reflectividad de la energía solar que llega a la tierra decrece a medida que aumenta la longitud de onda, hasta alcanzar un punto en el que la radiación emitida por la superficie terrestre es dominante. La región entre 4-22  $\mu\text{m}$  corresponde al infrarrojo termal, ya que en ellas localizan el espectro emisor de la superficie terrestre. El máximo de la emisividad espectral se sitúa alrededor de 10  $\mu\text{m}$ , por lo que la ventana más utilizada por los sensores remotos es la de 8-12  $\mu\text{m}$ ”. (p.6)

Pérez (2007) explica “cuando se habla más de la frecuencia y la longitud es porque corresponde a las longitudes de onda más largas, de 1mm a 1m y los cuerpos negros es la materia o los cuerpos que son capaces de absorber y re-emitir toda la energía electromagnética que reciben”. (p.8)

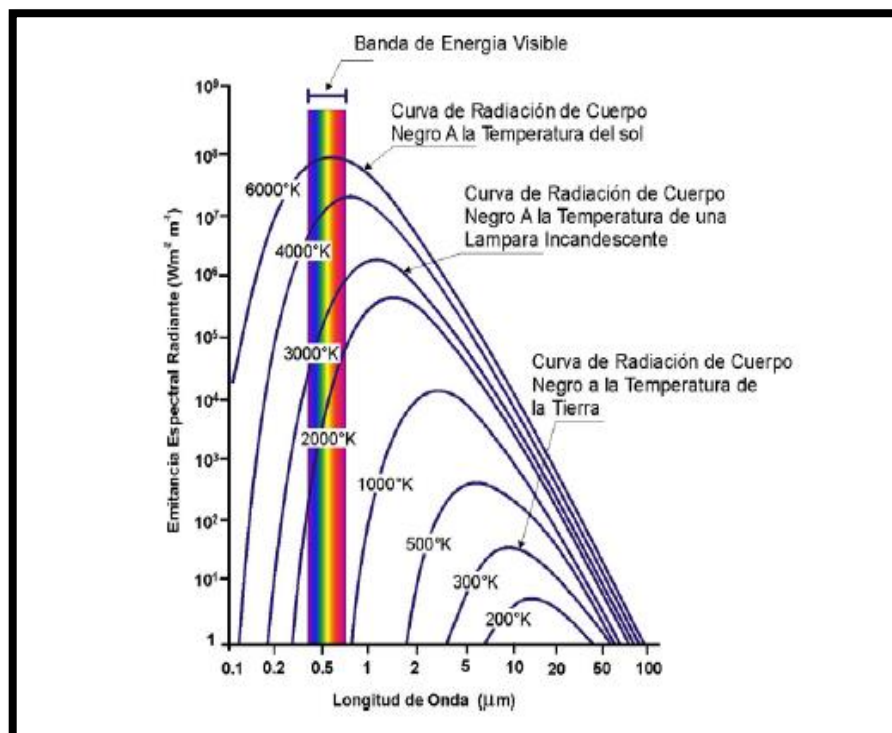
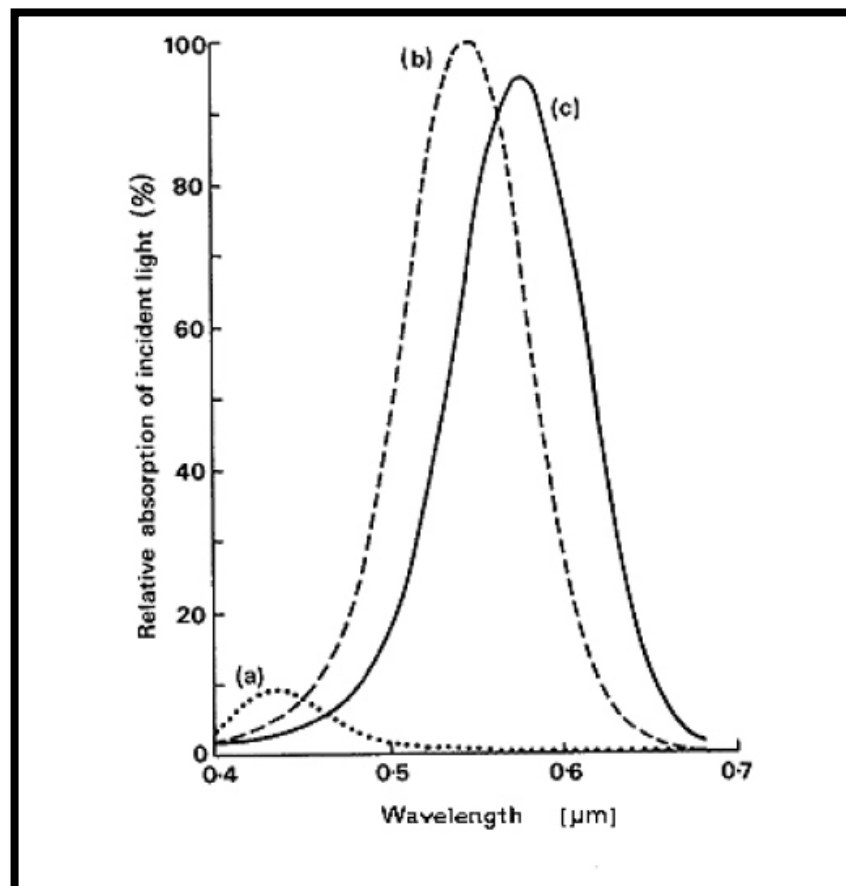


Figura 12 . Frecuencia de la energía radiada desde los Cuerpos Negros a varias temperaturas.

Fuente: Datos extraídos del artículo de Pérez, D. (2007).

### El color

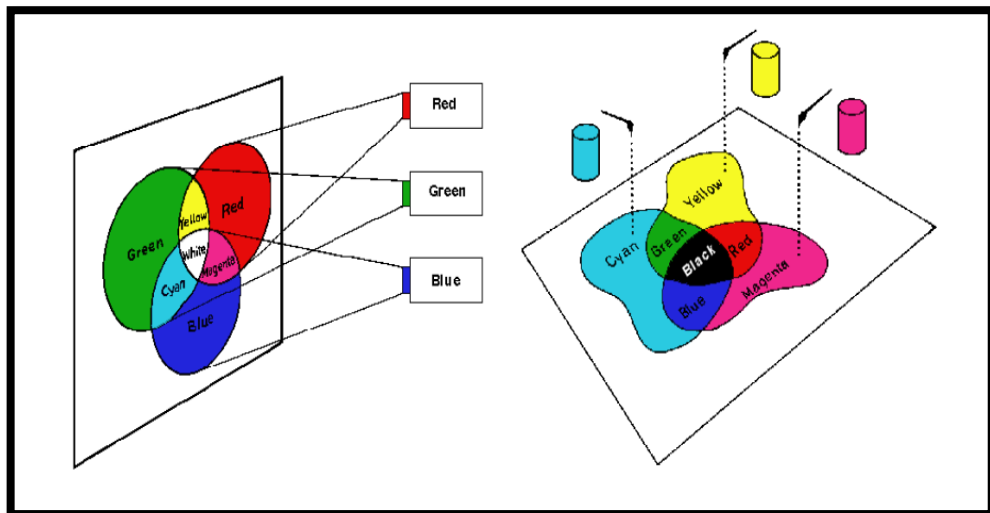
Pérez (2007) “La hipótesis de la teoría básica de los colores. Según Young la retina posee tres células o sensores localizados en los conos de la retina, cada uno de las cuales perciben las longitudes de onda en la región del visible del espectro electromagnético. La percepción del color de un objeto es influenciada por la intensidad de luz del ambiente, su tamaño y proximidad a otros objetos y las sensibilidades peculiares de cada ojo humano. Aunque el ojo tiene una capacidad notable para detectar luz, no es un buen discriminador para percibir brillo”. (p.9)



**Figura 13. Detección del color en sensores de visualización humana: absorción del cono rojo; absorción del cono verde; absorción del cono Azul; Colores aditivos y sustractivos.**

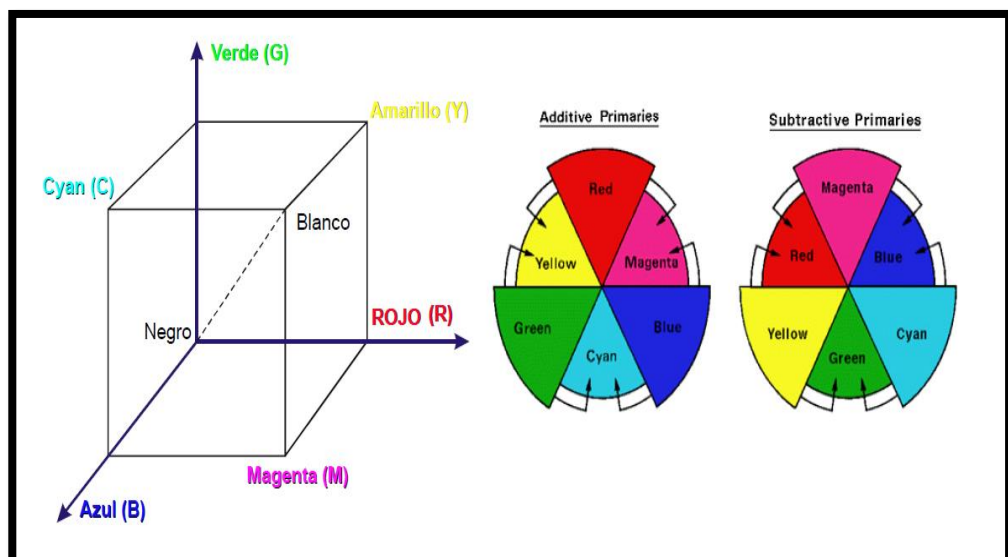
**Fuente: Datos extraídos del artículo de Pérez, D. (2007).**

Pérez (2007) “son tres longitudes de onda, verde, rojo y azul los que forman un sistema de coordenada para describir los colores. Es el sistema quien crea colores secundarios, retirando su color complementario del blanco. Se representa la relación entre colores primarios, colores aditivos y colores sustractivos en la siguiente figura. La mezcla entre los colores rojo y verde produce el color amarillo, cuando se mezcla el color azul y rojo produce magenta, ante la mezcla del color verde y azul produce cyan. La mezcla sustractiva entre los colores magenta y cyan produce azul, cuando se mezcla el amarillo y cyan produce verde, cuando se mezcla el amarillo y magenta produce rojo”. (p.9).



**Figura 14 . Relación entre los colores.**  
**Fuente: Datos extraídos del artículo de Pérez, D. (2007).**

Pérez (2007) “Cuando se utilizan los colores primarios y secundarios, es posible obtener las tonalidades de los colores y representar cuantitativamente cualquier color como un grupo de tres números o coeficientes. Los tres coeficientes definirán la cantidad de color primario necesario para producir cualquier tonalidad”. (p.10)

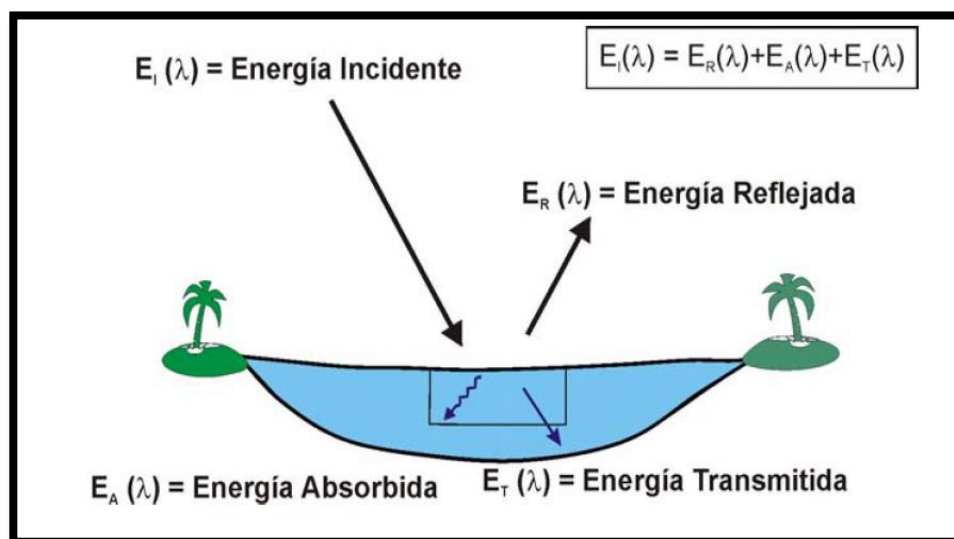


**Figura 15 . Colores primarios con los diferentes tonos de grises en el eje acromático, entre el blanco y el negro; relación entre colores primarios, aditivos y substractivos.**

*Fuente: Datos extraídos del artículo de Pérez, D. (2007).*

### Interacción entre la superficie de la tierra y la energía

Pérez (2007) “Cuando la energía electromagnética incide sobre la superficie de la tierra, puede interactuar de las siguientes tres formas: reflejada, absorbida y/o transmitida. Siendo,  $E_i(\lambda)$  la energía incidente,  $E_R(\lambda)$  la energía reflejada,  $E_A(\lambda)$  la energía absorbida y  $E_T(\lambda)$  la energía transmitida, todas estas componentes están en función de la longitud de onda. Así mismo la proporción de energía que se refleja, absorbe y transmite varía para los diferentes materiales de la zona, dependiendo del tipo de material y de la condición. Estas diferencias permiten reconocer distintos elementos en una imagen”. (p.16)



**Figura 16. Interacción entre la energía electromagnética y la superficie terrestre.**

*Fuente: Datos extraídos del artículo de Pérez, D. (2007).*

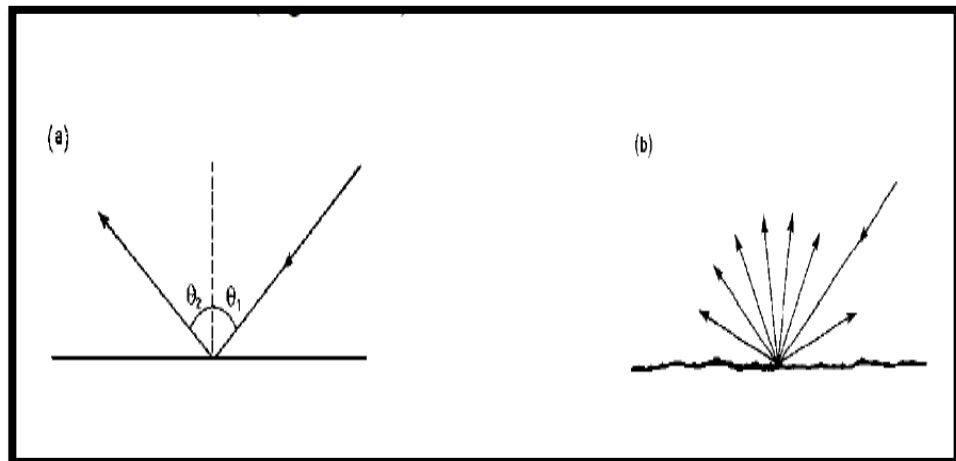
Pérez (2007) “Así dentro de la porción del espectro visible, las variaciones con la longitud de onda dan por resultado el color. En este sentido cualquier objeto emite y refleja una radiación electromagnética en respuesta a su interacción con las fuentes propias y externas. Por lo tanto, cada objeto posee una respuesta, “**firma o signatura espectral**”, que es propia de cada material y dependerá de su energía reflejada o emitida. Cada firma dependerá de su estructura molecular, atómica, del tipo de superficie y de su temperatura. El sistema proporciona una distribución discreta de minerales para exploración en los sectores de minería. Es una solución para la caracterización del suelo en piezas grandes y remotas, a menudo e inaccesibles. Los resultados serán con una alta precisión espacial y espectral”. (p.16)

### Reflexión

Pérez (2007) "Es el proceso en el que una porción de radiación incidente sobre una superficie gira hacia atrás. La reflexión puede ser de dos formas". (p.16)

a) Especular: ocurre en superficies planas y donde los ángulos de incidencia y reflexión son iguales. (p.16)

b) Difusa: se da en superficie áspera que refleja uniformemente en todas las direcciones. (p.16)



**Figura 17. a) Reflexión especular; b) Reflexión difusa.**  
**Fuente: Datos extraídos del artículo de Pérez, D. (2007).**

Es importante poder medir el color de la superficie reflejada ya que las reflexiones difusas contienen la información espectral. Estas reflexiones se pueden cuantificar cuando se mide la energía que incide y que se refleja en función de la onda, denominado espectro de la reflexión.

La información de las características espectrales de los cuerpos durante las diferentes regiones del espectro electromagnético es importante para el momento en que se hace la selección de las bandas espectrales para reconocer el material por medio de los registros de sensores.

