



ESPE
ESCUELA POLITECNICA DEL EJERCITO
CAMINO A LA EXCELENCIA

ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO

**CARRERA DE INGENIERÍA GEOGRÁFICA Y
DEL MEDIO AMBIENTE**

**PROYECTO DE GRADO PARA LA
OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERÍA**

**“EVALUACIÓN DE METODOLOGÍAS PARA
PROCESAMIENTO DE IMÁGENES SATELITALES
PARA IDENTIFICACIÓN DE CAMBIO DE USO DE
SUELO”**

**REALIZADO POR:
SANTIAGO RAFAEL ROJAS UNDA**

Sangolquí – Ecuador

Octubre – 2011

CERTIFICACIÓN

Certificamos que el presente proyecto de grado titulado **“EVALUACIÓN DE METODOLOGÍAS PARA PROCESAMIENTO DE IMÁGENES SATELITALES PARA IDENTIFICACIÓN DE CAMBIO DE USO DE SUELO”** fue realizado en su totalidad por el Sr. Santiago Rafael Rojas Unda, bajo nuestra dirección; como requerimiento parcial a la obtención del título de INGENIERO GEOGRAFO Y DEL MEDIO AMBIENTE.

Sangolquí, Octubre 2011

Ing. Francisco León
DIRECTOR

Ing. Marco Luna
COORDIRECTOR

CARRERA DE INGENIERÍA GEOGRÁFICA Y DEL MEDIO AMBIENTE

A U T O R I Z A C I Ó N

Yo, Santiago Rafael Rojas Unda

Autorizo a la Escuela Politécnica del Ejército la publicación, en la biblioteca virtual de la Institución del proyecto de grado titulado “EVALUACIÓN DE METODOLOGÍAS PARA PROCESAMIENTO DE IMÁGENES SATELITALES PARA IDENTIFICACIÓN DE CAMBIO DE USO DE SUELO” cuyo contenido, ideas y criterios son de mi exclusiva responsabilidad y autoría.

Sangolquí, 28 de Octubre de 2011

Santiago Rafael Rojas Unda

DEDICATORIA

A Dios por indicarme el camino correcto

Por su ayuda y protección.

A mis padres Rafael y Olga por su apoyo

Por enseñarme a no darme por vencido

Por darme la oportunidad de crecer, de aprender

Por su amor y paciencia.

A mis hermanos Paul y Ximena

Por su apoyo y cariño.

A mi tía Beatriz por su preocupación

Por su ayuda en momentos difíciles

Por ser una segunda madre y una maravillosa persona.

Andrea Oevallos por estar siempre a mi lado

Por no dejarme dar por vencido

Por creer en mí.

AGRADECIMIENTOS

"Su tiempo tiene límite, así que no lo pierdan viviendo la vida de otra persona. No se dejen atrapar por dogmas, es decir, vivir con los resultados del pensamiento de otras personas. No permitan que el ruido de las opiniones ajenas silencie su propia voz interior. Y más importante todavía, tengan el valor de seguir a su corazón."

Steve Jobs

- A la Escuela Politécnica del Ejército por la formación académica recibida.
- Al Ing. Francisco León, por su guía en la elaboración del proyecto de tesis
- Al Ing. Marco Luna, por su tan acertada guía durante la elaboración del proyecto de tesis.
- Al Ing. Oswaldo Padilla por sus consejos para el desarrollo y elaboración del proyecto de tesis.
- A mis primas Sandra, y María José, por su apoyo en los inicios del proyecto de tesis.
- A los compañeros del IGM que supieron apoyar y comprender en los días finales de la elaboración del proyecto de tesis.
- Al Ing. Lino Verduga, por su guía y consejos.
- Al Ing. Diego Guzmán que me enseñó a tomar riesgos y aprender que una respuesta tiene varias soluciones.
- Al Ing. Diego Villafuerte por su apoyo y amistad.
- A los compañeros de Agroprecisión Darío Boada y Santiago Shgirla por su colaboración y auspicio en la presente investigación.
- A todos los compañeros de la universidad a ese grupo genial de amigos que siempre han brindado su apoyo y consejos.
- A Ericka Cevallos y Nancy Miranda por sus palabras de apoyo y de ánimo en días de desasosiego.
- A mi Familia por su alegría e inspiración a siempre seguir adelante.
- A todos y cada uno de los profesores con los que tuve la oportunidad de compartir conocimientos.

RESUMEN

La demanda actual de proyectos para uso y cobertura de suelo con análisis multitemporales de diversas regiones de la República del Ecuador despertaron el interés para determinar métodos que contengan características especiales, de fácil uso y entendimiento, se han evaluado 6 metodologías como: Composiciones de color multitemporales, Diferencia entre imágenes, Cocientes multitemporales, Componentes principales, Análisis multitemporal de imágenes clasificadas y una propuesta desarrollada por el software ENVI en su módulo de Extracción de coberturas (Feature Extraction), aplicadas a imágenes del Sensor ASTER. Se ha utilizado herramientas de diversos paquetes informáticos interactuando con los resultados generados en cada uno de los programas, indicando que no es necesario conocer la totalidad un programa sino como se puede aprovechar las distintas herramientas y potencialidades para obtener los resultados deseados. Se ha logrado determinar que la selección de un método óptimo para identificación de cambio de uso de suelo mediante las metodologías estudiadas en la presente investigación estará sujeta al análisis mediante procesos estadísticos en el caso de ser posible, caso contrario mediante la interpretación de campo, sin embargo la experiencia del analista para identificar coberturas es predominante al momento de seleccionar una determinada metodología.

