

UNIVERSIDAD DE SANTIAGO DE CHILE
FACULTAD DE INGENIERIA
Departamento de Geografía



**METODOLOGIA PARA LA IDENTIFICACION DE RESTOS DE EXPLOSIVOS
DE GUERRA MEDIANTE ANALISIS MULTIESPECTRAL DE ANOMALIAS RX
Y DETECCION DE BLANCOS**

GONZALO ANDRÉS ESCOBAR ARÉVALO
ERIKA PAOLA VILLAMIL PACHÓN

Profesor Guía: Carlos Eissmann Rieutord

**Tesis de grado presentada en conformidad a los
requisitos para obtener el grado de Magíster en
Geomática**

Santiago, Chile
2015

©Gonzalo Andrés Escobar Arévalo y Erika Paola Villamil Pachón, 2015



Todos los derechos reservados. Esta obra está bajo una Licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-SinDerivar 4.0 Internacional.

RESUMEN

La presente investigación tiene como objetivo contribuir al desarrollo de una estrategia metodológica, desde el ámbito de la teledetección, que sea de bajo costo y de mayor celeridad, que permita identificar las zonas con presencia de explosivos remanentes de guerra, a fin de reducir las posibilidades de accidentes y daños que se generan con su detonación.

Para ello se trabajó desde el paradigma de las anomalías espectrales, utilizando la familia de algoritmos RX y de Detección de Blancos, para clasificación de píxeles en una imagen de alta resolución (Pleyades). El fundamento recae en el contraste espectral que se visualizaría como consecuencia de la interacción del suelo con material metálico. Para ello se tomaron emmembros de referencia presentes dentro de la imagen satelital asociados a infraestructura militar. Los resultados de cada análisis fueron depurados y recalibrados, estableciendo parámetros para acotarlos y redefinir zonas. La combinación de los datos de salida fueron combinados y contrastados, lo cual nos permitió elaborar una cartografía con subzonas (39) de probable presencia de material explosivo abandonado o sin detonar, a las cuales se les proyecto un buffer de 25 mts, a partir de un centroide preestablecido sobre grupo de anomalías espectrales, presumiblemente metálicas. Considerando la accesibilidad, se tomaron 5 subzonas para ser analizadas en terreno.

PALABRAS CLAVE

Análisis Multiespectral, Anomalías RX, Detección de Blancos, Explosivos Remanentes de Guerra (REG), Área Peligrosa Confirmada (CHA).

ABSTRACT

This research aims to contribute to the development of a methodological strategy, from the field of remote sensing, which is low in cost and more quickly, to identify areas with presence of explosive remnants of war, in order to reduce the chances accidents and damage generated with detonation.

To this end we worked from the paradigm of spectral anomalies, using the RX family of algorithms and target detection, classification of pixels for a high resolution image (Pleiades). The foundation rests spectral contrast that would be displayed as a result of interaction with soil metallic material. For this reference emmembers present were taken within the associated satellite image military infrastructure. The results for each analysis were purged and recalibrated, setting parameters to limit them and redefine areas. The combination of the output data were combined and contrasted, which allowed us to develop a mapping with or without detonating, to which they project a buffer of 25 meters sub-areas (39) probable presence of explosive material abandoned, to from a preset group of spectral centroid over, presumably metal anomalies. Considering accessibility 5 subzones for analysis in the field were taken.

KEYWORDS

Multispectral Analysis, RX Anomalies, Detection White, Explosive Remnants of War (ERW), Confirmed Hazardous Area (CHA).

DEDICATORIA

*Dedicamos este trabajo a todas las personas que diariamente luchan por dignificar la vida de niños y niñas en todas partes del planeta, en particular a **Fundación Infancia (Chile)**, quienes desarrollan un arduo trabajo para transformación la cruda realidad a la que han sido expuestas los niños vulnerables en nuestro país. Pese a tratarse, la presente investigación, de una temática, cuyo impacto a escala nacional es muy bajo en la población infantil, hacemos este reconocimiento pensando en que una de las motivaciones que oriento este trabajo fue el contribuir conocimiento que permita disminuir el lamentable costo de vidas, particularmente de infantes, que trae consigo el problema de los explosivos remanentes de guerra.*

El equipo de investigadores autoriza a publicar este trabajo en el sitio web de Fundación Infancia.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco profundamente el apoyo y la colaboración del Profesor Carlos Eissmann, quien oriento el enfoque de esta investigación y cuyas gestiones posibilitaron su desarrollo. Asimismo le doy gracias a los profesores que, desinteresadamente, nos colaboraron con reflexiones e interrogantes, que nos permitieron tener una mirada amplia de las problemáticas geográficas. Agradezco el apoyo de los oficiales de la Brigada de Operaciones Especiales quienes nos brindaron gentilmente su apoyo el día culmine de nuestra investigación. Finalmente a mi compañera de Tesis Erika Villamil, quien me apoyo desinteresadamente durante el curso del Magister, y con quien logramos edificar una gran amistad y un excelente equipo de trabajo.

Gonzalo Andrés Escobar Arévalo

A mi amigo y guía Patricio Zavala, por motivarme, apoyarme y por sobre todo darme la oportunidad de hacer esta maestría, a él y a su familia se los agradezco.

A mi amigo y compañero de tesis Gonzalo Escobar, su dedicación, constancia y arduo trabajo nos permitió cerrar este ciclo.

Al cuerpo docente y administrativo de la Facultad que siempre nos brindó su apoyo y ánimo a terminar nuestro trabajo, en especial a nuestro profesor guía Carlos Eissmann por su buena disposición y colaboración.

Erika Paola Villamil Pachón

Hacemos una mención de agradecimiento especial a la empresa AIRBUS Defense y Space, en específico a Alejandra González su representante para Latinoamérica, quienes aportaron la imagen Pleiades para poder desarrollar nuestro proyecto.

TABLA DE CONTENIDO

1.	CAPITULO I. INTRODUCCIÓN	1
1.1	PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	8
1.2	HIPÓTESIS.....	10
1.3	OBJETIVOS.....	11
1.3.1	Objetivo General.....	11
1.3.2	Objetivos Específicos	11
2.	CAPITULO II. MARCO TEORICO	12
2.1	GENERALIDADES TELEDETECCIÓN	12
2.2	ENERGÍA ELECTROMAGNÉTICA	14
2.3	TIPOS DE ENERGÍA ELECTROMAGNÉTICA	15
2.4	FIRMAS ESPECTRALES	18
2.5	UTILIZACIÓN DE PATRONES ESPECTRALES EN IMÁGENES TELEDETECTADAS	20
2.6	TIPOS DE RESOLUCIÓN	24
2.7	CORRECCIÓN RADIOMÉTRICA Y GEOMÉTRICA	27
2.8	CLASIFICACIÓN (Algoritmos De Clasificación)	29
3.	CAPITULO III. MATERIALES	33
3.1	ZONA DE ESTUDIO	33
3.1.1	Área de Estudio	33
3.1.2	Características Geomorfológicas	34
3.1.3	Vegetación.....	38
3.1.4	Suelos.....	39
3.2	LA MUNICIÓN	39
3.2.1	Características de la Munición	40
3.3	SISTEMA PLEIADES.....	44
4.	CAPITULO IV. METODOLOGIA.....	46
5.	CAPITULO V. DESARROLLO	49
5.1	PRE – PROCESAMIENTO DE IMÁGENES SATELITALES	49

5.1.1 Corrección de la Imagen	49
5.1.2 Transformación De Radiancia A Valores De Reflectancia Aparente	50
5.1.3 Corrección Radiométrica.....	50
5.1.4 Corrección Geométrica	53
5.2 CLASES	56
5.3 PROCESO DE CLASIFICACIÓN	57
5.3.1 Método RXD, UTD y RXD-UTD	57
5.3.2 Método Detección De Blancos	63
6. CAPITULO VI. ANALISIS DE RESULTADOS.....	72
7. CAPITULO VII. CONCLUSIONES.....	89
BIBLIOGRAFIA	91
ANEXOS	96

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1. Superficie REG en Chile (25).....	3
Tabla 2.1. Descripción de las regiones del espectro electromagnético.....	16
Tabla 2.2. Principales ventanas atmosféricas para la observación terrestre.....	18
Tabla 3.1. Pléiades. Características técnicas	45
Tabla 5.1. Metadata Imagen	51
Tabla 5.2. Listado de Coordenadas (WGS84) de Puntos de Control	55
Tabla 5.3. Esquema de Clasificación	56
Tabla 5.4. Anomalías espectrales (px).....	59
Tabla 5.5. Anomalías espectrales (por cien).....	59
Tabla 5.6. Dispersión de datos	60
Tabla 5.7. Listado de Subescenas	61
Tabla 5.8. Target para la aplicación de Bandmax.....	63
Tabla 5.9. Metodología CEM. Coordenadas puntos medios de las áreas anómalas.....	64
Tabla 5.10. Metodología MF. Coordenadas puntos medios de las áreas anómalas.....	65
Tabla 5.11. Metodología MTMF. Coordenadas puntos medios de las áreas anómalas.....	66
Tabla 5.12. Metodología OSP. Coordenadas puntos medios de las áreas anómalas	66
Tabla 5.13. Metodología MTTCIMF. Coordenadas puntos medios de las áreas anómalas.....	67
Tabla 5.14. Métodos de Detección de Blancos - Coordenadas Finales	70
Tabla 6.1. Coordenadas punto 29, Plano vs Terreno	74
Tabla 6.2. Coordenadas punto 28, Plano vs Terreno	75
Tabla 6.3. Coordenadas punto 30, Plano vs Terreno	76
Tabla 6.4. Coordenadas punto 34 y 35, Plano vs Terreno	77
Tabla 9.1. Target # 1. Vehículo	96
Tabla 9.2. Target # 2. Garita	97
Tabla 9.3. Target # 3. Techo.....	97
Tabla 9.4. Target # 4. Cemento	98

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1.1. La imagen muestra un ejemplo de definición de un área peligrosa sospechosa (SHA).....	6
Ilustración 1.2. Se ilustra la situación posible a partir de estudios técnicos. ¡Error! Marcador no definido.	
Ilustración 2.1. Descripción de Onda Electromagnética	14
Ilustración 2.2. Esquema de espectro electromagnético (EE) indicando sus principales zonas en función de la longitud de onda expresada en mts.....	15
Ilustración 2.3. Transmisión y Absorción Atmosférica.	18
Ilustración 2.4. Representación gráfica de una firma espectral una de cobertura de suelo cualquiera.....	19
Ilustración 2.5. Firmas espectrales típicas para vegetación, suelo y agua en el rango visible e infrarrojo reflejado del EE.....	20
Ilustración 2.6. Ejemplo de clasificación de un píxel u objeto	21
Ilustración 2.7. Ejemplo de obtención de firmas espectrales a clasificar.	22
Ilustración 3.1. Mapa división política Región Metropolitana.	33
Ilustración 3.2. Instalaciones de la Brigada de Operaciones Especiales Lautaro.	34
Ilustración 3.3. Perfil Topográfico zona de estudio	37
Ilustración 3.4. Fisionomía de munición de pistola.	41
Ilustración 3.5. Partes del mortero.	43
Ilustración 5.1. Esquema de corrección de bandas	51
Ilustración 5.2. Puntos de Control - Rectificación	55
Ilustración 5.3. Anomalías espectrales Frame 5 aplicando algoritmos RXD, UTD y RXD-UTD de 5 a 30 Kernel pp.	58
Ilustración 5.4. Resultado aplicación de los tres índices de clasificación	62
Ilustración 5.5. Instalaciones Mineras - Construcciones con techo Metálico.....	68
Ilustración 5.6. Métodos de Detección de Blancos - Mapa de Resultados Final	69
Ilustración 5.7. UTD-Detección de Blancos y puntos de Terreno Sub-zona 28.....	71
Ilustración 5.8. UTD-Detección de Blancos y puntos de Terreno Sub-zona 34-35	71
Ilustración 6.1. Punto 29. Garita.....	74
Ilustración 6.2. Punto 28. Blanco de Barril.....	75
Ilustración 6.3. Almacén Blancos de Barril.....	76
Ilustración 6.4. Punto 30, Restos de Explosivos de Guerra.....	77
Ilustración 6.5. Punto 34, Restos de Explosivos de Guerra.....	78
Ilustración 6.6. Polígonos de Thiessen a partir de áreas anómalas	79
Ilustración 6.7. Determinación de Área CHA, a partir de Polígonos de Thiessen	80

Ilustración 6.8. Plano de Determinación de CHA.....	81
Ilustración 6.9. Determinación de Áreas DHA, basado en resultados de campo	82
Ilustración 6.10. Áreas DHA y CHA	82
Ilustración 6.11. Plano de determinación de áreas CHA y DHA.....	84
Ilustración 6.12. Distribución de anomalías espectrales.....	85
Ilustración 9.1. Métodos de Detección de Blancos - Mapa de Resultados: Método CEM.....	99
Ilustración 9.2. Métodos de Detección de Blancos - Mapa de Resultados: Método MF	100
Ilustración 9.3. Métodos de Detección de Blancos - Mapa de Resultados: Método MTMF	101
Ilustración 9.4. Métodos de Detección de Blancos - Mapa de Resultados: Método OSP	102
Ilustración 9.5. Métodos de Detección de Blancos - Mapa de Resultados: Método MTTCIMF	103

1. CAPITULO I. INTRODUCCIÓN

Desde hace más de dos décadas que la comunidad internacional ha tomado real conciencia del problema que ha implicado los Explosivos Remanentes de Guerra (REG) como consecuencia del desarrollo de conflictos bélicos. Desde el fin de la Segunda Guerra Mundial que las REG se han convertido en una cruda realidad para muchos territorios, transformando a los civiles en sus principales víctimas. Las estadísticas indican que solamente en Laos, unos 9 millones de municiones sin estallar (MUSE) han matado o herido, desde 1975, 11.000 personas aproximadamente. Por municiones sin estallar o MUSE comprendemos a las municiones (bombas, obuses, morteros y granadas, entre otras) que se han utilizado pero que no han estallado como se había previsto al impactar contra el suelo o contra otra superficie dura.

Frente a esta situación la comunidad internacional, encarnada fundamentalmente en la Organización de las Naciones Unidas (ONU) a través de su departamento de Operaciones de Mantenimiento de la Paz (DOMP) y una amplia red de organizaciones humanitarias, organizaciones no gubernamentales (ONGs) y algunas entidades privadas, han desplegado un conjunto de acciones que van desde el diagnostico hasta la eliminación del material residual de guerra. A este conjunto de investigaciones y acciones en terreno se le ha designado con el concepto de Desminado o Desminado Humanitario. Según las normas internacionales para las Actividades Relativas a Minas (IMAS), estos términos se refieren a:

“las actividades realizadas al objeto de retirar minas y municiones sin estallar, inclusive el estudio técnico, levantamiento cartográfico, desminado, señalización, documentación posterior al desminado, contacto directo con las comunidades afectadas y traspaso de las tierras desminadas” [22].

Si bien la política internacional asociada a este proceso tiene como una de las tareas fundamentales el implementar operaciones directamente relacionadas con la detección y limpieza de minas antipersonales y minas antitanques, el concepto no tan solo se remite a ello sino también a AXO¹ y UXOs (MUSE en español). Técnicamente ambas se engloban dentro de

¹ Axo es la abreviación de Abandoned Explosive Ordnance (Artefactos explosivos abandonados), es decir los artefactos explosivos que no se ha utilizado durante un conflicto armado, que ha sido abandonadas o desechadas

la categoría definida por IMAS, en el glosario de acción contra las minas, como ERW - Explosive Remanente of War (explosivos remanentes de Guerra o REG en español)

El asunto de las REG resulta ser un problema muy complejo de nivel mundial, pues en muchos países, las municiones y los artefactos explosivos abandonados y sin detonar son una amenaza inminente para la seguridad de las personas. Aquí se incluyen las bombas, los morteros, los misiles u otros artefactos que no estallan en el momento pero permanecen en estado volátil y pueden matar si son tocados o movidos (Organización de las Naciones Unidas). Esto adquiere mayor trascendencia si consideramos que puede asegurarse que el número total (sea el que sea) de municiones sin estallar en todo el mundo supera con creces el de las minas terrestres.

El problema de la munición sin estallar, afecta a 3 grandes regiones del planeta: Asia, Oriente medio y África. Tal como informa The Monitor, entidad encargada de monitorear el avance de los compromisos internacionales en torno al desminado humanitario, la mayor concentración de munición sin estallar se ubica en el sur de Asia, como consecuencia de las guerras desatadas allí durante el siglo XX como lo fueron la Segunda Guerra Mundial, la Guerra de Corea, la Guerra de Vietnam, la Guerra Irano-iraki y la Guerra de Afganistán, entre otras. Según The Monitor entre los países con presencia de munición sin estallar destacan Camboya, Libia, Sudán del Sur, Sudán, Siria y Yemen. El caso más emblemático de los últimos años es Ucrania, que presenta una alta tasa de munición AXO y UXO como consecuencia del conflicto interno que le afecta desde el 2015. La amenaza para los civiles y el impacto socioeconómico es un motivo especial de preocupación en: Afganistán, Bosnia y Herzegovina (BiH), Camboya, Irak, Laos, Líbano, Sudán del Sur, Sudán, Siria, Ucrania, Somalia, Vietnam y Yemen, así como Kosovo, Nagorno-Karabaj, y el Sahara occidental [25]. Caso particular es Colombia, donde se sabe de la presencia de minas antipersonales pero no se conoce bien la situación respecto a UXO y AXO, pero se sospecha de su presencia en menor grado.

por una parte en un conflicto armado y que ya no está bajo el control del partido que dejó atrás o lo tiró. Artefactos explosivos abandonados pueden o no haber sido cebado, fusionado, armados o preparados de otro modo para el uso. Por su parte UXO es la sigla abreviatoria de Unexploded Ordnance (Artefactos sin explotar), que se refiere a cualquier artefacto explosivo que se ha cebado, fusionado, armados o preparados de otra forma o utilizado. Puede haber sido disparado, dejado caer, lanzado o proyectado aún permanece sin explotar a través de un mal funcionamiento o diseño, o por cualquier otra razón.

Según el informe The Monitor del año 2015, Chile ha reportado tres zonas de entrenamiento militar por un total de 97 kilómetros² que son sospechosos de estar contaminados por los restos de municiones en racimo. Desde junio del 2015, no existe información respecto al problema.

Es preciso hacer mención a algunas cuestiones relevantes respecto al caso de Chile. En primer término que nuestro país se integró a todas las políticas internacionales vinculadas al proceso de desminado humanitario, sin embargo nuestro país se encontraría bastante atrasado con los plazos para cumplir con los objetivos trazados Según The Monitor, “Chile está contaminada por las minas y las minas anti. Chile también se ve afectada, en una medida limitada, por los restos explosivos de guerra (REG), incluyendo restos de municiones en racimo” [25]. Chile tiene hasta 97 kilómetros² del área contaminada con restos de municiones en racimo. También se ve afectada, en una medida limitada, por otros restos explosivos de guerra (MUSE), con un poco de 13 kilómetros² de las zonas minadas de su liberación. Tres de las 15 regiones de Chile todavía contienen zonas con restos de municiones en racimo (ver tabla abajo). Las áreas contaminadas están ubicados en las bases de entrenamiento militar que se utilizaron municiones y municiones durante ejercicios de entrenamiento. El siguiente cuadro indica los datos específicos de esta situación:

Provincia	áreas confirmados	Superficie (km ²)	submuniciones esperada
Arica y Parinacota	1	33.71	608
Tarapacá	2	56.65	20
Magallanes y de la Antártica Chilena	1	6.52	20
Total	4	96.88	648

Tabla 1.1. Superficie REG en Chile (25)

Si bien esta es la información que Chile ha entregado a las entidades internacionales pertinentes, creemos que es necesario realizar un estudio mayor que permita indagar en la situación real que tiene Chile en torno a esto, pues existen muchos lugares de entrenamiento de

maniobras militares en distintos puntos del país, en los cuales se sospecha de la presencia de REG.

El Proceso De Desminado

Para la implementación de las tareas de desminado los organismos competentes han estandarizado el proceso de limpieza de minas y REG (Restos de explosivos de Guerra) y de liberación de Tierras, a través de los denominados Estándares Internacionales de Desminado Contra las Minas (IMAS), siendo el UNMAS la oficina dentro de la Organización de Naciones Unidas la responsable del desarrollo y mantenimiento de las normas internacionales de acción contra minas [22].

Las IMAS establecen una serie de procedimientos como así también marcos generales de interpretación y conceptualización para proceder a desarrollar las tareas de desminado. En este sentido IMAS establece un procedimiento que se constituye de los siguientes pasos:

- Monitoreo de las organizaciones de Desminado
- Liberación de Tierras
- Estudio no Técnico
- Estudio Técnico
- Requerimientos para el despeje
- Destrucción y neutralización de artefactos explosivos
- Desminado Mecánico

La metodología de trabajo de desminado tiene como referencia dos documentos previos al monitoreo: Guía de Aplicación de IMAS y el Glosario [22]. En el primero se entregan los elementos fundamentales para abordar el problema del desminado y el segundo fija el marco conceptual preciso para el desarrollo de la disciplina.

En base a lo anterior IMAS define una primera etapa que se denomina Monitoreo de las Organizaciones de Desminado, lo cual consiste fundamentalmente en

“la acreditación y monitoreo de las organizaciones de desminado antes y durante el proceso de despeje, y por la inspección de las tierras liberadas y despejadas antes de su entrega formal, siendo, en esencia, una actividad llevada a cabo por o en nombre de la autoridad nacional *implicando la observación, registro y reporte*” [22].

La siguiente etapa consignada como Liberación de Tierras está dirigida a:

“entregar estándares y orientaciones procedimentales para disminuir la posibilidad de ejecutar despejes completos de territorio innecesariamente, evitando así que reconocimientos inadecuados e inexactos puedan exagerar el problema de las minas/REG” [22].

En este mismo sentido la IMAS 08.20 plantea que:

“áreas inaccesibles, o áreas con limitada información disponible, no deben considerarse como área peligrosa por defecto y solo porque un área ha sido declarada sospechosa por un estudio de impacto, técnico o una fuente calificada, el despeje no debe de ser una respuesta automática para eliminar dicha sospecha” [22].

En esta óptica es que esta etapa (Liberación de Tierras) se ha subdividido en tres actividades principales: Estudio No técnico, Estudio Técnico y Despeje.

El IMAS 08.21 define a los estudios no técnicos como investigaciones de áreas peligrosas existentes o previamente registradas, siendo, por tanto el punto de partida para el registro de las áreas peligrosas confirmadas (CHA) o áreas peligrosas sospechosas (SHA). Un área peligrosa sospechosa (SHA) se refiere a un área sospechosa de tener peligro de minas/REG. Un SHA puede ser identificado por medio de un estudio de impacto, otra forma de estudio nacional, o por la denuncia de la presencia de peligros explosivos. Por su parte el

término Área Peligrosa Confirmada (CHA) se refiere a un área identificada por un estudio no técnico en el cual, la necesidad de una posterior intervención a través de un estudio técnico o de despeje ha sido confirmada. Por su parte el término área peligrosa definida (DHA) hace referencia a un área, generalmente dentro de un CHA que requiere de un despeje completo. Una DHA normalmente es identificada a través de un minucioso estudio [22].

Así un estudio no técnico involucra la colección y análisis de información nueva o preexistente en áreas sospechosas de tener minas o REG, siendo su principal propósito confirmar si hay evidencias de peligros o no, y para identificar el tipo y dimensión del peligro y definir, en la medida de lo posible el perímetro de las áreas peligrosas [22].



Ilustración 1.1. La imagen muestra un ejemplo de definición de un área peligrosa sospechosa (SHA).

La Figura muestra un ejemplo de definición de un área peligrosa sospechosa (SHA), a partir de un estudio de impacto u otras fuentes información y la consecuente conclusión de un estudio no técnico que da como resultado la clasificación del territorio en diferentes CHA.

Por su parte, el Estudio Técnico se refiere a una intervención detallada con elementos de verificación y/o despeje dentro de un **Área Peligrosa Confirmada (CHA)** o en parte de ella. Se debe confirmar la presencia de minas y/o REG a fin de determinar la existencia de una o más **Áreas Peligrosas Definidas (DHA)** y puede indicar la ausencia de minas y/o REG, lo cual podría permitir la liberación de tierras, si se combina está con otras evidencias. El principal propósito es el de recoger información sobre la presencia de peligros de explosión en una CHA. Esta información es evaluada y utilizada para tomar decisiones acerca de los límites reales del DHA donde se requiere un despeje completo [22].

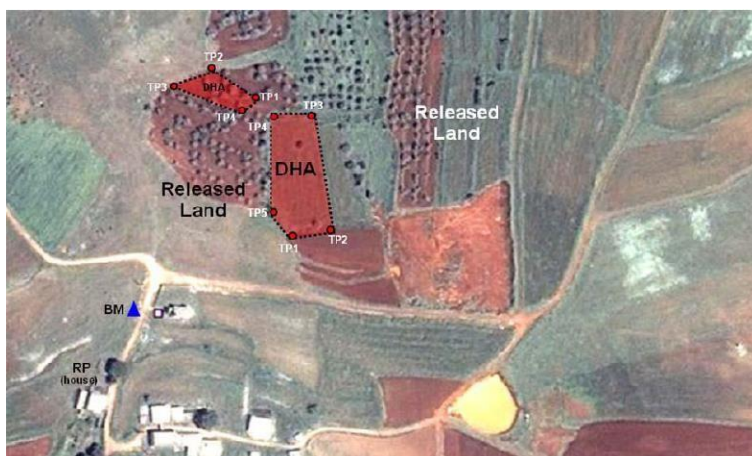


Ilustración 1.2 Se ilustra la situación posible a partir de estudios técnicos.

Las demás etapas del proceso de desminado tienen relación con el conjunto de procedimientos necesarios para proceder al despeje de las zonas mediante la destrucción y/o explosión de los artefactos desperdigados en el área. Dado que nuestro proyecto se encuentra estrechamente relacionado con la identificación de zonas y artefactos no profundizaremos en estos últimos procedimientos pues escapan al objeto de estudio de nuestra investigación

1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El proceso de desminado y el conjunto de métodos propuestos para su desarrollo, han permitido ir dando respuesta a los desafíos que impone el desminado humanitario a nivel mundial. Sin embargo las tareas de desminado, sobre todo lo relacionado con la munición sin estallar se deben enfrentar a una serie de dificultades que plantean la necesidad de buscar y utilizar herramientas que permitan obtener mayor información para así definir con mayor precisión y celeridad las DHA². La cuestión es muy compleja en tanto se puede tardar años e incluso décadas en localizar y remover los restos explosivos de guerra. En muchos países europeos se siguen retirando piezas de artillería que se emplearon en la Segunda Guerra Mundial. Por otro lado, cuestiones asociadas a la volatilidad de los artefactos hacen que los métodos convencionales pierdan viabilidad, sobre todo cuando se trata del rastreo de bombas de racimo. Un informe del Comité Internacional de la Cruz Roja (CICR) para Kosovo es muy categórico en este sentido afirmando que el sistema de detonación de las mini bombas (Bombetas de bombas de racimo) es muy sensible, teniéndose conocimiento de que estas han estallado, incluso, debido a un cambio de temperatura en el exterior.

Tal como afirma CICR, la situación es realmente grave, pues con la proliferación de armas y sistemas de lanzamiento cada vez más sofisticados el problema de los restos explosivos de guerra ha aumentado de forma constante en los últimos veinte años. Se estima que, actualmente, unos 84 países de todas las regiones del mundo padecen los nefastos efectos a largo plazo de los restos explosivos de guerra.