Cociente entre la radiancia incidente y la reflejada por el cuerpo es la reflectancia este concepto se puede representar de la siguiente formula.

$$\rho_{\lambda} = \frac{L_{p\lambda}}{L_o \lambda}$$

### Reflejo de energía de los materiales

La mayor parte de la superficie terrestre está cubierta por suelos, piedras, agua y plantas, en la siguiente figura se muestra el reflejo de la energía en el espectro visible e infrarrojo de las plantas, agua y suelo (p.17)

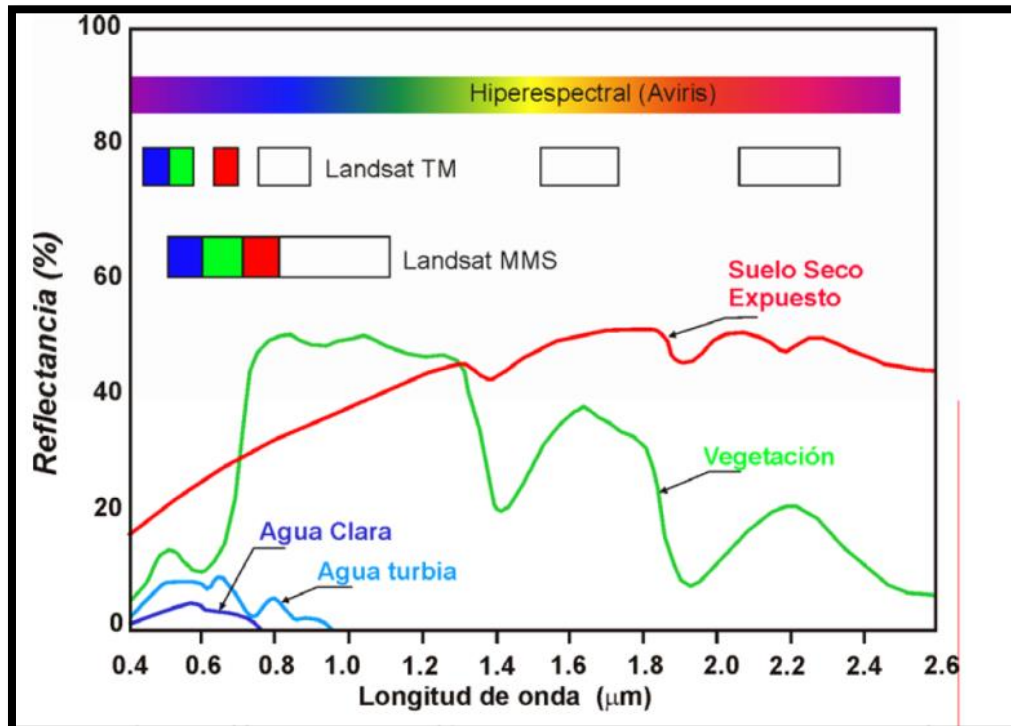


Figura 18. Curvas espectrales características de diferentes materiales.  
Fuente: Datos extraídos del artículo de Pérez, D. (2007).

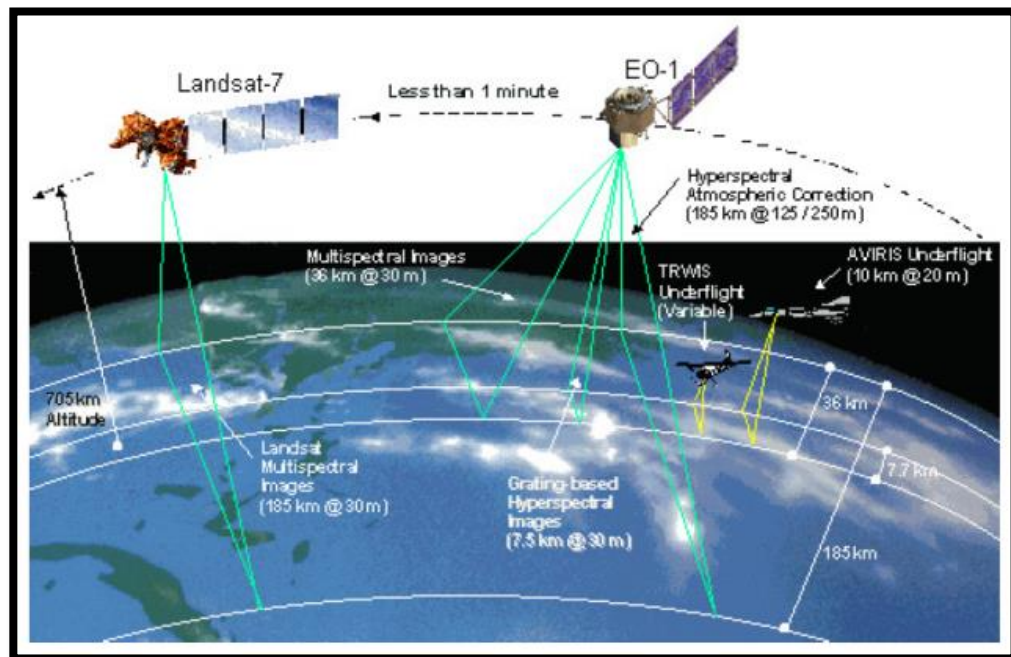


Figura 19. Diferentes sensores y sus resoluciones.  
Fuente: Datos extraídos del artículo de Pérez, D. (2007).

### 2.3.42. Sistema Landsat7 Enhanced Thematic Mapper-Plus (ETM+)

El sistema es nuevo de la serie Landsat 7. Posee sensor, RTM+ (Sensor de Mapa Temático Reforzado)



**Cuadro N° 3. Características radiométricas de los sensores Enhanced thematic mapper-plus**

Banda	Faja espectral (μm)	Región del Espectro Electromagnético	Descripción de aplicaciones generales
1	0.45-0.52	Azul visible	Mapeo de aguas costeras, diferenciación entre suelo y vegetación
2	0.52-0.60	Verde visible	Mapeo de vegetación, calidad de agua
3	0,63-0,90	Rojo visible	Absorción de clorofila, diferenciación de especies vegetales, áreas urbanas, uso de suelo, agricultura, calidad de agua
4	0,76-0,90	Infrarrojo cercano	Delineamiento de cuerpos de agua, mapeo geomorfológico, mapeo geológico, áreas incendiadas, áreas húmedas, agricultura vegetación
5	1,55-1,75	Infrarrojo corto	Uso del suelo, medidas de humedad de vegetación, diferenciación entre nubes y nieve, agricultura y vegetación
6	10,40-12,50	Infrarrojo termal	Mapeo de estrés térmico en plantas, corrientes marinas, propiedades termales del suelo, otros mapeos térmicos
7	2,08-2,35	Infrarrojo medio	Identificación de minerales, mapeo hidrotermal
8	0,52-0,90	Pancromática Verde y rojo; Infrarrojo cercano	Mapeo de grandes áreas; estudios de cambios urbanos

**Fuente: Datos tomados de Pérez D. (2007).**

Los datos se integran en una base de datos geoespacial para ofrecer una visualización altamente caracterizada de la superficie y el área debajo de la superficie de interés.

El Reproductor de imágenes utiliza canales de longitud de onda que puede grabar, incluso las más sutiles variaciones en la superficie que refleja la energía solar, permitiendo la identificación inequívoca del objetivo observado. Cada píxel espacial de la imagen resultante contiene la respuesta espectral de este objetivo a través de cientos de longitudes de onda de la luz.

### 2.3.43. Flujo de procesos de la propuesta

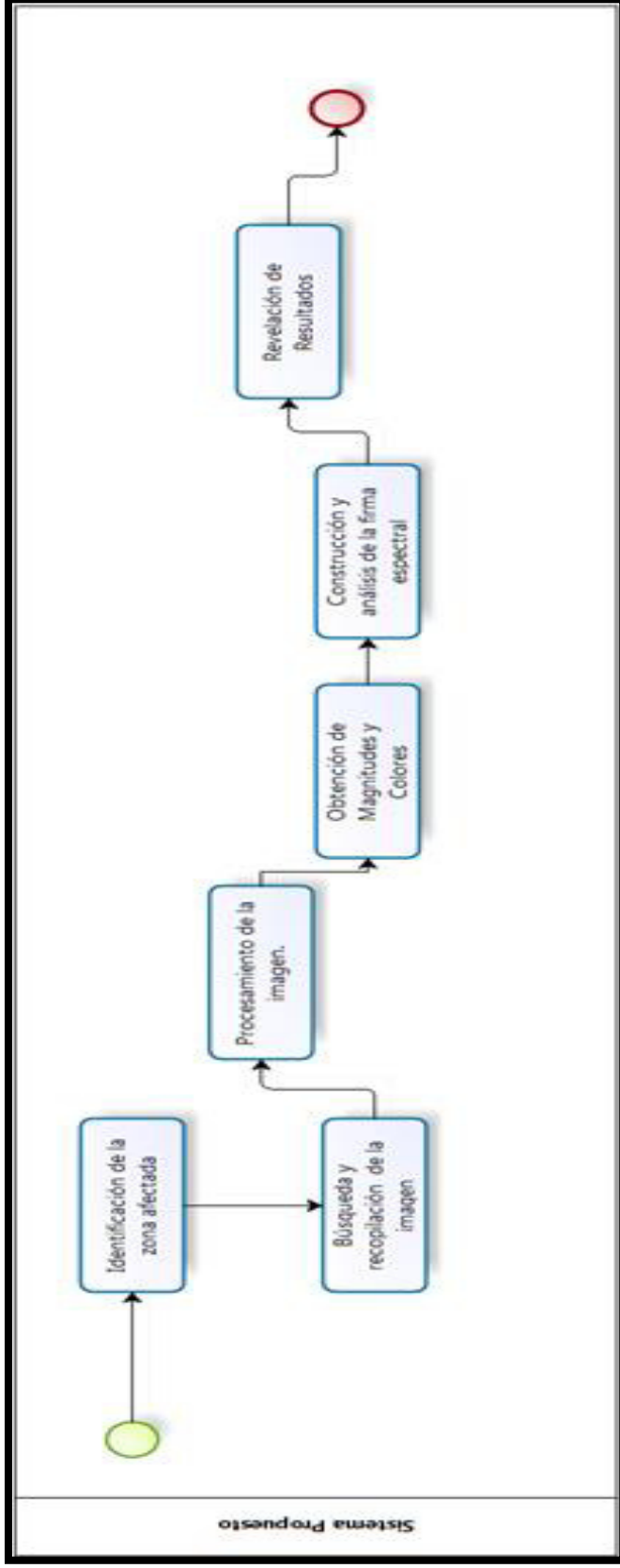


Figura 20. Flujo de procesos de la propuesta.  
Fuente: Datos extraídos del artículo de Pérez, D. (2007).

La explicación procedimental de los 2 primeros procesos es similar al método utilizado actualmente en nuestro país.

Para la investigación se decide seleccionar el muestreo selectivo y el sistemático, ya que se debe escoger el sitio para el muestreo teniendo como base la visibilidad del área donde se incluyan factores como el color del suelo, derrames de químicos, zonas que no tienen cobertura vegetal o vegetación que no tiene vida.

Una vez seleccionado el lugar se prosigue a ubicar los puntos (zonas) que se encuentran a distancias comunes entre sí, a fin de cubrir la zona afectada.

#### **a) Identificación de la zona afectada**

Identificación de la zona afectada por posible contaminación
---

Uno de los objetivos de la presente investigación es la identificación de la zona afectada. Se ubica la zona donde se considere que hay contaminación por el color del suelo, derrames de químicos, sitios sin vegetación o muerta. Luego se derivarán resultados para determinar la caracterización del suelo. Se puede usar Google Earth para ubicar cuatro puntos referenciales de la zona según longitud y latitud que representa las coordenadas del terreno.



**Figura 21. Imagen de la mina de Tintaya según las coordenadas.  
Fuente: Elaboración propia.**

## b) Recopilación de la imagen

Búsqueda y recopilación de la imagen

Existe una posición determinada del terreno de acuerdo a las coordenadas de longitud y latitud. Se ubica la imagen en la base de datos de Landsat. La imagen que se ubica y recopila es aquella que ha sido registrado por los sensores y tiene información sobre la energía reflejada por los objetos presentes en el terreno.

$$E_i(\lambda) = E_R(\lambda) + E_A(\lambda) + E_T(\lambda)$$

$E_i(\lambda)$ : energía incidente

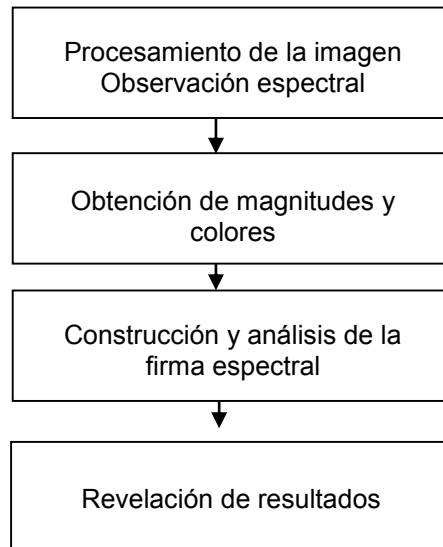
$E_R(\lambda)$ : energía reflejada

$E_A(\lambda)$ : energía absorbida

$E_T(\lambda)$ : energía transmitida

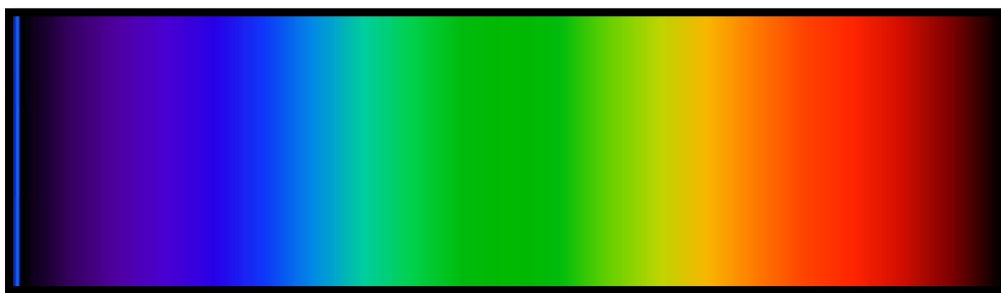
Pérez (2007) “La energía incidente, transmitida, absorbida y reflejada están en función de la longitud de onda, por medio de la formula”. (p.16).

### c) Procesamiento de la imagen: Observación espectral



Pérez, D. (2007) Para medir la radiación reflejada por la superficie se cuantifica la cantidad de energía que procede el lugar que depende del brillo, reflectancia, ángulo de observación. En la imagen hiperespectral, el pixel consta de un conjunto de valores. Estos valores son vectores de N-dimensiones, siendo N el número de bandas espectrales en que el sensor mide información. El resultado de la toma de datos, que son vectores N-dimensionales, se representa en forma de cubo de datos, con dos dimensiones para representar la ubicación espacial de un pixel en diferentes longitudes de onda.

Para la adquisición de los datos se procesa la imagen y se identifica y extrae información de interés. Aquí los sensores caracterizan las ondas electromagnéticas en función de su ubicación, presente en el espectro electromagnético. En este lugar por la luz visible de una simple longitud de onda se produce los colores del espectro puro o monocromático mostrado en la siguiente figura (p.6)

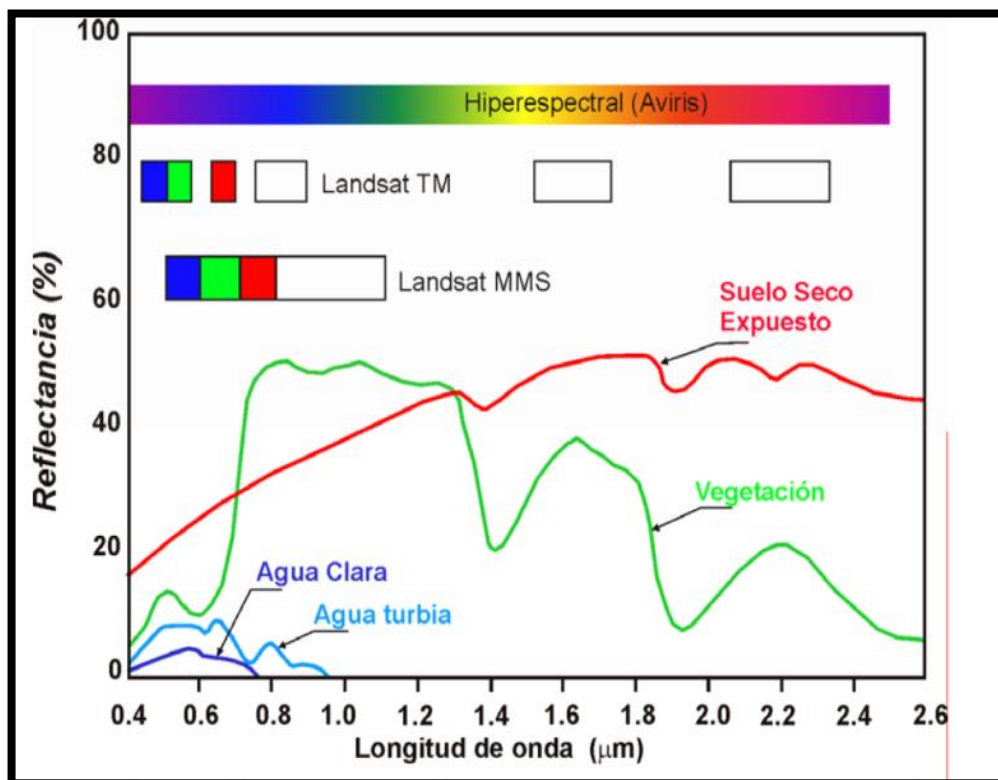


**Figura 22. Colores del espectro.**  
*Fuente: Datos extraídos del artículo de Pérez, D. (2007).*

#### **d) Obtención de magnitudes y colores**

Obtención de magnitudes  
y colores

Una vez visualizado la imagen, que ha sido georreferenciado, usando las coordenadas correspondientes al lugar en estudio, se activa la capa vectorial para hacer las combinaciones de bandas que considere adecuada, se identifican los puntos de control del terreno con las combinaciones de las bandas. En la siguiente figura se muestran como reflejan la energía en el espectro visible e infrarrojo, los tres materiales que cubre la superficie terrestre: suelo, vegetación y agua. Logrando establecer la longitud de onda.