SUMMARY

The current demand for projects to use and land cover with multi-temporal analysis of various regions of the Republic of Ecuador sparked the interest to determine methods that contain special features, easy to use and understand, we evaluated 6 methodologies as multitemporal color compositions , Difference between images, multitemporal ratios, principal component analysis of multitemporal images classified and a proposal developed by ENVI software in its coverage Extraction module (Feature Extraction), applied to images of the ASTER sensor. It has been used several software packages tools interacting with the results generated in each of the programs, indicating that it is necessary to know the whole program but as you can take advantage of various tools and potential to achieve the desired results. It has been determined that the selection of an optimal method for identification of land use change using the methodologies studied in this investigation will be subject to analysis by the statistical process if possible, otherwise by interpreting field, without But the analyst's experience to identify coverage is predominant when choosing a particular methodology.

ÍNDICE

CAPÍTULO I	13
ASPECTOS GENERALES	13
1.1 INTRODUCCIÓN.-	13
1.2 ALCANCE.-	15
1.3 OBJETIVO GENERAL.-	15
1.4 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.-	16
1.5 PROBLEMAS DETECTADOS.-	16
1.6 METAS.-	16
1.7 DESCRIPCIÓN DE LA ZONA.-	17
1.7.1 ÁREA DE ESTUDIO.-	17
1.7.2 DESCRIPCIÓN DEL MEDIO FÍSICO.-	18
CAPITULO II	22
MARCO TEORICO	22
2.1 SISTEMAS DE REFERENCIA ESPACIAL.-	22
2.2 SISTEMA GEODESICO (WORLD GEODETIC SYSTEM – WGS84).-	23
2.3 SISTEMAS DE PROYECCIÓN.-	24
2.4 METODOLOGÍAS DESCRITAS POR AUTOR EMILIO CHUVIECO PARA IDENTIFICACIÓN DE CAMBIO DE USO DE SUELO, CONCEPTO Y ALCANCES.-	26
2.4.1 COMPOSICIÓN DE COLOR.-	27
2.4.2 DIFERENCIA DE IMÁGENES.-	29
2.4.3 COCIENTES MULTITEMPORALES.-	33
2.4.4 COMPONENTES PRINCIPALES.-	35
2.4.5 ANÁLISIS MULTITEMPORAL DE IMÁGENES CLASIFICADAS.-	42
2.5 CORRECCIÓN RADIOMÉTRICA.-	44
2.5.1 CORRECCIÓN ATMOSFÉRICA.-	45
2.5.1.1 TRANSFORMACIÓN TASSELED CAP (TTC)	45
2.5.2 CORRECCIÓN DE SOMBREADO TOPOGRÁFICO.-	48
2.6 METODOLOGÍA DESARROLLADA EN EL MÓDULO DE FEATURE EXTRACTION DEL SOFTWARE ENVI.-	49
CAPITULO III	51
METODOLOGIA	51
3.1 CORRECCIÓN GEOMÉTRICA.-	51
3.2 OBTENCIÓN DE IMÁGENES SATELITALES DEL SENSOR ASTER.-	52
3.3 PREPARACIÓN Y CORRECCIÓN DE IMÁGENES ASTER.-	54
3.3.1 HOMOGENIZACIÓN DE HISTOGRAMAS.-	58
3.4 CORRECCIÓN RADIOMÉTRICA.-	59
3.5 CORRECCIÓN DE SOMBREADO TOPOGRÁFICO.-	60

3.6	GENERACIÓN DE INFORMACIÓN PARA ANÁLISIS DE ACUERDO A METODOLOGÍAS PROPUESTAS.-	61
3.6.1	COMPOSICIÓN DE COLOR.-	61
3.6.2	DIFERENCIA DE IMÁGENES.-	65
3.6.3	COCIENTES MULTITEMPORALES.-	67
3.6.4	COMPONENTES PRINCIPALES.-	70
3.6.5	ANÁLISIS MULTITEMPORAL DE IMÁGENES CLASIFICADAS.-	77
3.6.6	METODOLOGÍA DESARROLLADA EN EL MÓDULO DE FEATURE EXTRACTION DEL SOFTWARE ENVI.-	84
CAPITULO IV		89
CONTROL DE CALIDAD Y LIMITACIONES DE TRABAJO.		89
4.1	CÁLCULO DEL TAMAÑO DE MUESTRA Y MÉTODO DE MUESTREO.-	89
4.2	EVALUACIÓN DE METODO ESTADÍSTICO DE MATRIZ DE CONFUSIÓN, Y TIPO DE MUESTREO ALEATORIO SIMPLE.-	92
4.2.1	MUESTREO ALEATORIO SIMPLE.-	93
4.2.2	MATRIZ DE CONFUSIÓN.-	95
4.3	VALIDACIÓN DE INFORMACIÓN GENERADA SEGÚN METODOLOGÍAS PROPUESTAS MEDIANTE SUPERVISIÓN DE CAMPO.-	97
4.4	LIMITACIONES DE LAS METODOLOGÍAS EN IDENTIFICACIÓN DE CAMBIO DE USO DE SUELO.-	99
CAPITULO V		100
EVALUACIÓN DE METODOLOGÍAS DE IDENTIFICACIÓN DE CAMBIO DE USO PARA IMÁGENES SATELITALES		100
5.1	REPORTE DE ESTADÍSTICO DE RESULTADOS DE ANÁLISIS DE METODOLOGÍAS.-	108
5.2	RESULTADO DE COMPARACIÓN DE METODOLOGÍAS.-	111
CAPITULO VI		113
PRODUCTOS		113
6.1	PRESENTACIÓN DE METODOLOGÍA, RESULTADOS Y VALIDACIÓN.-	113
6.2	MAPA TEMÁTICO DE CAMBIO DE USO DE SUELO ESCALA 1:50.000.-	114
CAPITULO VII		115
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES		115
7.1	CONCLUSIONES.-	115
7.2	RECOMENDACIONES.-	115
7.3	BIBLIOGRAFÍA.-	116
7.3.1	WEBGRAFÍA.-	119