Por ello creemos que sería propicio aprovechar la actual tecnología espectroscópica para otorgar mayor celeridad al proceso de identificación de las REG. La utilización de técnicas de teledetección posibilitaría un rastreo general de la zona, desde la seguridad que nos otorga el trabajo en gabinete, entregando valiosos insumos para guiar el proceso de identificación, propiciando así un trabajo en base a referencias en el terreno, para así disminuir la posibilidad

²DHA es una categoría territorial definida en las IMAS 08.22, específicamente en lo que dice relación con el denominado Estudio técnico, siendo la abreviación de Áreas Peligrosas Definidas, la cual se refiere a un área, generalmente dentro de un Área Peligrosa Confirmada (CHA) que requiere de un despeje completo. Una DHA normalmente es identificada a través de un minucioso estudio. Por su parte CHA se refiere una Área Peligrosa Confirmada, es decir un área identificada por un estudio no técnico en la cual, la necesidad de una posterior intervención a través de un estudio técnico o de despeje, ha sido confirmada.

de accidentes, pues por lo general el proceso de desminado implica incurrir en riesgosas tareas de detección.

Un primer paso para ello sería la elaboración de una metodología basada con información disponible como firmas espectrales de librerías abiertas e imágenes satelitales gratuitas ó privadas realizando un análisis espectral que permitiese identificar los REG.

1.2 HIPÓTESIS

Es posible localizar restos de explosivos de guerra, a partir del análisis de algoritmo RX y detección de blancos en una imagen de alta resolución, lo cual nos permitirá hacer una clasificación con respecto al comportamiento espectral de ellos y así poder establecer la presencia de Explosivos Remanentes de Guerra (REG) delimitando Áreas Peligrosas Conformadas (CHA), reduciendo costos y tiempos asociados al estudio técnico del proceso de desminado definido por IMAS.

1.3 OBJETIVOS

El presente trabajo tiene los siguientes objetivos:

1.3.1 Objetivo General

Diseñar una metodología de clasificación óptima en base a análisis RX y detección de blancos, utilizando imágenes de alta resolución espacial, detectando anomalías espectrales que permitan distinguir la presencia de material asociado a Explosivos Remanentes de Guerra.

1.3.2 Objetivos Específicos

- ✓ Obtener las firmas espectrales asociadas a los elementos (suelo, vegetación, construcción y metales) presentes en el área de estudio.
- ✓ Clasificar entidades conocidos en el área de estudio para definir target.
- ✓ Generar análisis de anomalías espectrales utilizando la familia de algoritmos RX y detección de blancos.
- ✓ Realizar análisis comparados de rendimiento de algoritmos
- ✓ Definir CHA
- ✓ Corroborar la información generada en la clasificación con respecto a los datos obtenidos en campo
- ✓ Definir DHA

2. CAPITULO II. MARCO TEORICO

2.1 GENERALIDADES TELEDETECCIÓN

Las aplicaciones de teledetección es un hecho para gran parte de las disciplinas científicas. Desde la Oceanografía hasta la arqueología pueden beneficiarse del potencial de la información recabada y entregada por los sensores remotos. Su aplicación en diversas materias se fundamenta en que los elementos de la naturaleza tienen una respuesta espectral propia que se denomina *signatura espectral*. De esta forma estudia las variaciones espectrales, espaciales y temporales de las ondas electromagnéticas, y pone de manifiesto las correlaciones existentes entre éstas y las características de los diferentes materiales terrestres.

“Entre las ventajas proporcionadas por estos sistemas destacan, la cobertura global y exhaustiva, perspectiva panorámica, observación multisecular, información sobre regiones no visibles del espectro, multitemporalidad de las observaciones, transmisión a tiempo real y registro digital de la información” [16].

Las bases científicas-teóricas de la teledetección vienen desarrollándose de manera sostenida desde mediados del siglo XIX. Los pioneros en estudios de espectroscopia son el físico alemán Gustav Robert Kirchhoff y el químico, de igual nacionalidad, Robert Wilhem Bunsen, quienes sentaron las bases de la disciplina, incluyendo la creación del primer espectrómetro moderno. En un principio la espectroscopia fue utilizada para el estudio mineral, de hecho fue fundamental para la configuración final de la tabla periódica.

El científico Graham. R Hunter es uno de los pioneros en la investigación espectral que sentó las bases para la sistematización del comportamiento radiométrico-espectral de diferentes elementos. En uno de sus estudios, publicado en 1977 por *Geophysic*, Hunt analiza la importancia de presencia de la función de la longitud de onda específica en el espectro de un mineral en partículas. En otro estudio desarrollado por Logan, Lloyd y Hunt, se analiza la función de alto contraste espectral disponible para las muestras de partículas de pequeño

tamaño. Algunos estudios de Hunt estuvieron abocados, incluso, al análisis espectral infrarrojo para el estudio de la superficie de Marte.

Durante la década de los 60 estudios de J.W Adams y P. C. Bailey ya habían centrado su atención en el análisis de las respuestas espectrales de minerales y suelos. Estudios de B.W Anderson apuntaron a estudiar las dinámicas espectrales de los minerales en relación con el proceso de metamitización. En general el periodo comprendido entre 1950 – 1970 estuvo caracterizado por la proliferación de estudios espectrales de distinta índole asociados al análisis mineralógico

De ahí en adelante el desarrollo de la investigación espectroscópica junto al avance en materia de sensores remotos, hizo de la teledetección multiespectral una gran herramienta para el trabajo en múltiples áreas. Dentro de las ciencias que han utilizado los avances en esta materia destacan la mineralogía, arqueología (arqueometalúrgica), hidrología, medioambiente, geología y agricultura, entre otras.

“Aproximadamente en 1970 fue cuando se alcanzó una madurez en el sistema operacional para recolectar información sobre la tierra, y coincidió con la puesta de los instrumentos de censado en laboratorios espaciales y en el Landsat. Para 1980 una variedad de sensores especializados (CZCS, HCMM y MAVHRR) fueron puestos en órbita como programa de investigación” [33].

Destaca para esta época el sensor RBV, el MSS y posteriormente el Thematic Mapper. Todos portados por satélites Landsat. Frente a la limitación de estos sensores, relacionadas esencialmente con la oscilación de los espejos, se desarrolló el Pushbroom Scanner.

Así, desde la década de 1970 los satélites se volvieron herramientas muy importantes para el estudio de la Tierra. Como en la fotografía convencional, el nivel de gris de las imágenes indica diferencias en las propiedades ópticas y esto lleva a una diferenciación de los materiales [33]. Esto define el nacimiento de las imágenes multiespectrales que se remontan a los primeros satélites Landsat. Durante los últimos años esta disciplina ha experimentado un

notorio avance impulsado por el creciente progreso de las técnicas de espectroscopia, aparejado al mejoramiento y abaratamiento de sus tecnologías de medición [28].

Es un hecho por tanto que los estudios desarrollados han sido un gran aporte a diferentes campos de la investigación, fundamentalmente la agricultura, mineralogía y arqueología, entre otras. Es importante destacar en este sentido que la mayoría de los proyectos han estado orientados a la delimitación de zonas y no a la detección de objetos aislados sobre el terreno incluso cuando se ha trabajado con altas resoluciones espaciales (0,5 a 2m) y espectrales.

2.2 ENERGÍA ELECTROMAGNÉTICA

El espectro electromagnético (EE) es flujo continuo energía que se transmite por el espacio a través de ondas con una velocidad, que en el vacío, es de 300.000 Km/seg. Una onda electromagnética (Fig.2-1) resulta de la propagación simultánea en el espacio de un campo eléctrico (E) y otro magnético (B) variables y, dada su forma de propagación, los diferentes tipos se definen por la longitud de onda (λ) o por la frecuencia (F). La longitud de onda expresa el carácter periódico de esta perturbación, y vendría definida como la distancia entre dos picos contiguos de uno de los campos, midiéndose en unidades de longitud (mts. mm. μ m) y la frecuencia mediría el número de ciclos por unidad de tiempo que pasan por un punto fijo, midiéndose en hercios (Hz).

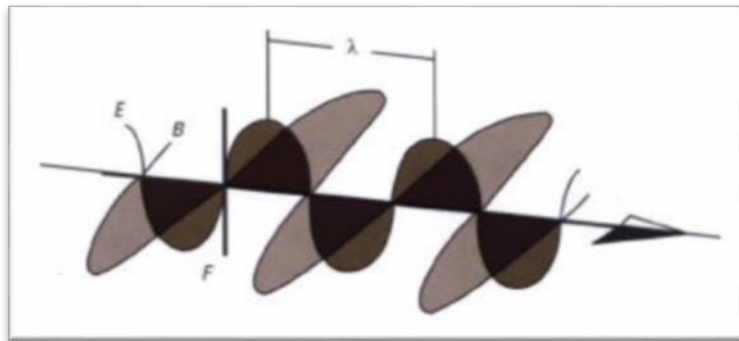


Ilustración 2.1. Descripción de Onda Electromagnética.

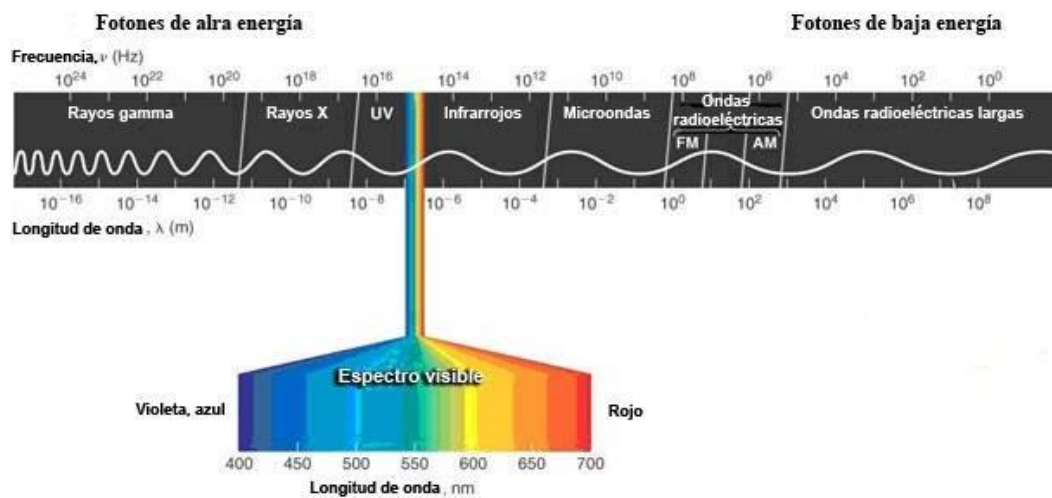


Ilustración 2.2. Esquema de espectro electromagnético (EE) indicando sus principales zonas en función de la longitud de onda expresada en mts.

2.3 TIPOS DE ENERGÍA ELECTROMAGNÉTICA

Considerando la longitud de onda como variable discriminadora es posible distinguir entre distintos tipos de energía electromagnética. La Figura 2-2 y la Tabla 2-1 describen las principales zonas del EE, abarcando desde longitudes de onda muy pequeñas (Rayos gamma, rayos X y ultravioleta) hasta aquellas muy largas (microondas y comunicaciones).

Región o Banda Espectral		Longitud de Onda (λ)	Características
Rayos Gamma		< 0,03 nm	Radiación completamente absorbida por las capas superiores de la atmósfera. No se utilizan en teledetección.
Rayos X		0,03 - 30 nm	
Ultravioleta (UV)		0,03 - 0,4 μm	La radiación con $\lambda < 0,3 \mu\text{m}$ es completamente absorbida por la capa de ozono de la atmósfera.
Visible (Azul, Verde, Rojo)		0,4 - 0,5 μm (Azul) 0,5 - 0,6 μm (Verde) 0,6 - 0,7 μm (Rojo)	Se puede detectar a través de fotodetectores y películas fotosensibles normales (Color y Blanco/Negro)
Infrarrojo (IR)	Infrarrojo Reflejado	0,7 - 1,3 μm (IR Cercano)	Radiación solar reflejada que no contiene información acerca de las propiedades térmicas de los materiales. El rango 0,7 a 0,9 μm se puede detectar solo usando películas fotosensibles (Infrarrojo Fotográfico)
		1,3 - 3,0 μm (IR Medio)	
	Infrarrojo Térmico	3,0 - 5,0 μm 8,0 - 14,0 μm	Corresponden a dos ventanas atmosféricas en la región térmica.
Radar (Región de la microondas)		0,1 - 100 cm	Radiación de grandes longitudes de onda, capaces de penetrar nubes, nieblas y lluvia.
Ondas de Radio y TV		> 100 cm	Radiación con las mayores longitudes de onda del espectro. Se utilizan en telecomunicaciones.

Tabla 2.1. Descripción de las regiones del espectro electromagnético.

La principal fuente de energía radiante que llega a nuestro planeta es la emitida por el sol. Sin embargo, no todos los tipos de energía son capaces de atravesar nuestra atmósfera sufriendo modificaciones que se explican a través de varios procesos físicos, entre los cuales destacan la dispersión y la absorción.

En lo referente a la dispersión atmosférica (conocida con el término inglés "scattering"), este fenómeno aparece a causa de la difusión en todas las direcciones que las partículas en suspensión y las moléculas de los componentes de la atmósfera, producen sobre la radiación que interacciona con ellos. De forma general, este efecto de dispersión decrece a medida que aumenta la longitud de onda, aunque pueden distinguirse varios tipos:

- Dispersión "Rayleigh": Este tipo de dispersión es producida por las moléculas y partículas atmosféricas que tienen un diámetro menor que la longitud de onda incidente,

afectando especialmente a las longitudes de onda más cortas de espectro visible. Esta es la causa del "azul " del cielo en los días despejados.

- Dispersión "Mie": Este tipo se produce cuando las partículas y moléculas presentes en la atmósfera tienen un diámetro de igual tamaño que la longitud de la onda de la energía incidente, afectando singularmente a longitudes de onda más largas que la dispersión Rayleigh.

- Dispersión "no selectiva": Este tipo de dispersión, independiente de la longitud de onda de la energía incidente, se produce cuando las partículas y moléculas atmosféricas presentan un diámetro de mayor tamaño que la longitud de onda de la radiación. Un caso típico es el color blanco de las nubes, ya que los elementos y partículas que las forman reflejan con igual intensidad todas las longitudes de onda dentro del visible (azul, verde, rojo).

Este fenómeno de la dispersión atmosférica es un elemento que se debe tener siempre presente en cualquier proceso de análisis e interpretación de imágenes.

Por su parte, la absorción atmosférica está ligada a la retención de energía por parte de los diferentes componentes de la atmósfera, sobre todo del vapor de agua (H₂O), el dióxido de carbono (CO₂), el oxígeno (O₂) y el ozono (O₃), aunque este fenómeno de la absorción es muy selectivo, limitándose a determinadas longitudes de onda dentro del espectro electromagnético (las inferiores a 0,3 μ m por el ozono, por ejemplo).

De esta forma, la radiación solar incidente o insolación es atenuada a través de su paso por la atmósfera y llega disminuida a la superficie terrestre. Como consecuencia, la atmósfera presenta una serie de zonas espectrales en las que tiene un comportamiento transparente a la radiación electromagnética llamadas ventanas atmosféricas y es a través de ellas por las que es posible la teledetección de la superficie terrestre. Las principales ventanas atmosféricas son:

Ventana	Rango espectral (μm)
1	0,3 – 1,3
2	1,5 – 1,8
3	2,0 – 2,6
4	3,0 – 3,6
5	4,2 – 5,0
6	7,0 – 15,0

Tabla 2.2. Principales ventanas atmosféricas para la observación terrestre.

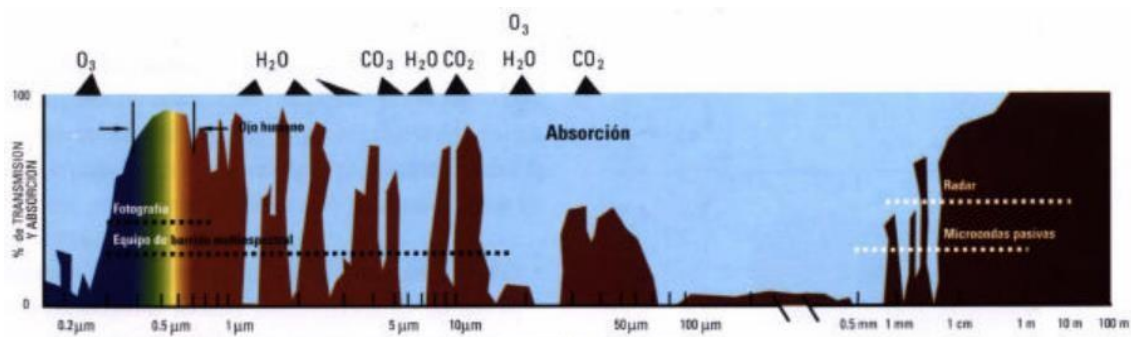


Ilustración 2.3. Transmisión y Absorción Atmosférica.

2.4 FIRMAS ESPECTRALES

La Firma Espectral es el conjunto de valores característicos y propios de cada objeto, captados para los diferentes campos del espectro de los que se obtiene información, en este sentido, la signature espectral que captan los diversos sensores utilizados en teledetección reflejan el comportamiento de los diferentes objetos analizados en función de su mayor o menor capacidad de absorción, transmisión o reflexión de la energía que reciben, siendo este hecho condicionado por la estructura y composición del elemento observado. Incluso un mismo objeto puede variar su respuesta espectral en función de su estado y relación con el entorno, permitiendo la teledetección calibrar variaciones estacionales en los ciclos de la naturaleza.

El comportamiento diferencial de la firma espectral se presenta en la radiación reflejada (reflectancia) o emitida (emitancia) desde algún tipo de superficie u objeto terrestre en los distintos rangos del espectro electromagnético. Una forma gráfica de estudiar este comportamiento es disponer los datos de reflectancia (%) en el eje Y y la longitud de onda λ en el eje X. Al unir los puntos con una línea continua se origina una representación bidimensional de la firma espectral (Figura 2.4).

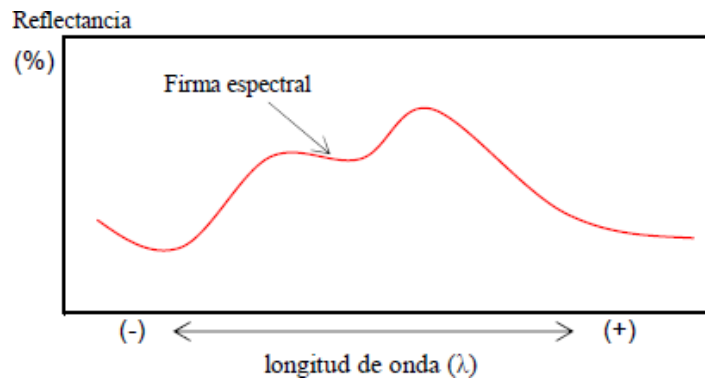


Ilustración 2.4. Representación gráfica de una firma espectral una de cobertura de suelo cualquiera.

Los seres humanos somos capaces de percibir a ojo desnudo el patrón de respuesta espectral en el rango visible del EE ($\lambda = 0,4 - 0,7 \mu\text{m}$), el cual interpretamos como el “color” característico del objeto o material observado; Más allá del espectro visible, todos los materiales presentan respuestas espectrales características que se pueden detectar usando sensores óptico electrónicos capaces de detectar energía en la región infrarroja reflejada y térmica. Estos instrumentos pueden ser usados a nivel terrestre, en campo o en laboratorio, o montados en plataformas aéreas o satelitales. La Figura 2.5 presenta un conjunto de firmas espectrales de referencia general para un conjunto de materiales comunes de encontrar en la superficie terrestre [21].

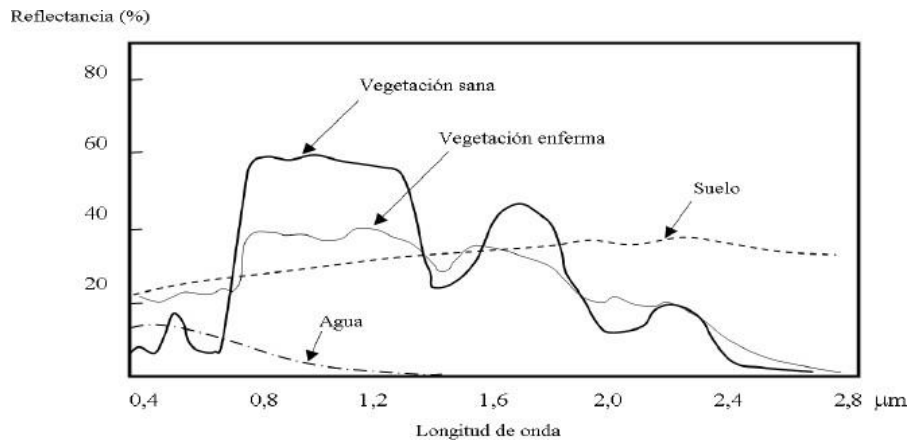


Ilustración 2.5. Firmas espectrales típicas para vegetación, suelo y agua en el rango visible e infrarrojo reflejado del EE.

2.5 UTILIZACIÓN DE PATRONES ESPECTRALES EN IMÁGENES TELEDETECTADAS

El reconocimiento de distintos tipos de coberturas, asistido por computador, en función de sus características espectrales se denomina comúnmente clasificación. El objetivo general de la clasificación es asignar un conjunto de píxeles u objetos (conjunto de píxeles) en la figura digital a un conjunto de clases predefinidas. Ejemplos de clases son tipo de vegetación, suelo desnudo, nieve, o zonas urbanas. Desde este punto de vista, la clasificación puede ser vista como un problema de etiquetación de píxeles u objetos que presentan un patrón espectral similar. Para ello, se construye algo así como una clave de identificación (firma espectral de referencia) con la que se compara la firma espectral a clasificar y se etiqueta con el nombre de aquella a la que "más se parezca" (Figura 2.6).

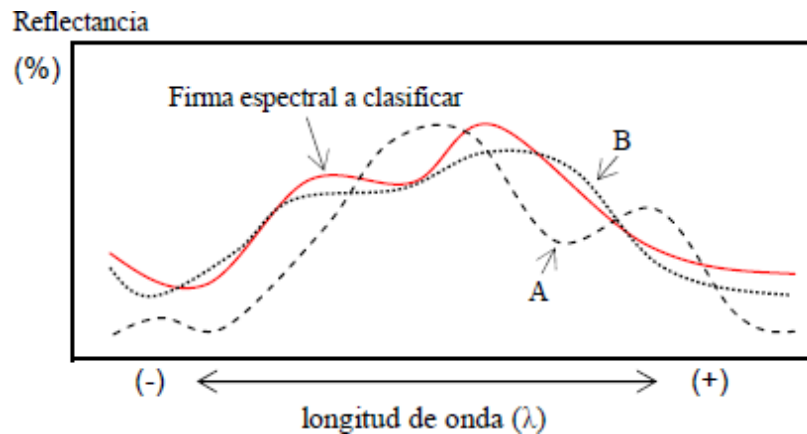


Ilustración 2.6. Ejemplo de clasificación de un píxel u objeto.

En la Figura 2.6 se exhibe la firma espectral representada por la línea roja continua, se compara con las firmas espectrales referenciales de dos clases A y B (por ejemplo: vegetación tipo A y vegetación tipo B). En este caso se clasifica como B debido a su mayor similitud con el patrón espectral referencial B. En procesos de clasificación digital la similitud se mide en términos de distancia euclidiana o estadística dimensional, clasificar aquellos píxeles u objetos que no tienen suficiente similitud con algunas de las firmas referenciales

Los patrones espectrales a clasificar son obtenidos de las imágenes teledetectadas de acuerdo a dos enfoques básicos: i) píxel a píxel, ii) orientado a objetos. Tradicionalmente, y en especial para imágenes de resolución espacial moderada, por ejemplo Landsat TM / ETM+, Spot HRV o ASTER, la clasificación opera para patrones espectrales asociados a píxeles. Para ello, dado un píxel cualquiera, se obtiene su firma espectral a través de los niveles digitales que presenta en todas las bandas de la figura multiespectral (A en la Figura 2.6). En cambio, cuando se trabaja con imágenes de alta resolución espacial, por ejemplo QuickBird o IKONOS, es conveniente segmentar la figura previamente y luego extraer la firma espectral “promedio” del objeto a clasificar (B en la Figura 2.6).

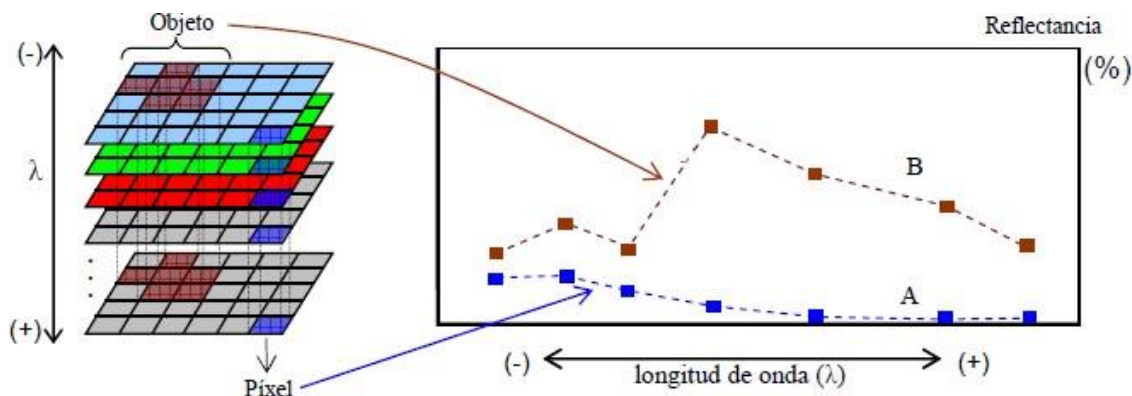


Ilustración 2.7. Ejemplo de obtención de firmas espectrales a clasificar.

En la Figura 2.7 nos muestra las dos formas de obtención de firmas espectrales a clasificar, en imágenes teledetectadas, asociadas a píxeles individuales (A) o a objetos obtenidos a través de segmentaciones previas (B). La segmentación consiste en la agrupación de píxeles que tienen una similitud espectral, textural o contextual a través de algoritmos matemáticos. La firma espectral de referencia debe ser definida para todas las clases que se desea identificar y existen dos formas de obtenerlas:

- ✓ Librerías espectrales públicas. Esta opción no es siempre factible debido a que diversos tipos de materiales son específicos de algunas regiones o países y no existen patrones espectrales referenciales. Por ejemplo, en Chile algunos tipos de suelo y gran parte de nuestra vegetación nativa son únicos (endémicos) por lo cual no pueden ser encontrados en ninguna librería espectral extranjera.
- ✓ A partir de los datos contenidos en la propia figura. Este enfoque asume que en la Figura a clasificar se pueden distinguir píxeles que corresponden, con un alto grado de certidumbre, a algunas de las clases que interés a clasificar. Para ello, se debe realizar un proceso de entrenamiento de los algoritmos de clasificación usando estos píxeles de muestra para formar las firmas espectrales que serán usadas como referencia (ver Figura 2.6). Existen dos enfoques para lo anterior: supervisado y no supervisado.

La clasificación supervisada se utiliza cuando el usuario conoce *a priori* para un subconjunto de píxeles de la figura a qué clase pertenecen. Es necesario contar con áreas de entrenamiento para todas las clases predefinidas. Es deseable tener muestras puras en las que el conjunto de píxeles corresponda a un sólo tipo de objeto y minimizar la presencia de píxeles ajenos que contaminen la muestra. Se requiere una muestra con un mínimo de $m+1$ píxeles para cada clase, siendo m el número de bandas que se usarán en el análisis, pero se recomienda superar tanto como sea posible este mínimo.

Por su parte, la clasificación no supervisada se aplica cuando no se tienen áreas de entrenamiento disponibles, y se desarrolla a través del análisis de "clusters". En primer lugar, se agrupan los datos de acuerdo a su tendencia natural, y en segundo lugar, se identifica cada grupo por comparación con información de campo. Las clases homogéneas se crean asignando cada píxel a la semilla o centroide adecuada, de acuerdo a un criterio de minimización la varianza residual entre clases, dentro de un proceso iterativo que acaba cuando no se puede mejorar la separación. La forma en que las semillas se seleccionan y la forma en que los píxeles son asignados a dichas semillas dan origen a los diferentes algoritmos de agrupamiento o "clustering". Otros autores proponen localizar las semillas coincidiendo con los picos del histograma de los niveles digitales de la figura, sin embargo, el criterio más extendido es el llamado ISODATA ("iterativeself-organizing data análisis") que selecciona las semillas de forma sistemática a lo largo del rango total de valores de niveles digitales para las bandas de la figura.