**Figura 23. Curvas espectrales características de diferentes materiales.**  
*Fuente: Datos extraídos del artículo de Perez, D. (2007).*

### e) Construcción y análisis de la firma espectral

Construcción y análisis de  
la firma espectral

Se hace las combinaciones desde la uno hasta la octava banda del mapeo telemático que permite estudiar los rangos del espectro desde lo visible hasta el infrarrojo lejano. Las combinaciones se realizan según la región del espectro y para el análisis de resultados se toma en cuenta las características de las bandas que se comentan a continuación:

**Tabla N°1. Detalle de las bandas espectrales**

Banda	Faja espectral ( $\mu\text{m}$ )	Región del Espectro Electromagnético	Detalles de aplicaciones generales
1	0,45-0,52	Azul visible	Mapeo de aguas costeras, diferenciación entre suelo y vegetación
2	0,52-0, 0	Verde visible	Mapeo de vegetación, calidad de agua
3	0,63-0,90	Rojo visible	Absorción de clorofila, diferenciación de especies vegetales, áreas urbanas, uso de suelo, agricultura, calidad de agua
4	0,76-0,90	Infrarrojo cercano	Delineamiento de cuerpos de agua, mapeo geomorfológico, mapeo geológico, áreas incendiadas, áreas húmedas, agricultura vegetación
5	1,55-1,75	Infrarrojo corto	Uso del suelo, medidas de humedad de vegetación, diferenciación entre nubes y nieve, agricultura y vegetación
6	10,40-12,50	Infrarrojo termal	Mapeo de estrés térmico en plantas, corrientes marinas, propiedades termales del suelo, otros mapeos térmicos
7	2,08-2,35	Infrarrojo medio	Identificación de minerales, mapeo hidrotermal
8	0,52-0,90	Pancromática Verde y rojo; Infrarrojo cercano	Mapeo de grandes áreas; estudios de cambios urbanos

**Figura 245. Perez, D. (2007).**

Pérez (2007), se seleccionan todas las bandas que contienen información espectral y se apilan en forma ascendente, posteriormente se visualizan todas las bandas disponibles. Se aplican las combinaciones de bandas que considere adecuados y se describe el resultado. Los niveles de reflectancia de cada banda generan una proporción de saturación de color rojo, verde y azul. Dentro de la formación de un color, estas bandas dan respuesta a la luz que ha penetrado más profundamente y sirven para interpretar la imagen distinguiendo las características del suelo de acuerdo a las combinaciones de bandas realizadas.



**Tabla N°2. Constitución de las combinaciones de bandas.**

Combinaciones con las bandas del sensor	Nombre	Constitución
(3,2,1)	Color natural	Combinación más próxima a la percepción de la tierra con nuestros ojos desde el espacio.
(4,3,2)	Falso color infrarrojo	Los colores resultantes son parecidos al de una foto por la inclusión del color rojo en la combinación de bandas.
(4,5,3)	Falso color Infrarrojo cercano	Al asignar el color rojo a la banda 4 se puede diferenciar el suelo de la vegetación.
(7,4,2)	Falso color infrarrojo medio	Mapea cosechas recientes, caminos.

**Figura 255. Perez, D. (2007).****f) Revelación de resultados**

Revelación de resultados
--------------------------

Las bandas aportan reflexión y absorción de energía, como resultado se observan colores presentes en la imagen que puede ser azul oscuro, azul claro, verde, rojo magenta, marrón, marrón tostado, amarillento y plateado. Se interpreta los colores de lo observado según lista de indicaciones (Oleire, S. Marzloff, I. Klaus, D y Ries, J, 2012).

- a) Aguas profundas está indicado por el azul oscuro
- b) Aguas de media profundidad está indicado por el azul claro
- c) Las tonalidades verdes y rojo magenta indican vegetación
- d) Los tonos marrones y tostado indica el suelo
- e) El tono amarillento y plateado indica suelo desnudo y la roca

## CAPITULO 3: METODOLOGÍA

### 3.1. Identificación de variables

**Cuadro N° 4. Variables.**

Variables	Operacionalización de variables	
	Dimensiones	Indicadores
<b>Variable Independiente</b> Xa: Procesamiento de imagen satelital	Procesamiento de imágenes	- Caracterización de suelos contaminados provocado por la explotación minera
<b>Variable Dependiente</b> Y1: identificación de la zona afectada	zona afectada	Latitud y longitud de la zona afectada Latitud 14° 52' 56" Longitud: 71° 19' 01"
Y2: Recopilación de imágenes que representen partes del sitio donde se espera que haya contaminación	<b>Imagen</b>	- <b>08 bandas en una imagen satelital.</b>
Y3: Evaluación de tonalidad de colores	zona afectada	Definición del significado de los colores de los puntos de referenciación
Y4: Análisis de la firma espectral	Firma espectral	- Longitud de onda de las firmas espectrales de los puntos A,B,C y D

**Fuente: Elaboración propia.**

### 3.2. Operacionalización de variables

**Cuadro N° 5. Operacionalización de variables.**

Objetivos específicos	Variables	Operacionalización de variables	
		Dimensiones	Indicadores
O1: Identificar la zona afectada por la minería en el Perú a través del procesamiento de imágenes.	<b>Variable Dependiente</b> Y1: identificación de la zona afectada	zona afectada	Latitud y longitud de la zona afectada Latitud 14° 52' 56" Longitud: 71° 19' 01"
O2: Recopilar imágenes de la zona afectada por la minería en el Perú a través del procesamiento de imágenes.	Y2: Recopilación de imágenes que representen partes del sitio donde se espera que haya contaminación	Imagen Zona afectada	08 bandas en una Imagen satelital.
O3: Evaluar partes de la zona afectada por la minería en el Perú a través del procesamiento de imágenes.	Y3: Evaluar partes de la zona afectada		Rango de los colores de los puntos de referenciación
O4: Analizar la firma espectral que representen partes de la zona afectada por la minería en el Perú a través del procesamiento de imágenes.	Y4: Análisis de la firma espectral	Firma espectral	Longitud de onda de las firmas espectrales de los puntos A,B,C y D

**Fuente: Elaboración propia.**

### 3.3. Matriz de consistencia

Se ha elaborado la matriz ver Anexo 9. 3.

### **3.4. Tipo y diseño de la investigación**

#### ***3.4.1. Tipo de investigación***

Sampieri (2016) define a la investigación no experimental como estudios que se realizan sin la manipulación deliberada de variables y en los que solo se observan los fenómenos en su ambiente natural para después analizarlos. (p.149). Así mismo menciona que la investigación no experimental también se conoce como investigación ex pos-facto (los hechos y variables ya ocurrieron. (p.165).

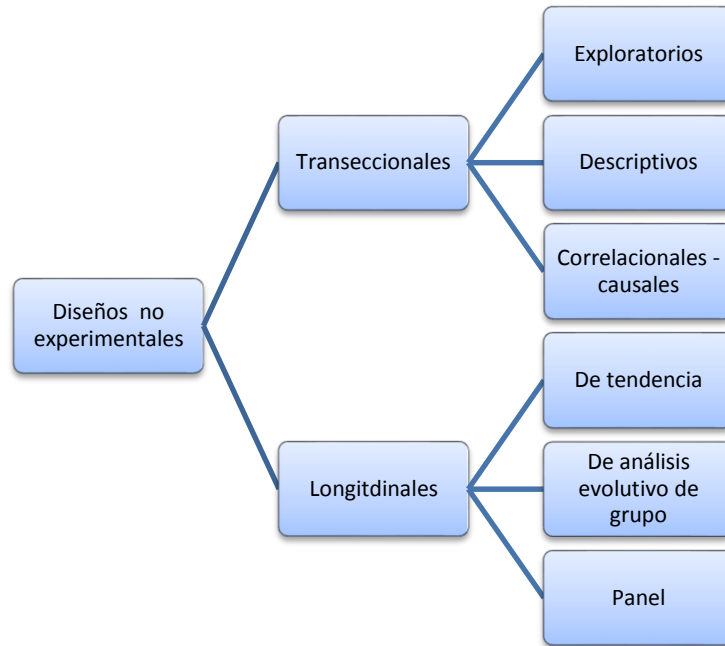
Este tipo de investigación permite estar más cerca de las variables hipotéticamente como reales y en consecuencia se tiene mayor validez externa (posibilidad de generalizar los resultados a otros individuos y situaciones comunes) (p.162)

Por la naturaleza de la investigación, esta investigación es del tipo no experimental, porque no se genera ninguna situación, sino que se observan situaciones ya existentes, no provocado intencionalmente en la investigación por quien la realiza.

#### ***3.4.2. Diseño de la investigación***

Los diseños no experimentales se clasifican en Transeccionales y Longitudinales, tal como se muestra en la siguiente imagen, como se muestra en la figura 26 el diseño transeccional se clasifica en Exploratorios, descriptivos y correlacionales-causales.

Sampieri (2016) explica que los diseños descriptivos “busca especificar características, procesos, comunidades, cosas o cualquier otro fenómeno que pueda ser analizado” (p.80).



**Figura 26 . División de los Diseños Transeccionales.**  
**Fuente: Datos extraídos de Sampieri (2016. P.152).**

### 3.5. Unidad de análisis

**Sampieri (2016)**, para seleccionar una muestra, lo primero que hay que hacer es definir la unidad de análisis (individuo, organizaciones, periódicos, comunidades, situaciones, eventos, etc.). Una vez definida la unidad de análisis se delimita la población. (p.41)

La unidad de análisis de la investigación son los suelos afectados a cielo abierto por la minería Tintaya en la Provincia de Espinar.

Que impacta sobre el paisaje generando suelos con limitaciones físicas, químicas y biológicas para la vegetación y riesgo a la salud.

### 3.6. Población de estudio

Para la presente investigaciones ha considerado cuatro puntos contaminados (son zonas) por la Minera Tintaya, ubicado en la Provincia de Espinar:

**Cuadro N° 6. Coordenadas de la mina de Tintaya-Cuzco.**

Puntos geográficos	Latitud	Longitud
Punto 1	14°52'54.61"S	71°15'48.55"O
Punto 2	14°57'45.11"S	71°19'59.39"O
Punto 3	14°47'51.34"S	71°22'10.85"O
Punto 4	14°52'41.94"S	71°25'39.27"O

**Fuente: Elaboración propia.**

Se ha seleccionado la unidad de la mina Tintaya ubicado en el Distrito de Espinar, I Cuzco, porque se tiene datos de contaminación, según informe técnico presentado por la Municipalidad de Espinar.

**Cuadro N° 7. Descripción de la unidad de análisis**

Región	provincia	distrito	Unidad de análisis	Empresa Mineras
Cuzco	Espinar	Espinar (Yauri)	Tintaya	Billiton Tintaya, S.A. Xstrata Tintaya

**Fuente: Elaboración propia.**

### **3.7. Tamaño de la muestra**

#### **3.7.1. Muestra**

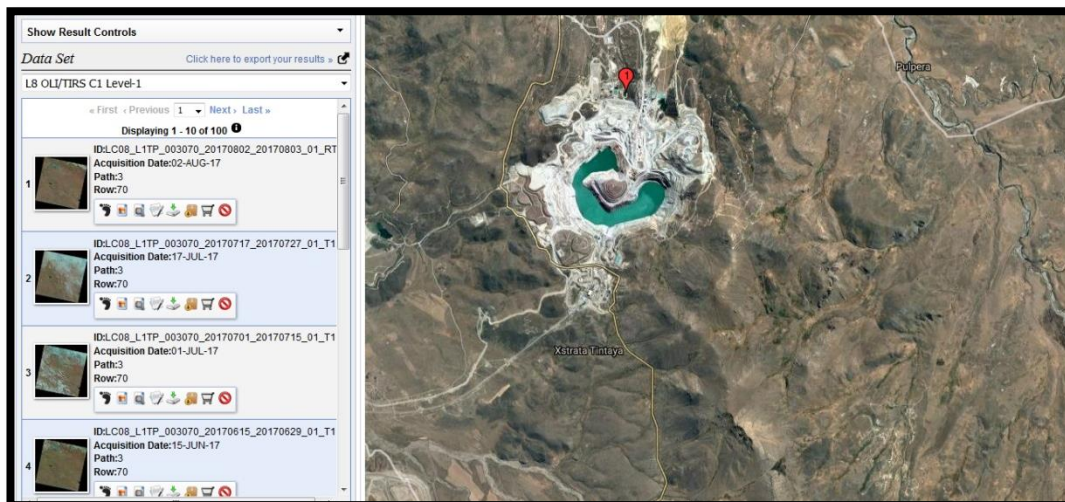
Sampieri (2016) afirma: “La muestra “como subgrupo de la población del cual se recolectan los datos y debe ser representativo de esta. La elección de los elementos no depende de la probabilidad, sino de causas relacionadas con las características de la investigación o de quien hace la muestra“. (p. 176).

Para la naturaleza se selecciona los 04 puntos geográficos según latitud y longitud de la Provincia de Espinar- Cuzco.

### **3.8. Selección de la muestra**

Por la naturaleza se ha considerado las muestras no probabilísticas ya que la elección de los elementos no depende de la probabilidad, sino de causas relacionadas con las características de la investigación. También se denomina muestras dirigidas. (p.189).

Se ha seleccionado la zona de la Mina de Tintaya, ubicado en la provincia de Espinar perteneciente al Cuzco, porque se tiene datos de contaminación, según informe técnico presentado por la Municipalidad de Espinar.



**Figura 27. Zona de Estudio.**  
**Fuente: Elaboración propia.**

### 3.9. Técnicas de recolección de datos

Sampieri (2016) afirma: “La recolección de datos ocurre en los ambientes naturales y cotidianos de los participantes o unidades de análisis” (p.409).

#### Revisión de documentos

Sampieri (2016), afirma: “Revisión de documentos, registros públicos y archivos físicos o electrónicos” (p.261).

Para el estudio se cuenta con el Informe Final Integrado de Monitoreo Sanitario Ambiental Participativo de la Provincia de Espinar.

El autor: Municipalidad de Espinar, Mesa de Dialogo Espinar, Sub-Grupo de Medio Ambiente.

Se contó con la participación del Ministerio del Ambiente.

**08 bandas en 01 imagen:** que ha sido captada por los sensores digitales del satélite Landsat.



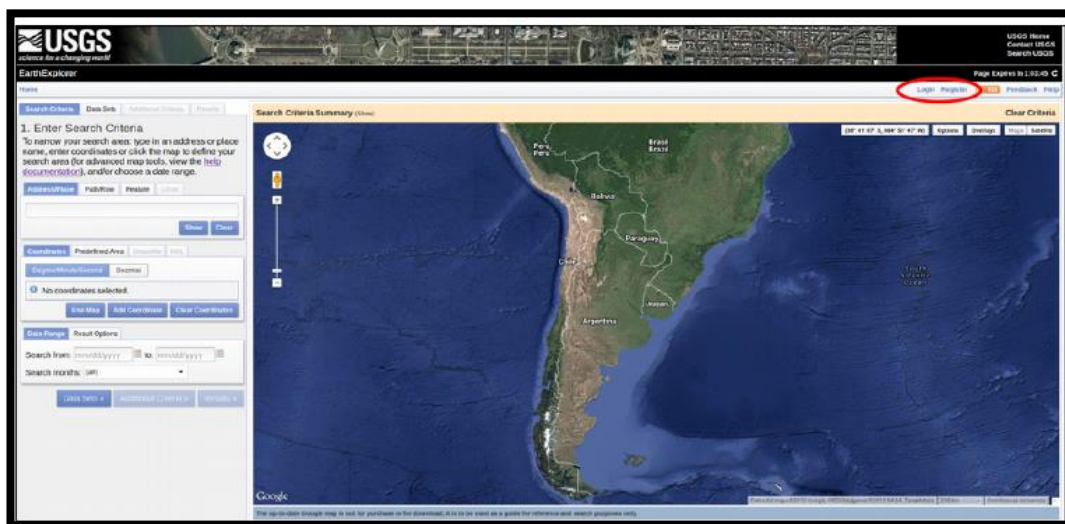
## CAPITULO 4: RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1. Análisis, interpretación y discusión de los resultados

Actualmente en el espacio hay satélites asignados para registrar imágenes específicas. Así como también existen muchas imágenes benéficas para un usuario que quiera tener información necesaria para un proyecto.

Las presentes imágenes no es una fotografía, es una imagen captada por sensores digitales del satélite Landsat.

Para poder obtener la imagen, se realiza la búsqueda en el repositorio de imágenes del satélite LANDSAT.



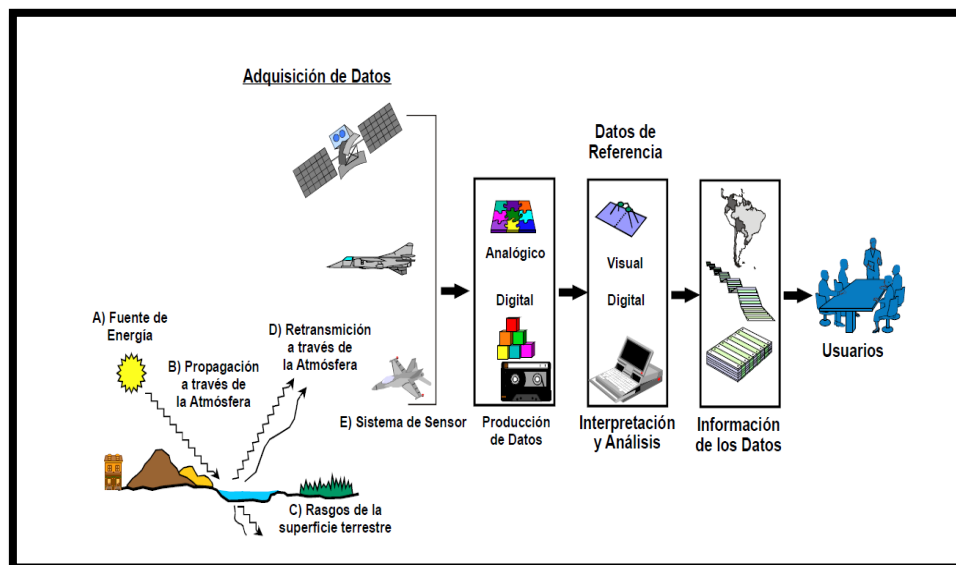
**Figura 28. Imágenes del satélite LANDSAT.**

Esta imagen, se puede procesar digitalmente, mediante distintos mecanismos aplicados para la identificación, extracción e información importante.

La imagen ha sido captada por sensores que cuentan con miles de detectores diminutos que miden la cantidad de radiación electromagnética, que refleja la superficie de la Tierra y los objetos que hay en ella. Como se puede observar en la siguiente imagen.

#### 4.2. Identificación de la zona afectada

En la siguiente imagen se representa como se identifica la zona afectada a través del método propuesto. Le elección de la zona es un lugar natural en el que se considera que hay contaminación, se infiere por las características del lugar, donde puede haber presencia de algún derrame químico, suelos desnudos o poca vegetación, entre otros.