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura No. 1 Tipos de sistemas de referencia	22
Figura No. 2 Sistema Cilíndrico Transverso	24
Figura No. 3 Deformación en longitud desde el meridiano tangencial	25
Figura No. 4 Ubicación de la Zona de proyección en el Ecuador	25
Figura No. 5 Vista de paralelos y meridianos de UTM	26
Figura No. 6 Esquema de una composición color multitemporal.....	27
Figura No. 7 Composiciones color multitemporales de paisajes bajo diferente utilización forestal	28
Figura No. 8 Patrones de degradación de la cobertura forestal detectadas a través de la composición multitemporal de imágenes	28
Figura No. 9 Ejemplo de diferencia de imágenes	31
Figura No. 10 Ejemplo de diferencia de imágenes	31
Figura No. 11 Ejemplo de diferencia de imágenes	32
Figura No. 12 Ejemplo de diferencia de imágenes	32
Figura No. 13 Ejemplo de Cocientes Multitemporales.....	34
Figura No. 14 Ejemplo de Cocientes Multitemporales.....	34
Figura No. 15 Dispersogramas típicos de bandas	36
Figura No. 16 Resultado de pixeles aplicando componentes principales.....	37
Figura No. 17 Imagen resultado con aplicación de componentes principales.....	41
Figura No. 18 Dispersogramas de bandas resultantes mediante componentes principales	42
Figura No. 19 Ejemplo de Análisis Multitemporal de Imágenes Clasificadas.....	43
Figura No. 20 Ejemplo de Análisis Multitemporal de Imágenes Clasificadas.....	44
Figura No. 21 Representación tri-dimensional de Brillo, Verdor y Humedad.....	47
Figura No. 22 Evolución de cultivo mediante método de Análisis multitemporal de imágenes clasificadas.....	47
Figura No. 23 Esquema de dispersograma de un cultivo en el plano de vegetación.....	48
Figura No. 24 Feature Extraction Workflow	49
Figura No. 25 Segmentación de objetos	50
Figura No. 26 Ejemplo de definición de segmentos	50
Figura No. 27 Longitud de Onda de una Imagen ASTER.....	53
Figura No. 28 Diferencia entre sensor ASTER y LANDSAT.....	54
Figura No. 29 Header File de Imagen ASTER 16934.....	55
Figura No. 30 Header File de Imagen ASTER 15816.....	55
Figura No. 31 Bandas disponibles de Imagen ASTER.....	56
Figura No. 32 Ventana de proceso de generación de NDVI en ArcGis 10	62
Figura No. 33 Resultado de realce radiométrico Imagen ASTER año 2004	63
Figura No. 34 Resultado de realce radiométrico Imagen ASTER año 2007	63
Figura No. 35 Propiedades de Composición de Colores	64
Figura No. 36 Ingreso de información para interfaz de Diferencia de Imágenes	65
Figura No. 37 Selección de bandas para Diferencia de Imágenes	66
Figura No. 38 Herramienta Band Math de Envi	68
Figura No. 39 Proceso Band Math para Cocientes Multitemporales	68
Figura No. 40 Combinación de Bandas de imágenes 16934 y 15816	71
Figura No. 41 Interfaz para Componentes Principales de ENVI.....	72
Figura No. 42 Primer componente principal	75
Figura No. 43 Segundo componente principal	76
Figura No. 44 Tercer componente principal.....	76

Figura No. 45 Interfaz de clasificación no supervisada.....	77
Figura No. 46 Interfaz de clasificación supervisada software ENVI	79
Figura No. 47 Ilustración de herramienta Majority Filter	81
Figura No. 48 Formato Shp de raster 15816.....	81
Figura No. 49 Formato Shp de raster 16934.....	82
Figura No. 50 Clasificación supervisada imagen 16934	82
Figura No. 51 Clasificación supervisada imagen 15816	83
Figura No. 52 Resultado de análisis multitemporal entre imágenes 16934 y 15816.....	83
Figura No. 53 WorkFlows del Toolbox de ENVI Zoom.....	84
Figura No. 54 Interfaz de Segmentation para módulo Feature Extraction de imagen 16934.....	84
Figura No. 55 Interfaz de Merge para módulo Feature Extraction de imagen 16934	85
Figura No. 56 Proceso de refinar por umbrales	85
Figura No. 57 Computo de atributos y clasificación de vectores	86
Figura No. 58 Interfaz de exportación de vectores de software ENVI Zoom	86
Figura No. 59 Vector resultado imagen 15816 de Feature Extraction	87
Figura No. 60 Vector resultado imagen 16934 de Feature Extraction	87
Figura No. 61 Resultado de proceso de Feature Extraction entre imágenes 15816 y 16934	88
Figura No. 62 Campana de Gauss	90
Figura No. 63 Generación de puntos aleatorios mediante software Hawth's Tools para ArcGis	93
Figura No. 64 Interfaz de generación de muestras aleatorias en archivo vector	94
Figura No. 65 Interfaz de generación de muestras aleatorias en archivo raster	94
Figura No. 66 Archivo de Salida de puntos de muestreo aleatorio	95
Figura No. 67 Interfaz para ejecución de matriz de confusión en software ENVI 47	96
Figura No. 68 Resultado método Análisis Multitemporal	106
Figura No. 69 Resultado método Feature Extraction.....	107

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla No. 1 Bandas espectrales ASTER	15
Tabla No. 2 Coordenadas límite área estudio	18
Tabla No. 3 División Administrativa.....	20
Tabla No. 4 Orografía de la Provincia del Carchi	20
Tabla No. 5 Parámetros WGS84.....	23
Tabla No. 6 Características sensor ASTER	53
Tabla No. 7 Imagen 2007 ppsterior Histogram Match	58
Tabla No. 8 Imagen 2007 previo Histogram Match	58
Tabla No. 9 Niveles digitales de Imagen 2004	59
Tabla No. 10 Niveles digitales de Imagen resultado de proceso de Diferencia de Imágenes	67
Tabla No. 11 Resultado de ND de raster resultado de cocientes multitemporales	69
Tabla No. 12 Matriz de autovalores de los componentes principales de imagen multitemporal 16934_15816	73
Tabla No. 13 Matriz de varianza - covarianza de los componentes principales de imagen multitemporal 16934_15816.....	73
Tabla No. 14 Matriz de correlación de los componentes principales de imagen multitemporal 16934_15816	74
Tabla No. 15 Matriz de autovectores de los componentes principales de imagen multitemporal 16934_15816	74
Tabla No. 16 Autovectores de los componentes principales para las imágenes 16934 (año 2004) y 15816 (año 2007)	75