Otra técnica de análisis que se ha posicionado y potenciado en el mundo de la teledetección es la denominada **clasificación orientada a objetos** (OBIA), cuyo principio se basa en la asociación de píxeles, según la homogeneidad de sus valores, configurando "objetos", y de esta forma segmentando la escena en "objetos primarios" para iniciar el proceso de clasificación.³

³Para profundizar en esta metodología ver: **Geneletti D. and B.G.H. Gorte.**2003. A method for object-oriented land cover classification combining Landsat TM data and aerial photographs. *Int. J. Remote Sensing* 24(6): 1273-1286; **Guo, Q. C., M. Kelly, P. Gong** and D. Liu. 2007. An object-based classification approach in mapping tree mortality using high spatial resolution imagery. *GIScience and RemoteSensing* 44(1): 24-47

2.6 TIPOS DE RESOLUCIÓN

Para el desarrollo de este trabajo se va a utilizar una imagen Pleiades del 28 de Enero de 2015 de la Zona de Peldehue en la comuna de Colina donde se encuentra emplazada la Brigada de Operaciones Especiales del Ejército de Chile. La selección de este sensor estuvo relacionada con establecer los criterios óptimos necesarios para el procesamiento de clasificación a nivel de subpixel. Como es sabido los sensores se dividen por 4 tipo de resoluciones: R. espacial; R. espectral; R. Radiométrica y R. temporal. La resolución temporal se encuentra asociado al periodo que transcurre por el paso del sensor en un mismo punto del planeta. Por su parte, la resolución espacial (tamaño del pixel) está determinado por el tamaño de la celda sobre el terreno (GIFOV), el cual depende, por un lado del campo de visión instantánea, es decir la porción de terreno que sostiene un ángulo solido (FOV) igual al IFOV (ángulo de apertura del sensor), y por otro lado a la altura. Por esta razón es que la resolución espacial será mayor en la medida que el IFOV y la altura sean de menor valor. Por lo tanto es posible establecer que, desde un punto de vista estrictamente espacial, los objetos que tienen una superficie o longitud menor, respecto de la resolución espacial del sensor no podrían ser detectados.

Por su parte, la resolución espectral, definida como la capacidad del sensor para discriminar la radiancia detectada en distintas longitudes de onda del espectro electromagnético depende de la cantidad de bandas, es decir los Intervalos de longitudes de onda explorados por el detector en cada canal y la anchura de cada una de ellas. Es importante destacar, en este sentido, que:

“ cada banda espectral de un sensor multispectral es una imagen monocromática que podemos ver en tonos de gris o combinar con otras bandas para producir una imagen color o falso color, esto se hace asignando a cada uno de los canales (RGB) de los tubos de rayos catódicos (CRT) de la pantalla a una banda en particular” (24).

Desde esta perspectiva es que resulta de vital importancia comprender que la composición espectral de un pixel se define por la combinación espectral de los valores de las distintas signatures de los elementos que están dentro de este, esto se debe a que

“el pixel es un promedio de las radiaciones recibidas en esa área” [24].

Por otro lado es importante destacar, igualmente en relación a lo anterior, que la obtención de resultados para la detección de entidades aisladas y menores a la resolución espacial de la imagen, está dado por las posibilidades de establecer comportamientos espectrales para cada uno de los elementos insertos dentro del pixel. Para nuestra investigación, en términos generales, será necesario distinguir a lo menos 3 grandes categorías (componentes): El material de la munición, la vegetación y el suelo. Por lo general la munición está asociada a materiales tales como el plomo, generalmente recubierto por acero, bronce, cobre y níquel. Es necesario tener en consideración, en este aspecto, que en el caso de la detección de AXOs es probable que los materiales sean de otra naturaleza pues se presenta de diferente forma, ya sea munición agrupada o munición almacenada.

Este tipo de materiales presentan respuestas espectrales diversas que podrían ser contratadas con el comportamiento de la vegetación. Es importante recordar, en este sentido, que

“la vegetación posee un comportamiento espectral generalmente conocido y que de cierta manera posee algunas constantes, presentándose sus máximos niveles de reflectividad entre los 0,8 – 1,3 micras correspondiéndose con el infrarrojo cercano” [16].

El conocimiento de las firmas espectrales de los vegetales está muy estudiado, razón por la cual es fácil definir la presencia de esta en diferentes contextos espaciales, a partir de librerías espectrales disponibles. Asimismo los principales factores que afectan el comportamiento espectral de los suelos son el color y el contenido de humedad. Cuando los suelos se encuentran secos las tierras ennegrecidas presentan mayor reflectancia, contrariamente cuando se encuentran con un alto contenido de agua poseen en promedio una reflectancia dos veces más débil que los suelos secos registrando las mayores diferencias en la zona de infrarrojo cercano [21]. Otros factores que modifican la reflectancia de los suelos son: el contenido de materia orgánica, la textura y estructura, disposición vertical y horizontal, así como los ángulos de iluminación y observación de estos [21]

Por su parte, la resolución radiométrica, definida como la capacidad del sensor para discriminar niveles de intensidad de radiancia espectral, determina la asignación, a cada celda,

de niveles digitales (ND) proporcional a la energía recibida. Los rangos de niveles digitales registrados se expresan de la siguiente manera:

$$\begin{array}{ll}
 2^2 = 4 & (0-1-2-3) \\
 \vdots & \vdots \\
 2^6 = 64 & (0-1 \dots 63) \\
 \vdots & \vdots \\
 2^8 = 256 & (0-1 \dots 255) \\
 \vdots & \vdots \\
 2^{10} = 1024 & (0-1 \dots 1023) \\
 2^{11} = 2048 & (0-1 \dots 2047)
 \end{array}$$

De esta forma es que una imagen de 6 bits nos permitirá obtener información codificada en 64 ND, una de 8 bits de 256 ND, una de 10 nos dará 1024 ND, y así sucesivamente de manera exponencial.

En definitiva, será la conjugación de una alta resolución espacial (desde 0,5 metros), con una alta resolución radiométrica, y una resolución espectral de mínimo 5 bandas (pancromático, rojo, verde, azul e infrarrojo cercano), la que nos permitiría eventualmente identificar objetos pequeños (20 cm a 1m) en la superficie, en base al principio de proporcionalidad de la radiancia de las distintas clases dentro de un pixel. Dicho de otra forma, la resolución espectral del sensor nos permitiría distinguir distintos materiales, comprendiendo que cada valor-pixel será el promedio del comportamiento espectral de los elementos que estén dentro de este, así miles de niveles digitales materializarían tales diferencias en el comportamiento espectroscópico de los elementos en estudio (Metales, vegetación y suelo). Todo esto será posible, tan solo en la medida que nuestro campo de visión instantáneo en Tierra (Gifov) comprenda una área reducida, pues no tan solo permitiría distinguir con mayor claridad la diferencia de materiales presentes en el terreno tras el proceso de interpolación que implica el análisis espectral, sino que incluso podríamos identificar en base a interpretaciones de formas a objetos que sobrepasen los valores de área o incluso longitud, de los pixeles, como podría ser el caso de la munición de artillería. Es necesario destacar en este sentido que algunos estudios ponen énfasis en que el factor determinante para un correcto análisis subpixel, más que la información multiespectral, resulta fundamental una buena definición de clases puras (embembers).

2.7 CORRECCIÓN RADIOMÉTRICA Y GEOMÉTRICA

Las distorsiones radiométricas obedecen a mecanismos que alteran los valores de brillo de los píxeles y se deben fundamentalmente a interferencias atmosféricas y a efectos asociados a instrumentación. Las correcciones atmosféricas constituyen un problema muy complejo si se quieren aplicar sobre la base de modelos físicos del comportamiento de las radiaciones. En efecto, estos modelos tienen el mérito de su rigor científico, precisión y aplicabilidad a un amplio rango de circunstancias, pero suelen exigir complejos programas de computadora así como información meteorológica detallada relativa a las condiciones en que se registró la escena. Una aproximación sencilla y práctica a la corrección del efecto atmosférico se basa en la consideración de los histogramas de las imágenes espectrales. Un histograma es un gráfico o tabla que muestra el número de píxeles f (DN) de una imagen que poseen un valor DN.

Los valores más bajos de los histogramas corresponden a las mayores longitudes de onda: en particular la banda infrarroja cercana es la que posee el valor más bajo. En esta banda los cuerpos de agua clara y las sombras topográficas poseerían un valor de reflectancia de cero o muy próximo a cero si no fuera por el efecto dispersivo. Se admite que el desplazamiento del extremo inferior de los histogramas es debido fundamentalmente al componente dispersivo de la interferencia atmosférica. En efecto, suponemos que las demás bandas, particularmente cubriendo áreas geográficas extensas deben poseer algunos píxeles (por ejemplo sombras topográficas o de nubes, cuerpos de agua clara y profunda, etc.) que si no fuera por el efecto atmosférico tendrían valor cero.

Las distorsiones geométricas responden a muy diversas causas y pueden clasificarse en sistemáticas y no sistemáticas. Las principales causas de distorsiones geométricas sistemáticas son el **sesgo de escaneado**: causado por el movimiento de avance de la plataforma durante el tiempo requerido para cada barrido del espejo (sistemas whiskbroom); **la velocidad del espejo** de escaneado. La velocidad de éste usualmente no es constante durante un dado ciclo, produciendo una distorsión geométrica a lo largo del escaneado; **El efecto panorámico y curvatura terrestre**. El efecto panorámico deriva del hecho de que como para los sensores de las plataformas satelitales el IFOV angular es constante, el tamaño del pixel sobre el terreno será mayor en los extremos de la oscilación que en el nadir. También la curvatura terrestre conduce a un efecto similar, aunque para satélites de barrido poco extenso, como el LANDSAT

(185 km) o el SPOT (120 km) el efecto es despreciable, a diferencia de lo que ocurre con los NOAA, con 2700 km de FOV; **La velocidad de la plataforma.** Si la velocidad de la plataforma cambia, la cobertura terrestre a lo largo de su traza terrestre para sucesivos escaneos también cambiará. Se producirá una distorsión de escala a lo largo del trayecto; **La rotación de la Tierra.** A medida que el sensor escanea el terreno la Tierra se desplaza de oeste a este. De modo que un punto del terreno registrado al fin del escaneado va a estar más al oeste que cuando comenzó el barrido. Esto produce una distorsión según la traza de barrido.

Como casos de distorsiones geométricas no sistemáticas se presentan los efectos por **altitud** (orientación del satélite) y por **Roll Yaw Pitch**: Estos movimientos se definen como: balanceo (roll), cabeceo (pitch) y desvío (yaw).

Algunas de las distorsiones geométricas que hemos mencionado previamente, son bien comprendidas y pueden ser modeladas con funciones matemáticas que permiten su evaluación y corrección. Las restantes distorsiones geométricas pueden ser minimizadas estableciendo una relación matemática entre las coordenadas de los píxeles en la imagen y los correspondientes puntos sobre el terreno. Esto puede hacerse independientemente del conocimiento que el analista pueda tener de la fuente y tipo de distorsión. Esta técnica de corrección de imagen requiere la identificación de una serie de características existentes tanto en la imagen como en un mapa de referencia. Estas características se denominan usualmente puntos de control de tierra (GCP, Ground Control Points). Estos son usualmente detalles de la escena bien definidos y espacialmente pequeños: curvas en ríos, detalles costeros, cruce de caminos o de pistas de aeropuertos, etc. Una vez que se estableció la relación matemática ésta es aplicada para rectificar o reubicar cada pixel de la imagen original en su posición geométrica más correcta en la imagen corregida. En cuanto al ruido en las imágenes se trata de señales espúreas provenientes de diversas fuentes potenciales, desde derivas periódicas o funcionamiento defectuoso de un detector a interferencias electrónicas entre componentes del sensor e interrupciones en las transmisión y registro de datos.

2.8 CLASIFICACIÓN (Algoritmos De Clasificación)

Tal como hemos enunciado, el proceso de clasificación de imágenes multiespectrales se puede abordar desde dos grandes paradigmas: Clasificadores duros y clasificadores blandos. Los algoritmos de clasificación duros proponen modelos de discriminación, agrupando los pixel de la imagen en base a la asignación de valores en base a categorizaciones previas (clasificación supervisada) o contingentes (clasificación no supervisada), en donde cada pixel corresponderá a una determinada clase. Este modelo de clasificación es muy útil cuando se pretende analizar una imagen prescindiendo de las diferencias de valores de radiancia que se combinan dentro de un pixel. Para ambos modelos existen múltiples algoritmos de clasificación tales como Mínima distancia, Distancia de Mahalanobis, Maximaverosimilitud o Anglemapper espectral, entre otros.

De forma paralela, las últimas décadas algunos investigadores han desarrollado esfuerzos para tratar el tema de las anomalías espectrales. Una serie de enfoques han definido esta técnica de análisis, desde métodos de clasificación supervisados rígidos hasta algoritmos de clasificación específica, no supervisados que buscan identificar puntos de anomalía.

“Uno de los elementos en común a casi todos los algoritmos de clasificación de anomalías radica en el hecho de concebirlas en una lógica de representación de distribución normal multivariante o gaussiana” [30].

Los trabajos de Witherspoon y Holloway (1995), C. I. Chang and S. S. Chiang (2000, 2002), Liao, Chen&Baertlein (2001), A. P. Schaum, and A. D. Stocker (2002), QiandongGuo, Bing Zhag, QiongRan, LianruGao y Antonio Plaza (2014), D. W. J. Stein, S. G. Beaven, L. E. Hoff, E. M. Winter, han sido pioneros en esta materia desarrollando la línea investigativa abierta por Red y X. Yu, quienes desarrollaron el algoritmo RX, denominado así por las iniciales de los nombres de sus creadores. El algoritmo RX es una técnica no muy difundida, y por tanto aplicada en los estudios de teledetección. Su objetivo es la identificación de diferencias espectrales respecto al fondo de la imagen.

De forma paralela se han propuesto algunas técnicas que han supuesto la mejora en el establecimiento de relaciones entre la dimensionalidad de los datos y la optimización de los procesos de búsqueda, así como la diferenciación subpixel de la mezcla espectral y su implicación en las respuestas anómalas [30].

La familia de algoritmos RX podrían considerarse como la evolución de uno de los primeros algoritmos de identificación de minas terrestres que fue el denominado **Minifield Detection Algorithm**(MDA) desarrollado en el marco del proyecto REMINDS en 1988. El MDA consistió en un algoritmo de agrupamiento seguido de una linealidad y la detección de densidad (LDS). Los pixeles resultantes de estos algoritmos salen etiquetados con un valor correspondiente a la probabilidad de pertenencia de un artefacto explosivo en un campo de minas. La posición (x, y) del píxel y su etiqueta se utiliza para resaltar los campos de minas potenciales en un originales infrarrojos del terreno⁴. Importante en el desarrollo de este proyecto ha sido la utilización del Radar de Apertura Sintética Táctico (TSAR), que logra obtener información bajo la superficie pues tiene la capacidad de penetrar en el subsuelo.

Paralelo a ello, uno de los proyectos más importantes aplicado específicamente a la detección de minas a partir de análisis multiespectral es el programa Coastal Battlefield Reconnaissance and Análisis (COBRA), financiado por el gobierno de EEUU y desarrollado por Aréte Associates⁵. COBRA es un proyecto de detección de minas antipersonales, que consiste esencialmente en desarrollar tareas de reconocimiento táctico aéreo, no tripulado, en la zona de combate litoral. En la actualidad el programa COBRA ha desarrollado su trabajo detectando campos minados y minas antipersonales en zonas de rompientes asociadas a aéreas anfibia. A su vez COBRA ha añadido la capacidad de trabajar e interpretar datos nocturnos. Para lograr el objetivo de detección, COBRA utiliza un sistema sensor pasivo, multiespectral que opera en 6 bandas desde el UV cercano al infrarrojo cercano. El sensor es capaz de proporcionar 4 fotogramas por segundo (4 Hz) para los 6 bandas con una cámara 16M (4896x3264) produciendo una distancia terreno muestra (GSD) de 2.4"que se traduce en 6,1 Gigabits por segundo (Gbps) de datos. El sensor es capaz de identificar campos de minas colocadas en la

⁴ Para más información de este proyecto ver: Dalf & Raftery. Detection Mines in Manifields With Linear Characterist, American Statiscal Associations and in the American Society for Quality, TECHNOMETRICS, February 2012, Vol. 44, N° 1

⁵ Arete Associates es una empresa estadounidense que se especializa en soluciones de Seguridad Nacional, utilizando técnicas de radar y teledetección, que cuenta con un equipo altamente especializado de más de 300 científicos (www.arete.com).

superficie. También es capaz de detectar obstáculos en la zona de la playa con el procesamiento off-board. **Uno de los algoritmos de clasificación utilizados en este programa ha sido el RX.** Así, los resultados de los análisis RXD son inequívocos y han demostrado ser muy eficaz en la detección de características espectrales sutiles.

RXD se expresa de la siguiente forma:

$$\delta_{RXD}(r) = (r - \mu)^T K_{L \times L}^{-1} (r - \mu)$$

Donde r es el vector de la muestra, m es la media de la muestra, y $K_{L \times L}$ es la matriz de la muestra de covarianza.

RXD trabaja con imágenes multiespectrales e hiperespectrales. Los píxeles o líneas-errores, aparecen como anomalía, pero que no afectan a la detección de otras anomalías. Como con cualquier algoritmo espectral, la exclusión de las malas bandas aumenta la precisión de los resultados. La familia de algoritmos es compuesta por los algoritmos RXD, RXD-UTD y UTD.

Otro enfoque en el estudio de las anomalías espectrales ha sido la denominada “**detección de blancos supervisada**”. Esta metodología se basa en la premisa de que las características espectrales de destino se definen generalmente por la definición de un solo espectro objetivo (pixel o polígono) o un subespacio objetivo. Existen 5 algoritmos que se enfocan en esta técnica: **Espectral filtro adaptado** (SMF), una técnica estándar, que se utiliza ampliamente en la detección de objetos de interés. SMF se basa en la suposición de un modelo lineal en el que se supone la firma espectral de la diana y la matriz de covarianza; **Minimización de la Energía Limitada** (CEM), donde se utiliza un filtro de Respuesta al Impulso Finito (FIR), que está diseñado para mantener la meta deseada y reducir al mínimo toda la energía de salida de imágenes. En contraste con SMF, el uso de la matriz de correlación en los CEM puede ser más fácil para ser implementado en procesamiento en tiempo real; **Proyección de Subespacio Ortogonal** (OSP). Se basa en la maximización de la relación señal

a ruido (SNR) del objetivo en el subespacio ortogonal a la de fondo. **Subespacio Adaptable Emparejado**, que ahora se llama **Estimador de Coherencia Adaptativo (ACE)**.

Otro enfoque, de carácter complementario, lo constituye el análisis a nivel **subpixel**, método que tiene como objetivo establecer la posibilidad de discriminar los diferentes valores que componen un pixel. Para ello es que la última década, en función de resolver tal situación, es muy recurrente la utilización de algoritmos de clasificación, denominados blandos, que permiten dar respuesta a tal cuestión. Para las resoluciones más gruesas los píxeles inevitablemente estarán mezclados, por lo que técnicas de clasificación “suavizadas” pueden ser utilizadas, asignando a un píxel diferentes clases de cobertura. La potencialidad de la clasificación subpixel radica en que establece el porcentaje de pertenencia de un pixel a una determinada clase. Los principales clasificadores blandos utilizados son: Bayclass: Basado en la teoría de probabilidad bayessiana; Belclass: Basado en la teoría Dempster–Shaffer; Mahalclass: Basada en la teoría de Mahalanobis; Fuzclass: Basada en la teoría de grupo difuso; Unmix: Basado en el modelo de mezcla lineal.

3. CAPITULO III. MATERIALES

3.1 ZONA DE ESTUDIO

3.1.1 Área de Estudio

Nuestro estudio se desarrolló en la localidad de Peldehue al norte de la comuna de Colina. Colina está localizada en el sector nor-este de la Región Metropolitana, a 14 kms al norte de Santiago (centro). Pertenecce a la provincia de Chacabuco, y es la capital Provincial. Ella se encuentra delimitada por las latitudes 32° 21minutos y 32° 57 minutos Sur, y por las longitudes 70° 24 minutos y 70° 10 minutos Oeste.

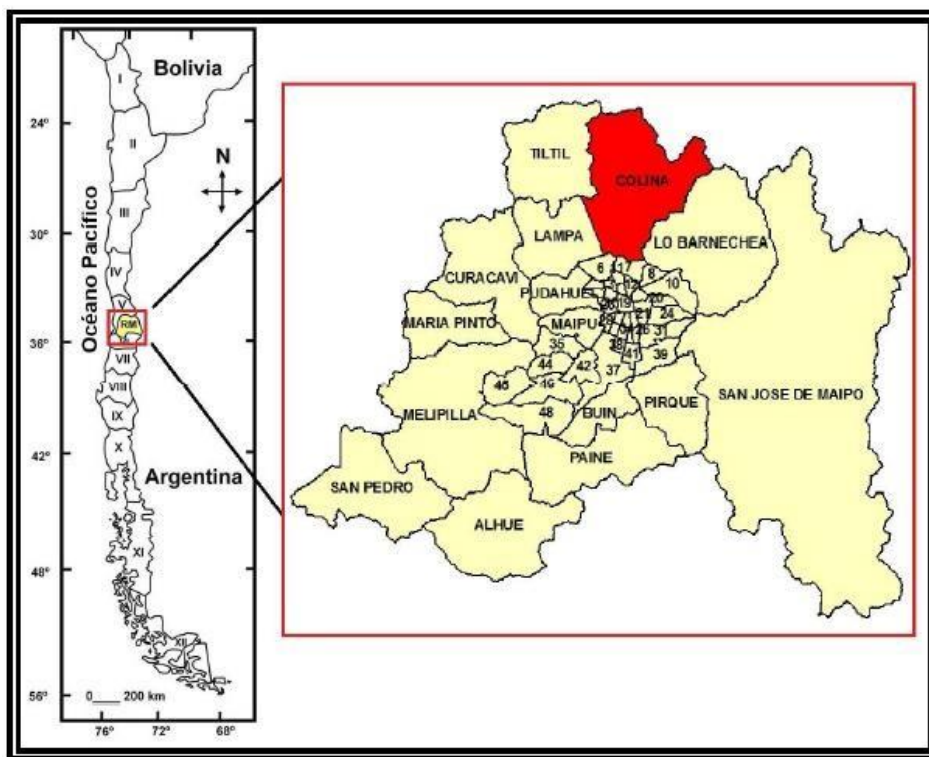


Ilustración 3.1. Mapa división política Región Metropolitana.

Para el desarrollo de nuestra investigación se ha definido un área de 25km², correspondientes a un sector de la localidad de Peldehue en el cual se encuentran emplazadas las instalaciones de la Brigada de Operaciones Especiales Lautaro del Ejército de Chile (ver Figura 3.2).

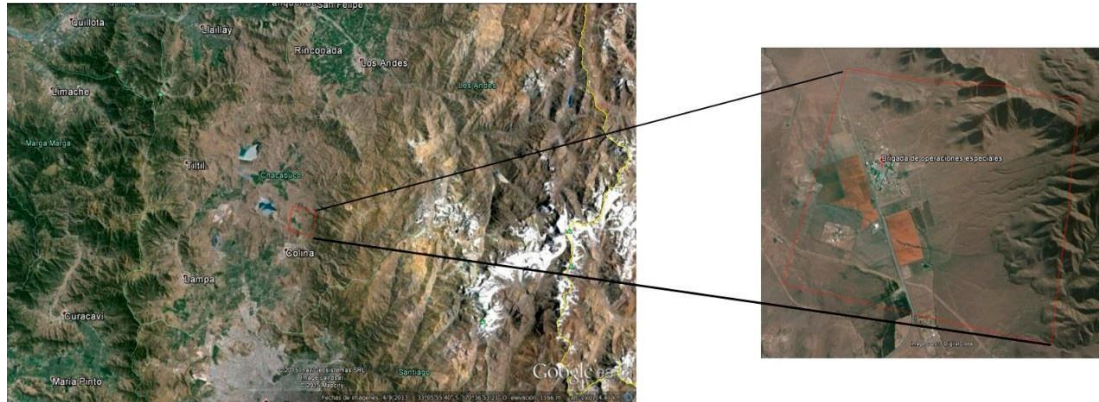


Ilustración 3.2. Instalaciones de la Brigada de Operaciones Especiales Lautaro.

La Brigada de Operaciones Especiales Lautaro (BOE) es un complejo orgánico militar integrado por 11 unidades, y fue fundada el año 2008. Localizado en el conocido ex fuerte Arteaga, la zona en donde se encuentra emplazada la brigada se caracteriza por ser históricamente un lugar en el cual se han desarrollado ejercicios y maniobras de las diferentes fuerzas del ejército. Este lugar es conocido por constituirse como una de las áreas en las cuales año tras año son entrenadas las fuerzas de elite del ejército de Chile. Según las indagaciones, durante los últimos 5 años en este lugar se habría utilizado armamento de infantería (Mortero 60 mm y 81 mm) y artillería, razón por la cual se configura como un lugar propicio para el desarrollo de nuestra investigación.

3.1.2 Características Geomorfológicas

Desde el punto de vista geomorfológico, Colina corresponde a la tercera agrupación regional denominada “Región de las cuencas y del Llano FluvioGlacio Volcánico”, la cual comprende las regiones: Metropolitana, del Libertador Bernardo O'higgins, del Maule y del BioBio.

Las unidades morfológicas de carácter subregional posibles de distinguir son:

- Planicie costera marina
- Llanos de sedimentación fluvial
- Cordillera de la costa
- Las cuencas graníticas marginales
- Depresión intermedia
- Precordillera
- Cordillera andina de retención crionival

Es característica de esta región la presencia bien definida de las cuatro macroformas del relieve chileno. Según el **Plan de Desarrollo Comunal de la comuna de Colina**, desde el punto de vista geomorfológico la comuna se puede dividir en dos sub-zonas:

- a) **Cuenca Norte.** Caracterizada por presentar un territorio homogéneo cuya superficie cercana a las 44.000 hás., representa el 46% de la superficie Comunal. La población emplazada en esta cuenca se concentra principalmente en los poblados de Quilapilún y Casas de Chacabuco, y apenas supera los 2.000 habitantes, lo que equivale al 2,3 % de la población Comunal.
- b) **Cuenca Sur.** Caracterizada por presentar un territorio bastante más intenso desde el punto de vista de su ocupación humana, reflejado en la concentración del 97,7% de la población de la Comuna, alcanzando cerca de 85.000 habitantes. Cuenta con una superficie aproximada de 52.000 hás., equivalente al 54% de la superficie de la Comuna.

La estructura geomorfológica de la comuna se encuentra definida por el emplazamiento de tres macroformas de relieve:

- a) **Cordón Montañoso.** Área concentrada principalmente hacia el oriente de la Comuna, cuya superficie alcanza las 64.660 hás, lo que representa cerca del 66% del territorio Comunal. Esta zona se caracteriza por presentar pendientes superiores al 10%, condición que restringe su acceso y ocupación, lo que explica su actual despoblamiento.
- b) **Cerros centrales.** Área emplazada en el centro de la Comuna en el sentido norte sur, en el borde poniente de la misma, alcanza las 6.300 hás. Se caracteriza por presentar pendientes superiores al 10%, a excepción de algunos pequeños valles interiores emplazados sobre la cota 700 mts. Al igual que el área montañosa, es un sector de difícil acceso y ocupación, y actualmente se encuentra despoblada. La relevancia de éste sector radica en que divide el valle central de la Comuna en dos subsectores en el sentido norte sur.
- c) **Área de Valles.** Como se indicó anteriormente, el territorio de ésta área está configurado por el área montañosa, y a su vez segregado en dos partes por el área de cerros centrales, dando origen a los valles Norte y Sur. Ambos subsectores se caracterizan por presentar pendientes que no superan el 10%, situación que les otorga un alto potencial para la ocupación y/o emplazamiento de asentamientos humanos y actividades afines. En cuanto a la superficie, el Valle Norte cuenta con 11.380 has, en tanto que el Valle Sur alcanza las 13.820 has.