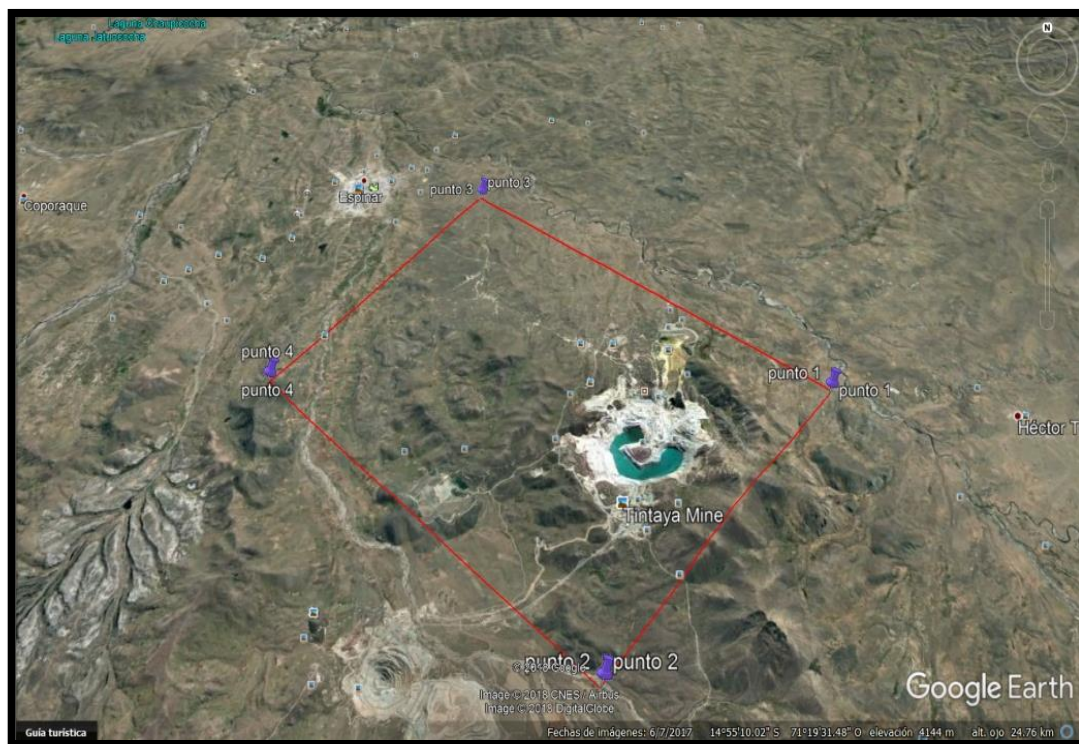
**Figura 29. Sensores remotos electromagnéticos de recursos terrestres.**  
Fuente: Datos extraídos del artículo de Pérez, D. (2007).

Se consideran unas coordenadas para obtener la posición específica de la zona afectada por la mina de Tintaya.

**Cuadro N° 8. Coordenadas de la mina de Tintaya-Cuzco.**

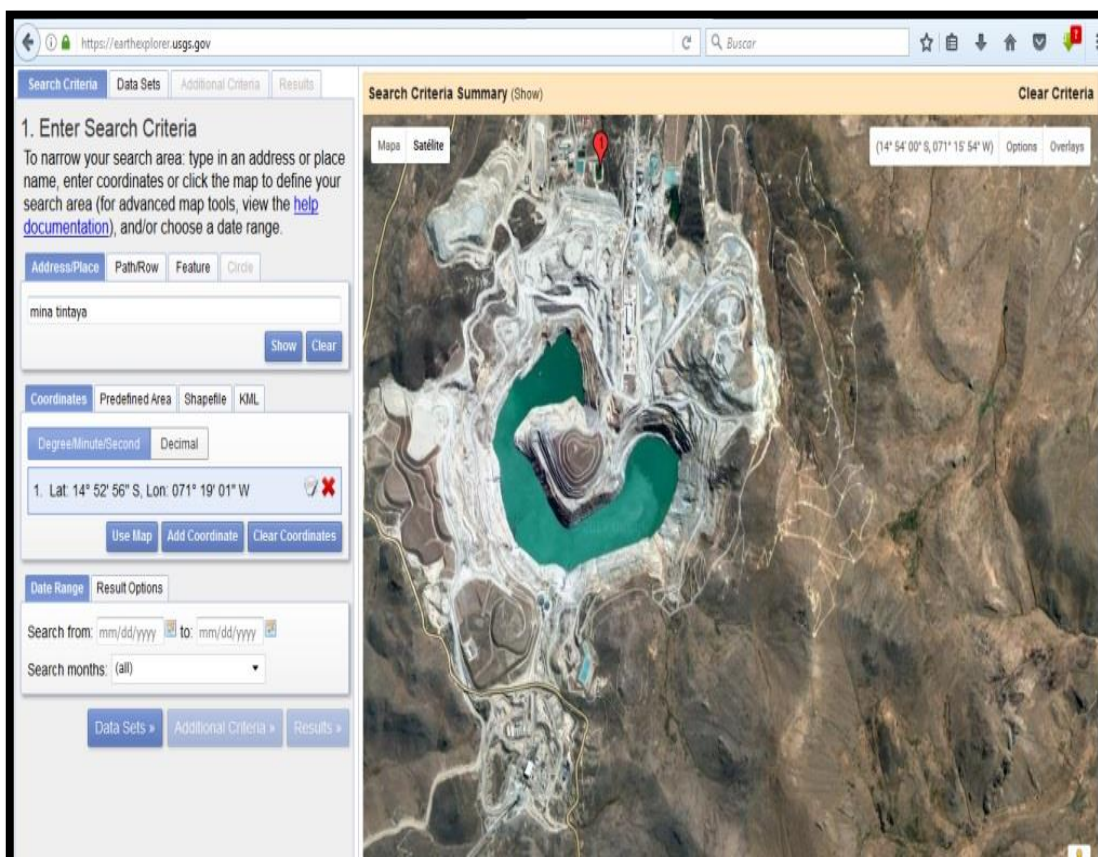
Puntos geográficos	Latitud	Longitud
Punto 1	14°52'54.61"S	71°15'48.55"O
Punto 2	14°57'45.11"S	71°19'59.39"O
Punto 3	14°47'51.34"S	71°22'10.85"O
Punto 4	14°52'41.94"S	71°25'39.27"O

Según las coordenadas de latitud y longitud se ubican los 4 puntos referenciales.



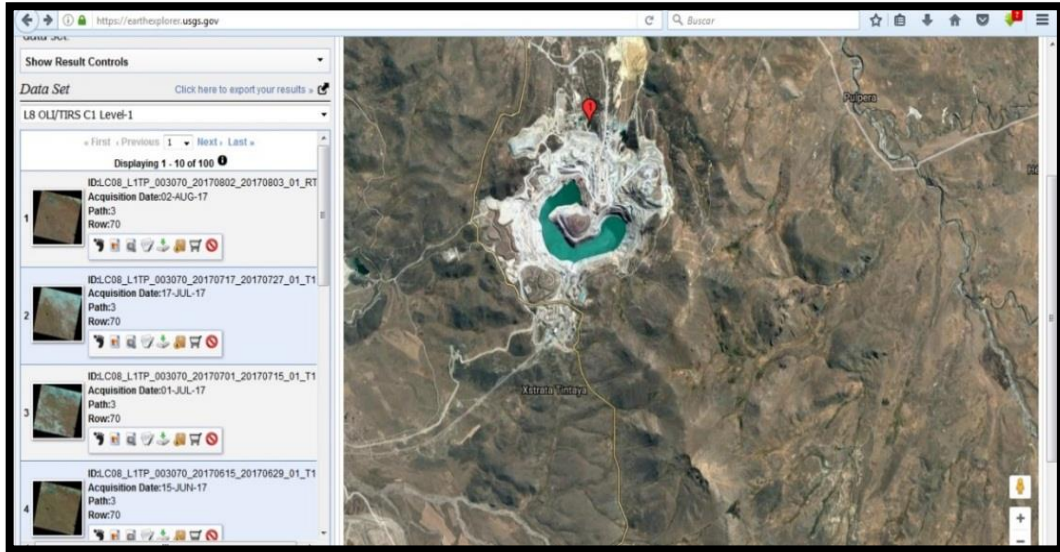
**Figura 30 . Coordenadas de la mina de Tintaya.**  
**Fuente: Elaboración propia.**

Una vez que se obtiene las coordenadas en las opciones de la búsqueda, se ingresó el nombre del lugar que se requiere buscar y si existe imágenes en el repositorio del satélite LANDSAT.



**Figura 31. Búsqueda del lugar de estudio.**  
**Fuente: Elaboración propia.**

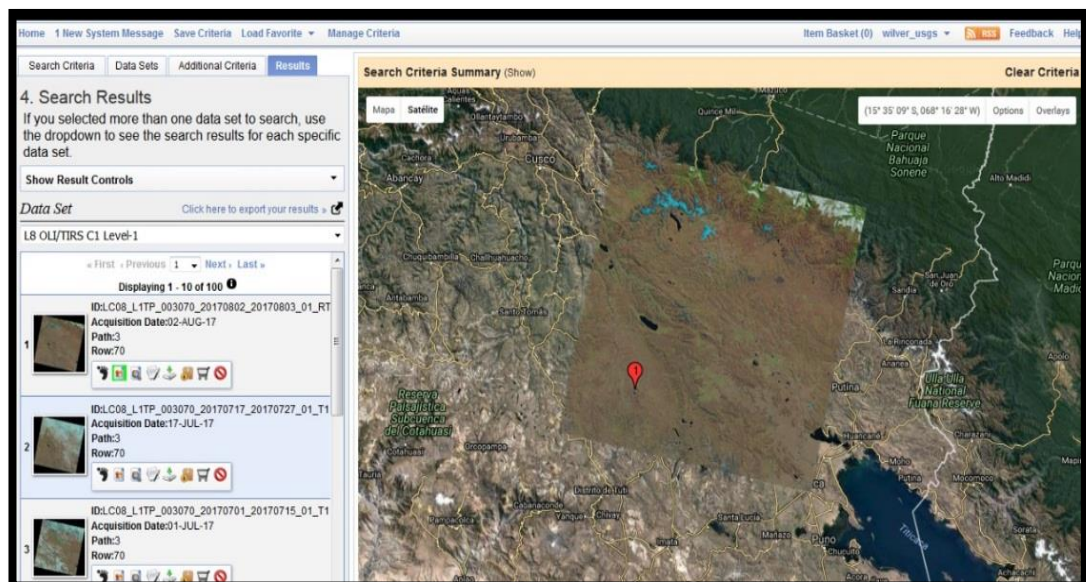
El resultado presenta las imágenes que coinciden con el nombre de la ubicación que se indicó como opción de búsqueda.



**Figura 32. Presentación de las imágenes que coinciden con el nombre de la ubicación.**

**Fuente: Elaboración propia.**

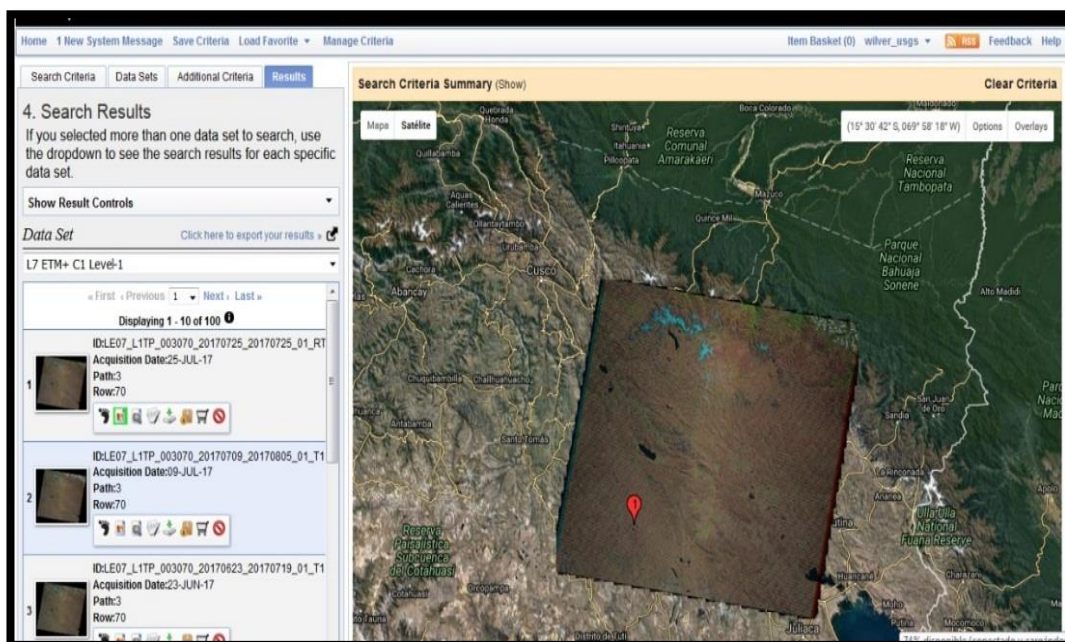
De acuerdo a la aplicación a realizar se escoge la imagen según el área de cobertura.



**Figura 33. Imagen del área de cobertura.**

**Fuente: Elaboración propia.**

Se escogió la imagen a descargar con la opción de todas las bandas, en la imagen se observa la imagen del satélite Landsat 7.



**Figura 34 . Imagen con todas las bandas seleccionada para descargarla.  
Fuente: Elaboración propia.**

### 4.3. Teoría sobre las bandas espectrales de los instrumentos ópticos

En la siguiente imagen se muestra la longitud de onda asociada a cada banda de las misiones satelitales Landsat-5 TM y Landsat -8 OLI.

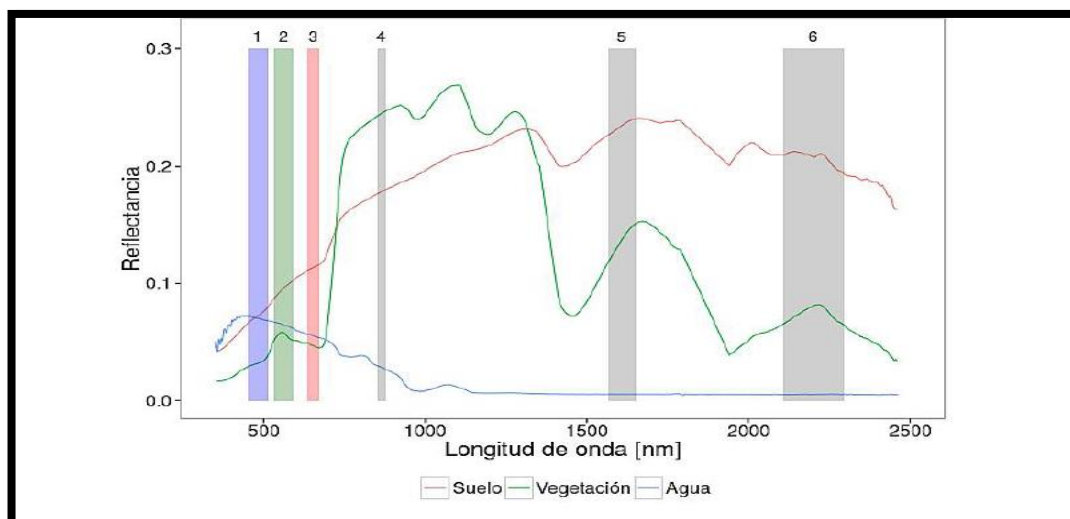
Sin embargo, para simplificar el trabajo práctico, solo se apilaron las bandas más relevantes. El número y orden de las bandas puede variar entre las bandas originales facilitadas por la misión satelital y las utilizadas por el usuario.

Región espectral	LandSat-5 TM (Número de banda* y longitud de onda)	LandSat-8 OLI (Número de banda* y longitud de onda)
Azul	Banda 1 (485 nm)	Banda 1 (480 nm)
Verde	Banda 2 (560 nm)	Banda 2 (560 nm)
Rojo	Banda 3 (660 nm)	Banda 3 (655 nm)
Infrarrojo cercano	Banda 4 (830 nm)	Banda 4 (865 nm)
Infrarrojo de onda corta	Banda 5 (1650 nm)	Banda 5 (1610 nm)
	Banda 6 (2215 nm)	Banda 6 (2200 nm)

**Figura 35. Longitud de Onda asociada a cada banda.**

**Fuente: Comisión nacional de actividades espaciales(2013).**

Como la reflectancia espectral puede medirse para una longitud de onda determinada, por lo tanto, permite definir la respuesta espectral de una cobertura. En la siguiente imagen se puede observar las bandas correspondientes a la misión Landsat 8 OLI.



**Figura 36. Firmas espectrales correspondiente a suelo con baja cobertura de vegetación.**

**Fuente: Comisión Nacional de actividades espaciales (2013).**

Desde la interpretación visual de estas firmas espectrales y de la disponibilidad de las bandas de las misiones satelitales, es posible observar la respuesta espectral de los usos, coberturas y relacionarlas con variables biofísicas.

#### a) Imagen en color natural de Landsat 7

Con la imagen descargada se procede a realizar las combinaciones de las bandas, en la figura se observa la imagen en landsat 7, en combinación en color natural RGB (banda 3, banda 2, banda 1).

**Cuadro N° 9. Características radiométricas de los sensores mapeador temático mejorado**

Banda	Faja espectral( $\mu\text{m}$ )	Región del Espectro Electromagnético	Descripción de característica
1	0,45-0,52	Azul visible	Mapeo de aguas costeras, <b>diferenciación entre suelo y vegetación</b>
2	0,52-0,60	Verde visible	Mapeo de vegetación, calidad de agua
3	0,63-0,90	Rojo visible	Absorción de clorofila, diferenciación de especies vegetales, áreas urbanas, <b>uso de suelo</b> , agricultura, calidad de agua.