Tabla No. 17 Regiones de interés determinadas para clasificación supervisada.....	79
Tabla No. 18 Cálculo de la abscisa de la curva normal para un valor determinado valor (Z)....	90
Tabla No. 19 Cálculo del intervalo de error tolerable (L)	91
Tabla No. 20 Muestras de categorías levantadas en campo mediante GPS	92
Tabla No. 21 Características de resolución y longitud de onda de imagen ASTER	104
Tabla No. 22 Resumen de Autovectores correspondientes a los tres componentes principales	105
Tabla No. 23 Matriz de Confusión clasificación imagen 15816	109
Tabla No. 24 Matriz de Confusión clasificación imagen 16934	110
Tabla No. 25 Resumen resultado de matriz de confusión a imágenes clasificadas 15816 y 16934	111

ÍNDICE DE MAPAS

Mapa No. 1 Área de Estudio.....	17
Mapa No. 2 Área de Estudio a nivel cantonal	18
Mapa No. 4 Metodología de Análisis Multitemporal	114

ÍNDICE DE IMAGENES

Imagen No. 1 Banda 1 Imagen ASTER	Imagen No. 2 Banda 2 Imagen ASTER.....	39
Imagen No. 3 Banda 3 Imagen ASTER	Imagen No. 4 Banda 4 Imagen ASTER.....	39
Imagen No. 5 Banda 5 Imagen ASTER	Imagen No. 6 Banda 6 Imagen ASTER.....	40
Imagen No. 7 Banda 7 Imagen ASTER	Imagen No. 8 Banda 8 Imagen ASTER.....	40
Imagen No. 9 Banda 9 Imagen ASTER	Imagen No. 10 Banda 10 Imagen ASTER.....	40
Imagen No. 11 Banda 11 Imagen ASTER	Imagen No. 12 Banda 12 Imagen ASTER.....	41
Imagen No. 13 Banda 13 Imagen ASTER	Imagen No. 14 Banda 14 Imagen ASTER.....	41
Imagen No. 15 Distribución de puntos para ajuste geométrico		52
Imagen No. 16 Multiespectral ASTER bandas (3,2,1)		57
Imagen No. 17 Raster 2004 sin corrección radiométrica.....		60
Imagen No. 18 Raster 2004 con corrección radiométrica		60
Imagen No. 19 Raster 2007 sin corrección radiométrica.....		60
Imagen No. 20 Raster 2007 con corrección radiométrica		60
Imagen No. 21 Raster 2004 sin sombreado topográfico.....		61
Imagen No. 22 Raster 2004 con sombreado topográfico.....		61
Imagen No. 23 Raster 2007 sin sombreado topográfico.....		61
Imagen No. 24 Rster 2007 con sombreado topográfico		61
Imagen No. 25 Resultado de aplicar método de Composición de Colores.....		64
Imagen No. 26 Resultado de Proceso de Diferencia de Imágenes		66
Imagen No. 27 Resultado de proceso Cocientes Multitemporales		69
Imagen No. 28 Clasificación no supervisada 15816.....		78
Imagen No. 29 Clasificación no supervisada 16934.....		78
Imagen No. 30 Clasificación supervisada 16934.....		80
Imagen No. 31 Clasificación supervisada 15816.....		80
Imagen No. 32 Resultado método composición de color		100
Imagen No. 33 Resultado método Diferencia de imágenes		101

Imagen No. 34 Resultado método Cocientes multitemporales	102
Imagen No. 35 Primer componente principal resultado	103
Imagen No. 36 Segundo componente principal resultado	103
Imagen No. 37 Tercer componente principal resultado.....	104

ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS

Fotografía No. 1 Pasto Cultivado (2520- 3860 msnm).....	97
Fotografía No. 2 Cultivos de papa	97
Fotografía No. 3 Arbustos	98
Fotografía No. 4 Bosques	98
Fotografía No. 5 Pasto Cultivado	98
Fotografía No. 6 Área Intervenida Ciudad El Ángel	99

CAPÍTULO I

ASPECTOS GENERALES

1.1 INTRODUCCIÓN.-

Los estudios sobre el cambio en la cobertura y uso de suelo proporcionan la base para conocer las tendencias de los procesos de deforestación, degradación, desertificación, crecimiento urbano y pérdida de la biodiversidad de una región determinada (Lambin *et al.* 2001).

Durante las últimas décadas el ser humano y sus actividades se han convertido en el principal desencadenante de la transformación de los ecosistemas (Vitousek *et al.* 1997).

La pérdida de cobertura y cambio de uso en bosques se estima desde el inicio de la humanidad al presente va de un tercio (Noble y Dirzo 1997) a casi la mitad (Cincotta *et al.* 2000) de la superficie total original, agudizando este proceso durante los últimos dos siglos en los cuales la densidad de la población se ha cuadruplicado, provocando la desaparición acelerada de la cobertura forestal llevando consigo al exterminio de ecosistemas nativos.

En Latinoamérica, la Organización para la Agricultura y Alimentación por sus siglas en inglés (FAO) (1995) estimó que para finales del siglo XX los bosques y selvas se reducirían al 53%, considerando ésta la mayor transformación que ha ocurrido en Centro y Sudamérica. La tasa de deforestación registrada y en comparación con los países de Sudamérica, oscila entre 0,1% y 0,8% anual. Según la más reciente estimación de la FAO (2003), la pérdida de cobertura forestal del país entre 1990 y el 2000 es de 1,2%. En la mayoría de países en desarrollo no existe un monitoreo uniforme y regular, que permita conocer las tendencias de deforestación de los stocks durante las últimas décadas, sin embargo según Revelo y Palacios (2005)¹ manifiestan que en Ecuador la deforestación está entre las 140 a 150 mil hectáreas por año.