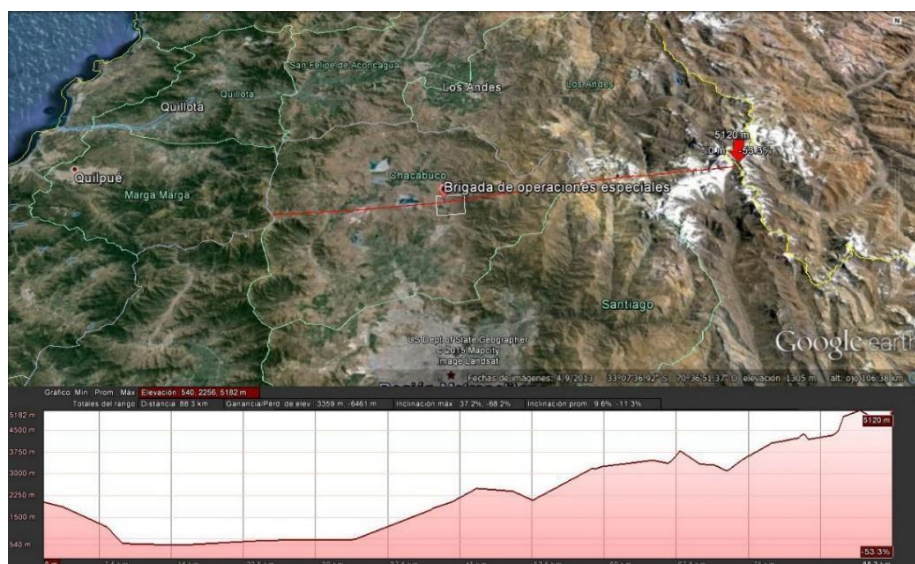


Ilustración 3.3. Perfil Topográfico zona de estudio.

En este marco geográfico es importante destacar la presencia del cordón de cerros Chacabuco que separa a la subcuenca norte del valle del río Aconcagua. Al oriente la geografía comunal se contempla un macizo montañoso de bastante altura (Cerro Cocalán 2541 m.s.n.m.- Cerro Barrera 2773 m.s.n.m.), el cual se cordón se prolonga al norte, alcanzando los 2200 m.s.n.m., en el límite Comunal.

Asimismo dicha depresión se encuentra seccionada por el cordón de cerros del Manzano, que la divide en dos pisos de altura, conformados por diferentes cuencas. El sector norte está integrado por la cuenca del estero Til-Til y la cuenca de los esteros Chacabuco y Peldehue que constituyen un valle de potencial agrícola y frutícola. El sector sur corresponde al valle de los esteros Lampa y Colina, que tiene diversas potencialidades para la actividad agropecuaria y limitantes naturales debido a diferencias en el drenaje del sector sur de Lampa.

Hacia el poniente, en el centro del valle, hay lomajes suaves y algunos cerros islas, entre ellos los cerros de Colina (900 m.s.n.m.), los cuales enmarcan un valle desde Peldehue al nor-poniente con una cota de 700 m.s.n.m. y otro, al sur-poniente, que se extiende hasta la Comuna de Lampa. Hacia el sur, otro cerro isla, el Pan de Azúcar (992 m.s.n.m.) se presenta como una

prolongación del cordón oriental y termina de enmarcar el valle que se inicia en la Comuna y continúa hacia el poniente.

Nuestra zona de estudio se encuentra ubicada específicamente en el **área de lomajes que da comienzo al área de valles centrales** de la cuenca norte de la comuna. De oriente a poniente se presente un relieve que presenta pendientes de 50° en sus zonas más altas 15° en las zonas intermedias y 0° en sus zonas más bajas.

3.1.3 Vegetación

Desde el punto de vista vegetacional, nuestra área de estudio se encuentra situada en la denominada zona de Bosque esclerófilo (IV-VII regiones), la cual corresponde a un bosque heterogéneo en cuanto a su composición florística y también en cuanto a su ubicación latitudinal y altitudinal. Por ejemplo, en el área norte de su distribución, se encuentra interpenetrado por especies que son típicas de las formaciones desérticas del norte, en cambio en el sur, se mezcla con especies que caracterizan a los bosques del sur de Chile.

En las áreas planas y en los faldeos de los cerros, es muy común la presencia de *Acacia caven* (espino), especie que domina en el Valle Central. Otras especies que pueden habitar en este ambiente son: *Porlieria chilensis* (guayacán), *Prosopis chilensis* (algarrobo), *Maytenus boaria* (maitén), *Proustiacuneifolia* (huañil), *Baccharis linearis* (romerillo), como también, las especies ya mencionadas anteriormente: litre, boldo, peumo, molle, alcaparra y muchas otras que también se integran a los bosques de laderas.

En el territorio se definen las siguientes formaciones vegetacionales:

- Matorral Espinoso de las Serranías
- Bosque Espinoso Abierto
- Bosque Esclerófilo de la Pre-Cordillera Andina
- Matorral Andino Esclerófilo
- Estepa Alto – Andina de Santiago

Es preciso destacar que gran parte de la zona de estudio se caracteriza, específicamente por la presencia de Avena silvestre (*Avena sativa*) y yuyo (*Brassicacamprestris*). Dichas especies se presentan de manera extendida por todo el terreno, conformando un “colchon”, en veces de manera deprimida, fundamentalmente por la intervención antrópica.

3.1.4 Suelos

La Comuna de Colina es homogénea en cuanto a tipos de suelos, con dominancia de texturas superficiales arcillosas en el piedemonte y suelos más gruesos, francos y franco arcillosos en las terrazas del río Colina, se caracteriza por presentar suelos de primera calidad, lo que ha determinado, en gran medida su vocación agrícola. En general, se trata de suelos que se han desarrollado bajo la influencia del clima templado cálido con estación seca prolongada (6 a 8 meses), con una vegetación asociada de estepa de espino (acacia caven).

La superficie Comunal, de acuerdo a la topología de suelo del Censo Nacional Agropecuario 1997, está conformada por 50% de suelos áridos y estériles, 15% de plantaciones forestales; 15% de uso directo; 14% praderas mejoradas; 5% de bosques naturales y bosques; 1% de praderas naturales.

3.2 LA MUNICIÓN

La munición se puede definir como todo artefacto o ingenio que contiene elementos explosivos, pólvoras, agentes químicos, biológicos, pirotécnicos, eléctricos, mecánicos o partes de ellos, proyectado para producir daños y desperfectos mediante la combustión, deflagración o detonación de algún agente químico. También se consideran municiones las señales luminosas, acústicas o fumígenas. Por lo tanto, son municiones los disparos completos de artillería, cohetes, misiles, torpedos, morteros, bombas, granadas de mano, petardos, cargas de demolición, etc.; y también los artificios como granadas fumígenas, bengalas, botes de humo, etc.

Nuestra investigación requiere dar cuenta del conjunto de materiales, metálicos o de otro tipo, que constituyen el recubrimiento externo de los distintos tipos de munición, más allá de las clasificaciones tradicionales que se realizan en las ciencias militares y/o balísticas. En este sentido cabe precisar que existen múltiples categorizaciones de las armas y sus municiones según, si es de guerra (combate o ejercicio), calibre, según técnicas operacionales (infantería, artillería, caballería blindada, etc), según su finalidad (rompedora, perforante, química, biológica, nuclear, de propaganda, iluminante y auxiliar), por su método de lanzamiento o colocación (instalada, lanzada a mano, proyectada, soltada y explosivos estáticos), etc. Nosotros no desarrollaremos una taxonomía del armamento ni de su munición pues, en lo esencial lo fundamental es definir las características generales externas -materiales de recubrimiento- de la munición, considerando además la posibilidad de la presencia de otros materiales asociados a contenedores de armamento, sobre todo cuando estudiamos los REG.

3.2.1 Características de la Munición

En términos generales, para el estudio de munición, se debe comprender el concepto de “cartucho”, definido como el conjunto compuesto por el proyectil o bala que se encuentra unido a un envase metálico denominado vainilla, que a su vez contiene la carga de proyección y capsula fulminante iniciadora. En otras palabras es el cuerpo metálico, de madera o de goma, lanzado por el arma de fuego al espacio por la acción de los gases producto de la deflagración de la pólvora.

En general se podría decir, que independiente su tipo y calibre que toda munición, desde un criterio fisonómico, está compuesta de las siguientes partes:

- a) Punta: atendiendo a la forma se dividen en ojivales, esféricos y planos.
- b) Cabeza: la constituye la parte anterior que no hace contacto con el canal del cañón.
- c) Cuerpo: es la parte que tiene contacto con el canal del cañón. Consta de núcleo metálico y de una envoltura cuproniquelada llamada camiseta.

- d) Cola: ocupa la parte posterior del proyectil y al igual que la cabeza, no tiene contacto con el canal del cañón.
- e) Base: es la parte que asienta en el casquillo y por su forma se dividen en planas, concavas, convexas y conicas.



Ilustración 3.4. Fisionomía de munición de pistola.

Respecto a la estructura física del proyectil (imagen), los proyectiles aptos para el combate militar son estructuras encamisadas en una envoltura metálica dura de **latón** y rellenas de **plomo o alguna aleación** del mismo. Este tipo de munición, muy extendida, se conoce genéricamente por FMJ (full metal jacket) y tiende a atravesar totalmente el cuerpo, pues poseen un alto poder de penetración con una baja deformación. Puede atravesar su objetivo, causando daños colaterales, incluso dañar a otras personas.

También existen otro tipo de proyectiles que no son completamente encamisados como los de punta semiblanda, punta hueca y los de punta perforante o antiblindaje. Los primeros son encamisados en su parte baja pero dejan al descubierto la parte superior. Algunas tienen una oquedad en la punta que facilita su deformación. Como su propósito es deformarse al contactar el blanco, achatándose, le transmiten toda su energía al objetivo sobre el que caen, haciéndolo que pare, siendo su finalidad es dejar fuera de combate al atacante con el menor

número de tiros. El que se achaten impide que salgan del cuerpo, por lo que el daño colateral potencial disminuye considerablemente.

Por su parte los proyectiles antiblindaje, tanto de arma ligera como de artillería, son diseñados para atravesar estructuras blindadas. Generalmente tienen un alma de metal muy compacta de acero endurecido, aleaciones de tungsteno o uranio empobrecido. Algunas llevan cargas incendiarias o explosivas. Estas viajan a velocidades supersónicas y, al impactar con el blindaje, generan una cantidad de calor que derrite el acero balístico.

Como ya decíamos, tal munición, es por lo general, una bala de plomo, recubierta completamente con una camisa de cupro-niquel, para acción directa sobre blancos. También existe la modalidad de munición perforantes la cual, se trata de un proyectil de características similares al de guerra corriente, pero en su interior integra un núcleo generalmente de acero. Tales características, desde el punto de vista de la composición material, son aplicables también a los morteros.

El mortero es un arma de artillería (a veces también integrada a la infantería) de ánima lisa, de avancarga que dispara un proyectil explosivo (granadas) con un ángulo generalmente superior a los cuarenta y cinco grados y a velocidades relativamente bajas, cuyo alcance va en función del tipo de munición que se utilice y del ángulo de tiro. Estas cualidades son opuestas a las piezas de artillería propiamente tal, que disparan a gran velocidad y generalmente con ángulos de tiro pequeños. Es importante destacar en este sentido que una de sus principales características son: la flexibilidad para ser desplegado en combate (pues puede ser transportado por un solo individuo en una sola unidad, dado su relativo poco peso), la rapidez de su entrada en acción y la sencillez en su manejo.

Posee munición estabilizada normalmente mediante aletas, que dispone de su propia carga de proyección (cartucho de proyección). Los alcances máximos se consiguen añadiendo cargas suplementarias de pólvora (carga de proyección). Los calibres más comunes que se pueden encontrar en las granadas de mortero son los de 60, 81, 82 y 120 mm. En el caso de nuestra investigación es muy probable, que de encontrar restos de explosivos de guerra sean de este tipo.

Cabe dar cuenta que, de igual forma, para el caso de proyectiles de arma ligera como la pistola, hasta ametralladoras e incluso de artillería, la vaina es la estructura correspondiente al recipiente contenedor que tiene la misión de acomodar a los restantes componentes del cartucho y servir de obturador de la recámara, para evitar fuga de gases en direcciones inadecuadas. Actualmente, para la fabricación de este contenedor, tanto en munición ligera como en artillería se utiliza, generalmente, una aleación de latón, (habitualmente compuesta por un 72% de cobre y 28% de zinc), aunque también se fabrican en acero, aluminio y plástico, o semi metálicas con base de latón y cuerpo de plástico y cartón. Sin embargo, otras fuentes de información, indican que los fabricantes han realizado cantidad de estudios sobre los materiales a emplear, siendo hoy general el uso del latón 90/10 (90 % de Cobre y 10% de Zinc). Le sigue el llamado "bimetal", que es una fina capa de acero cubierta, como un sandwich, por dos capas de latón 90/10.

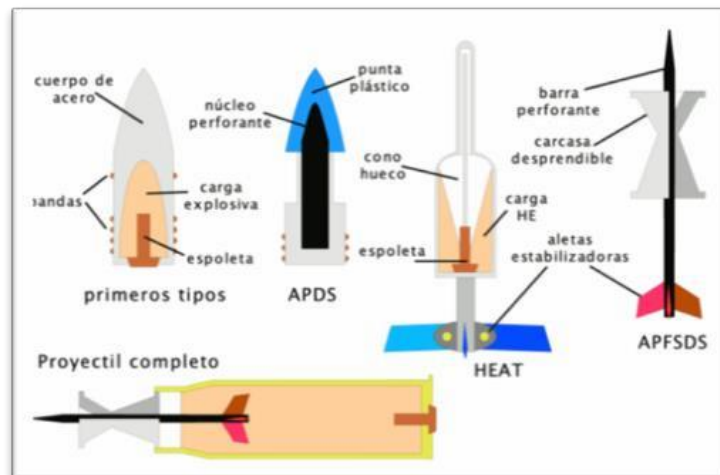


Ilustración 3.5. Partes del mortero.

En síntesis es propicio indicar, entonces que, independiente de su tipo, en general, los explosivos remanentes de guerra posibles de encontrar en un terreno se encuentran asociados a materiales tales como acero, cobre, níquel, etc. Es necesario considerar también que es posible que se encuentre munición dentro de contenedores de diversa composición material, que de igual forma deben ser considerados en el estudio.

3.3 SISTEMA PLEIADES

El sistema Pléiades, suministra productos ópticos de muy alta resolución en un tiempo récord, con capacidad de revisita diaria sobre cualquier punto del planeta para dar mejor respuesta a los requisitos tanto civiles como militares.

Se basa en satélites más pequeños, más baratos y más ágiles que sus predecesores, los dos satélites Pléiades, se situarán sobre una órbita en fase con SPOT 6 y 7, los sucesores de SPOT 5. La constelación de los cuatro satélites ofrecerá una combinación ideal de detalle y cobertura, y cuya plataforma está actualmente en activo en casi todos los programas europeos de observación de órbita baja (entre otros, ERS, Envisat, MetOp y Helios). Pléiades integra tecnología innovadora, como los actuadores giroscópicos, por ejemplo, que por primera vez en Europa llevarán los satélites de este programa para proporcionar unas prestaciones sin precedentes.

Los dos satélites Pléiades forman el componente óptico del sistema de observación franco-italiano de doble uso civil/militar Orfeo (Italia aporta el componente radar Cosmo-Skymed). El programa se está desarrollando bajo la responsabilidad de la agencia espacial francesa, CNES. Airbus Defence and Space es el contratista principal para el diseño, desarrollo, construcción y suministro de los dos satélites.

PLÉIADES 1A - 1B					
Bandas	1	2	3	4	5
Resolución espacial	2 m	2 m	2 m	2 m	0,50 cm
Resolución espectral (nm)	590	500	430	740	470
	710	620	550	940	830
	RED	GREEN	BLUE	IR Cercano	Pancromat
Resolución radiométrica	12 bits/píxel				
Ancho de barrido	20 Km				
Tamaño de escena	100 x 100 Km				
Pares estéreo	SI				
Revisita	DIARIA				
Programable	SI				
Altitud	694 Km				
Formato de entrega	GeoTIFF o TIFF				
Lanzamiento	Pléiades 1A : Diciembre 2011 - Pléiades 1B: Diciembre 2012				

Tabla 3.1. Pléiades. Características técnicas.

4. CAPITULO IV. METODOLOGIA

Metodológicamente se plantea la necesidad de trabajar siguiendo los siguientes pasos:

- a) Identificar materiales utilizados en el revestimiento de la munición
- b) Definir la zona de estudio
- c) Definir Imagen a utilizar
- d) Corrección Geométrica y Radiométrica
- e) Definir áreas de extracción de emperbers
- f) Definir imágenes a utilizar
- g) Clasificar patrones de comportamiento espectral utilizando cadena de procesamiento con en imagen multiespectral de alta resolución espacial y radiométrica.
- h) Realizar análisis espectral basado en familia de algoritmos RX y detección de blancos
- i) Definición de CHA y DHA
- j) Generación de Cartografía
- k) Comprobación de resultados

El desarrollo de nuestra investigación apunta a diseñar una estrategia metodológica que permita disminuir el tiempo en el proceso de identificación de áreas peligrosas confirmadas (CHA) y áreas peligrosas definidas (DHA), que pueda ser aplicable a diferentes contextos geográficos sobre todo en aquellos lugares que dada la características de sus suelos o su vegetación entreguen grados de visibilidad propicios para detectar los restos de explosivo mediante análisis multiespectral. En este sentido nuestro proyecto se insertaría dentro de lo que se denomina como Estudio Técnico. Un primer paso para ello será obtener una visión general del material de revestimiento de la munición y de otros elementos que se encuentren asociados a la presencia de explosivos remanentes de guerra. Una segunda tarea será definir el lugar

donde existan las condiciones para poner a prueba nuestra hipótesis. Dentro del procedimiento estandarizado por las entidades correspondientes se establece que para esto se hace necesario el desarrollo de un estudio no técnico. Dado que el alcance de nuestra investigación no alcanza para abordar el proceso completo tal como se indica optaremos por establecer un SHA a partir de la información entregada por las entidades competentes (F.F.A.A, Comisión de desminado).

En este sentido será propicio recopilar información institucional que nos permita conocer los tipos de artefactos utilizados en la zona y que eventualmente no estallaron en aquel lugar. En esta etapa será fundamental sistematizar la información existente, sobre todo de tipo “histórico” que permita dilucidar claramente la o las diferentes tipologías de explosivos utilizadas en la zona. En alguna medida los primeros dos pasos metodológicos estarían reemplazando al estudio no técnico requerido.

Una vez saldados los pasos anteriores, nuestra investigación se dirigirá a definir el tipo de sensor propicio para el estudio. Tal como ya hemos mencionado, nuestros requerimientos, en este sentido, están relacionados con una alta resolución espacial, que vaya desde los 0,5 metros; una resolución espectral basada en información de mínimo 5 bandas y una resolución radiométrica de por los menos 8 bits. Hoy en día en el mercado existen sensores satelitales que calzan con estas necesidades tales como Quick Bird, IKONOS o Pleiades, entre otros. En este sentido es importante destacar que los máximos en resolución espacial se dan en la banda pancromática, razón por la cual proponemos utilizar solo la información contenida en esta banda; En base a lo anterior se trabajara a partir de cadenas de procesamiento de información multiespectral dividida en 5 etapas:

- Corrección Radiométrica
- Corrección Geométrica
- Extracción de Características y conformación de embembers
- Análisis RX
- Análisis detección de blancos

El proceso de clasificación se desarrollara a través de técnicas de análisis de detección de blancos, con la generación de target tomados de entidades de terreno y de análisis de RX definiendo patrones espectral-objetivos y agrupando las anomalías detectadas. A partir de esto se establecerán subzonas de anomalías, de las cuales se seleccionarán las más óptimas, en base a un criterio de accesibilidad, a fin de establecer la presencia de explosivos remanentes de guerra. Finalmente, se estaría en condiciones de elaborar una cartografía digital que identifique las posibles áreas CHA, en donde se especifique con coordenadas la presencia de anomalías, para posteriormente corroborarlas en campo y ver cuáles de estas están asociadas a munición sin estallar y así delimitar el área real del CHA y DHA.

5. CAPITULO V. DESARROLLO

5.1 PRE – PROCESAMIENTO DE IMÁGENES SATELITALES

Para el desarrollo de nuestra investigación se seleccionó una imagen Pléiades del día 19 de febrero del año 2015, de un nivel de procesamiento SENSOR, es decir que se trata de una imagen en bruto sin ningún tipo de corrección. Por ello se procedió en primer término a trabajar en el pre-procesamiento de la imagen, lo cual consiste en el tratamiento inicial de los datos crudos para corregir las distorsiones radiométricas y geométricas de la imagen y eliminar el ruido.

5.1.1 Corrección de la Imagen

Las correcciones radiométricas y geométricas constituyen un tema complejo en el pre-procesamiento de las imágenes satelitales. La corrección radiométrica es imprescindible al comparar imágenes adquiridas por diferentes sensores o en distintas fechas (ángulos de iluminación solar diferentes). Sin embargo las estaciones receptoras y distribuidoras de imágenes de satélite realizan en base a la información telemétrica recibida del mismo satélite, las correcciones radiométricas y geométricas pertinentes a dichas imágenes.

Pese a ello, hemos preferido, para efectos de esta investigación, desarrollar una secuencia de pre - procesamiento desde los valores brutos, puesto que hemos creído pertinente considerar las diferencias que existen dentro de la bibliografía, en la medida que se presentan diferentes propuestas para abordar la corrección radiométrica, por un lado y que, existen diferencias en algunos parámetros a considerar al momento de transformar de valores digitales a radiancia, por otro, fundamentalmente en la aplicación del sesgo (BIAS) u offset (dado por el L_{min}).

5.1.2 Transformación De Radiancia A Valores De Reflectancia Aparente

Tal como hemos dicho la imagen del sistema Pléiades posee una resolución radiométrica de 12 bit, lo resulta ser bastante pertinente para nuestro proceso de investigación en la medida que un análisis subpixel se define preferentemente en función de la capacidad que tiene el sensor de distinguir niveles de reflectancia. Sin embargo el software que utilizamos se encuentran limitados al desarrollo de cadenas de procesamiento de hasta 8 bits, razón por la cual nos vimos en la obligación de disminuir nuestra imagen desde 12 a 8 bits a fin del desarrollo del procesamiento. Una vez realizado esto procedimos a desarrollar el proceso de calibración de la imagen.

El proceso de calibración de la imagen Pléiades, y por tanto la conversión en valores de reflectancia se realizó, primeramente, a través de la transformación de los valores iniciales de ND a valores de radiancia y, posteriormente, estos a valores de reflectancia aparente.

Según la guía de usuario de Pléiades en el apéndice D: spectralmedeling, recomienda la siguiente fórmula para realizar la conversión de ND a ToA Radiance. TOA corresponde a Top of Atmosphere, es decir el valor de la radiancia medida por el sensor. Para cada banda la conversión de nd de un pixel a radiancia se realiza con los coeficientes de calibración de radiometría absoluta Gain y Bias.

5.1.3 Corrección Radiométrica

Conversión de Niveles Digitales a Reflectancia – Imagen Pléiades

Los parámetros de conversión que usamos para cada banda son los descritos en la siguiente Tabla (5-1), los cuales fueron tomados de la meta data de la imagen.

	Banda Azul	Banda Verde	Banda Rojo	Banda Infrarrojo	Banda Pancromática
Min	114	139	1	114	1
Max	4094	4088	4088	4084	4094
Mean	542,71	504,97	543,56	778,73	580,5
Gain	10,13	10,21	11,34	17,38	11,98
Bias	0	0	0	0	0
Solar Espectral Irradiances	1915	1830	1594	1060	1548

Tabla 5.1. Metadata Imagen.

Para esto en el módulo de model maker de erdas imagine hicimos el siguiente esquema para la imagen multiespectral:

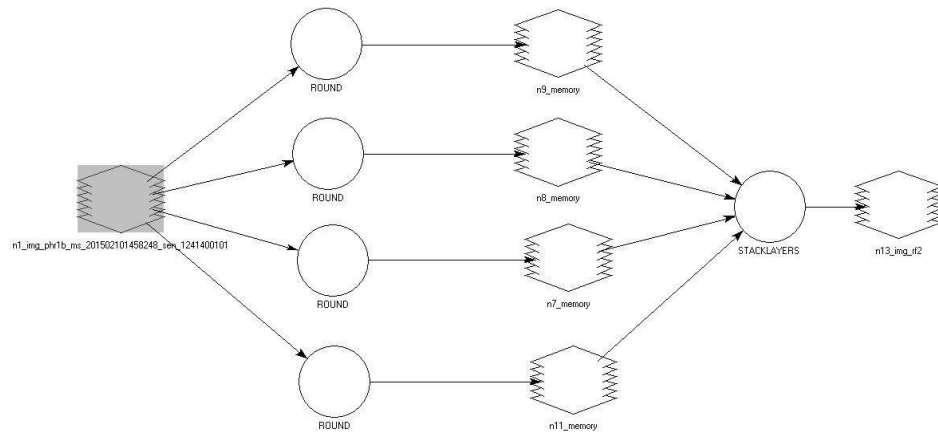


Ilustración 5.1. Esquema de corrección de bandas.

En donde cargamos las funciones con la fórmula de reflectancia cambiando los valores respectivamente para cada banda siendo la siguiente la fórmula para la banda 1:

ROUND((3.1415926*(\$n1_img_phr1b_ms_201502101458248_sen_1241400101(1)*10.13)*0.98
680*0.98680)/(1915*COS((90-57.203)*3.1415926/180))*400)

La cual está basada en las siguientes formulas:

Radiancia

$$L_{\lambda} = \text{Gain} * \text{DN} + \text{Bias}$$

Donde:

L_{λ}	= Radiancia
Gain	= Es la ganancia de una banda especifica
DN	= Es el valor digital del pixel
Bias	= Es el bias de una banda especifica

Reflectancia

$$\rho_{\lambda} = \pi * L_{\lambda} * d^2 / \text{ESUN}_{\lambda} * \text{Cos } \theta_s$$

Donde:

ρ_{λ}	= Reflectancia
L_{λ}	= Radiancia
d	= Distancia Tierra – Sol en unidades astronómicas
ESUN	= Irradiancia Solar
θ_s	= Angulo solar zenith

Valores para la imagen:

DOY: 41 = 0,98680

Angulo Solar = 57,203

Para la corrección de la imagen pancromática utilizamos el mismo procedimiento con sus respectivos valores.

5.1.4 Corrección Geométrica

La corrección geométrica es un proceso que implica que la geometría de la imagen se hace planimétrica y además se aplican funciones con el fin de transformar las coordenadas de imagen (línea y columna) a coordenadas de mapa (UTM u otras). La referencia puede ser un mapa o una imagen de otra fecha. Tal como se ha afirmado en el contexto de la teledetección, entendemos por corrección geométrica a un proceso de cambio de espacio de referencia; la imagen original tomada por el sensor está definida en un sistema local donde la localización de cada píxel queda determinada por su situación en filas y columnas; es el espacio imagen. La corrección geométrica ajusta esta imagen a un nuevo espacio de referencia donde cada píxel tiene asignado el valor XY que le corresponda en un sistema de proyección geográfica determinado; es el espacio de proyección [18]

Existen dos tipos de corrección geométrica: Orbital y Estadística. La corrección orbital, modeliza las fuentes de error y su influencia. Para ello es necesario conocer con precisión tanto las características de la órbita del satélite como las del sensor. Por su parte la corrección de tipo estadística consiste en un método de georreferenciación en el cual se utiliza un conjunto de puntos de apoyo que podemos definir como puntos identificables en la imagen de los cuales se conocen también sus coordenadas en el sistema de proyección geográfica. Es decir, se conocen las coordenadas en los dos espacios de referencia.