*Fuente: Datos tomados de Pérez D. (2007).*

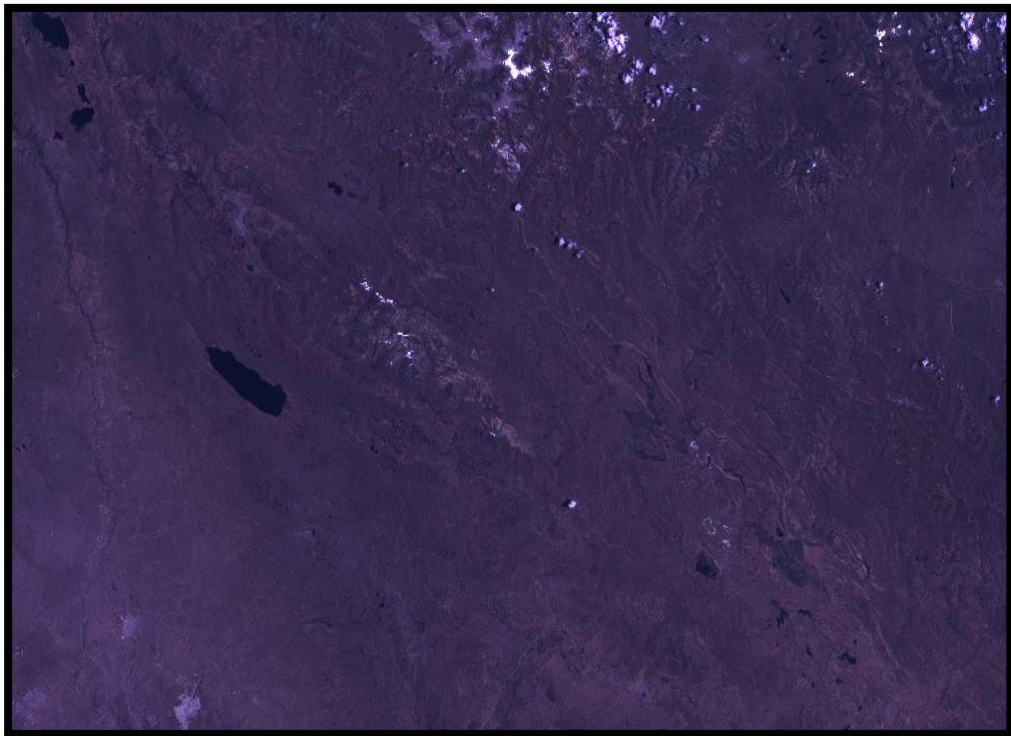
#### ▪ Observación espectral

La presente resolución corresponde al área de estudio para distinguir las características que se necesita identificar.

Se hace esta combinación por ser lo más cercano a lo que se pueda percibir con los ojos desde el espacio. Los materiales expuestos en la superficie como, agua, vegetación y roca, reflejan diferentes proporciones de energía, en el espectro electromagnético, esta información permite cuantificar proporcionalmente la energía reflejada para cada longitud de



onda. La celda más brillante representa mayor radiancia reflejada, las más oscuras menor radiancia y la zona gris es intermedia. Con respecto al color las coberturas terrestres reflejan de manera diferente en el espectro electromagnético, por lo tanto, se puede inferir algunas características biofísicas a partir de la observación visual relacionándolos con el concepto de firma espectral.



**Figura 37. Imagen en lansat 7 , en combinación en color natural RGB (3 2 1).  
Fuente: Elaboración propia.**

Para describir el resultado se considera, las bandas que están visualizadas dando respuesta a la luz que ha sido introducido profundamente, sirviendo para distinguir las características del suelo, donde se define el significado de los siguientes colores. Fernández, I (2001, p. 13).

- a) Aguas profundas está indicado por el azul oscuro
- b) Aguas de media profundidad está indicado por el azul claro
- c) Las tonalidades verdes y rojo magenta indican vegetación

- d) Los tonos marrones y tostado indica el suelo
- e) El tono amarillento y plateado indica suelo desnudo y la roca

La descripción de los resultados está descrita en el siguiente cuadro, donde se escribe el color en correlación con la característica y se está colocando la letra x que significa que no se observa color para esa característica.

Como se puede observar en la imagen tenemos colores plateados, que se puede caracterizar como suelo desnudo sin vegetación.

**Cuadro N° 10. Cuadro comparativo de interpretación visual de usos y coberturas, anotación de que color se observa en la imagen**

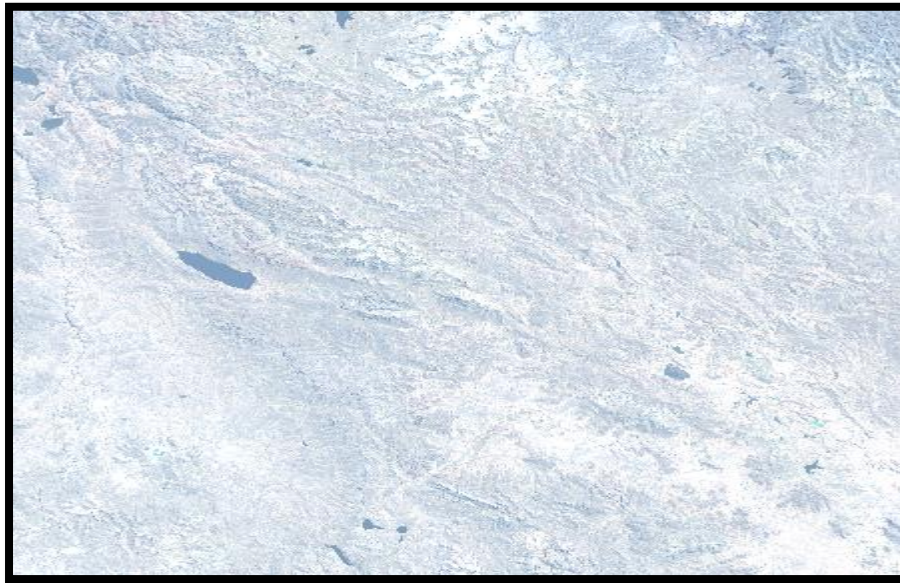
Usos y coberturas								
		Combinación de color. Banda (3 2 1)	Suelo sin cobertura	Masas boscosas y gran variedad de tipos	Alguna variedad en la vegetación, pero solo uno o dos tipos	Poca o ninguna variedad o contraste en la vegetación	Bosque implantado	Cultivo con cobertura
Combinación	Color natural	R-G-B	Plateado o marrón tostado	Verde	Rosa	Blanco	Verde	Rojo magenta
				x	x	x	x	x

**Fuente: Elaboración propia.**

En el cuadro N° 11 se está colocando los colores que se observan en la imagen en color natural RGB, como se observa el color plateado y según Fernández I, este color representa suelos desnudos es decir sin cobertura vegetal y las x significa la no presencia de los colores que corresponde a esas características.

### **b) Imagen en color natural de Landsat 8**

En la siguiente imagen se muestra en combinación de bandas en color natural. Es una combinación lo más próxima al color real de las coberturas ante la visión de los humanos.



**Figura 38 . Imagen en landsat 8 combinaciones de bandas en color natural.  
Fuente: Elaboración propia.**

Como se puede observar en la imagen tenemos partes con color azul oscuro, que representa aguas que tienen profundidad y el azul claro indica aguas de poca profundidad, las columnas en el que se coloca la letra x son para representar que no hay color para esas características el equivalente en Landsat 7 es la combinación 3,2,1.

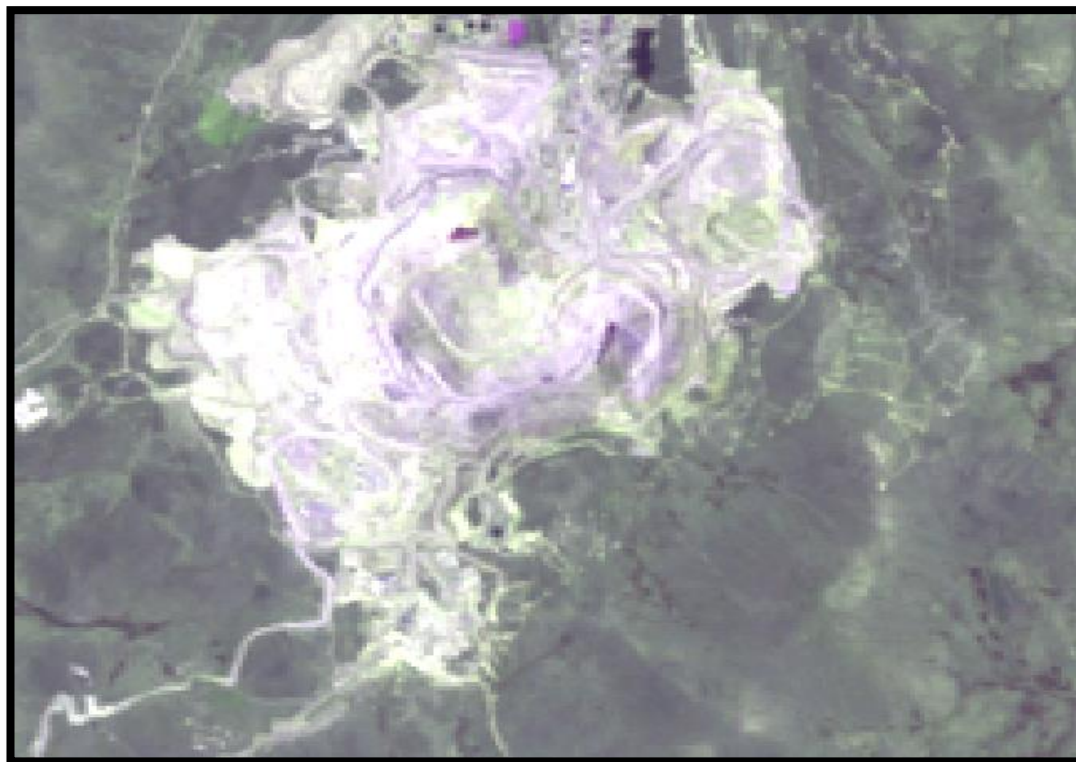
**Cuadro N° 11. Cuadro comparativo de interpretación visual de cuerpos de agua.**

		Usos y coberturas					
		Combinación de color. Banda ( 3 2 1)	Suelo sin cobertura	Masas boscosas y gran variedad de tipos	Bosque implantado	Cultivo con cobertura	Agua (profundas y a media profundidad)
Combinación	Color natural	R-G-B	Plateado o marrón tostado	Verde	Verde	Rojo magenta	Azul claro, Azul oscuro
				x	x	x	

**Fuente: Elaboración propia.**

### c) Imagen recortada en imagen 2-3-1 Landsat 7

Esta combinación se hace para hacer un mapeo de la vegetación, uso del suelo y la diferenciación entre suelo y vegetación.



**Figura 39. Imagen recortada de Lansat 7, en la combinación de color 2 3 1.**  
*Fuente: Elaboración propia.*

El **color rosa**, son áreas vegetales menos densas, **el blanco** son áreas de escasa o nula vegetación, canteras y suelos desnudos.

El color **gris a azul metálico** puede tratarse de roqueado desnudo. El **color rojo- magenta** puede tratarse de cultivos regados, prados de montaña. El color azul oscuro indica aguas que tienen profundidad y el azul claro indica aguas de poca profundidad.

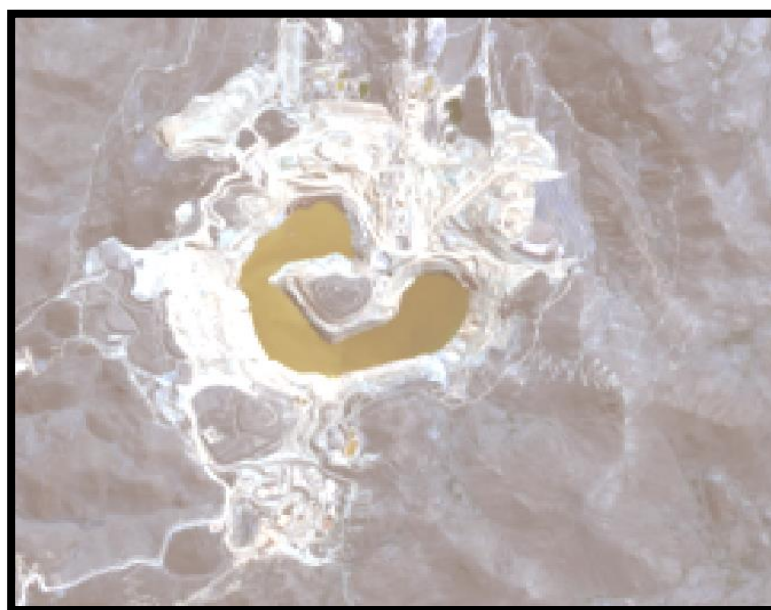
**Cuadro N° 12. Cuadro comparativo de interpretación visual de usos y coberturas, anotación de que color se observa en la imagen**

Usos y coberturas							
			Suelo sin cobertura	Alguna variedad en la vegetación, pero solo uno o dos tipos	Poca o ninguna variedad o contraste en la vegetación	Cultivo con cobertura	Agua (profundas y a media profundidad)
Combinación	Color natural	G-B-R	Plateado o marrón tostado	Rosa	Blanco	Rojo magenta	Azul oscuro y azul claro
							x

**Fuente: Elaboración propia.**

### e) Imagen recortada en imagen 1-2-3 Landsat 8

Se hace esta combinación para evaluar la presencia de vegetación por la alta reflectancia, hacer distinción con el suelo y delinear aguas poco profundas. En la siguiente imagen se puede observar el color **blanco, beige o marrón tostado**, identifica prados secos frecuentemente asociados con matorrales ralos. Hay mayor presencia de blanco, que representa suelos desnudos. Así mismo no observa el color verde que representa vegetación.



**Figura 40 . Imagen recortada de Lansat 8, en la combinación de color 1 2 3.**  
**Fuente: Elaboración propia.**

**Cuadro N° 13. Cuadro comparativo de interpretación visual de usos y coberturas, anotación de que color se observa en la imagen**

Usos y coberturas						
	Combinación de color. Banda (2 3 1)	Suelo sin cobertura	Alguna variedad en la vegetación, pero solo uno o dos tipos	Poca o ninguna variedad o contraste en la vegetación	Cultivo con cobertura	Agua (profundas y a media profundidad)
Combinación	Aerosoles costeros-B-G	Plateado o marrón tostado	Rosa	Blanco	Rojo magenta	Azul oscuro y azul claro
			x		x	x

**Fuente: Elaboración propia.**

**e) Imagen Landsat 8 en la combinación de banda 3, 2, 1 que corresponde a rojo, azul y ultra azul**

Se elige esta combinación de color por presentar una mejor descripción visual de las áreas que se requiere analizar con lo cual se procede a ubicar y marcar puntos donde de observe un deterioro de la capa terrestre producto de la acción minera, se realiza el análisis de 4 puntos que está identificado como A, B, C y D, como se puede observar en la siguiente imagen.



**Figura 41 . Imagen de lansat 8 en la combinación de color (3 2 1).**

**Fuente: Elaboración propia.**

Imagen en color natural 3, 2,1

1 =aerosoles costeros

2 = azul

3 = verde

**A:** Corresponde al relave minero.

- B:** Corresponde a la superficie que se encuentra en las cercanías del relave minero.  
**C:** Corresponde a zonas que se encuentran alejadas a la zona del relave.  
**D:** Corresponde a zonas con mayor lejanía del relave.

Con la imagen seleccionada se procede a analizar las firmas espectrales para ver su desempeño, a continuación, se presentan las bandas de color por separado para un análisis visual, con ello obtenemos la firma espectral que muestra el comportamiento de la imagen en sus bandas que corresponden a las 4 zonas seleccionadas. Para poder observar los diferentes tipos de suelos se debe de agrupar las bandas de la siguiente forma:

- G = verde, banda (3)  
 B = azul, banda (2)  
 Aerosoles costeros=ultra azul, banda (1)

**Cuadro N° 14. Resolución espacial operativa de la imagen terrestre y sensor infrarrojo térmico Landsat 8**

Banda	Resolución de la banda (nanómetros)	Región del Espectro Electromagnético	Descripción
1	430-450	Aerosoles costeros	Para mapear costas y estudios de aerosol
2	450-510	Azul	Útil para mapeo batimetría, delimitar costas, diferenciar suelo de vegetación, detección de rasgos urbanos, vías y construcciones
3	530-590	Verde	Empleada para evaluar vigor de plantas por la alta reflectancia de la vegetación verde y sana, delinear aguas poco profundas, rasgos urbanos y de infraestructura
4	640-670	rojo	Permite mayor contraste de áreas con o sin vegetación, discriminar gradientes de vegetación, delimitar áreas urbanas y áreas agrícolas
5	850-880	Infrarrojo cercano (NIR)	Útil para el cálculo de biomasa de vegetación, delimita las costas, hace diferencias entre el suelo de cultivos y suelos agua
6	1570-1650	Infrarrojo de onda corta 1 (SWIR 1)	Es útil para discriminar contenido de humedad en los suelos y la vegetación, hace diferencia entre nubes, nieve y hielo
7	2110-2290	Infrarrojo de onda corta 1 (SWIR 1)	Útil para discriminar tipos de rocas, para estudios de suelos y mejora la determinación del contenido de la humedad en los suelos y la vegetación
8	500-680	Cirrus	Ofrece una mejor detección de las nubes cirrus
9	13860-1380	Pancromática	En esta banda la imagen es sensible a todo el espectro visible y más afinada en tal que su resolución es 15m
10	10600-11190	Infrarrojo térmico (TIRS 1)	Sirve para el mapeo termal y la estimación de la humedad en suelos
11	11500-12510	Infrarrojo térmico (TIRS 2)	Sirve para el mapeo termal mejorado y se hace la estimación de la humedad en el suelo

**Fuente: Datos tomados de Pérez D. (2007).**

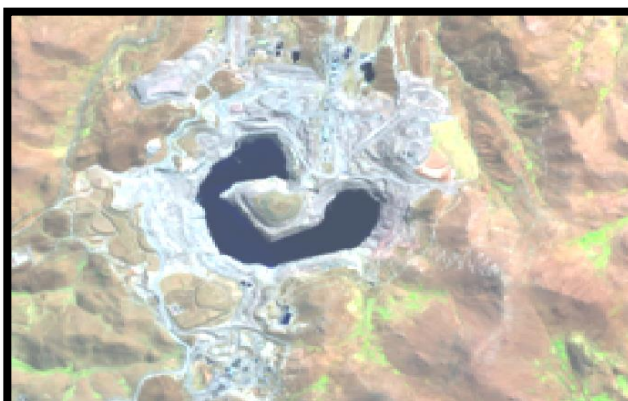
Es necesario hacer estas combinaciones ya que la banda 3 que es verde, sirve para evaluar la viveza de plantas por su alta reflectancia, delinea aguas con poca profundidad, características urbanas y de infraestructura. La banda 2 azul, se está usando para diferenciar suelo de vegetación, detección de áreas urbanas, construcciones y las vías. La banda 1 aerosoles costeros es para mapear costas.