¹ Diagnóstico Situacional de la Cobertura vegetal En las zonas de Trabajo del Proyecto costas y Bosques

El procedimiento más confiable para medir el cambio ambiental antropogénico es el estudio de la dinámica espacio temporal de la cobertura vegetal (Berry *et al.* 1996) o el análisis de cobertura vegetal y uso de suelo (Turner y Meyer 1994; Lambin *et al.* 2001).

Un desarrollo para identificación de cambio de uso de suelo y análisis de cobertura vegetal es el procesamiento y manejo de imágenes satelitales multiespectrales como las proporcionadas por el sensor ASTER por sus siglas en inglés Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer.

Sin embargo los enfoques utilizados para análisis de cambio de cobertura y uso de suelo incluyendo el forestal, no son homogéneos, y por lo tanto los resultados en muchas ocasiones son incompatibles en términos de las diversas categorías de mapeo que se utilizan, así como las escalas de trabajo.

Ante esta situación es primordial mejorar los mecanismos de análisis, evaluación y seguimiento para que sean más confiables y describan la dinámica de cobertura y uso de suelo a fin de determinar el método que contenga las mejores características espaciales, y un amigable análisis multitemporal, en búsqueda de disminuir tiempo, personal y recursos para la zona de estudio.

Se definieron 6 metodologías utilizadas en la interpretación de cambio de uso de suelo mediante imágenes satelitales o sensores remotos desarrolladas por distintos autores y descritas en mayoría en el libro Teledetección ambiental del doctor Emilio Chuvieco.

Las metodologías analizadas en el presente proyecto son: Composiciones de color multitemporales, Diferencia entre imágenes, Cocientes multitemporales, Componentes principales, Análisis multitemporal de imágenes clasificadas detalladas en el libro teledetección ambiental tercera edición y una propuesta desarrollada por el software ENVI en su módulo de Extracción de coberturas (Feature Extraction), el mismo que extrae información de imágenes de alta resolución, pancromáticas o multiespectrales basados en características espaciales, espectrales y de textura.

Para el presente proyecto se ha trabajado con dos imágenes satelitales del sensor Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer (ASTER),

correspondientes al 5 de febrero de 2007 y 28 enero de 2004, con una cobertura de 60 x 60 km, con las siguientes bandas espectrales en (VNIR, SWIR,TIR) presentes en la Tabla No.1.

Tabla No. 1 Bandas espectrales ASTER

ASTER = Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer				
Banda	Rango (μm)	Centro	Zona	Resolucion (m)
1 (Nadir looking)	{0,52 - 0,60}	0.56	VNIR	15
2 (Nadir looking)	{0,63 - 0,69}	0.66	VNIR	15
3 (Nadir looking)	{0,76 - 0,86}	0.81	VNIR	15
3 (Backward looking)	{0,76 - 0,86}	0.81	VNIR	15
4	{1,6 - 1,7}	1.65	SWIR	30
5	{2,145 - 2,185}	2.17	SWIR	30
6	{2,185 - 2,225}	2.21	SWIR	30
7	{2,235 - 2,285}	2.26	SWIR	30
8	{2,295 - 2,365}	2.33	SWIR	30
9	{2,360 - 2,430}	2.40	SWIR	30
10	{8,125 - 8,475}	8.30	TIR	90
11	{8,475 - 8,825}	8.65	TIR	90
12	{8,925 - 9,275}	9.10	TIR	90
13	{10,25 - 10,95}	10.60	TIR	90
14	{10,95 - 11,65}	11.30	TIR	90

1.2 ALCANCE.-

El estudio abarca 6 metodologías a analizar mediante la utilización de dos imágenes satelitales de los años 2004 y 2007:

- Composición de color.
- Diferencia de imágenes.
- Cocientes multitemporales.
- Componentes principales.
- Análisis multitemporal de imágenes clasificadas.
- Extracción de coberturas (Feature Extraction).

1.3 OBJETIVO GENERAL.-

Evaluar estadísticamente las 6 metodologías para detección de cambios descritas por el autor Emilio Chuvieco Salinero y desarrolladas en el módulo de Feature Extraction del software ENVI, a fin de determinar el método que cumpla con los requisitos de precisión espacial y manejo amigable de análisis multitemporales para determinar cambio de uso de suelo.

1.4 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.-

Los Objetivos Específicos del proyecto son los siguientes:

- Evaluar 5 metodologías descritas en el Libro Teledetección Ambiental del Dr. Emilio Chuvieco Salinero: Composiciones de color multitemporales, Diferencia entre imágenes, Cocientes multitemporales, Componentes principales, Análisis multitemporal de imágenes clasificadas;
- Evaluar la metodología desarrollada en el módulo de Feature Extraction del software ENVI;
- Comparar resultados de análisis de metodologías evaluadas;
- Verificar metodologías mediante trabajos de campo;
- Evaluar resultados mediante 2 metodologías de análisis estadístico como son: Matriz de confusión, Muestreo Aleatorio simple.

1.5 PROBLEMAS DETECTADOS.-

Se han generado diversos proyecto de cobertura y uso de suelo con sus respectivos estudios multitemporales a fin de generar toda la información necesaria para realizar análisis de cambios de uso de suelo en determinadas áreas, sin embargo las metodologías aplicadas conllevan una cantidad de tiempo en análisis de gabinete que podría ser reducido si se lograra automatizar los procesos. La automatización de los procesos no evitaría la edición y revisión por parte del operador, por lo que en el presente proyecto se busca encontrar una metodología apropiada que reduzca los procesos de edición al generar resultados próximos a un producto final.