En la práctica de la teledetección con imágenes de alta resolución existen dos procedimientos para realizar la corrección geométrica de una imagen, la rectificación y la ortorrectificación (también llamada ortocorrección).

“La ortorrectificación es un método que permite corregir o minimizar en lo posible estos errores y obtener un producto imagen comparable a un mapa, en el que cada píxel de la imagen se corresponde biunívocamente con su posición en la superficie terrestre. Será una ortorrectificación tanto mejor, cuanto que esta correspondencia sea lo más precisa, en términos de error geométrico (posición real y calculada) posible” [29].

Existen tres métodos conocidos a partir de los cuales se desarrolla la ortorrectificación: El método "riguroso", el método de Polinomios racionales y el de polinomios con RCps de Digital globe. El Método riguroso mediante los parámetros orbitales (facilitados en el fichero imagen) según el modelo "Toutin" implementado en la aplicación PCI Geomatics v9.1.

"El proceso implica conocer las coordenadas de una serie de Puntos de Control en Tierra (GCPs), así como la modelización de la orografía de la zona, mediante el correspondiente MDE. El método de Polinomios racionales se realiza mediante el uso de puntos de control en terreno (10 GCPs) y MDE, para el cálculo de los coeficientes RPCs. El ultimo es similar al método anterior, pero haciendo uso de los RPCs facilitados por Digital Globe con propia escena" [29].

Por su parte la Rectificación consiste en un método a través del cual las coordenadas de los puntos de apoyo identificados en la imagen se utilizan para calcular funciones de ajuste entre los dos espacios de referencia. En este caso, las funciones son bidimensionales ya que sólo intervienen las coordenadas X e Y. El objetivo es conseguir una expresión que estime la función de correspondencia entre ambos espacios; genéricamente $XP = \xi_1(XI, YI)$, $YP = \xi_2(XI, YI)$, donde XP e YP son las coordenadas en el espacio de proyección y XI e YI las del espacio imagen.

En este sentido es importante destacar que este tipo de corrección no consiste en una simple transformación en primer grado de rotación, traslación y de cambio de escala. Por el contrario, la rectificación implica la utilización de funciones polinómicas de segundo o tercer grado ajustadas por mínimos cuadrados. Las funciones se calculan a partir de las coordenadas de los puntos de apoyo y son bidimensionales puras, es decir, la coordenada Z o elevación de cada punto no se considera.

Para nuestro caso, realizamos una rectificación en el módulo de erdas de control point en donde apoyados de google earth identificamos 25 puntos de control en toda la imagen, dando como resultado el siguiente error: $X = 1.0986$ $Y = 1.1005$ y un RMS Total = 1,1002, lo cual resulta optimo para el desarrollo de nuestro proyecto.



Ilustración 5.2. Puntos de Control - Rectificación

PUNTO	NORTE	ESTE	PUNTO	NORTE	ESTE
A	343382,44	6336822,99	J	348080,51	6332194,9
B	345522,35	6336853,8	K	344406,26	6332601,23
C	349487,62	6336555,86	L	346103,47	6331941,74
D	343220,46	6334343,37	M	343244,63	6330588,16
E	345452,28	6334402,46	N	346213,51	6330970,62
F	347919,49	6334738,15	O	343388,5	6328832,15
G	350187,01	6333353,41	P	346843,82	6329514,83
H	348798,2	6333382,62	Q	349493,31	6329795,5
I	347633,91	6333421,83			

Tabla 5.2. Listado de Coordenadas (WGS84) de Puntos de Control.

5.2 CLASES

Para los propósitos de nuestra investigación hemos decidido identificar y clasificar los elementos que existen en nuestra área de estudio.

Clasificador	Descripción
1. Suelo desnudo	Suelo intervenido antrópicamente para senderos y caminos
2. Espinos (<i>Acacia Caven</i>)	Árbol pequeño o arbusto caducifolio que puede alcanzar hasta 6m de altura y 45cm de diámetro. La corteza es de color café pardo y con hojas compuestas, bipinadas, opuestas de 2 a 4,5cm de largo. Posee dos espinas en la base de las hojas.
3. Zinc	Techos de infraestructura militar
4. Metal pintado	Carro blindado
5. Metal Pintado	Garita militar de vigilancia 2m x 3m aprox.
6. Asfalto desgastado	Helipuerto y caminos.
7. Pastizal	Conjuntos herbáceos compuestos esencialmente por Avena silvestre (<i>Avena sativa</i>), yuyo (<i>Brassicacamprestris</i>), Salsolakaliy <i>Chenopodiumsp</i>

Tabla 5.3. Esquema de Clasificación.

5.3 PROCESO DE CLASIFICACIÓN

5.3.1 Método RXD, UTD y RXD-UTD

Para la realización de la detección de anomalías espectrales se trabajó aplicando los algoritmos RXD, UTD y su variante híbrida RXD-UTD. Si bien, se han propuesto muchos métodos de detección de anomalías, RX Detector (RXD) es la más típica. Tal como se ha afirmado, se ha aplicado tanto a múltiples e hiper-espectral con éxito en términos de detección de anomalías. Un ejemplo interesante de ello es el trabajo de Xiurui Geng, Kang Sun, Luyan Ji, y Yongchao Zhao (2014).

A partir de la información histórica e información recopilada, se procedió a determinar un SHA, subsecuentemente segmentado en 6 sub-imágenes. El recorte de la imagen se desarrolló pensando en que según estudios el rendimiento del algoritmo RXD mejora su rendimiento en imágenes que contengan menor cantidad de valores para procesar.

Con las imágenes de salida se procedió a aplicar los tres algoritmos de detección de anomalías, estableciendo rangos bajos para la creación de espectros medios de 5 a 30 px, estableciendo así una **media local** relacionada directamente con los valores de la anomalía y no un cálculo global del background, tomando en consideración la superficie de la imagen y la gran cantidad de clases posibles de establecer en la zona de estudio. El resultado fueron 108 imágenes de alta resolución espacial y espectral de detección de anomalías espectrales para cada escena. Para acotar el análisis se realizó una evaluación estadística a la sub-escena 5 a fin de establecer cuál de los modelos de clasificación aplicados tendría un mejor rendimiento. En la siguiente imagen se puede observar el comportamiento de los 3 algoritmos en la subescena 5, a partir de la variación de una anomalía espectral:

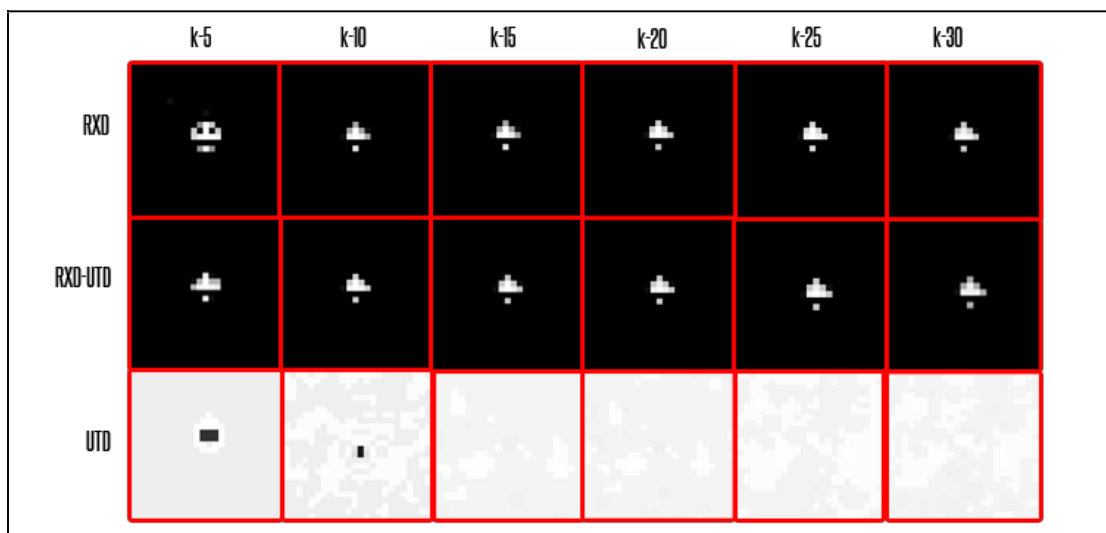


Ilustración 5.3. Anomalías espectrales Frame 5 aplicando algoritmos RXD, UTD y RXD-UTD de 5 a 30 Kernel pp.

Luego de esto se procedió a analizar comparativamente el comportamiento de los 3 algoritmos. Para ello se analizó cada subescena a partir de los parámetros entregados por el histograma contrastando los valores fondo versus las anomalías.

Analizando comparativamente, es posible deducir que el comportamiento de los algoritmos no presenta una gran variación para el caso RXD y RXD – UTD en relación los 6 parámetros de construcción de kernel aplicados. Sin embargo el comportamiento del análisis de anomalías aplicado con UTD da cuenta de una variación significativa e inversa, en relación a los otros clasificadores, del punto de vista del porcentaje de pixels asociados a anomalías respecto del fondo.

		Fondo & Anomalías nº px					
		k5	k10	k15	k20	k25	k30
RXD	Fondo	1343582	1343599	1343612	1343613	1343613	1343615
	Anomalia	82	65	52	51	51	49
	Total	1343664	1343664	1343664	1343664	1343664	1343664
RXD-UTD	Fondo	1335431	1343607	1343609	1343614	1343615	1343615
	Anomalia	8233	57	55	50	49	
	Total	1343664	1343664	1343664	1343664	1343664	1343664
UTD	Fondo	1342088	1312552	1059517	1103469	1051590	952262
	Anomalia	1576	31112	284147	240195	292074	391402
	Total	1343664	1343664	1343664	1343664	1343664	1343664

Tabla 5.4. Anomalías espectrales (px).

		Fondo & Anomalías %					
		k5	k10	k15	k20	k25	k30
RXD	Fondo	99,9939%	99,9952%	99,9961%	99,9962%	99,9962%	99,9964%
	Anomalia	0,0061%	0,0048%	0,0039%	0,0038%	0,0038%	0,0036%
	Total	100%	100%	100%	100%	100%	100%
RXD-UTD	Fondo	99,3873%	99,9958%	99,9959%	99,9963%	99,9964%	99,9964%
	Anomalia	0,6127%	0,0042%	0,0041%	0,0037%	0,0036%	0,0036%
	Total	100%	100%	100%	100%	100%	100%
UTD	Fondo	99,8827%	97,6845%	78,8528%	82,1239%	78,2629%	70,8705%
	Anomalia	0,1173%	2,3155%	21,1472%	17,8761%	21,7371%	29,1295%
	Total	100%	100%	100%	100%	100%	100%

Tabla 5.5. Anomalías espectrales (por cien).

A excepción la clasificación RXD-UTD asociada a 5k todas las clasificaciones resultantes con la aplicación de RXD y RXD-UTD resultan ser muy similares no presentándose variaciones significativas entre ellas que permitan dilucidar cual resultaría la mejor clasificación para continuar el análisis. De manera opuesta el clasificador UTD presenta variaciones relevantes sobrepasando en algunos casos al 20% de anomalías. La escena UTD clasificada en 5k presenta los únicos resultados de clasificación de este algoritmo similares a los otros dos, presentando menos de 1% anomalías espectrales. Un análisis visual permite proponer de manera a priori que el comportamiento de UTD clasifica áreas background como anomalías y en la medida que aumentan los parámetros de kernel UTD define un mayor número de clases confundiendo fondo con anomalías al disminuir los valores de aquellos pixels clasificados inicialmente como anómalos.

Para definir los parámetros de selección de los clasificadores y sus respectivos rangos, se decidió trabajar con las subescenas que presentaran un índice de dispersión mayor en sus datos, pues en la medida en que estos se le alejaran de la media era presumible de que se está en presencia de anomalías respecto del conjunto de pixeles circundante.

		Valores pp					
		k5	k10	k15	k20	k25	k30
RXD	min	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
	max	28540,681641	40036,476563	41638,41016	42589,542969	42872,71875	43128,777344
	Bin	111,924	157,005	163,287	167,017	168,128	169,132
	Des.Stand	45,993973	65,243423	68,023080	69,690779	70,182381	70,624634
RXD-UTD	min	-126,340775	-19,696302	14,892820	-4,429135	1,625065	-3,607,307
	max	35320,093750	41832,835938	42661,503906	43146,000000	43289,24609	43418,492188
	bin	139,005	164,127	167,327	169,217	169,777	170,282
	Des.Stand	56,875345	68,449903	69,911270	70,770145	71,02167	71,247911
UTD	min	-0,076990	-0,060076	-1023,092651	-0,073912	-0,080855	-0,090940
	max	2811,125732	282,608948	141,235382	70,618385	56,893024	50,298729
	bin	37,6099	8,1528	4,565990	2,459120	18,565600	1,33422
	Des.Stand	13,363061	3,657619	2,309732	1,611668	1,442435	1,317506

Tabla 5.6. Dispersión de datos

Así es como se consideraron las subescenas que presentaran mayor dispersión datos. De esta forma se seleccionaron las imágenes RXD k30, RXD-UTD k30 y UTD k5. Así se acoto el número de subescenas a trabajar a 18 subescenas:

Sub Escena	Clasificador	ID
Escena 1.a	RXD30k	E1
Escena 1.b	RXD- UTD30k	E2
Escena 1.c	UTD5k	E3
Escena 2.a	RXD30k	E4
Escena 2.b	RXD- UTD30k	E5
Escena 2.c	UTD5k	E6
Escena 3.a	RXD30k	E7
Escena 3.b	RXD- UTD30k	E8
Escena 3.c	UTD5k	E9
Escena 4.a	RXD30k	E10
Escena 4.b	RXD- UTD30k	E11
Escena 4.c	UTD5k	E12
Escena 5.a	RXD30k	E13
Escena 5.b	RXD- UTD30k	E14
Escena 5.c	UTD5k	E15
Escena 6.a	RXD30k	E16
Escena 6.b	RXD- UTD30k	E17
Escena 6.c	UTD5k	E18

Tabla 5.7. Listado de Subescenas

Para acotar el análisis se seleccionó la escena E1, a la cual se le aplicó un análisis de estadística local, aplicando tres índices de clasificación: El índice I de Moran, el Getis-Ord G e Índice C de Geary. El local Índice I de Moran identifica la agrupación de píxeles. Los valores positivos indican un conjunto de valores similares, mientras que los valores negativos implican ninguna agrupación (es decir, una alta variabilidad entre los píxeles vecinos). Por su parte, los Getis-Ord G identifica los puntos calientes, como las zonas de valores muy altos o muy bajos que se producen cerca uno del otro. Finalmente Índice C de Geary identifica las áreas de alta variabilidad entre un valor de píxel y los píxeles vecinos. Siendo este último el que nos dio mejores resultados, procedimos a elaborar una cartografía de la Escena 1 con presencia de probables anomalías espectrales. El resultado fue el siguiente:

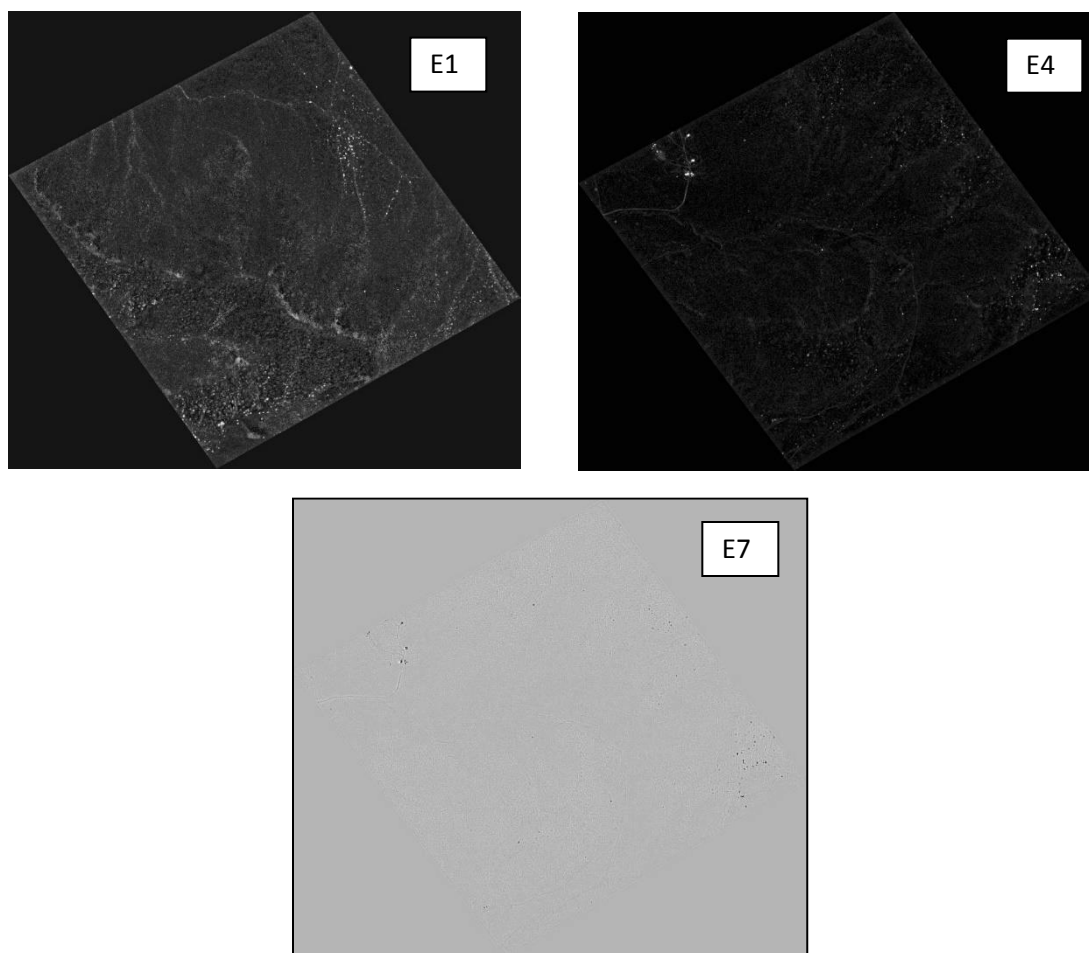


Ilustración 5.4. Resultado aplicación de los tres índices de clasificación.

Una característica común a todas las clasificaciones preliminares es que, en mayor o menor medida, según el parámetro de clasificación, los resultados del análisis de anomalías mostraron algún grado de heterogeneidad presentándose valores diferentes a los de background en distintos rangos espectrales. Es posible presumir que esta variabilidad se deba a la presencia de elementos de distinto material respecto del “valor suelo” como así también a “anomalías de fondo”, es decir valores que siendo suelo se encuentran alterados por alguna condición en particular que lo diferencia del resto de los pixels agrupados en esta categoría como humedad y/o sequedad, sombras, vegetación enfermiza, rocas aisladas, huellas de explosión, etc.

5.3.2 Método Detección De Blancos

Para afinar la definición de anomalías se procedió a realizar un análisis de detección de blancos utilizando 5 métodos distintos de definición de target: Matchedfiltering (MF); Constrained Energy Minimitation (CEP); Apative Coherence Estimation (ACE); Spectral Angle Mapper (SAM) y Mixture Tuned Matched Filtering (MTMF). En términos simples todos estos clasificadores,

“a partir de zonas o puntos previamente establecidos en una librería de targets, discriminan dentro de la imagen la presencia de estos valores, generando así una nueva clasificación con puntos y/o zonas en base a lo anteriormente explicado, extrayendo de manera automática los pixeles de imagen que responden significativamente diferente respecto a su entorno” [30].

Asimismo es posible integrar valores “background” que son restados dentro del proceso de clasificación a fin de afinar los target. Todos los métodos de identificación de blancos fueron procesados aplicando **Fracción Mínima de Ruido** durante su procesamiento. El MNF es una transformación lineal que procesa los valores de la imagen en dos partes, primero aplicando una matriz de covarianza de ruido (ruido de blanqueamiento), con el fin de descorrelacionar y reescalar el ruido en los datos, obteniendo nueva información donde el ruido no tiene varianza unitaria y no hay correlaciones banda a banda. Luego los valores son reajustados a partir de la desviación estándar del ruido, mejorando los resultados del procesamiento espectral. Para ello se procedió a definir una serie de Target tal como indica la siguiente tabla:

Target	Definición
Metal 1 (Vehículo Militar)	Vehículo Militar 3m x 2m completo de metal (Fierro)
Metal 2 (garita)	Garita Militar de Metal 2m x 2m
Techos	Techos de Zinc infraestructura Militar
Cemento	Helipuerto Unidad Militar

Tabla 5.8. Target para la aplicación de Bandmax

Los target fueron aplicados a la escena completa, pues un análisis de este tipo requiere mantener la relación entre los objetivos predefinidos y la imagen en su totalidad a fin de no perder información. Ver resultandos en **Anexo N°1**.

A partir de esos resultados se estableció un criterio de selección de imágenes a partir del umbral arbitrario de un 3% de presencia de target. Porcentajes mayores de target dan cuenta de la poca eficacia de los clasificadores para esas imágenes. Con esto se procedió a realizar un nuevo análisis de target mejorada estableciendo nuevas categorías, más específicas a considerarse suelo, con el fin de disminuir los posibles niveles de confusión.

Posteriormente se realizó la conversión de estos datos de anomalías a formato raster, los cuales fueron agrupados a partir de la superposición de los resultados por cada método, conservan los valores coincidentes de los diferentes procesos que se realizaron por cada uno de ellos. Así se generaron los siguientes resultados:

- Metodología CEM: Dieron como resultado 9 Polígonos de Anomalías, en donde se calcularon los puntos medios de estos, dando las siguientes coordenadas:

PUNTO MEDIO	NORTE	ESTE
1	6336489,69	347386,09
2	6336096,71	347544,69
3	6334291,19	349585,32
4	6334626,01	347722,29
5	6333696,79	347322,47
6	6333698,65	346039,95
7	6334681,61	344465,32
8	6334743,84	344487,78
9	6334818,80	344300,68

Tabla 5.9. Metodología CEM. Coordenadas puntos medios de las áreas anómalas.

- Metodología MF: Dio como resultado la conformación 30 Polígonos correspondientes a Anomalías, a los cuales se les calcularon los puntos medios dando los siguientes resultados:

PUNTO MEDIO	NORTE	ESTE	PUNTO MEDIO	NORTE	ESTE
1	6336489,58	347386,27	16	6334725,43	347080,28
2	6336095,95	347544,05	17	6334789,75	346971,61
3	6335590,17	348815,57	18	6334810,89	346853,87
4	6335580,89	348887,87	19	6334812,59	346776,61
5	6334291,14	349585,63	20	6334910,12	346698,93
6	6334575,30	348505,56	21	6333167,19	346631,87
7	6334498,89	348461,87	22	6332526,12	345671,10
8	6333710,80	348696,70	23	6334083,44	346465,46
9	6333804,80	348180,70	24	6334101,06	346128,91
10	6333697,01	347322,08	25	6333701,94	346035,35
11	6334625,89	347723,52	26	6334846,66	344745,32
12	6334524,80	347546,23	27	6334680,36	344479,76
13	6334418,27	347331,67	28	6334740,97	344483,47
14	6334579,47	347408,82	29	6334801,98	344306,90
15	6334724,64	347192,18	30	6334877,53	344385,12

Tabla 5.10. Metodología MF. Coordenadas puntos medios de las áreas anómalas.

- Metodología MTMF: Dio como resultado 20 Polígonos de Anomalías, a los cuales se les calcularon los puntos medios con los siguientes resultados:

PUNTO MEDIO	NORTE	ESTE	PUNTO MEDIO	NORTE	ESTE
1	6335590,18	348816,23	11	6334784,53	346968,56
2	6335580,56	348887,81	12	6334810,71	346853,81
3	6334575,33	348504,85	13	6334815,45	346775,42
4	6334498,70	348461,68	14	6334909,59	346699,37
5	6334626,24	347728,72	15	6334083,66	346465,63
6	6334525,00	347545,00	16	6333698,65	346030,04
7	6334577,72	347424,54	17	6334704,31	344476,47
8	6334419,00	347334,00	18	6334802,58	344309,15
9	6334721,65	347194,93	19	6334878,11	344384,35
10	6334725,28	347079,79	20	6332526,03	345671,367

Tabla 5.11. Metodología MTMF. Coordenadas puntos medios de las áreas anómalas.

- Metodología OSP: Dio como resultado 4 Polígonos de Anomalías, en donde se calcularon los puntos medios de estos, dando las siguientes coordenadas:

PUNTO MEDIO	NORTE	ESTE
1	6336783,55	347844,115
2	6334745,67	344487,818
3	6334679,32	344475,364
4	6334818,35	344300,653

Tabla 5.12. Metodología OSP. Coordenadas puntos medios de las áreas anómalas.

- Metodología MTTICMF: Dio como resultado 4 Polígonos de Anomalías, en donde se calcularon los puntos medios de estos, dando las siguientes coordenadas:

PUNTO MEDIO	NORTE	ESTE
1	6336495,30	347384,66
2	6335714,12	348809,10
3	6335310,89	349003,87
4	6334924,39	349179,21
5	6335078,89	347953,87
6	6334224,12	348013,10
7	6333800,12	348181,10
8	6333114,86	346310,60
9	6334500,89	345493,87
10	6334462,89	345407,87
11	6334679,89	344470,87

Tabla 5.13. Metodología MTTCIMF. Coordenadas puntos medios de las áreas anómalas.

Solo se trabajó con los resultados de las metodologías CEM, MF, MTMF, OSP y MTTCIMF, pues las otras metodologías arrojaron datos que estaban lejos de ser anomalías, identificando por lo general pixeles asociados a otras clases conocidas, fundamentalmente suelos y espinos.

A partir estos puntos medios, procedimos a generar un buffer de 25 mts, considerado como el área de influencia, donde potencialmente podríamos encontrar los objetos y materiales que constituían las anomalías detectadas, esto considerando el error geométrico que podría tener nuestra georreferenciación. Teniendo estos datos, procedimos a llevarlos, uno a uno, cada resultado metodológico a un mapa, para evaluar espacialmente cada algoritmo, Ver los mapas en el **Anexo N°2**.

Al tener los resultados ubicados espacialmente sobre la imagen, lo primero que podemos visualizar es que la mayoría de las zonas se repiten en cada metodología, así como que todos los resultados destacan en la esquina sur-oeste una zona en la que hay construcciones con techo metálico como lo vemos en la ilustración 5-5, lo que nos indica a priori que las áreas anómalas están bien definidas.

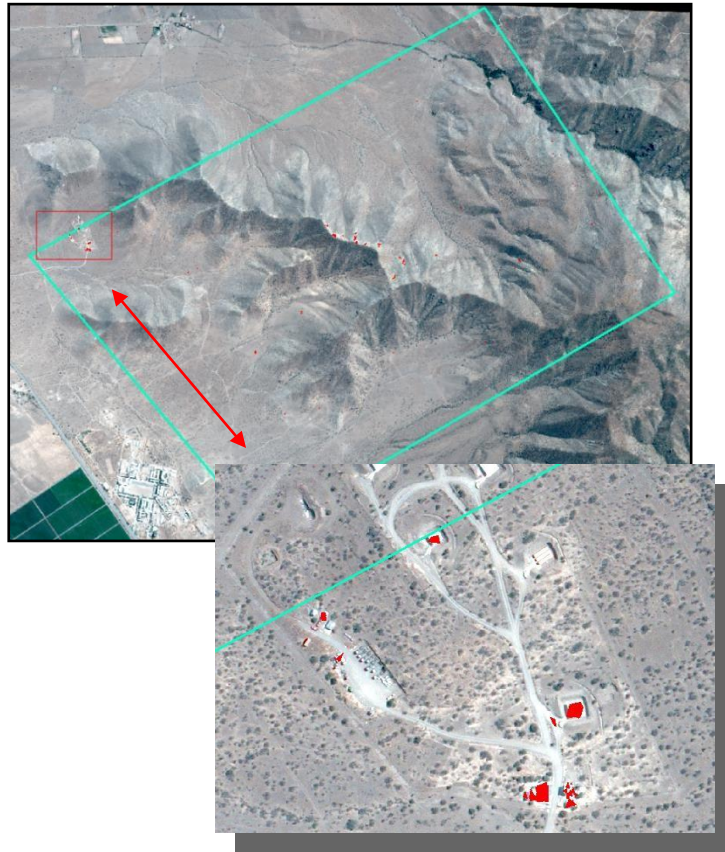


Ilustración 5.5. Instalaciones Mineras - Construcciones con techo Metálico.