**Cuadro N° 16. Cuadro comparativo de interpretación visual de usos y coberturas, anotación de que color se observa en la imagen**

Usos y coberturas						
	Combinación de color. Banda (3 2 1)	Suelo sin cobertura	Alguna variedad en la vegetación, pero solo uno o dos tipos	Poca o ninguna variedad o contraste en la vegetación	Cultivo con cobertura	Agua (profundas y a media profundidad)
Combinación	Aerosoles costeros-B-G	Plateado o marrón tostado	Rosa	Blanco	Rojo magenta	Azul oscuro y azul claro
			x		x	

Se puede observar mayor presencia del color blanco y marrón tostado y se puede inferir algunas características biofísicas a partir de la observación visual. Los colores presentes en la imagen representan poca o ninguna vegetación, suelos sin cobertura y agua poco profunda o con profundidad, por el mapa del lugar no hay existencias de lagos.

#### f) Imagen Landsat 8 en la combinación de bandas 5, 4, 3



**Figura 42 . Modelo de color para diferenciar superficies terrestres, lad sat 8 en la combinación 5 4 3.**

**Fuente: Elaboración propia.**



En esta combinación se puede observar colores verdes, azul oscuro o negro, marrón, blanco, gris y beige-dorado. Como se puede observar en la imagen hay poca vegetación representado en color verde, hay abundante color marrón tostado y ese color representa el suelo, así como tonos amarillentos y plateados que representa suelos desnudos. El azul oscuro indica agua poco profunda, se descarta que puede ser un embalse, canal, lago por el informe analizado de la Municipalidad de Espinar.

**Cuadro N° 17. Características básicas de los componentes del paisaje.**

Usos y coberturas							
	Combinación de color. Banda (5 4 3)	Suelo sin cobertura	Masas boscosas y gran variedad de tipos	Alguna variedad en la vegetación, pero solo uno o dos tipos	Poca o ninguna variedad o contraste en la vegetación	Cultivo con cobertura	Agua (profundas y a media profundidad)
Combinación	5,4,3	Plateado o marrón tostado	Verde	Verde	blanco	Rojo magenta	Azul oscuro Azul claro
						x	

**Fuente: Elaboración propia.**



**Figura 43 . Zona de intervención.**

**Fuente: Informe de la Alcaldía de Espinar (2013, p.12).**

Como se puede observar en la siguiente imagen está el Relave de Huinipampa, que en las imágenes satelitales se muestra con el color azul oscuro, ese color representa agua que permanece en reposo.

#### **4.4. Presentación de los resultados**

La descripción anterior es una interpretación visual, es decir que se puede inferir las características biofísicas de los materiales expuestos en la superficie de la tierra como la vegetación, agua y rocas, para ser relacionado con el concepto de firma espectral, ya que cada uno de los materiales reflejan diferentes proporciones de energía en el espectro electromagnético y esta información permite cuantificar proporcionalmente la energía reflejada para cada longitud de onda, la celda más brillante representa mayor radiancia reflejada.

La radiancia no es más que el flujo radiante que abandona una unidad de área en una dirección particular, siguiendo un ángulo sólido particular y es la magnitud que detecta el sensor. Esta radiancia interactúa con la superficie terrestre y la atmosfera, generando tres formas, energía transmitida, reflejada y absorbida. Por lo antes expuesto esta energía incide sobre la superficie de la tierra y se refleja. La reflectancia puede medirse también para una longitud de onda determinada, por tanto, en la siguiente imagen en banda 5 infrarrojo onda corta para medir la firma de los puntos que representan los lugares cercanos al relave A, B, C y D.

Se hace la presentación de los resultados en 06 bandas por el objetivo de la investigación, según descripciones de las bandas de Landsat 8.

**Cuadro N° 158. Descripción de bandas de la misión Landsat 8**

Banda 1	Banda 2	Banda 3	Banda 4	Banda 5	Banda 6
<b>Aerosoles costeros</b>	<b>Azul</b>	<b>Verde</b>	<b>Rojo</b>	<b>Infrarrojo cercano</b>	<b>Infrarrojo de onda corta</b>
Mapea las costas y estudia aerosoles	Delimitación de costas, diferencia entre el suelo y la vegetación, detecta característica urbanos, vías, construcciones, mapeo de batimetría	Evaluación vigor de las plantas por la ausencia de reflectancia de la vegetación, verde y sana, delineación de aguas con poca profundidad, rasgos urbanos e infraestructura	Posee un contraste mayor de zonas con o sin vegetación discrimina gradiente de vegetación, delimitación de zonas urbanas y agrícolas	Útil para calcular biomasa de las plantas, delimitación de la costa, diferencia entre el suelo de cultivo y suelos agua	Discrimina humedad en los suelos y la vegetación, diferencia entre nube, nieve y hielo

**Fuente: Elaboración Propia.**

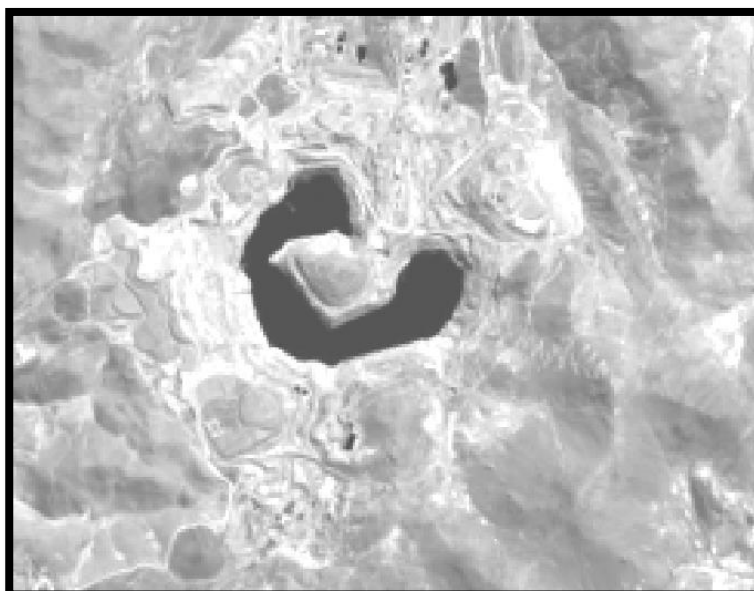
Hay que considerar que el punto A es el relave minero, el punto B es la superficie que se encuentra en las cercanías del relave minero, el punto C es la zona que se encuentran alejadas a la zona del relave y el punto D es la zona con mayor lejanía del relave. Si observamos las bandas por separado, se verá en intensidades de brillo, es decir cuanto más brillante es un pixel, mayor energía recibió el sensor para esa longitud de onda. Pero el ojo tiene mayor capacidad para detectar variaciones cromáticas y entonces le asignamos colores.

Se hace el análisis en la banda 5 que corresponde al infrarrojo para caracterizar el uso del suelo, por ser una banda útil para calcular la biomasa en las plantas, hace diferencia entre el suelo de cultivo y suelos, agua. Entonces se procede a calcular la intensidad de brillo, mostrado en la siguiente imagen.



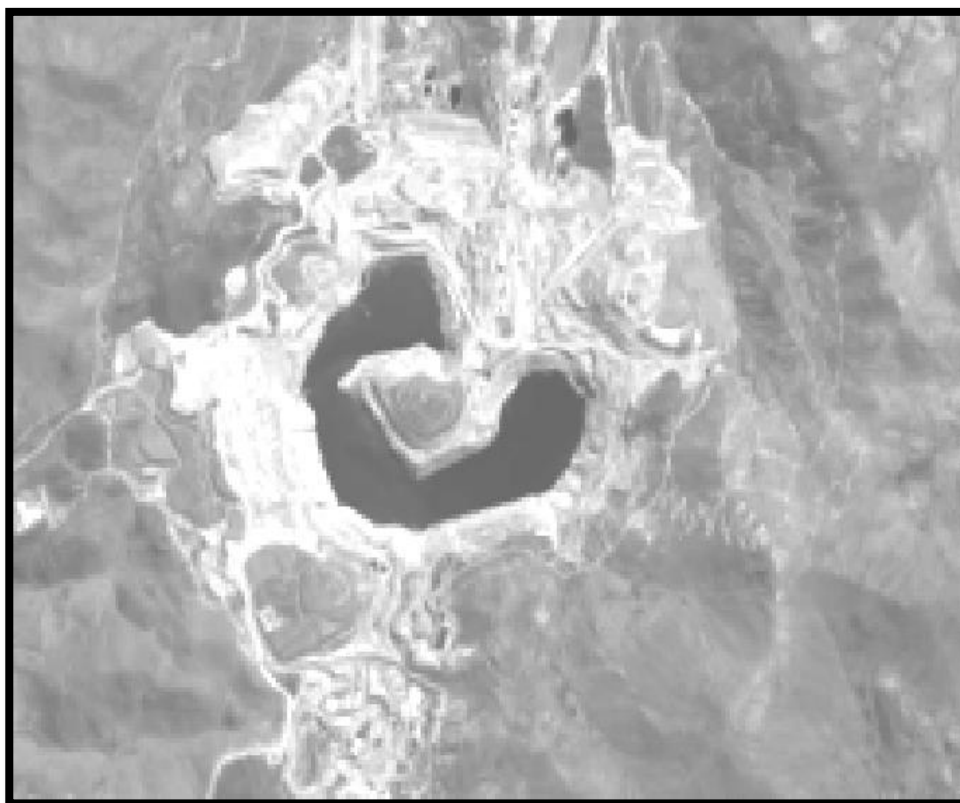
**Figura 44 . Análisis de la banda 5 infrarrojo onda corta para medir la firma de los puntos.**  
**Fuente: Elaboración propia.**

Se hace el análisis en la banda 4 para caracterizar mayor contraste de áreas con o sin vegetación, se puede hacer delimitaciones con áreas urbanas y áreas agrícolas.



**Figura 45. Análisis de la banda 4 infrarrojo onda del infrarrojo cercano para medir la firma de los lugares.**  
**Fuente: Elaboración propia.**

En la banda 3 empleada para evaluar el vigor de la vegetación por calcular mayor reflectancia de plantas verdes y saludables, delinea agua poco profunda.



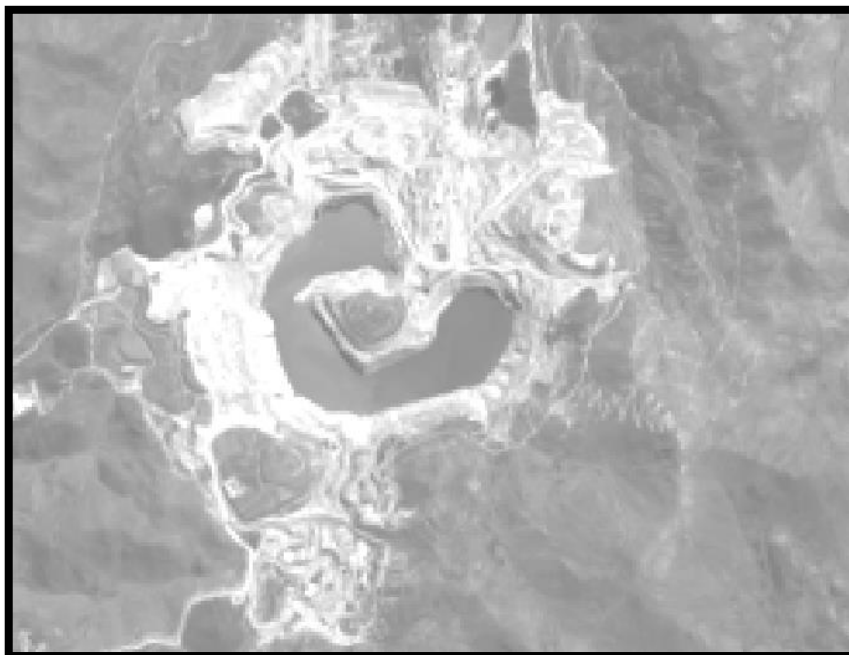
***Figura 46. Análisis de la banda 3 infrarojo onda del rojo para medir la firma de los lugares.  
Fuente: Elaboración propia.***

Se hace el análisis en la banda uno para mapear presencia de aerosoles como partículas suspendidas y mapear costas.



**Figura 47 . Análisis de la banda 1 azul para medir la firma de los lugares.  
Fuente: Elaboración propia.**

El análisis en la banda dos se hace para diferenciar suelo de vegetación



**Figura 48. Análisis de la banda 2 verde para medir la firma de los lugares.  
Fuente: Elaboración propia.**

El análisis de la banda seis es útil para diferenciar el contenido de humedad en los suelos y la vegetación.



**Figura 49. Análisis de la banda 6 infrarojo onda corta para medir la firma de los lugares.**  
**Fuente: Elaboración propia.**

Una vez procesada la imagen, el sistema muestra la intensidad de brillo de las firmas espectrales de la imagen seleccionada. Estas imágenes que representa 4 lugares en el Distrito de Espinar, cerca de la Mina Tintaya, en Cusco, donde la zona A como se describió anteriormente corresponde al relave minero, la zona B corresponde a la superficie que se encuentra en las cercanías del relave minero, la zona C corresponde a zonas que se encuentran alejadas a la zona del relave y la zona D corresponde a zonas con mayor lejanía del relave. En el siguiente cuadro se muestra la longitud de onda por banda.

**Cuadro N° 19. Firmas de los 4 lugares de la muestra.**

Punto	banda 1	banda 2	banda 3	banda 4	banda 5	banda 6
A	8712	7976	6094	5396	5252	5164
B	12684	13617	13758	15466	15364	14794
C	9586	9351	10859	13944	14438	11677
D	7985	7672	7940	9118	10758	9377

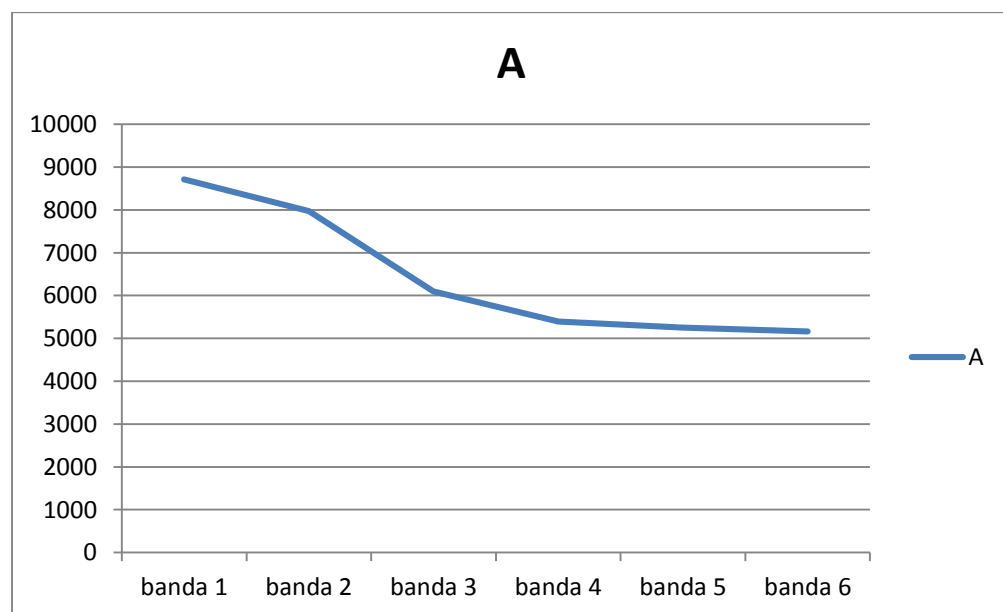
*Fuente: Elaboración propia.*

#### 4.4.1. Análisis de resultados para el punto A

**Cuadro N° 20. Firmas de la Zona del Relave.**

Punto	banda 1	banda 2	banda 3	banda 4	banda 5	banda 6
A	8712	7976	6094	5396	5252	5164

*Fuente: Elaboración propia.*



**Figura 50. Grafica con la firma espectral de la Zona del Relave .**  
*Fuente: Elaboración propia.*



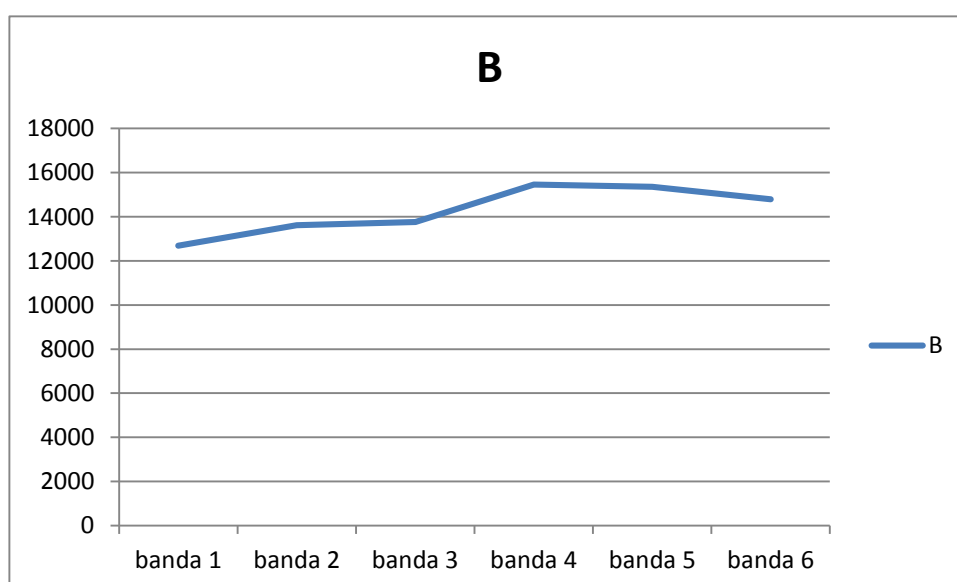
Como resultado podemos observar mayor predominancia de la banda 1 que indica el más alto brillo y representa mayor presencia de aerosoles que por el color podría ser presencia de partículas de polvo, seguido por la banda 2 que diferencia entre el suelo y la vegetación, como la banda 3 es de menor la predominancia por tanto hay carencia de vigorosidad de las plantas. Así como la banda 4, 5 y 6 es mucho menor por tanto no existe un contraste mayor de la presencia de vegetación, suelos de cultivo y agua superficial.