1.6 METAS.-

- Generación de 6 mapas a escala 1: 50.000 en formato digital utilizando las metodologías a analizar respectivamente como son: Composición de color, diferencia de imágenes, cocientes multitemporales, componentes principales, análisis multitemporal de imágenes clasificadas, metodología del módulo de Feature Extraction de ENVI;
- Presentación de 2 resultados de las evaluaciones estadísticas de las metodologías evaluadas mediante Matriz de confusión y Muestreo Aleatorio Simple;
- Impresión de mapas temáticos con metodologías seleccionadas.

1.7 DESCRIPCIÓN DE LA ZONA.-

1.7.1 ÁREA DE ESTUDIO.-

El área de estudio para el desarrollo del presente tema de tesis se definió en la zona de traslape de las imágenes satelitales a utilizar, dentro de la provincia del Carchi, así mismo se consideró que ésta zona delimitada se halle dentro de áreas con vías de acceso a fin de facilitar los trabajos de campo, la extensión del área de estudio es de 24000 hectáreas.



Mapa No. 1 Área de Estudio

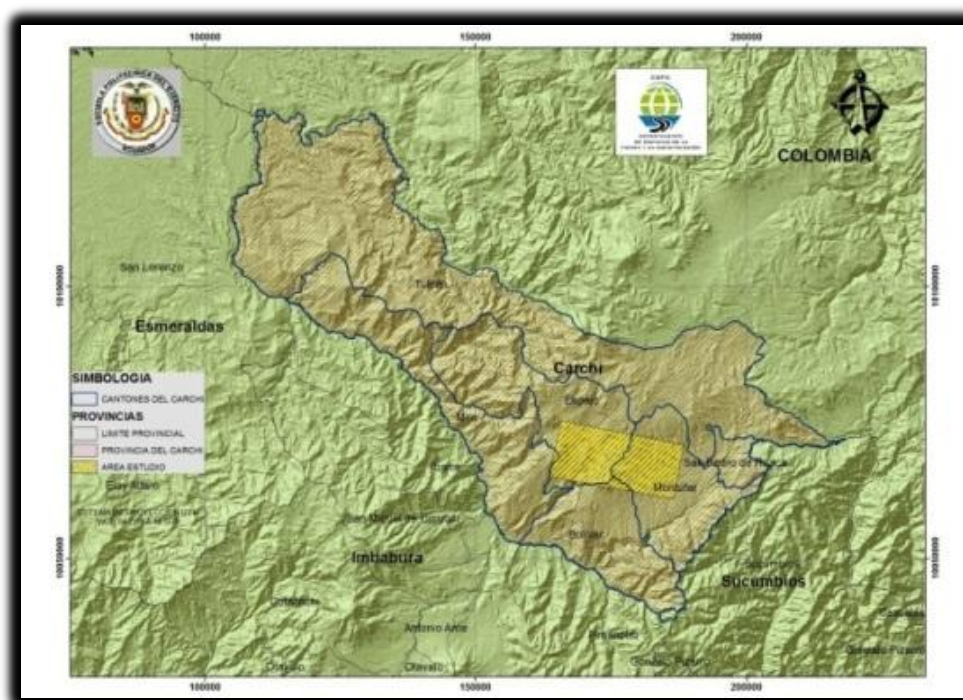
El límite del área de estudio se halla ubicado entre los cantones.

- BOLIVAR
- ESPEJO
- MONTUFAR
- MIRA

La intersección de las imágenes ASTER que definen el área de estudio está compuesta por las coordenadas en proyección UTM con Datum WGS84 18 sur de la Tabla No.2.

Tabla No. 2 Coordenadas límite área estudio

ESTE	NORTE
165779	10075322
163501	10064927
188391	10070799
186467	10060891



Mapa No. 2 Área de Estudio a nivel cantonal

1.7.2 DESCRIPCIÓN DEL MEDIO FÍSICO.-

La Provincia del Carchi está ubicada en el extremo norte del callejón interandino; entre los paralelos $1^{\circ} 12' 43''$ y $0^{\circ} 21' 50''$ de Latitud Norte y entre los meridianos $77^{\circ} 31' 36''$ y $78^{\circ} 33' 12''$ de Longitud Occidental. El relieve del terreno es bastante irregular y montañoso; la

Provincia se extiende entre los nudos de Pasto hacia el norte, de Boliche, hacia el sur y en parte del valle del Chota.

Límites.

Limita al norte con la República de Colombia; al Sur y Oeste con la Provincia de Imbabura; al Este con la Provincia de Sucumbíos y al Oeste con la Provincia de Esmeraldas.

Extensión.

La Provincia del Carchi tiene una extensión de 3.604,33 Km².

Población.

Su población alcanza un total de 156.747 habitantes que representan aproximadamente el 1.3 % de la población total del Ecuador.

Altitud Media.

Desde el norte en el callejón interandino presenta niveles altitudinales desde los 1.200 m.s.n.m. en la zona del Valle, hasta los 4.768 m.s.n.m. en la cima del volcán Chiles.

División Político-Administrativo.

Políticamente la Provincia del Carchi se halla dividida en seis cantones: 9 parroquias urbanas y 26 parroquias rurales; la capital de la provincia es Tulcán con una altitud de 2.957m en la siguiente Tabla No.3 se detalla por Cantón la información de sus habitantes.

Tabla No. 3 División Administrativa

	NUMERO DE HABITANTES	PORCENTAJE
TULCAN	79096	51%
BOLIVAR	14244	9%
ESPEJO	13852	9%
MIRA	13240	8%
MONTUFAR	29288	19%
SAN PEDRO DE HUACA	7027	4%
TOTAL PROVINCIA	156747	100%

Aspectos Biofísicos.

Orografía.

El relieve de la Provincia del Carchi es en general quebrado y se estima como zona plana solamente el 8% de la superficie. Las principales elevaciones, son las siguientes presentadas en la Tabla No.4.