Por ultimo en esta etapa, decidimos unir todos los resultados de las diferentes metodologías, para así definir una gran zona con anomalías. Como resultado elaboramos el siguiente mapa con su respectivo listado de coordenadas, con el cual verificaríamos los datos en terreno.

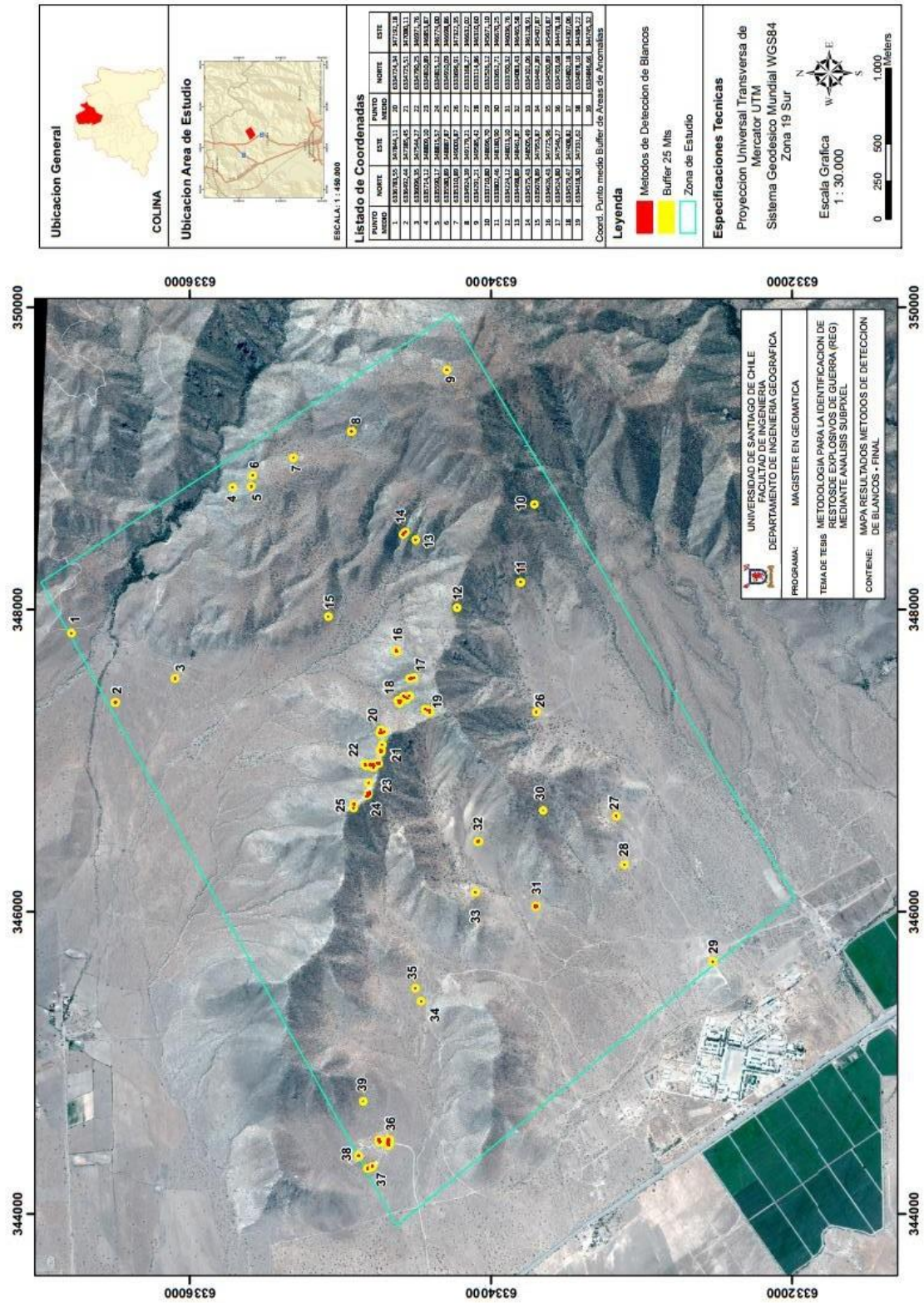


Ilustración 5.6. Métodos de Detección de Blancos - Mapa de Resultados Final

PUNTO MEDIO	NORTE	ESTE	PUNTO MEDIO	NORTE	ESTE
1	6336783,55	347844,11	20	6334724,34	347192,18
2	6336492,44	347385,45	21	6334725,51	347080,11
3	6336096,35	347544,27	22	6334790,25	346971,76
4	6335714,12	348809,10	23	6334810,89	346853,87
5	6335590,17	348815,57	24	6334815,12	346774,00
6	6335580,89	348887,87	25	6334910,09	346698,86
7	6335310,89	349003,87	26	6333696,91	347322,35
8	6334924,39	349179,21	27	6333168,27	346632,02
9	6334291,21	349585,42	28	6333114,86	346310,60
10	6333710,80	348696,70	29	6332526,12	345671,10
11	6333802,46	348180,90	30	6333652,71	346670,25
12	6334224,12	348013,10	31	6333700,32	346036,76
13	6334498,89	348461,87	32	6334083,43	346465,58
14	6334575,43	348505,49	33	6334101,06	346128,91
15	6335078,89	347953,87	34	6334462,89	345407,87
16	6334626,43	347725,96	35	6334500,89	345493,87
17	6334524,80	347546,27	36	6334703,68	344478,18
18	6334579,47	347408,82	37	6334802,18	344307,06
19	6334418,30	347331,62	38	6334878,10	344384,22
			39	6334846,66	344745,32

Tabla 5.14. Métodos de Detección de Blancos - Coordenadas Finales

Estos datos fueron comparados con el análisis UTD. Es importante destacar en ese sentido que existieron claras coincidencias en la detección de anomalías, sin embargo creemos que el algoritmo UTD presenta un gran margen de ruido como consecuencia de la detección de suelo contaminado con material metálico. Las Ilustraciones 5.7 y 5.8, grafican estos resultados:

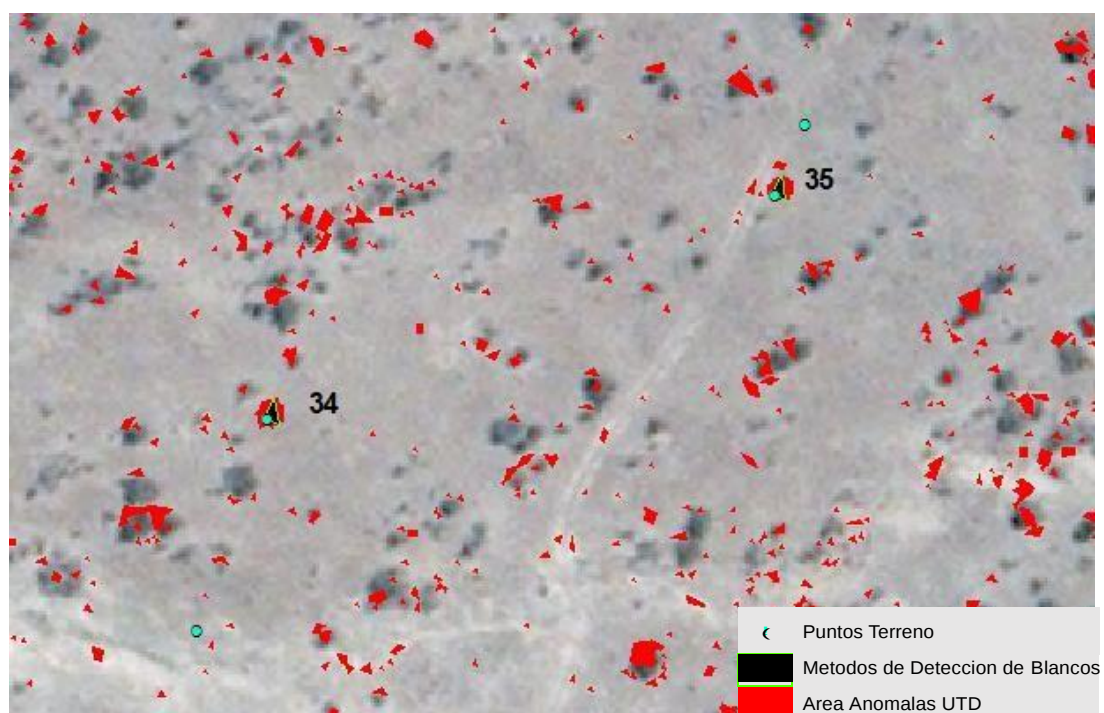


Ilustración 5.7. UTD-Detección de Blancos y puntos de Terreno Sub-zona 28

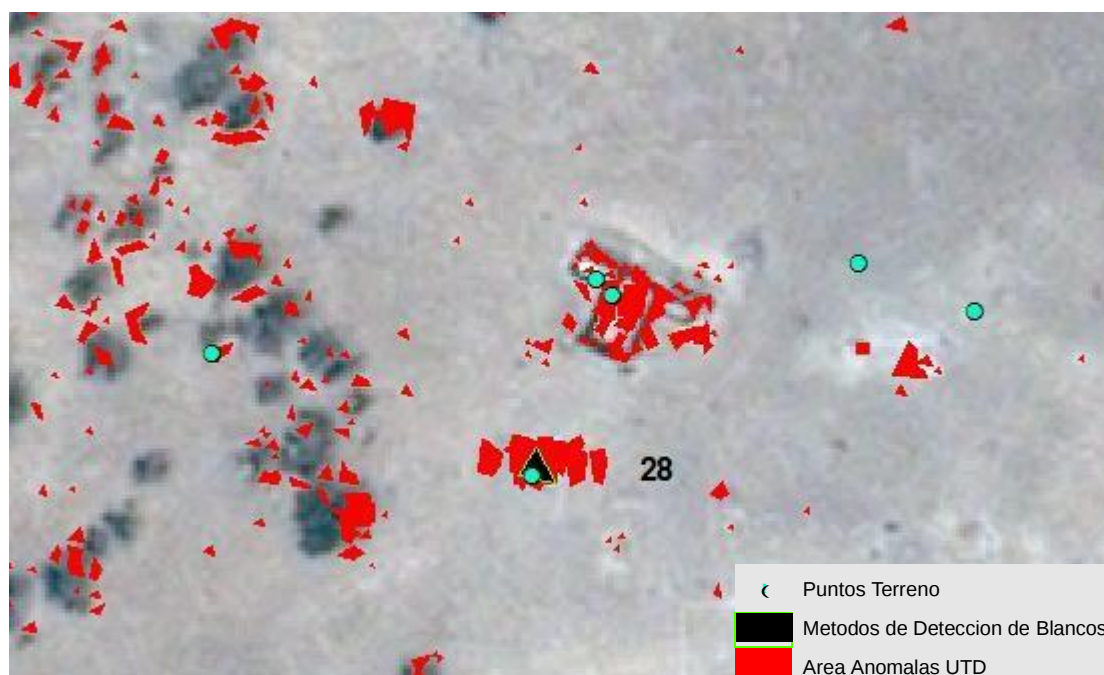


Ilustración 5.8. UTD-Detección de Blancos y puntos de Terreno Sub-zona 34-35

6. CAPITULO VI. ANALISIS DE RESULTADOS

Tras el desarrollo de esta investigación se lograron abordar diferentes enfoques del problema de la detección de anomalías espectrales y además se pudo avanzar en la posibilidad de elaborar un método de identificación de munición sin estallar que permita, reducir el tiempo, los costos y el peligro que el proceso de desminado implica. En el IMAS 8.2 relacionado con el Estudio Técnico, (una de las fases establecidas dentro del marco legal y de acción internacional), ya propone la posibilidad de trabajar con tecnología remota. Las últimas décadas han proliferado una serie de métodos, sobre todo orientados al análisis hiperespectral. Los métodos más conocidos son la familia de algoritmos RX, Dwest o NSWT. Para mejorar su rendimiento se ha propuesto recientemente la utilización de técnicas de reducción de dimensionalidad, esto fundamentalmente por la gran cantidad de datos que implica el trabajo con este tipo de imágenes. Por esta razón es que desde un principio nos surgió la necesidad de probar la potencialidad que podría tener la utilización de imágenes multiespectrales de alta resolución espacial, pensando en que la definición de las anomalías no pasa, para el caso de la búsqueda de munición sin estallar, necesariamente por la amplitud de la información espectral, sino que más se requiere una alta resolución espacial y radiométrica que permitan identificar pequeños target.

Dadas estas condiciones es que decidimos integrar tres métodos de detección de anomalías ya utilizados en algunas investigaciones con el objetivo de establecer su potencialidad para la identificación de REG en condiciones geográficas similares a las Peldehue. Lo mejor hubiera sido tener la posibilidad de conocer a priori los valores espectrales dentro de una matriz multiespectral. Al no contar con esas condiciones, ni con firmas espectrales de los materiales que blindan la munición, debíamos optimizar al máximo el análisis por cada algoritmo, razón por la cual se decidió ir realizando un análisis escalonado de resultados, que propiciara, progresivamente, ir acotando las zonas sospechosas.

Una de las primeras cuestiones relevantes, en este sentido dice relación con el comportamiento del algoritmo UTD, que manera inversa al RXD y RXD-UTD, nos entregó una aproximación mucho más acotada respecto de los algoritmos de clasificación. Uno de los elementos medulares dice relación con un análisis profundo de los datos que permita evidenciar

su dispersión y la variabilidad de ello en relación a los kernel, pues finalmente ello es la base de la definición de zonas anómalas.

Otro elemento importante y ampliamente discutido en teledetección dice relación con la rigurosidad en la determinación de las clases. Por ello es que antes de comenzar el análisis visitamos en terreno, aunque de manera restringida, por tratarse de un recinto militar pudimos delimitar cuales eran las condiciones generales y las clases presentes dentro de la zona de estudio. Para que un estudio de anomalías espectrales resulte óptimo, no solo basta aplicar de forma correcta los algoritmos de detección, sino también de **conocer cuáles son las clases que deberán ser excluidas dentro del proceso**. Los valores antagónicos a la clasificación de anomalías es lo que podríamos consignar como valor-suelo, el cual a su vez sugiere una rigurosidad particular puesto que en el terreno puede presentarse diversas formas y por tanto, con valores espectrales diferentes.

Una vez realizado el análisis en base a la familia de algoritmos RXD, buscamos la forma de establecer una correlación de valores entre las anomalías espectrales iniciales y posibles materiales, fundamentalmente de origen metálico que pudiesen ser indicio de la presencia de munición, para lo cual se construyeron cuatro clases, 3 metálicas y una de cemento, que fueron nuestra blancos de búsqueda dentro de la matriz. La clase cemento nos permitiría evidenciar posibles falsos positivos si es que existía transposición de estos valores con respuestas espectrales metálicas. Sin embargo esto no fue así, por el contrario, todos los procesos de clasificación diferenciaron claramente dichos valores, probablemente distinguiendo entre metales y las rocas.

De esta forma seleccionamos los algoritmos de identificación de blancos con mejor rendimiento, en base a un umbral determinado arbitrariamente de un 3% de anomalías, con lo cual procedimos a realizar una nueva clasificación mejorada en base a los algoritmos CEM, MF, OSP, MTTCIMF y MTMF.

Una vez cartografiados los puntos anómalos procedimos a unir los resultados de cada algoritmo, ubicar el punto medio de sus áreas y a partir de ellos crear buffer de 25 metros, las cuales serían zonas de influencia, en donde podríamos encontrar las anomalías detectadas, esto considerando el error geométrico que podría tener nuestra georreferenciación, lo cual dio origen a 39 zonas anómalas, de las cuales constatamos 5 en terreno. Debemos tener en cuenta

que la verificación en terreno y la toma de la imagen, tienen un año y dos meses de diferencia aproximadamente. Los resultados fueron los siguientes:

Sub-Zona 29. Garita

Punto Anomalía	Norte (wgs84)	Este (wgs84)	Distancia
29 – Plano	6332526,12	345671,10	2,82 mts app.
29 – Terreno	6332524,00	345669,00	

Tabla 6.1. Coordenadas punto 29, Plano vs Terreno

En la zona 29 localizamos una garita de guardia militar, similar a la que dio origen al Target nº1. Las coordenadas que determinamos a partir del análisis de detección de blancos emplazo a solo 2,82 mts aprox, del punto medio del área anómala que habíamos definido. Considerando la limitada corrección geométrica que habíamos trabajado, estos resultados son absolutamente satisfactorios.



Ilustración 6.1. Punto 29. Garita

Sub-Zona 28. Blanco de Barril

Dentro del área determinada como anómala nº 28 (Sub-zona) localizamos un blanco de barril metálico, a solo 1,045 mts aprox de su punto medio. Adicionalmente dentro del área del buffer de influencia encontramos 2 blancos de barril dentro de un compartimento de madera de almacenamiento de materiales de polígono. Además cerca de este lugar encontramos 3 elementos más, asociados a munición y metal, que decidimos registrar para nuestro proyecto

Punto Anomalía	Norte (wgs84)	Este (wgs84)	Distancia
28 – Plano	6333114,85	346310,59	1,04 mts app.
28 – Terreno	6333114,00	346310,00	
Punto 1	6333129	346271	
Punto 2	6333138	346318	
Punto 3	6333136	346320	
Punto 4	6333140	346350	
Punto 5	6333134	346364	

Tabla 6.2. Coordenadas punto 28, Plano vs Terreno



Ilustración 6.2. Punto 28. Blanco de Barril



Ilustración 6.3. Almacén Blancos de Barril

Sub-Zona 30. Explosivos Remanentes de Guerra (REG)

La Sub-Zona 30, nos arrojó excelentes resultados. En su perímetro encontramos de explosivos remanentes de guerra dentro a una distancia aproximada de 6,58 mts del punto medio. Adicionalmente encontramos 6 artefactos explosivos adyacentes al área de influencia. Para esta zona es muy importante resaltar el hecho de que su relieve se caracteriza por tener fuerte pendiente (30° aprox.), por lo tanto, la probabilidad de que estos artefactos se desplacen es muy alta.

Punto Anomalía	Norte (wgs84)	Este (wgs84)	Distancia
30 – Plano	6333652,54	346670,31	6,58 mts app.
30 – Terreno	6333659,00	346669,00	
Punto 1	6333701	346630	
Punto 2	6333696	346632	
Punto 3	6333669	346642	
Punto 4	6333587	346656	
Punto 5	6333601	346740	
Punto 6	6333548	346667	

Tabla 6.3. Coordenadas punto 30, Plano vs Terreno



Ilustración 6.4. Punto 30, Restos de Explosivos de Guerra

Sub-Zonas 34 y 35. Restos de Explosivos y Blanco de Barril

En el punto 34, encontramos restos de explosivos fuera del área de influencia, aproximadamente a 39 metros del punto medio del área considerada anómala. La Sub-escena 35 contenía un blanco de barril dentro de su área de influencia, aproximadamente a 11 mts del punto medio. Debemos resaltar que estas áreas son cercanas a un sendero del recinto, por tanto resulta ser una zona frecuentemente transitada, razón por la probabilidad de que estas entidades hayan sido desplazadas es muy alta.

Punto Anomalía	Norte (wgs84)	Este (wgs84)	Distancia
34 – Plano	6334462,88	345407,86	39,06 mts app.
34 – Terreno	6334426,00	345395,00	
35 – Plano	6334500,88	345493,86	11,85 mts app.
35 – Terreno	6334512,00	345498,00	

Tabla 6.4. Coordenadas punto 34 y 35, Plano vs Terreno

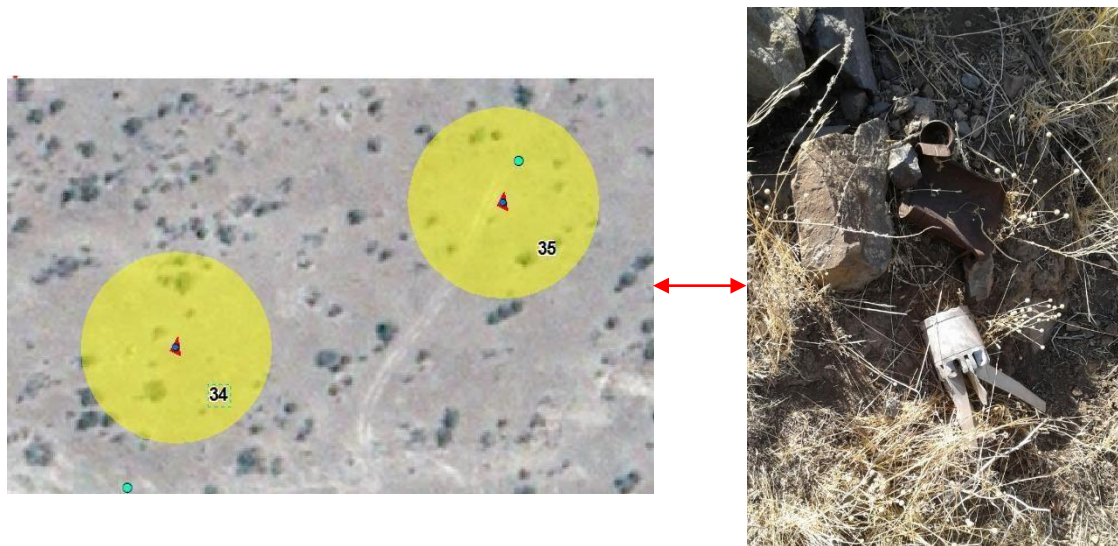


Ilustración 6.5. Punto 34, Restos de Explosivos de Guerra

Al finalizar con la comprobación de datos en terreno, quedamos muy satisfechos con los resultados, dado que en todas las sub-zonas en las cuales se exploró, localizamos algún tipo de elemento metálico. Y además casi todos estaban dentro del rango de zona de influencia preestablecida con el buffer de 25 mts, a pesar de que la corroboración de datos se hizo un año después de la toma de la imagen.

Todas las zonas revisadas pudieron ser confirmadas con la presencia de material metálico que varío desde 1 metro hasta 50 cm de longitud. El material identificado por la combinación de métodos fueron Barriles metálicos, morteros 60mm, y granadas explosadas, y munición sin estallar de artillería. Considerando que el material abandonado también es parte de nuestro trabajo, es posible homologar, desde el punto de vista del desafío técnico, tanto lo barriles como los explosivos detonadas como un buen resultado, pues perfectamente se podrían tratar de contenedores de armamento y explosivos o indicios de la presencia de REG, en la medida que el material explosado siempre nos permitirá esbozar inicialmente una zona sospechosa.

A partir de estos resultados desarrollamos un proceso de zonificación a con el fin de establecer las zonas CHA. Para ello se procedió a la generación polígonos de Thiessen, el cual permite delimitar perímetros de polígonos a partir del cálculo de equidistancia respecto a los puntos vecinos, designando una zonificación pertinente a nuestro objetivo. Es importante destacar que para ello ignoramos los puntos medios de los polígonos finales de la metodología de detección de blancos, 1, 2, 3, 29, 36, 37, 38 y 39, dado que estos señalan clases conocidas como techos de edificaciones y por tanto solo interferirían en la determinación de la CHA.