#### 4.4.2. Análisis de resultados para el punto B

**Cuadro N° 21. Firmas de la Zona que se encuentra en las cercanías del relave minero**

Punto	banda 1	banda 2	banda 3	banda 4	banda 5	banda 6
B	12684	13617	13758	15466	15364	14794

*Fuente: Elaboración propia.*



**Figura 51. Gráfica con la firma espectral de la Zona que se encuentra en las cercanías del relave minero.**  
*Fuente: Elaboración propia.*

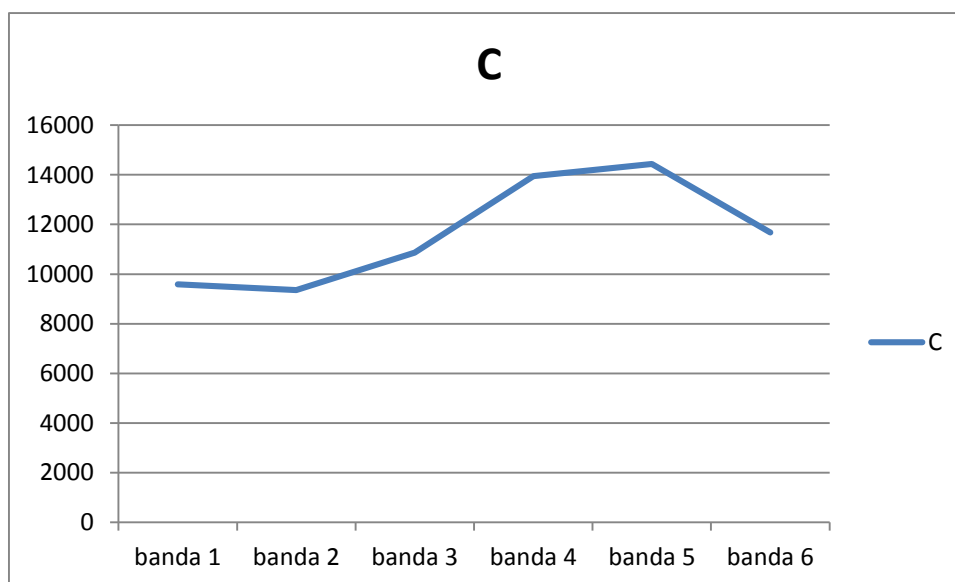
Como la banda 4 el brillo es mayor por tanto hay un mayor contraste en el área con o sin vegetación y por haber presencia del color marrón tostado en la imagen, se deduce que el suelo desnudo o sin vegetación es mayor por ser zonas cercanas al relave. Así como la banda 3 y 2 es mucho menor deduciendo la baja predominancia de plantas vigorosas y sanas.

#### 4.4.3. Análisis de resultados para el punto C

**Cuadro N° 162.** Firmas de la Zona que se encuentra alejadas al relave minero.

Punto	banda 1	banda 2	banda 3	banda 4	banda 5	banda 6
C	9586	9351	10859	13944	14438	11677

*Fuente: Elaboración propia.*



**Figura 52 . Grafica con la firma espectral de la Zona que se encuentra alejadas al relave minero.**

*Fuente: Elaboración propia.*

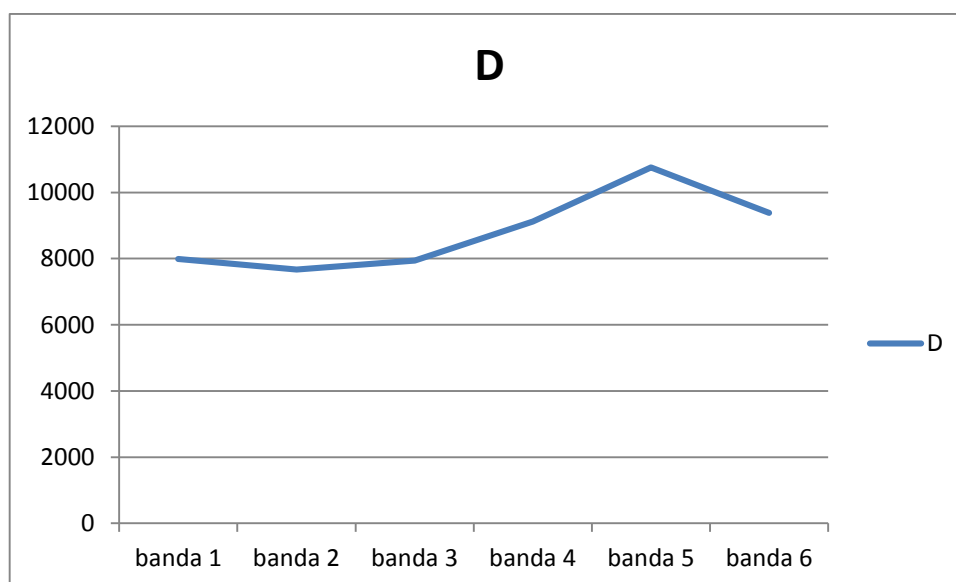
El brillo es mayor en la banda 5 por tanto hay mayor diferenciación entre suelos de cultivo y agua, presencia de biomasa de vegetación, seguido de la banda 4 que indica mayor contraste de áreas con presencia de vegetación o sin vegetación y delimita zonas agrícolas y zonas urbanas, con respecto a la banda 6 discrimina el contenido de humedad en los suelos y vegetación. La zona C está más alejado a la zona del relave por tanto se identifica cultivo, biomasa de vegetación y agua. Así como humedad en el suelo por la presencia de agua, en contraste con los colores observados en la combinación 5 4 y 3 se observan colores verdes, azules, celestes y marrones tostados.

#### 4.4.4. Análisis de resultados para el punto 4

**Cuadro N° 173 . Firmas de la Zona que se encuentra con mayor lejanía del relave minero.**

	banda 1	banda 2	banda 3	banda 4	banda 5	banda 6
D	7985	7672	7940	9118	10758	9377

*Fuente: Elaboración propia.*



**Figura 53. Gráfica con la firma espectral de la Zona que se encuentra con mayor lejanía del Relave Minero.**

*Fuente: Elaboración propia.*

La banda 5 tiene mayor brillo, por tanto, hay predominancia entre la diferencia del suelo de cultivo y agua, seguido de la banda 6 que discrimina la humedad del suelo y vegetación, con mayor contraste de zonas que tienen vegetación. Por ser una zona mucho más alejado al relave, en este lugar hay vegetación, pero como la banda 3 tiene menos brillo entonces el vigor de la vegetación es menor, hay presencia de agua poco profunda, por tanto, genera humedad en suelos y vegetación, después de la banda 3 sigue la uno que representan a los aerosoles que puede ser por presencia de partículas suspendidas, considerando en el análisis de colores hay presencia de marrón tostado

## **CAPITULO 5: IMPACTOS**

### **5.1. Propuesta para la solución del problema**

El Ministerio de Energía y Minas (MEM), considera que el sector minero es uno de los principales agresores del medio ambiente y como está normado, esto ha generado que las empresas inicien la implementación del mecanismo de corrección, mitigación y prevención de la contaminación del medio ambiente en el que desarrollan sus actividades.

Las técnicas graficas ayudan a evaluar los impactos visuales de las operaciones mineras en cualquier momento de su desarrollo. Es una propuesta novedosa ya que actualmente las imágenes satelitales están siendo utilizadas por instituciones del gobierno y empresas privadas. Este método permite evaluar kilómetros de suelo, no hay exposición física de la persona con el suelo contaminado, muestra confiable ya que no hay desplazamiento de la tierra en otros puntos de observación, por ser de teledetección. Aporta a caracterizar suelos afectados por las mineras que incumple con la normativa. Por lo antes expuesto se requiere el "Procesamiento de imágenes satelitales para caracterizar comportamiento de suelos mineros en el Distrito de Espinar Cusco.

## 5.2. Costo de implementación

Las imágenes Landsat se puede descargar gratis y aquellas que son específicas tienen un costo ya que hay que ubicarlas y el software para el procesamiento es gratuito, por tanto, no hay mayor costo solo la movilidad y uso de materiales de oficina de la investigadora.

N°	Concepto	Cantidad	Precio unitario	Importe
1	Imágenes	01	2500	2500
2	software	02	0	0
3	Movilidad(transporte)			500.00
4	Materiales de oficina como hojas, lápiz, lapicero entre otros			100.00
<b>Total</b>				<b>S./ 3,100.00</b>

## 5.3. Beneficios que aporta la propuesta

Mediante el procesamiento de imágenes satelitales para caracterizar suelos contaminados se obtienen las siguientes ventajas:

- Facilidad en la obtención precisa de valoración espectral
- Reducción de tiempo en la valoración de la muestra
- Disminución de errores en el manejo de muestras
- La no exposición física del especialista
- Se puede llegar a Sistematizar la información
- Monitoreo permanente sin la intervención de un número mayor de personas.

## 6. CONCLUSIONES

En aspectos generales, el procesamiento de imagen satelital para caracterizar suelos contaminados por trabajos mineros es una propuesta novedosa porque permite analizar gráficamente el estado del suelo por trabajos mineros, dando como resultado la caracterización del lugar en estudio. Se presentan las conclusiones del “Procesamiento de imagen satelital para caracterizar suelos contaminados por la minería”, obtenidas a partir de la presencia de colores y la longitud de la onda de igual manera se presentan trabajos futuros que podrían realizarse a partir de la presente tesis.

- A través del procesamiento de imágenes se pudo identificar la zona afectada por la minería a través de la imagen con 08 bandas.
- Se logró recopilar la imagen de la zona afectada ingresando el nombre, Latitud y Longitud del lugar en la Base de Datos de Landsat, la base de datos mostró las imágenes con mayor representación del lugar
- Una vez obtenida la imagen se procedió a evaluar la imagen de la zona afectada, haciendo un análisis visual, para ello se combinaron las bandas 3,2, 1 de Landsat 7 y en Landsat 8 la combinación 3,2,1 para identificar el brillo, para hacer un mapeo de vegetación y agua, en la combinación 2,3,1 Landsat 7 teniendo como resultado, abundante presencia del color blanco, que representa poca o ninguna vegetación, un poco de color verde, que representa la vegetación y el rojo magenta que es presencia de cultivo con cobertura. En la combinación natural 3,2, 1 que es para interpretar usos y cobertura, se visualiza la presencia de color azul oscuro que representa el agua del relave minero. Así como en la combinación 1, 2,3 de Landsat 8 que es para identificar vigor en la vegetación, distinción con el suelo y delinear aguas poco profundas. Se observa mayor reflectancia en el color blanco que representa suelos desnudos beige-dorado que es poca o ninguna variedad de vegetación.

- También se hizo el análisis de la longitud de onda, se trabajó con la imagen de Landsat 8 en la combinación de color (3 2 1) que corresponde a (verde, azul y aerosol) en ese orden, se elige la región del espectro infrarrojo para determinar el uso del suelo, vegetación, agricultura por el objetivo de la investigación. Aquí se procedió a ubicar y marcar zonas donde se observe un deterioro de la capa terrestre, analizándose 4 puntos de zonas, marcando como la zona A del relave, la longitud de la firma espectral en la banda 4, 5 y 6 son las más bajas, eso significa que la presencia de vegetación es mínima, con mayor brillo en la banda 1 que puede ser por partículas suspendidas. Cuando se analiza la imagen se observa un color azul oscuro significa que hay agua, pero no es un azul claro que representa agua limpia. Por tanto, se concluye que no es agua limpia y la banda 3 y 4 que representa vegetación baja, eso quiere decir que hay poca vegetación. En el análisis de la zona aledaña al relave que es B, la banda 4 tiene mayor brillo tanto hay un mayor contraste en el área con o sin vegetación y por haber presencia del color marrón tostado en la imagen, se deduce que el suelo desnudo o sin vegetación es mayor por ser zonas cercanas al relave. Así como la banda 3 y 2 es mucho menor deduciendo la baja predominancia de plantas vigorosas y sanas. En la Zona C que es un lugar alejado del relave, la banda 3,4 y 5 son los más altos donde puede haber presencia de agricultura y vegetación. La zona D que corresponde a zonas más alejadas del relave, la banda 5 tiene mayor brillo, es decir que predomina la diferencia entre suelos de cultivo y agua y la banda 6 discrimina la humedad en los suelos y la vegetación. Este resultado coincide con el resultado descrito en el informe final integrado de Monitoreo Sanitario Ambiental de la Provincia de Espinar, que explica los resultados obtenidos que los suelos superficiales de Espinar evidencian concentraciones de Arsénico rebasando el nivel permisible, y ello conlleva a la contaminación ambiental perjudicando la salud de la comunidad.



## 7. RECOMENDACIONES

El trabajo desarrollado en el presente tema de tesis abre una serie de oportunidades para nuevas investigaciones en censado remoto de suelos contaminados por metales pesados y su nivel, los mismos que no han sido analizados en forma detallada en el presente trabajo tales como:

- A través del censado remoto se adquieren las imágenes que deben ser pre procesadas para eliminar el ruido.
- Evaluar el grado de contaminación en sitios terrestres con el procesamiento de imágenes hiperespectral.
- Diseñar e implementar un sistema de procesamiento de imágenes para la identificación de metales contaminantes y su nivel en suelos.

## 8. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Biosorción de Cadmio con raspo de Uva. Aproximación a la Monitorización del Proceso Mediante Químicos
- Bruice, Y. *“Fundamentos de química orgánica”*, II edición, editorial Pearson Prentice (pp. 624) ISBN 978-970-26-1022-9.
- Castro A y Fagg A. (2008). *“Bioindicadores de la contaminación ambiental”*, 1era edición, editorial Dunken (pp.160), ISBN 978-987-02-3348-0.
- Giancoli, D. (2008). *“Física para ciencias e ingeniería”*, Volumen I, 4ta edición, editorial Pearson educación (pp.632), ISBN: 978-970-26-1225-4.
- Larrañaga, E. (2008). *“Plan de suelos contaminados de la comunidad autónoma del País Vasco”*. Edita sociedad pública de gestión ambiental-IHOBE, S.A. (pp.96).
- Levison, A. A. (1980). *“Introduction to Exploration Geochemistry”*. 2ª edition. Applied Publishing.
- Noticias de la ciencia. Con, depósito legal B-47398-2009, ISSN 2013-6714
- Operatividad de la instrumentación en aguas subterráneas, suelos contaminados y riesgos geológicos IGME. 2003. ISBN: 84-7840-485-6
- Presman, R. S. (2007). *“Ingeniería del Software”*, VI edición, editorial McGraw Hill. (pp.958).
- Revista internacional de contaminación ambiental, Universidad Autónoma de México ISSN: 0188-4999 México
- Rose A. W., Hawkes H. E. and Webb J. S. (1979). *“Geochemistry in Mineral Exploration”*.
- Sabana, M. (2006). *“Modelamiento e implementación de base de datos”*, I edición, editorial Megabyte. (pp. 631).
- Sampieri, R. (2010). *“Metodología de la investigación”*. V Edición, México: editorial McGraw-Hill Interamericana. (pp.656)

## Tesis

Aguilera, Fernández, Legrá, Rojas (2016). “Impacto visual generado por la explotación minera en el yacimiento Punta Gorda, Moa”, *Minería y geología*, 32(4),141-159.

Carola Rojas Vega. (2007). “Evaluación del efecto de los factores forma, tamaño composición granulométrica en la densidad de suelos granulares”. Lima: Universidad Agraria La Molina.

Chuisengo Marín Wilson. (2010). “Espectrofotometría de plasma inducido y su aplicación en la minería”. Lima: Universidad Nacional de Ingeniería.

Dugdale, S. (2007). “An Evaluation of imagery from an unmanned aerial vehicle (UAV) for the mapping of intertidal macroalgae on Seal Sands”. *Tees Estuary*. UK

Durham University available at Durham E-Theses Online:

[Http://etheses.dur.ac.uk/2879](http://etheses.dur.ac.uk/2879)

Franz Paul Tello Paredes. (2004) “Evaluación temporal de la lixiviación de nitratos de cuatro abonos orgánicos en tres tipos de suelos”. Lima: Universidad Agraria La Molina.

Guillermo I Gunthardt. (2008). “Espectroscopia y fotometría de galaxias peculiares Universidad Nacional de Córdoba”.

Lizárraga Reyes José. “Inventario de estudios de suelos del Perú”. Lima: Universidad Agraria La Molina.

Romero, F.S. (2005) “La Teledetección satelital y los sistemas de protección ambiental”, *Revista de Ingeniería Industria*, 4(1), 57, 44-57

Vicente Gustavo Espinoza Villanueva. (2000). “Tolerancia a la toxicidad de zinc, cobre y plomo en plantas silvestres asociados a suelos contaminados para la actividad minera”. Lima: Universidad Agraria La Molina.