Tabla No. 4 Orografía de la Provincia del Carchi

ELEVACIONES	ALTURA
CHILES	4.768 mts.
PELADO	4.149 mts.
CHILTAZON	3.967 mts.
MIRADOR	3.831 mts.
IGUAN	3.830 mts.
SAN FRANCISCO	3.685 mts.
CERRO NEGRO	3.674 mts.
GOLONDRINAS	3.078 mts.

Clima.

La Provincia que es la primera desde el norte en el callejón interandino presenta niveles altitudinales desde los 1.200 metros en la zona del valle, hasta los 3600 metros sobre el nivel del mar en la zona del Páramo del El Ángel, lo cual determina la diversidad de la vegetación y del apareamiento de una escala de zonas de producción agrícola. La temperatura promedio oscila entre 4° C en los páramos y los 22,9° C en el sector de los bajos de Mira.

Hidrografía.

La Provincia se encuentra rodeada por ríos que nacen o se juntan por su punto limítrofe. Los ríos más importantes son: Carchi, San Juan, Chota. Este último que posteriormente se denomina Mira, corre por el norte con el río Mayasquer que en sus orígenes toma los nombres de río San Juan y Canaicán y su nacimiento está en el volcán Chiles. Aquí nace también el río Játiva que se une al río Carchi que confluye en el Pun que se prolonga por la Cordillera Oriental de los Andes hasta el nacimiento en la quebrada Espejo, en el Sur, donde se forma el río Chota.

Recursos Forestales.

La zona nor-occidental de la provincia es especialmente rica en bosques, sobre todo cedro, eucalipto y pino. Existen aserraderos para la explotación maderera, pero la provincia sufre el mismo mal que otras regiones del Ecuador que consiste en una explotación irracional de los bosques.

CAPITULO II

MARCO TEORICO

2.1 SISTEMAS DE REFERENCIA ESPACIAL.-

Para definir la posición de un punto sobre la superficie de la tierra se ha tratado de dar una representación a la misma por medio de la generación de modelos matemáticos. Los modelos matemáticos, han tomado formas esféricas y elipsoidales a través de la historia, y han sido desarrollados tomando como referencia parámetros físicos de la superficie terrestre, en la Figura No.1 se muestran los tipos de Sistemas de Referencia.

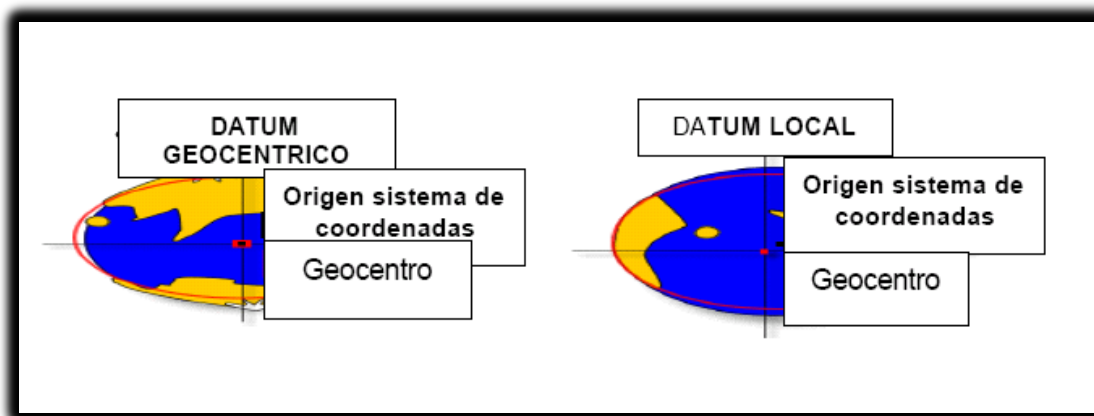


Figura No. 1 Tipos de sistemas de referencia

Existen principalmente dos tipos de sistemas de referencia:

Sistemas Locales: Son sistemas en los cuales el centro del sistema de coordenadas (Datum) se encuentra sobre la superficie terrestre. Son modelos que se ajustan más a la forma del geoide en ciertas regiones de la tierra.

Sistemas Globales: Son sistemas de referencia que definen su origen de coordenadas en el centro de masas de la tierra. El Dátum se llama también geocentro. La forma del elipsoide en este caso se ajusta al geoide de una manera global.

2.2 SISTEMA GEODESICO (WORLD GEODETIC SYSTEM – WGS84).-

Es un sistema de referencia global que incluye un modelo de elipsoide y otro de geoide, los parámetros matemáticos se muestran en la Tabla No.5.

Tabla No. 5 Parámetros WGS84

DESCRIPCIÓN	VALOR
Semieje mayor del elipsoide	6.378.137.00m.
Achatamiento del elipsoide	1/298,257223563
Semieje menor del elipsoide	6 356 752.314m
Coefficiente zonal de segundo grado	$1.082630 * 10^{-9}$
Constante gravitacional geocéntrica	$3.986,005 * 10^8 \text{ m}^3/\text{s}^2$
Velocidad angular terrestre	$7.292,115 * 10^{-11} \text{ rad/s}$
Diferencia entre radio polar y ecuatorial	21384.6858m
Área de superficie	510065621.724 km^2
Volumen	1083207319801 km^3
Circunferencia en el Ecuador	40075.017km
Circunferencia en los polos	40007.863km

La precisión (σ) de las coordenadas WGS84 son directamente determinadas por puntos posicionados por satélites (GPS). Las respectivas efemérides y trayectorias de los satélites adquiridas en un modo estático, en términos de latitud geodésica ϕ , longitud geodésica λ , y altura geodésica h son:

- Horizontal $\sigma\phi = \sigma\lambda = \pm 1\text{m} (1\sigma)$
- Vertical $\sigma h = \pm 1 \dots 2\text{m} (1\sigma)$

La importancia del Sistema WGS84 se resume en los siguientes puntos:

- Permite unificar los distintos sistemas cartográficos.
- Facilita la navegación aérea.
- Permite la referencia de puntos con mayor precisión de cualquier parte del mundo.