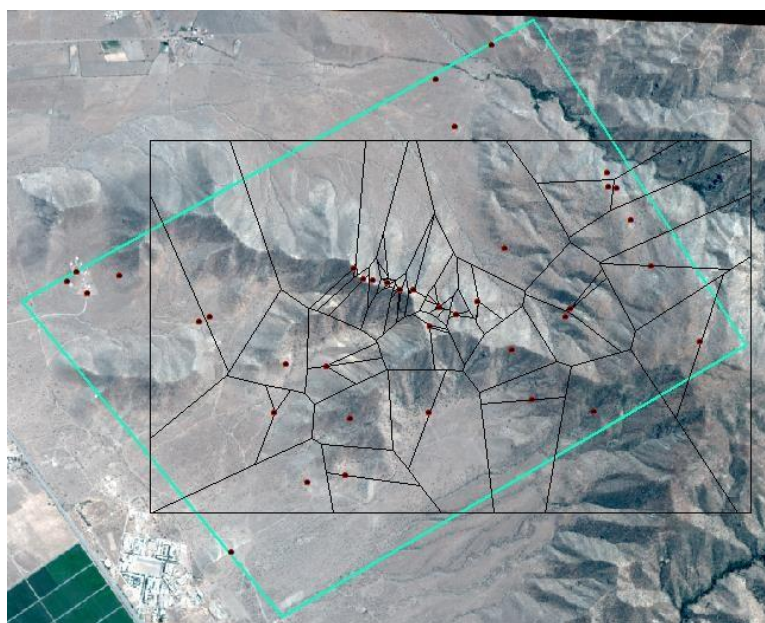


Ilustración 6.6. Polígonos de Thiessen a partir de áreas anómalas

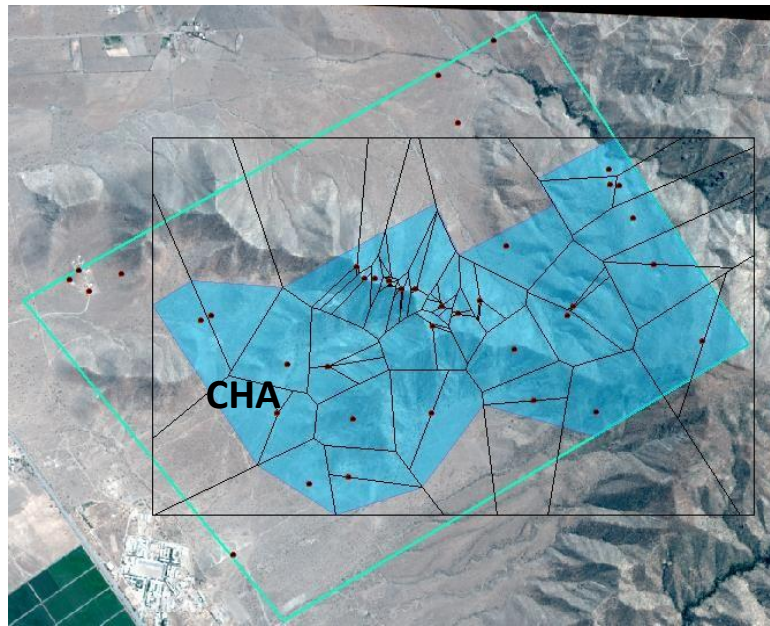


Ilustración 6.7. Determinación de Área CHA, a partir de Polígonos de Thiessen

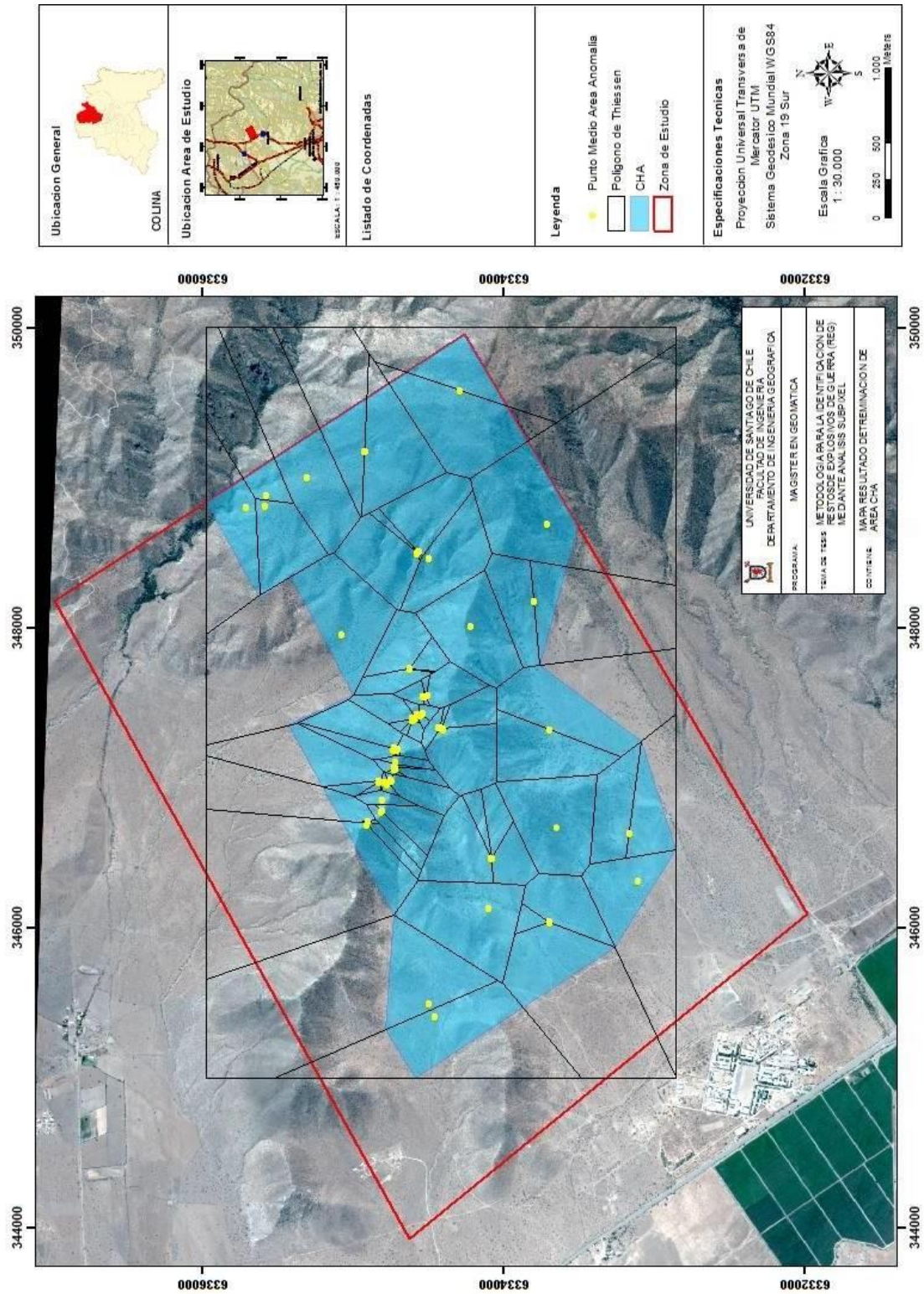


Ilustración 6.8. Plano de Determinación de CHA

Teniendo esta zona definida, y con los resultados de la corroboración en terreno, procedemos a determinar nuestras zonas DHA. Cabe destacar que no se incluirá la sub zona 29, dado que este es una garita. De esta forma los resultados fueron los siguientes:

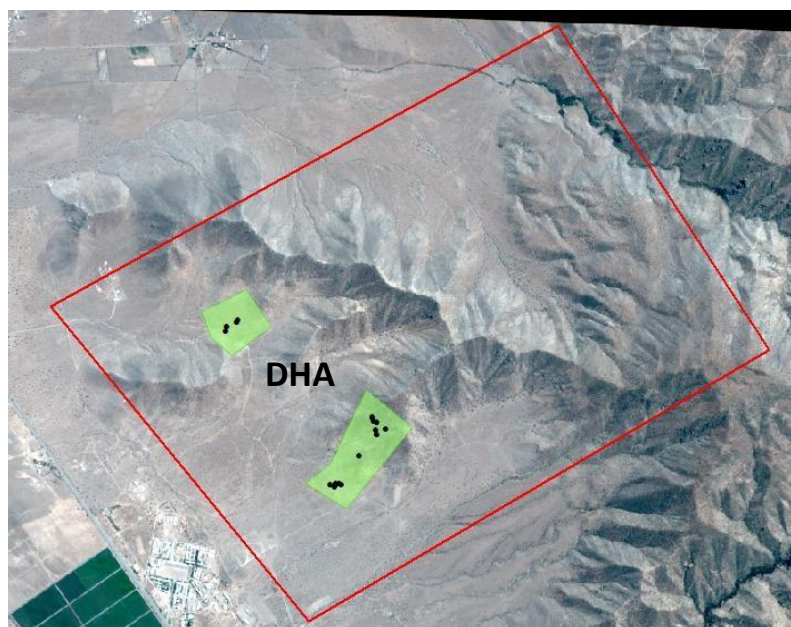


Ilustración 6.9. Determinación de Áreas DHA, basado en resultados de campo.

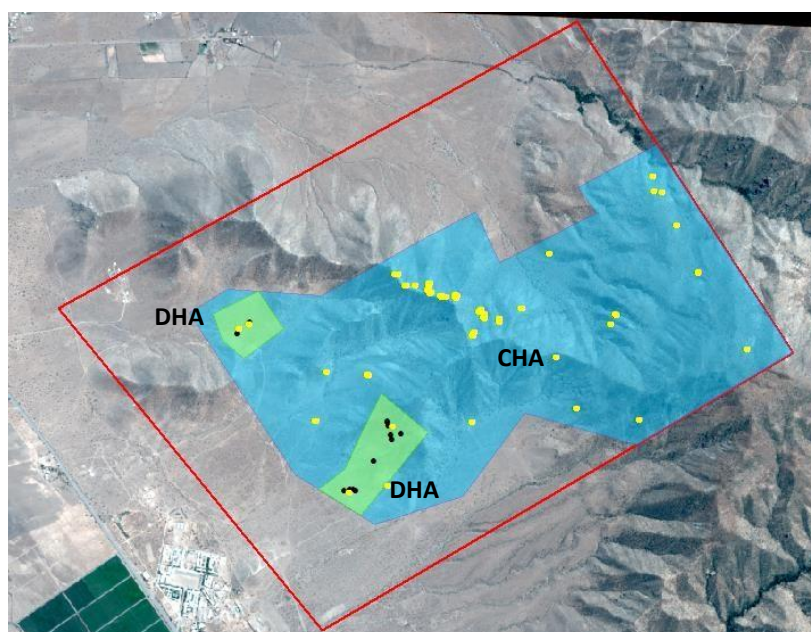


Ilustración 6.10. Áreas DHA y CHA

Así se obtuvieron las siguientes áreas:

- ✓ Area Total DHA: 55,35 Has
- ✓ Area Total CHA: 776,56 Has
- ✓ Área de Estudio: 1548,09 Has

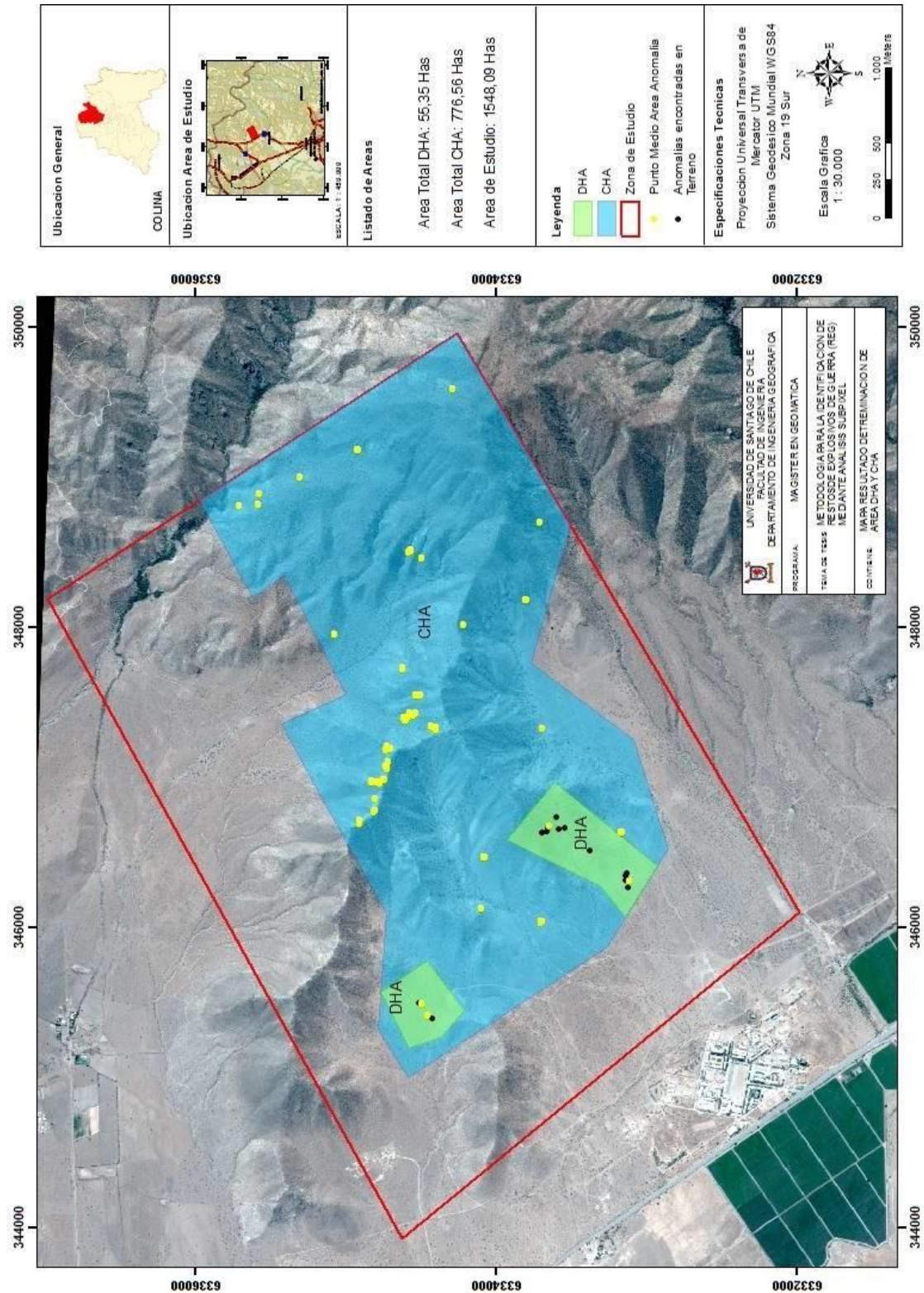


Ilustración 6.11. Plano de determinación de áreas CHA y DHA.

Tal como se plantea en las IMAS expresáramos los resultados en base a las siguientes categorías:

- a) Confirmación de la presencia o la densidad probable de minas /ERW. Tras la realización de nuestro estudio logramos establecer la presencia de restos de explosivos de guerra en las zonas delimitadas. Desde el punto de vista de su densidad podemos establecer que en total las anomalías corresponden a un total de 2468,98 m respecto a un total del SHA de 15.480.998,9, siendo la densidad de 0,00015948 m². La siguiente imagen nos grafica como se presentan y distribuyen dentro de las subzonas las anomalías espectrales.

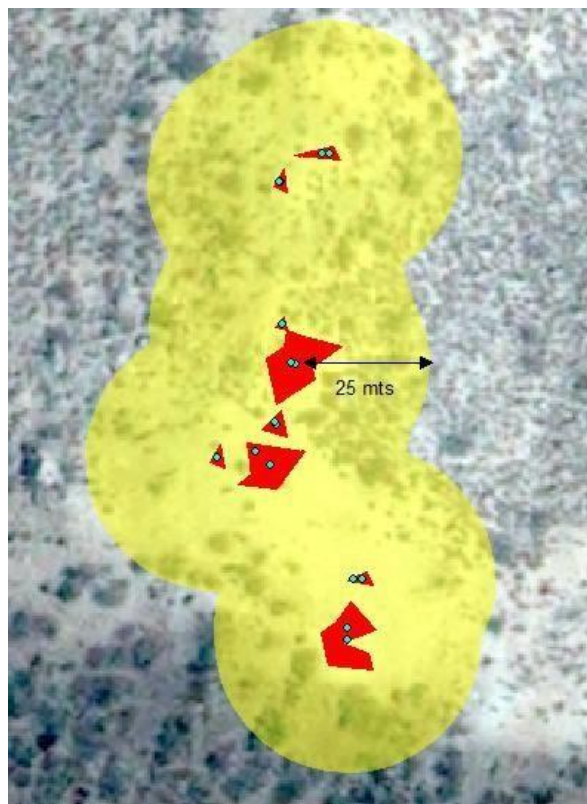


Ilustración 6.12. Distribución de anomalías espectrales

b) Confirmación de la información registrada existente.

Previo a la realización de este estudio, era sabida la posibilidad de encontrar restos de explosivos sin estallar, pues se trata de una zona que hace más de 3 décadas ha sido el escenario de ejercicios militares. Según la recopilación de antecedentes la munición que se podía encontrar era Munición de mortero 60 y 81mm, munición antitanque de diversos calibres, munición de artillería 84 mm y granadas de mano. No era probable que se encontraran vestigios de pólvora, pues en la zona se realizan ejercicios de lanzamiento de mortero que no sobrepasa los 1000 metros de distancia, razón por la cual no era necesaria la utilización de cargas de proyección. La exploración en terreno arrojó la presencia, precisamente de todo este tipo de munición, la cual podríamos integrar los Blancos Barril que podrían perfectamente haber sido contenedores de armamento.

c) Evaluación del terreno en términos de contaminación de tierra y de metales

Si consideramos los blancos barriles como aciertos, podemos afirmar que la zona se caracteriza por presentar bajos niveles de contaminación metálica. De todas formas un elemento a considerar es la presencia de mucho desecho de casquillos balas de diverso calibre, proveniente de la utilización de fusiles en la zona. Es necesario evaluar el comportamiento espectral de zonas con casquillos a fin de reducir los falsos positivos. En nuestro caso, al parecer, esta situación no tuvo mayor incidencia en los resultados.

d) Definición del tipo, condición y el grado de riesgo

Nuestra investigación nos arrojó 39 sub-zonas en las que se presentaron anomalías espectrales. Como ya explicábamos, por razones de accesibilidad solo se pudieron evaluar 5 de ellas, las cuales presentaron material metálico de diverso origen, razón por la cual podemos especular que las restantes también podrían presentarse de esta forma. Desde el punto de los riesgos, nuestro estudio establece que si bien se trata de un campo militar, la presencia de armamento sin estallar, constituye un serio peligro para las tropas que ahí se asientan, pues en primer término, las entidades explosivas halladas se encuentra a poca

distancia de los edificios del recinto y además se presentan en zonas donde las unidades realizan sus maniobra de entrenamiento, lo cual aumenta el riesgo. Por otro, lado, pese a que las restantes zonas se encuentran alejadas de las unidades militares y de áreas habitadas, es sabido que estos lugares son constantemente explorados por aficionados al andinismo y por lugareños, lo cual constituye un problema, que si bien no es alarmante, resulta ser bastante serio. El año 2000 dos jóvenes resultaron heridos como consecuencia de la manipulación de un artefacto explosivo sin estallar dentro de los terrenos militares de Peldehue. Asimismo, el año 2003 un civil resulto fallecido como consecuencia de la manipulación de estos artefactos.

e) Profundidad sugerida de despeje para áreas específicas dentro de la DHA.

Es necesario desarrollar una campaña de despeje de la zona, previo a la determinación de DHA en las áreas altas de la zona de estudio. En primer término es necesario explorar las sub-zonas que no pudieron ser abordadas en nuestra campaña de terreno por razones de accesibilidad. En este sentido creemos que se debe realizar un nuevo análisis, a partir de imágenes recientes, con los parámetros y métodos expuestos en esta investigación, dada la posibilidad de desplazamiento de las entidades explosivas como consecuencia de movimientos sísmicos, deslizamientos de suelo o intervención antrópica.

f) Recursos recomendados para llevar a cabo futuras actividades, como despeje, incluyendo recursos para ser utilizados en áreas específicas de la DHA, y un plan de trabajo para estos recursos.

Una campaña de despeje involucra necesariamente disponer de un plan que se desarrolle en las siguientes etapas:

1. Elaboración de Cartografía actualizada en base a un análisis de imágenes multiespectrales recientes.
2. Campaña exploratoria para determinación de todas las DHA
3. Elaboración de un plan de despeje con contingente de desminado profesional.
4. Incorporación de sensores aerotransportados

En síntesis, nuestra investigación logro establecer la presencia de REG a partir de análisis multiespectral en base a RX y detección de blancos. El grado de efectividad de la metodología aquí propuesta deberá ser definido a partir de la exploración de todos las sub-zonas delimitadas. De todas formas si consideramos el universo del total de sub-zonas exploradas, nuestro rango de asertividad supera, a priori, el 70%., lo cual resulta bastante alentador, considerando los recursos limitados con los que se trabajó, así como también un acceso condicionado a la zona de estudio, dado por el carácter de zona militar restringida y por sus condiciones geomorfológicas.

7. CAPITULO VII. CONCLUSIONES

El presente estudio tuvo como objetivo elaborar una metodología, a partir de análisis multiespectral que permitiese facilitar la identificación de explosivos remanentes de guerra, a partir de enfoque de análisis de anomalías espectrales. Tras meses de investigación logramos establecer que las metodologías que se están desarrollando en EEUU y China, con el fin de detectar anomalías espectrales, principalmente la familia de algoritmos RX y Detección de Blancos eran la forma más pertinente para abordar el problema. En un primer momento se pensó en la utilización de información hiperespectral, pero si bien, la gran mayoría de los clasificadores han sido creados para análisis de este tipo, el problema del exceso de ruido por la gran cantidad de bandas nos hizo poner atención en la posibilidad de trabajar estas fórmulas en imágenes multiespectrales. Luego de analizar mucha literatura respecto al tema de las resoluciones de las imágenes satelitales concluimos que era necesario trabajar con una imagen que de alta resolución espacial y radiométrica. Ambas características nos generaban condiciones propicias para realizar los análisis.

Tal como hemos expuesto, los resultados generados tras la realización de este trabajo, pueden ser caracterizados como positivos, pues se logró demostrar que efectivamente, es posible detectar explosivos remanentes de guerra utilizando datos multiespectrales, permitiendo acotar las zonas de exploración para el despejo y disminuir los gastos asociados a ello.

Sin embargo creemos que el trabajo debe fortalecerse desarrollándose dos líneas investigativas asociadas. En primer término, es necesario profundizar en un diagnóstico comparativo de todos los algoritmos utilizando todas las variables de calibración posibles a fin de conseguir la combinatoria de clasificación que ofrezca el mayor rendimiento. Si bien nuestra cadena de procesamiento espectral entregó buenos resultados es prioritario averiguar si existen otras calibraciones que mejoren estos resultados. En segundo lugar creemos que es necesario, aunque no urgente, elaborar nuevas estrategias de análisis en base a clasificaciones blandas de subpixel, pues algunos estudios han develado su potencialidad, lo cual no pudimos comprobar acá.

En este mismo sentido creemos que se debe experimentar con la utilización de datos provenientes de otros sensores de alta resolución, como así también profundizar en el estudio por bandas individuales, analizando el comportamiento de las anomalías en cada una de ellas.

Creemos que un estudio más acabado respecto a la detección de anomalías espectrales requiere de experimentar, también, con diversas técnicas de fusión de bandas que aumenten el rendimiento espacial y espectral de las imágenes. Sería pertinente probar con las técnicas de fusión IHS, Wavelet y de Multiresolucion Multidireccional.

Así mismo creemos que se podrían obtener resultados mejorados si se pudiese trabajar con sensores aerotransportados, pues el notable aumento en la resolución espacial permitiría aumentar notablemente la capacidad de distinguir anomalías, aunque se debe tener en cuenta que para el caso de la Detección de blancos, una condición fundamental para su buen funcionamiento radica en que la anomalía sea lo suficientemente pequeña en relación al pixel. De esta misma forma, creemos que la utilización de técnicas de radar debe incorporarse para complementar el análisis multiespectral con el fin de detectar munición sin estallar por debajo de la superficie.

De forma paralela, creemos que la responsabilidad de los estados respecto al problema humanitario que constituye los REG debe implicar el desarrollo de campañas sistemáticas, pues resulta evidente que tras cualquier ejercicio de maniobra que integre explosivos, morteros y munición de artillería, es una potencial zona de presencia de REG.

Por ultimo queremos pronunciarnos respecto a la brecha técnica que nos separa de otros países como EE.UU quienes poseen planes millonarios para abordar este problema y que sin duda lideran las ciencias de desminado humanitario, por lo menos desde el punto de vista de su desarrollo. Creemos que en la medida que avanza la tecnología de análisis espectral, fundamentalmente lo que dice relación con la posibilidad de montar sensores aerotransportados, aumentan las posibilidades elaborar metodologías de bajo costo que permitan abordar el problema.

BIBLIOGRAFIA

1. AGENCIA METEOROLÓGICA. Agencia Estatal de Meteorología - AEMET. Gobierno de España. Aemet.es [en línea] [fecha de consulta: 5 Febrero 2016]. Disponible en: <http://www.aemet.es/es/portada>
2. ALTHOUSE, Mark L. Chemical vapor detection with a multispectral thermal imager. *Optical Engineering* [en línea]. 1991. Vol. (30), no. (11), p. 1725 -1733. [fecha de consulta: 26 de marzo de 2016]. Disponible en: http://www.umbc.edu/rssipl/pdf/OE/OE_30_1991.pdf
3. ANÓNIMO. A Threshold Selection Method from Gray-Level Histograms. *IEEE Xplore Digital Library*, 1979, Vol. (9), no (1), pp. 62-66. ISSN 0018-9472.
4. AUBORN, John E., FULLER, Jr James. Target detection by co-occurrence matrix segmentation and its hardware implementation. *SPIE Digital Library*, 1993, Vol. (32), no. (11), p. 2698. ISSN 2698-2702.
5. BALLESTER, A., FERNÁNDEZ, J.A., LÓPEZ, J.A. *Medida y Evaluación de las extracciones de agua subterránea - Fundamentos teóricos del control de las extracciones mediante teledetección*. Madrid: ITGE. 1999.
6. BAKER, COREY, LAWRENCE, RICK, MONTAGNE, CLIFFORD AND PATTEN, DUNCAN. Mapping wetlands and riparian areas using Landsat ETM+ imagery and decision-tree-based models. *Wetlands*, 2006, Vol. (26), no. (2), pp. 465-474. ISSN 59717-3490.
7. BEA, M., MONTESINOS, S., MORUGÁN, C. & MORALEDA, S. Análisis comparativo de las superficies regadas en los acuíferos del Campo de Montiel y La Mancha Occidental en el periodo 2004-2008. *Revista de Teledetección*, 2010, Vol. (34), pp. 22-28.
8. BRIDGHAM, S.D., MEGONIGAL, J.P., KELLER, J.K., BLISS, N.B. & TRETTIN, C. The carbon balance of North American wetlands. *Wetlands* [en línea]. 2006, Vol. (26), no. (4), pp. 889–916. [fecha de consulta: 15 de marzo de 2016]. Disponible en: ftp://131.252.97.79/Transfer/WetlandsES/Articles/es/bridgham_06_wetlandES_carbonsequ est.pdf

9. CABELLO, J. & PARUELO, J.M. La teledetección en estudios ecológicos. *Ecosistemas* [en línea]. 2008, Vol. (17), no. (3), pp. 1-3. [fecha de consulta: 15 de marzo de 2016]. ISSN 169-2473. Disponible en: <http://www.revistaecosistemas.net/index.php/ecosistemas/article/download/77/74>

10. CAMPS, C. Estudio: Laguna de Manjavacas. Mota-del-cuervo.com [en línea] [fecha de consulta 4 Septiembre 2016]. Disponible en: <http://www.mota-del-cuervo.com/estudiolaguna.asp>

11. CANEPUCCIA, Alejandro D., ISACCH, Juan P., GAGLIARDINI, Domingo A., ESCALANTE, Alicia H. and IRIBARNE, Oscar O. Waterbird Response to Changes in Habitat Area and Diversity Generated by Rainfall in a SW Atlantic Coastal Lagoon, *Waterbirds*, 2007, Vol. (30), no. (4), pp. 541-553. ISSN 1938-5390

12. CARR, L., FLETCHER L., HOLLAND P., LEONELLI J., MCPHERRIN D., AND ALTHOUSE M. Characterization of filtered FLIR systems designed for chemical vapor detection and mapping. SPIE Digital Library [en línea]. 1990. pp. 90-103. [fecha de consulta: 20 febrero 2016]. Disponible en: <http://proceedings.spiedigitallibrary.org/proceeding.aspx?articleid=944819>

13. CHANDA, B, CHAUDHURI, B.B AND DUTTA MAJUMDER, D. On image enhancement and threshold selection using the graylevel co-occurrence matrix. *Pattern Recognition Letters*, 1985, Vol. (3), no. (4), pp. 243-251.

14. CHANG, CHEIN-I, CHEN, KEBO, WANG, JIANWEI AND ALTHOUSE, MARK L.G. A relative entropy-based approach to image thresholding. *Pattern Recognition Letters*, 1994, Vol. (27), no. (9), pp. 1275-1289.

15. CHOW, C.K. AND KANEKO, T. Automatic boundary detection of the left ventricle from cineangiograms. *Computers and Biomedical Research* [en línea]. 1972, Vol. (5), no. (4), pp. 388-410. [fecha de consulta: 15 de marzo de 2016]. Disponible en: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/0010480972900705>

16. CHUVIECO SALINERO, Emilio. *Teledetección Ambiental*. Barcelona: Editorial Ariel.2002

17. CHUVIECO, Emilio y HUETE, Alfredo. *Fundamentals of satellite remote sensing*. Boca Ratón: CRC Press. 2010.
18. CUARTERO, A., FELICÍSIMO, A. M. Rectificación y ortorrectificación de imágenes de satélite: análisis comparativo y discusión. *GeoFocus*, 2003, nº 3, pp. 45-57. ISSN 1578-5157.
19. GARCÍA, M.P. & PÉREZ, M.E. Estudio mediante imágenes TM del entorno de Villacañas (Toledo). *Revista de Teledetección* [en línea]. 1999. Vol (11), pp. 1-8. [fecha de consulta: 10 de marzo de 2016]. Disponible en: http://www.aet.org.es/revistas/revista11/AET11_2.pdf.
20. HARSANYI, J.C. AND CHANG, C.-I. Hyperspectral image classification and dimensionality reduction: an orthogonal subspace projection approach. *IEEE Trans. Geosci. Remote Sensing*. 1994, Vol. (32), no. (4), pp. 779-785. ISSN 0196-2892.
21. HERNÁNDEZ, J.; P .MONTANER, D. Patrones De Respuesta Espectral. Lab. Geomática y Ecología del Paisaje (GEP) – Facultad de Ciencias Forestales Universidad de Chile.[en línea] [fecha de consulta: 25 febrero 2016]. Disponible en: <http://www.gep.uchile.cl/Publicaciones/Hern%C3%A1ndez%20&%20Montaner%202009%20SAF.pdf>
22. IMAS 5.10. Gestión de Información para Acción Contra Minas [en línea] [fecha de consulta: 27 septiembre 2015]. Disponible en: <http://www.mineactionstandards.org/fileadmin/MAS/documents/imas-international-standards/spanish/IMAS-05-10-Ed1-Amd1-sp.pdf>.
23. MEDINA, Leopoldo. *Flora y Vegetación acuáticas de las Lagunas de La Mancha Húmeda*. Tesis Doctoral, Universidad Autónoma de Madrid, Facultad de Ciencias, Departamento de Biología, Madrid, 2003.
24. MEHL, H.; PEINADO, O. Fundamentos del Procesamiento Digital de Imágenes. [en línea] [fecha de consulta: 20 febrero 2016]. Disponible en: http://www.uabcs.mx/geologia/geo_bajamx/pr/Mehl_Fundamentos_PR.pdf

25. MONITOR. Monitoring progress in eliminating landmines, cluster munitions, and other explosive remnants of war. [en línea] [fecha de consulta: 20 Abril 2015]. Disponible en: <http://www.the-monitor.org/en-gb/home.aspx>

26. MONTESINOS, S., ALMAGRO, F., URREA, M. Estimación de superficies en regadío en la cuenca del segura mediante teledetección y sig. *Teledetección: Agua y Desarrollo Sostenible* [en línea]. 2009, pp. 145-148. [fecha de consulta: 14 abril 2016]. Disponible en: <http://www.aet.org.es/congresos/xiii/cal37.pdf>

27. PAL, Nikhil R, PAL, Sankar K. Entropic thresholding. *Signal Processing*. 1989. Vol. (16), no. (2), pp. 97-108.

28. PEÑA, Marco A., 2010, Propiedades del primer sistema de teledetección hiperespectral chileno. *Revista de geografía Norte Grande*, 2010, no. 46, pp.159-163. ISSN 0718-3402

29. PÉREZ, C., SANCHEZ, N. Experiencias en la corrección geométrica de imágenes de alta resolución: metodología rigurosa versus empírica. [en línea] [fecha de consulta: 14 abril 2016]. Disponible en: <http://www.aet.org.es/congresos/xi/ten53.pdf>

30. REJAS AYUGA, J., MARTÍNEZ MARÍN, R., BONATTI, J., MARTÍNEZ-FRÍAS, J. AND MARCHAMALO SACRISTÁN, M. Detección de anomalías mediante espectrometría de imagen en la cordillera volcánica central de Costa Rica. Implicaciones en la exploración planetaria. *Rev. Ciencias Espaciales*, 2015, Vol. (8), no. (2), pp.272-286.