### **Documentos electrónicos**

1. Division of emergency and Environmental Health Services(2005)  
[http://www.cdc.gov/nceh/ehs/Docs/la\\_oroya\\_report.pdf](http://www.cdc.gov/nceh/ehs/Docs/la_oroya_report.pdf)
2. Escuela universitaria de ingeniería técnica de telecomunicación  
[http://www.diac.upm.es/acceso\\_profesores/asignaturas/television/stv/fo tometria.pdf](http://www.diac.upm.es/acceso_profesores/asignaturas/television/stv/fo tometria.pdf)
3. Ministerio de energía y minas. (2000). Guía para el muestreo y análisis de suelo [http://www.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2014/04/GUIA-MUESTREO-SUELO\\_MINAM1.pdf](http://www.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2014/04/GUIA-MUESTREO-SUELO_MINAM1.pdf)
4. Sistema nacional de información ambiental -Sinia. (2010). Pasivos ambientales mineros a nivel departamental  
<http://sinia.minam.gob.pe/index.php?idElementoInformacion=721>
5. Nuevo sensor para mejorar la detección del plomo y otros metales pesados. (2010). <http://www.solociencia.com/medicina/08040907.htm>
  - Transformación de la clasificación de los suelos. De  
<http://www.espejos.unesco.org.uy/simplac2002/Ponencias/.../GE15 2.doc>
  - Ministerio del Ambiente(2014) Guía para el muestreo de suelos recuperado de <http://www.minam.gob.pe/calidadambiental/wp-content/uploads/sites/22/2013/10/GUIA-PARA-EL-MUESTREO-DE-SUELOS-final.pdf>
  - Erdas de [http://www.un-spider.org/sites/default/files/ManualERDAS\\_web.pdf](http://www.un-spider.org/sites/default/files/ManualERDAS_web.pdf)

- Arin de  
[http://digital.csic.es/bitstream/10261/120824/4/2\\_ARIN\\_Code\\_%20for\\_registration.pdf](http://digital.csic.es/bitstream/10261/120824/4/2_ARIN_Code_%20for_registration.pdf)
- CONAE de <https://2mp.conae.gov.ar/index.php/software/software-2mp/1168-caracteristicas>
- MINEM 2016  
<http://www.minem.gob.pe/minem/archivos/file/Mineria/LEGISLACION/2016/Inventario%20de%20Pasivos%20Ambientales%20Mineros%202016.pdf>
- Tevar (1996) La cuenca visual en el análisis del paisaje, Serie geográfica, 6,96-113, recuperado de  
<https://ebuah.uah.es/dspace/bitstream/handle/10017/1052/La%20Cuenca%20Visual%20en%20el%20Análisis%20del%20Paisaje.pdf?sequence=1>
- González, M., Carreño, C. (2007) Aplicación de imágenes Landsat (tm y etm+) en estudios geoestructurales en el NO del Macizo Ibérico. *Cademos Lab. Xcoloxico de Laxe coruña*, 32, 47-62.
- Reglamento para la protección ambiental en la actividad minero – metalúrgica (1993) Decreto supremo N° 016-93EM
- Pérez, D. (2007) *Introducción a los Sensores Remotos, Aplicaciones en Geología* de  
[https://www.researchgate.net/publication/274079194\\_ESPECTROSCOPIA\\_DE\\_REFLECTANCIA\\_APLICADA\\_A\\_LA\\_CHARACTERIZACION\\_ESPECTRAL\\_DE\\_SUELOS\\_CONTAMINADOS](https://www.researchgate.net/publication/274079194_ESPECTROSCOPIA_DE_REFLECTANCIA_APLICADA_A_LA_CHARACTERIZACION_ESPECTRAL_DE_SUELOS_CONTAMINADOS)

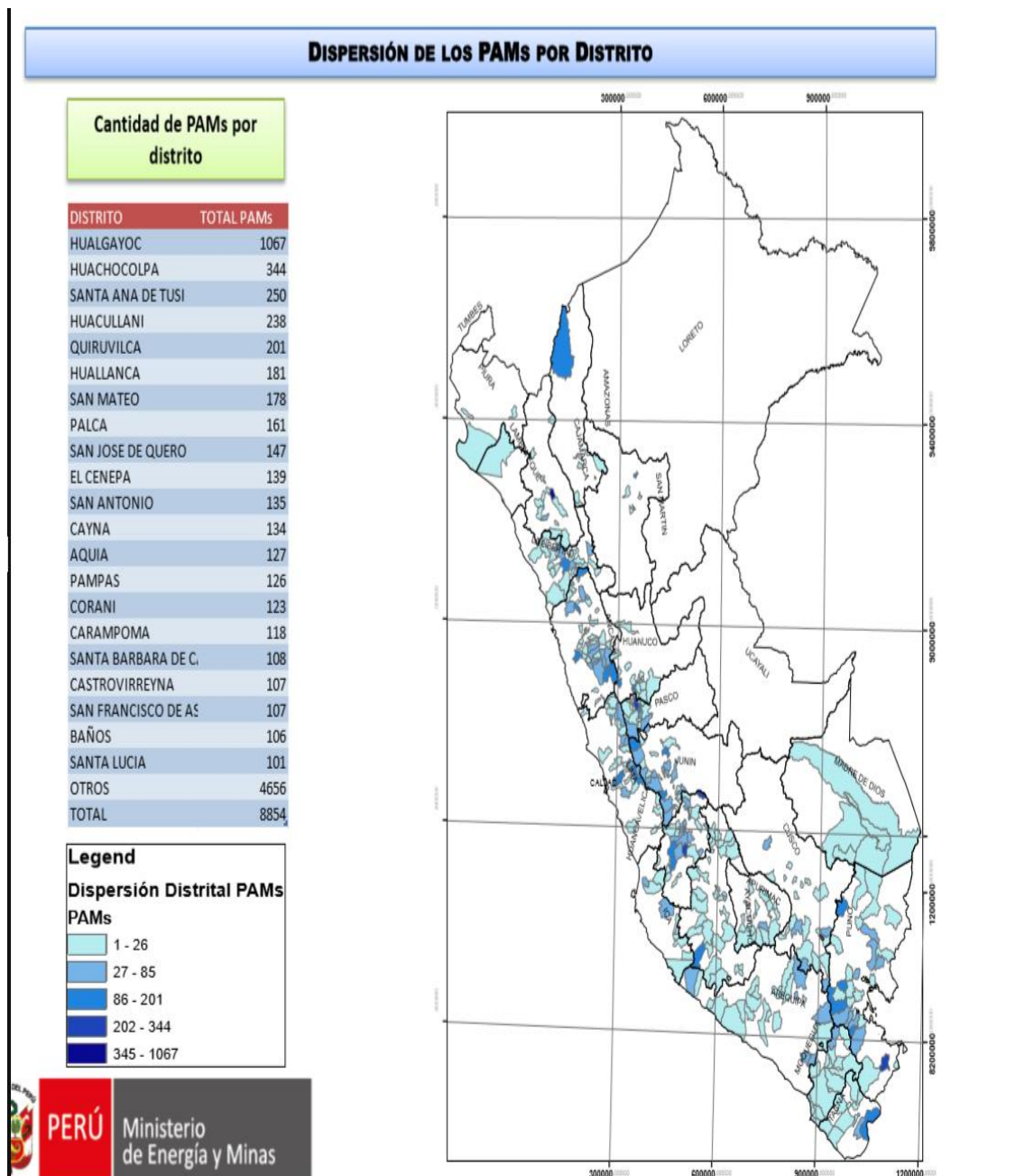
- fuente <http://files.especializacion-tig.webnode.com/200000032-25950268dd/5.-Firmas%20espectrales.pdf>
- Ministerio de Energía y Minas (2016) *Inventario de pasivos ambientales mineros 2016*.  
Recuperado de <http://www.minem.gob.pe/minem/archivos/file/Mineria/LEGISLACION/2016/InventarioPAM-2016.pdf>
- Ministerio de Energía y Minas (2000) *Guía para el muestreo y análisis de suelo*. EL PERUANO de <https://busquedas.elperuano.pe/download/full/3VWQyTnyaOaBf1dxdoEZga>
- Aguilera F, Batista-L, Rojas, L (2016) *Impacto visual generado por la explotación minera en el yacimiento de Punta Gorda, MOA*. V32ISSN 19938012p(141-159)
- Witayangjum, A, Nagai, M, Honda, K, Dailey, M, Shibasaki, R(2011) Real time monitoring system using unmanned aerial vehicle integrates with sensor observation service. International Archives of the Photogrammetry Remote Sensing and Spatial Information Sciences (XXXVIII-1/C22 UAV-g. (2011), Conference on Unmanned Aerial Vehicle in Geomatics: Zurich. Switzerland
- Haitao, L. (2011) Development of a low-cost agricultural remote sensing system based on an autonomous unmanned aerial vehicle (UAV). *Biosystems Engineering*, (108), 174-190 páginas.

- Oleire, S, Marzolff, I, Klaus, D y Ries, J. (2012) Unmanned Aerial Vehicle (UAV) for Monitoring Soil Erosion in Morocco Remote Sens (2012) 4 3390-3416; doi:10.3390/rs4113390
- Temence, E, Gary B. (2014) An evaluation of remote sensing technologies for the detection of fugitive contamination at selected superfund hazardous waste sites in Pennsylvania: U.S. Geological Survey. (2014-1081) 23paginas
- Tuominen, J. (2011) Detection of environment tal change using hyperspectral remote sensing at olkiluoto repository site.Posiva Oy(2011-26). Base maps:National Land Survey.(41/MML/11)
- Sabins, F. (1998) Remote sensing for mineral exploration. Ore Geology Reviews 14(1999) 157-183 páginas.
- Mcgonigle, A, Aiuppa, A, Giudice, G, Tamburello, G. (2008) Unmanned aerial vehicle measurements of volcanic carbon dioxide fluxes. Geophysical research letters (35) L06303, doi:10.1029/2007GL032508,2008
- Chang, Ch, Zhang, G, Lei, T, Gong, A. (2011) Quick image-processing method of UAV without control point data in earthquake disaster area. Trans Nonferrous Mes. Soc China 21(2011),523-528 páginas.

## 9. ANEXO

### 9.1. Dispersión de los Pasivos ambientales por distrito

#### INVENTARIO DE PASIVOS AMBIENTALES MINEROS 8854, PAMs





## 9.2. Empresas Mineras que contaminan por región

N°	Región	Provincia	Distrito	Unidad	Empresa minera
1	Ancash	Bolognesi	Huallanca	Santa Luisa El recuerdo	Compañía minera Santa Lucía
		Huaraz	Independencia Jangas	Pierina	Minera Barrick Misquichica, S.A
		Huairi	San Marcos	El Recuerdo Antamina Antamina N° 01	Compañía minera Santa Lucía Compañía minera Antamina, S.A.
2	Apurímac	Aymaraes	Cotaruse	Selene	Compañía Minera Ares, S.A.C
		Graú	Turpay	Andes 1	El Misti Gold, S.A.C.
3	Ayacucho	Huanta	Ayahuanco Tiabaya	Cobriza 1126	Doe Run Perú, S.R.L.
		Arequipa	Uchumayo	Cerro Verde 1, 2, 3	Sociedad Minera Cerro Verde, S.A.A
			Yarabamba		
4	Arequipa	Castilla	Yura	Acumulación Chili N°1	Yura, S.A.
			Chachas	Ares	Compañía Minera Ares, S.A.C
			Chilcaymarca	Orcopampa	Compañía de Minas Buena Ventura, S.A.A
		Caylloma	Orcopampa	Orcopampa Ares	Compañía de Minas Buena Ventura, S.A.A
			Huanca	Acumulacion Chili N°1	Compañía Minera Ares,S.A.C. Yura , S.A.
			Condesuyos	Orcopampa Artaca	Compañía Minera Ares,S.A.C.
5	Cajamarca	Cajamarca	Chaupiloma Sur	Minera Yanacocha,S.R.L.	
			Chaupiloma Oeste		
		Encañada	Chaupiloma Sur		
		Los baños del Inca	Chaupiloma Sur		
Contumaza	Yonan	Tembladera	Cementos Pacasmayo, S.A.A.		

6	Cuzco	San Pablo	Tumbaden	Chaupiloma Oeste	Minera Yanacocha, S.R.L. BHP Billiton Tintaya, S.A. Xstrata Tintaya
7	Huancavelica	Espinar	Espinar (Yauri)	Tintaya	Compañía de Minas BuenaVentura, S.A.
		Angaraes	Ccochaccasa Lircay	Julcani	
8	Ica	Churcampa	Pachamarca San Pedro de Coris	Cobriza 1126	Doerun Perú, S.R.L.
		Huancavelica	Yauli	Julcani	Compañía de Minas
		Nazca	Marcona	CPS-1	Shougang Hierro Perú, S.A.A.
9	La Libertad	Pisco	San Clemente	Las Dunas	Cementos Lima, S.A.
		Pacasmayo	Guadalupe	Pacasmayo	Cementos Pacasmayo, S.A.A
			Jequetepeque		
			Pacasmayo		
		San Pedro de Lloc			
Pataz	Buldibuyo Parcoy	Retamas	Minera Aurifera Retamas S.A.		
10	Lima	Santiago de Chuco	Angasmарca Cachicadan	Santa Rosa-Comarsa La Virgen	Compañía Minera Aurifera Santa, Compañía Minera San Simón. S.A.
		Canta	Huaros	Virgen de Fátima	Cementos Lima, S.A.
		Cañete	Asia	Condestable	Compañía Minera Condestable, S.A.
			Coayllo	Raúl	
			Mala	Raúl	
Huaral	Chancay Huaral	Maria Teresa	Minera Colquisiri, S.A.		
Huarochiri	Chicla	Rosaura	Perubar, S.A.		

11	Pasco	Daniel Alcides	Oyon	Oyon	Yanahuanca Chaupimarca Huayllay San Francisco de Asís de Yarusyacan	Americana	Compañía Minera Casapalca, S.A	
						Casapalca	Empresa Minera los Quenuales	
						San Antonio	Unión de Concreteras, S.A.	
						San Mateo Ate	Perubar, S.A.	
						Luriganchó	Piedra Limpia	FirthIndustries Perú, S.A.
							Josecito N°12	Union de Concreteras, S.A.
							La Previsión 1	
							La Previsión 8	
						Lurín	Unicon	FirthIndustries Perú, S.A.
							Flor de Nieve N° 2	
							Pucara Atocongo	
Lima	Pachacamac	Cementos Lima, S.A.						
	Pucara							
	Atocongo							
	Atocongo							
Oyon	Punta Hermosa	Empresa Minera Los Quenuales, Compañía Minera Raura, S.A.						
	San Juan de Luriganco							
	Villa el Salvador							
	Villa María del Triunfo							
Daniel Alcides	Oyon	Empresa Minera Los Quenuales, Compañía Minera Raura, S.A.						
	Yanahuanca	Compañía de Minas						
Pasco	Chaupimarca	Volcán Compañía Minera, S.A.A.						
	Huayllay	Empresa Administradora						
	San Francisco de Asís de Yarusyacan	Compañía Minera Milpo, S.A.						
		Atococha	Compañía Minera Atococha, S.A.					

12	Puno	Carabaya	Ajoyani Macusani Antauta	Acumulación Quenamari San Rafael	Minsur ,S.A	Colquijirca N° 1	Sociedad Minera Brocal, S.A.A.		
						Uchucchacua	Compañía de Minas		
						Cerro de Pasco	Volcán Compañía Minera, S.A.A.		
		Tinyahuarco	Vicco	Yanacancha	Cerro de Pasco	Volcán Compañía Minera, S.A.A.	Sociedad Minera Brocal, S.A.A.	Pampa Dos-B	Chancadora Centauro, S.A.C
								Cerro de Pasco	Volcán Compañía Minera, S.A.A.
								Colquijirca N° 1	Sociedad Minera Brocal, S.A.A.
		Melgar	El Collao	Santa Rosa Rosa(Mazocruz)	Cerro de Pasco	Volcán Compañía Minera, S.A.A.	Compañía Minera Milpo, S.A.	Milpo N° 1,	Compañía Minera Milpo, S.A.
								Atococha,	Compañía Minera Atacocha, S.A.
								Cerro de Pasco	Volcán Compañía Minera, S.A.A.
		Puno	Puno	Acora	Santa Rosa	Aruntani, S.A.C	Aruntani, S.A.C	Acumulación Quenamari	
								San Rafael	
								Santa Rosa	
Puno	Puno	Acora	Florencia Santa Rosa	Santa Rosa	Aruntani, S.A.C	Florencia			
						Santa Rosa			
						Santa Rosa			

### 9.3. Matriz de consistencia

Problema	Objetivos	Variables	Indicadores	Metodología
<p><b>Problema general</b> ¿De qué manera el procesamiento de imágenes satelitales logra caracterizar el comportamiento de suelos mineros en la Provincia de Espinar, Cuzco?</p>	<p><b>Objetivo general</b> Determinar el procesamiento de imágenes satelitales que logran caracterizar el comportamiento de suelos mineros en la Provincia de Espinar, Cuzco</p>	<p><b>Variable Independiente</b> Xa: Procesamiento de imagen satelital</p>	<p>- Caracterización de suelos contaminados por la explotación minera</p>	<p>La investigación se desarrolla según el tipo de investigación no experimental, es un diseño descriptivo. La población fue cuatro puntos geográficos según latitud y longitud, correspondiente a la Provincia de Espinar en la unidad de la Mina Tintaya. Se empleó la revisión de documentos y 07 bandas en una imagen</p>
<p><b>Problemas específicos</b> ¿En qué medida el procesamiento de imágenes satelitales contribuye en la identificación de la zona afectada por la minería en la Provincia de Espinar, Cuzco?</p>	<p>O1: Identificar la zona afectada por la minería en el Perú a través del procesamiento de imágenes.</p>	<p><b>Variable Dependiente</b> Y1: identificación de la zona afectada</p>	<p>Latitud y longitud de la zona afectada Latitud 14° 52' 56" Longitud: 71° 19' 01"</p>	
<p>¿En qué medida el procesamiento de imágenes satelitales contribuye en la recopilación de la imagen de la zona afectada por la minería en la Provincia de Espinar, Cuzco?</p>	<p>O2: Recopilar imágenes de la zona afectada por la minería en el Perú a través del procesamiento de imágenes</p>	<p>Y2: Recopilación de imágenes que representen partes del sitio donde se espera que haya contaminación</p>	<p>- 07 bandas en una Imagen satelital.</p>	
<p>¿En qué medida el procesamiento de imágenes satelitales contribuye en la evaluación de partes de la zona afectada por la minería por la minería en la Provincia de Espinar, Cuzco?</p>	<p>O3: Evaluar partes de la zona afectada por la minería en el Perú a través del procesamiento de imágenes</p>	<p>Y3: Evaluación de tonalidad de colores</p>	<p>Definición del significado de los colores de los puntos de referenciación</p>	
<p>¿En qué medida el procesamiento de imágenes satelitales contribuye en el análisis de la firma espectral de la zona afectada por la minería en la Provincia de Espinar, Cuzco?</p>	<p>Analizar la firma espectral que representen partes de la zona afectada por la minería en el Perú a través del procesamiento de imágenes.</p>	<p>Y4: Análisis de la firma espectral</p>	<p>- Longitud de onda de las firmas de los puntos A,B,C y D</p>	