31. SAHOO, P.K, SOLTANI, S AND WONG, A.K.C. A survey of thresholding techniques. *Computer Vision, Graphics, and Image Processing*, 1988, Vol. (41), no. (2), pp. 233-260.

32. SANDERSON, H. Image segmentation for compression of images and image sequences. *IEE Proceedings - Vision, Image, and Signal Processing*, 1995, Vol. (142), no. (1), pp. 15-21. ISSN 1350-245X.

33. SANZ, C. *Un Método de Clasificación aplicado al Análisis de Imágenes Hiperespectrales*. Tesis Doctoral Razonamiento Evidencial Dinámico. Universidad Nacional de la Plata, Facultad de Ciencias Exactas, La Plata Argentina, 2002

34. SEFERIDIS, V., GHANBARI, M. Use of co-occurrence matrices in the temporal domain. *Electronics. Letters*, 1990, Vol. (26), no. (15), pp. 1116-1118. ISSN 0013-5194
35. SEFERIDIS, V., GHANBARI, M. Image sequence coding using temporal co-occurrence matrices. *Signal Processing: Image Communication*, 1992, Vol. (4), no. (3), p. 185-193.
36. SORIANO, J., FERNÁNDEZ, F., GARCÍA, E., ALLENDE, F. & GARCÍA, M. A. Utilización conjunta de la teledetección y de los sistemas de información geográfica en la detección de superficies de agua en la cuenca del Guadiana. *Ingeniería Civil*, 1996, Vol. (104), pp. 5-11. ISSN 0213-8468.
37. STEVEN, Diane, TONER, Maureen M. Vegetation of Upper Coastal Plain depression wetlands: Environmental templates and wetland dynamics within a landscape framework. *Wetlands*, 2004, Vol. (24), no. (1), p. 23-42.
38. UNIVERSIDAD CATÓLICA. Curso Geografía del Mar: Percepción Satelital Aplicada al Mar [en línea] [fecha de consulta: 07 de Febrero de 2016]. Disponible en: http://www.puc.cl/sw_educ/geo_mar/html/h54.html
39. UNIVERSIDAD NACIONAL DE CÓRDOBA. Sensores Remotos. [en línea] [fecha de consulta: 10 de diciembre de 2015]. Disponible en: <http://www.efn.uncor.edu/otros/foto/index.htm>
40. ZHANG, J., CHEN C., XIANG Y., ZHOU W., VASILAKOS, A. An Effective Network Traffic Classification Method with Unknown Flow Detection. *IEEE Transactions on Network and Service Management*, 2013, Vol. (10), no. (2), pp. 133-147. ISSN 1932-4537

ANEXOS

ANEXO N° 1. Análisis de Target (Tablas de Resultados)

Método	No clasificado (Background)		Target	
	Pts	%	Pts	%
MF	14850384	95.362%	722313	4.638%
CEM	15502623	99.550%	70074	0.450%
ACE	8677275	55.721%	6895422	44.279%
SAM	15414315	98.983%	158382	1.017%
OSP	14899795	95.679%	672902	4.321%
TCIMF	12663998	81.322%	2908699	18.678%
MTTCIMF	13833189	88.830%	1739508	11.170%
MTMF	15355676	98.606%	217021	1.394%

Tabla 9.1. Target # 1. Vehículo

Método	No clasificado (Background)		Target	
	Pts	&	Pts	%
MF	13029196	83.667%	2543501	16.333%
EM	14859473	95.420%	713224	4.580%
ACE	9053979	58.140%	6518718	41.860%
SAM	12344244	79.269%	3228453	20.731%
OSP	6124165	39.326%	9448532	60.674%
TCIMF	9297002	59.701%	6275695	40.299%
MTTCIMF	13531218	86.891%	2041479	13.109%
MTMF	13875892	89.104%	1696805	10.896%

Tabla 9.2. Target # 2. Garita

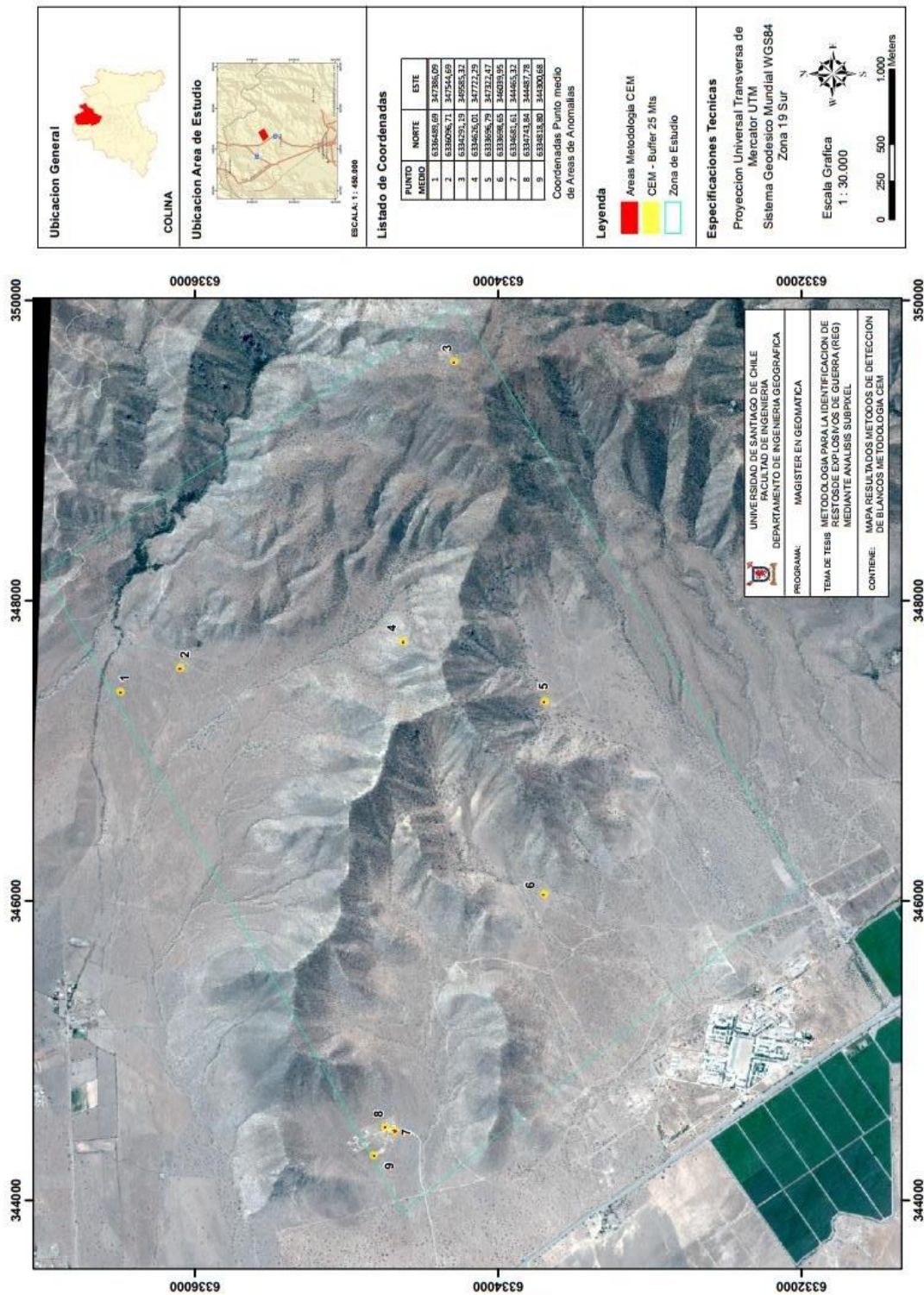
Método	No clasificado (Background)		Target	
	Pts	%	Pts	%
MF	15460227	99.278%	112470	0.722%
CEM	15553031	99.874%	19666	0.126%
ACE	8992686	57.746%	6580011	42.254%
SAM	13204640	84.794%	2368057	15.206%
OSP	15535539	99.761%	37158	0.239%
TCIMF	10332997	66.353%	5239700	33.647%
MTTCIMF	15550333	99.856%	22364	0.144%
MTMF	15527376	99.709%	45321	0.291%

Tabla 9.3. Target # 3. Techo

Método	No clasificado (Background)		Target	
	Pts	%	Pts	%
MF	13713119	88.059%	1859578	11.941%
CEM	15139642	97.219%	433055	2.781%
ACE	9271393	59.536%	6301304	40.464%
SAM	12418359	79.744%	3154338	20.256%
OSP	14138637	90.791%	1434060	9.209%
TCIMF	8627333	55.400%	6945364	44.600%
MTTCIMF	12988297	83.404%	2584400	16.596%
MTMF	14802550	95.055%	770147	4.945%

Tabla 9.4. Target # 4. Cemento

ANEXO N° 2. Mapas de Resultados Target – Análisis de Blancos



Especificaciones Técnicas

Proyección Universal Transversa de Mercator UTM

Sistema Geodésico Mundial WGS84

Zona 19 Sur

Escala Gráfica 1 : 30.000

0 250 500 1.000 Meters



UNIVERSIDAD DE SANTIAGO DE CHILE

FACULTAD DE INGENIERÍA

DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA GEOGRÁFICA

PROGRAMA: MAGISTER EN GEOMÁTICA

TEMA DE TESIS: METODOLOGÍA PARA LA IDENTIFICACIÓN DE RESTOS DE EXPLOSIVOS DE GUERRA (REG) MEDIANTE ANÁLISIS SUBPIXEL

CONTIENE: MAPA DE RESULTADOS MÉTODOS DE DETECCIÓN DE BLANCOS MÉTODOS CEM

Ilustración 9.0.1. Métodos de Detección de Blancos - Mapa de Resultados: Método CEM

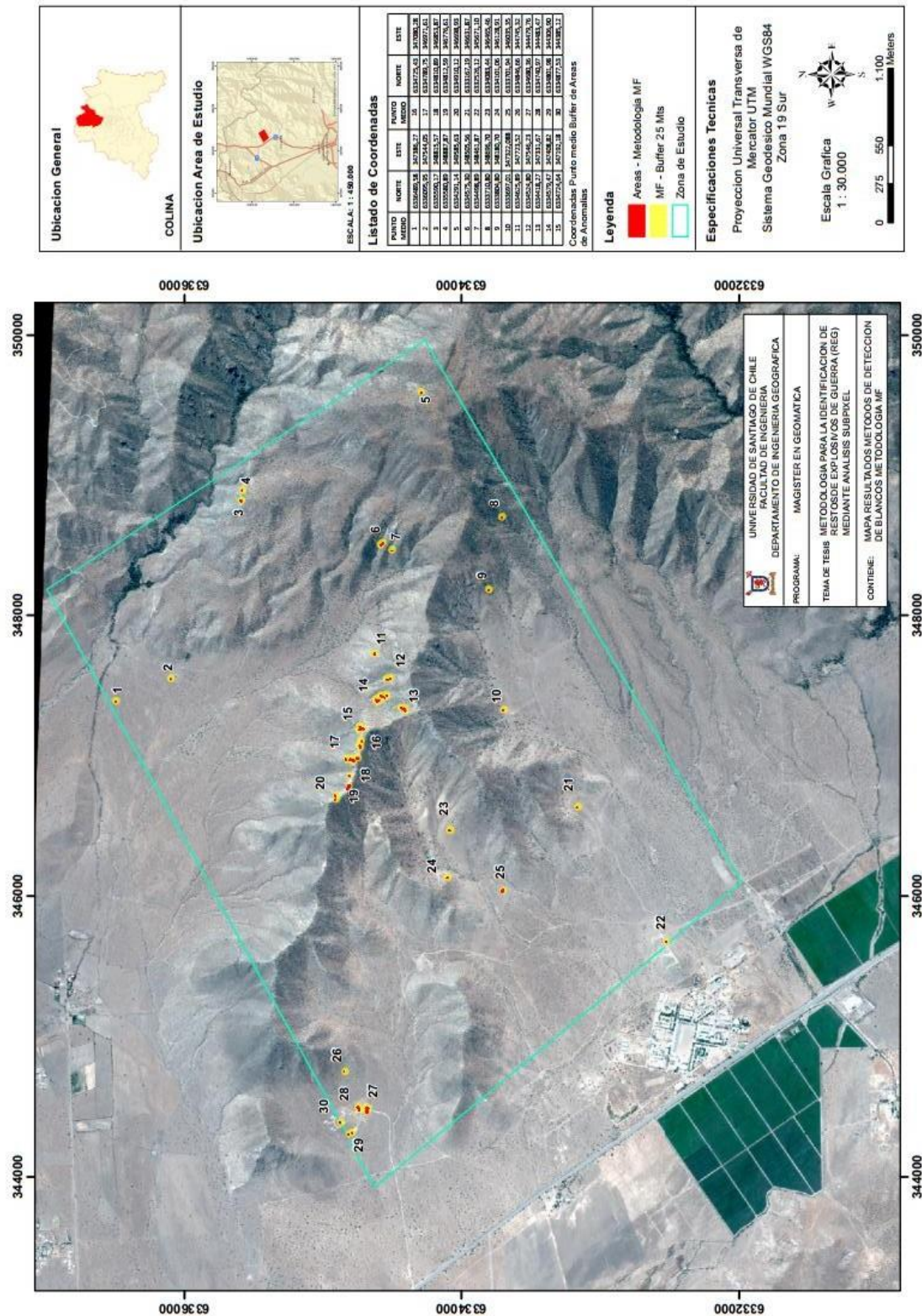


Ilustración 9.0.2. Métodos de Detección de Blancos - Mapa de Resultados: Método MF

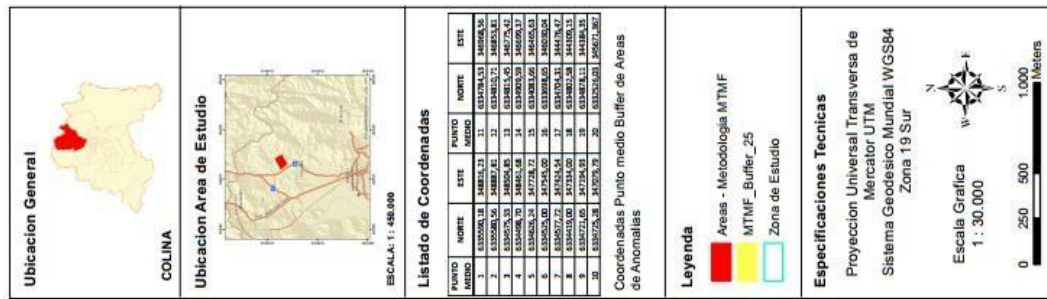
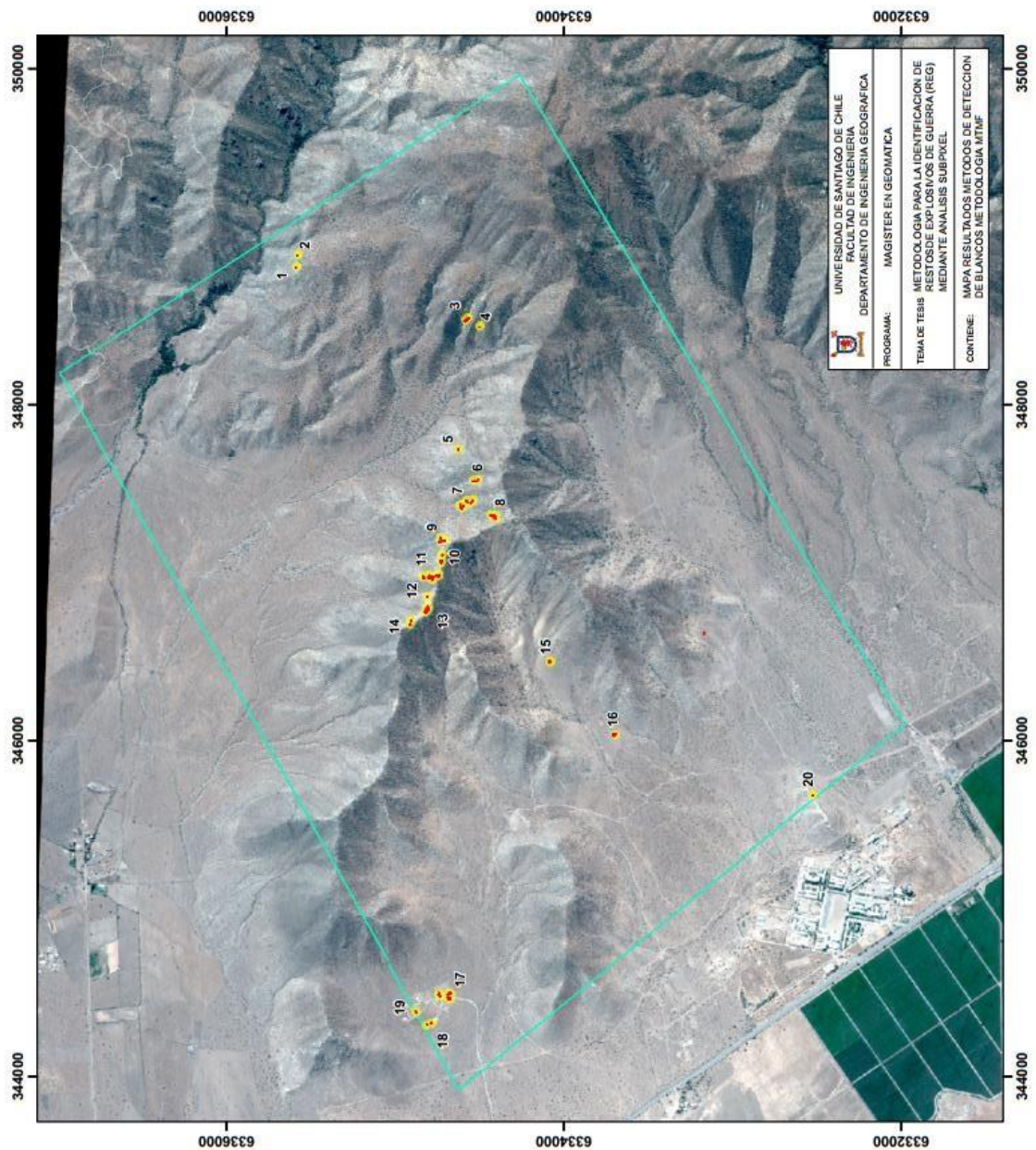


Ilustración 9.0.3. Métodos de Detección de Blancos - Mapa de Resultados: Método MTFM

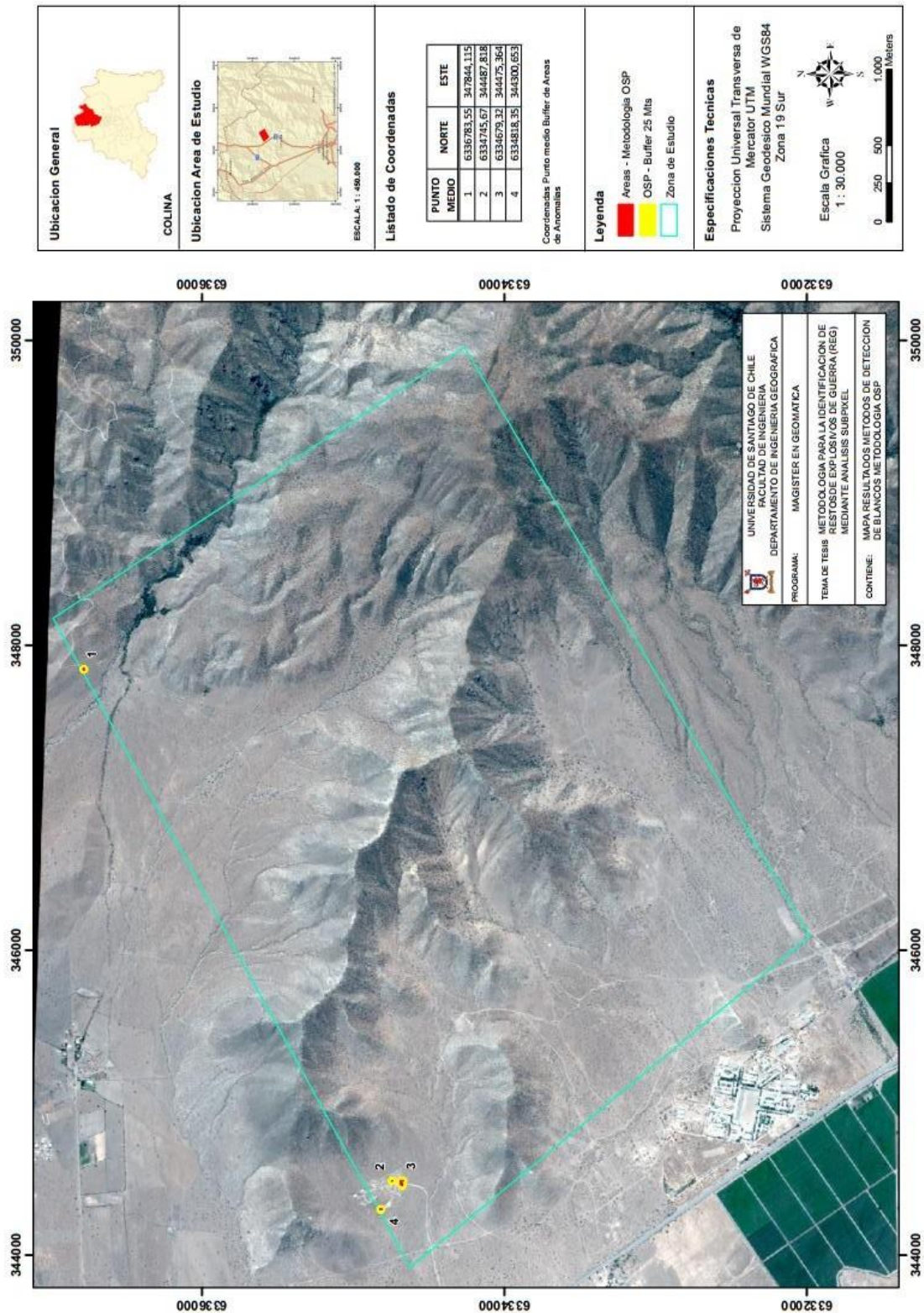


Ilustración 9.0.4. Métodos de Detección de Blancos - Mapa de Resultados: Método OSP

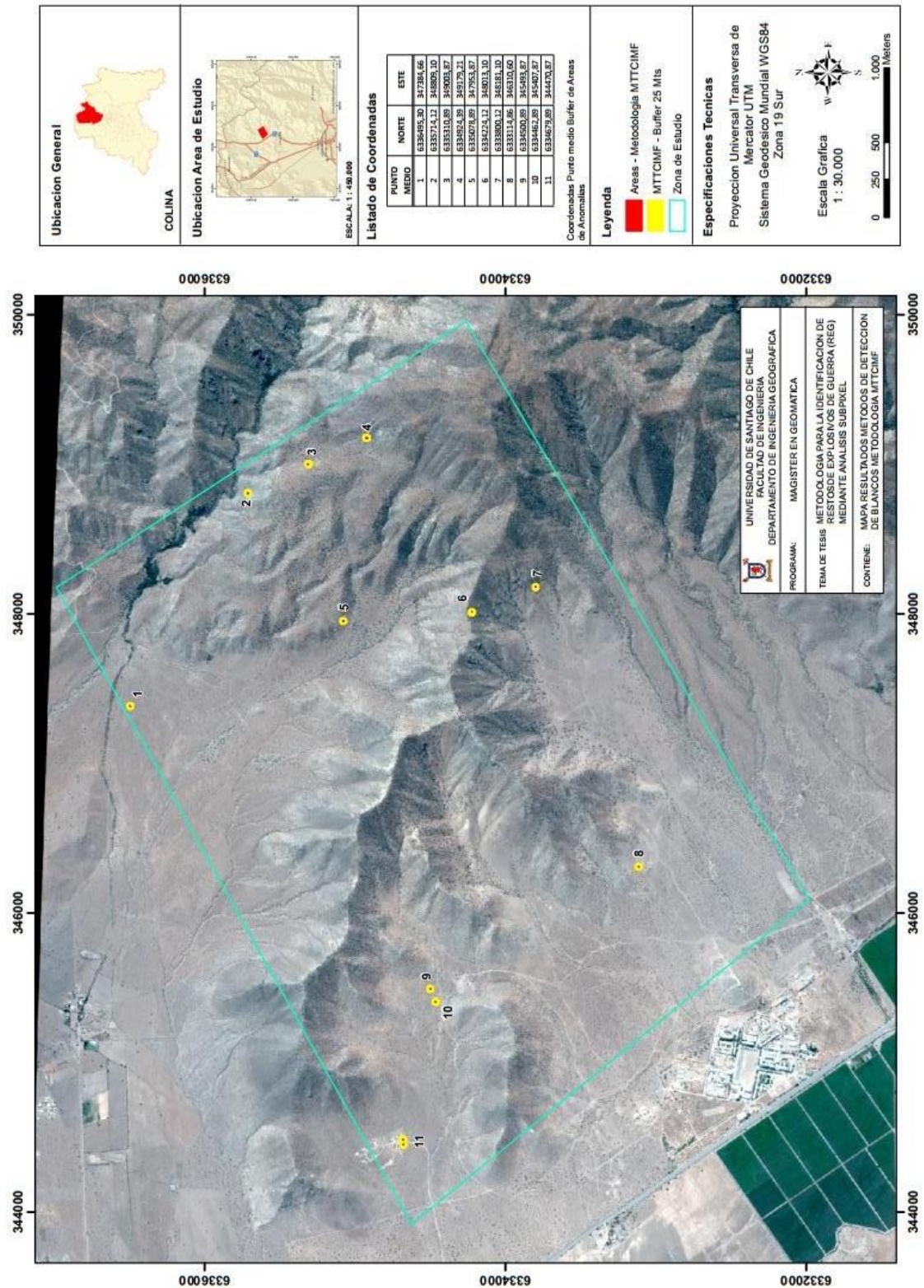


Ilustración 9.0.5. Métodos de Detección de Blancos - Mapa de Resultados: Método MTTCIMF