- Es el sistema geocéntrico utilizado por los receptores GPS.
- Define la posición de los satélites.
- Para todos los aeropuertos se tiene como sistema de referencia el WGS -84.²

2.3 SISTEMAS DE PROYECCIÓN.-

Proyección universal transversal de Mercator (UTM)

La construcción de las cartas topográficas a mediana y gran escala utiliza, casi exclusivamente, proyecciones conformes. Las proyecciones conformes son aquellas que conservan los ángulos y varían su longitud a medida que se alejan de la línea ecuador.

La proyección UTM, es una proyección conforme y es la adoptada por la mayoría de los países del mundo.

La Proyección UTM, es un sistema cilíndrico transverso conforme, tangente al globo terráqueo a lo largo de un meridiano, que se elige como meridiano de origen (ver Figura No. 2).

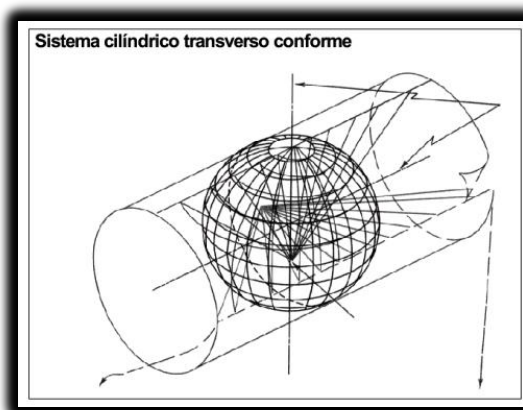


Figura No. 2 Sistema Cilíndrico Transverso

Ahora bien, este sistema, aplicado a grandes extensiones de longitud, hace que nos vayamos alejando del meridiano de tangencia, lo cual causa deformaciones considerables, esto se lo puede apreciar en la Figura No.3

² <http://www.henuxsystem.net/descarga/wireless-henux-gpsWGS84.pdf>

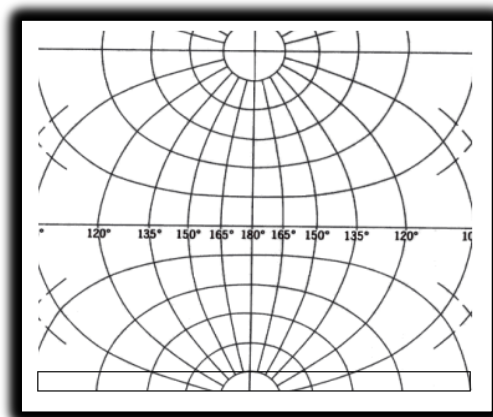


Figura No. 3 Deformación en longitud desde el meridiano tangencial

Por ello, se recurre al artificio de subdividir la superficie terrestre en 60 husos o zonas iguales de 6 grados de longitud (ver Figura No. 4), con la cual resultan 60 proyecciones iguales, pero cada una con su respectivo meridiano central. Para el caso del Ecuador corresponde a la zona 17, sin embargo para el proyecto se ha utilizado la zona 18 sur debido a intereses del auspiciante del Proyecto la Consultora Agroprecisión

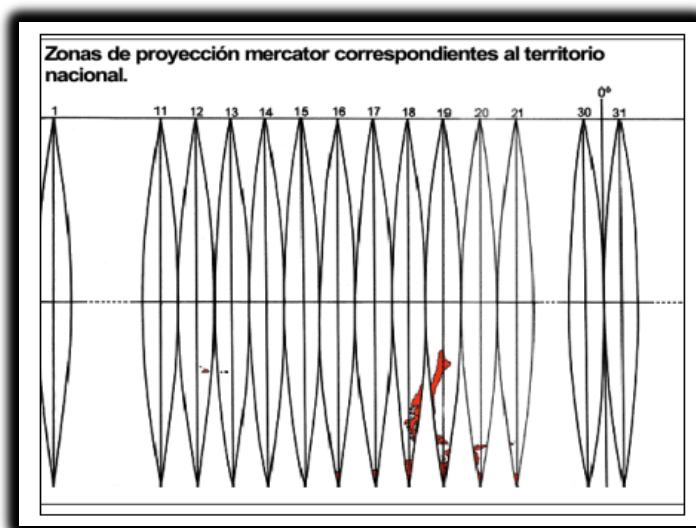


Figura No. 4 Ubicación de la Zona de proyección en el Ecuador

En la proyección UTM tanto los paralelos como los meridianos son líneas curvas (ver Figura No.5).

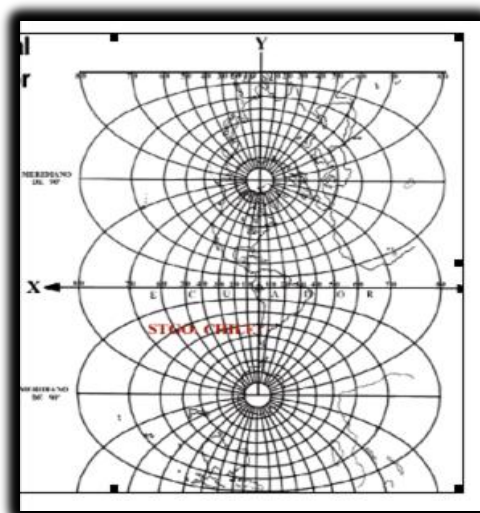


Figura No. 5 Vista de paralelos y meridianos de UTM

Se puede evidenciar, si proyectamos el total del mundo en un plano, que la distancia entre los paralelos aumenta a medida que se alejan de la línea del Ecuador hacia los polos, debido a ello la representación cartográfica presenta cerca de los polos una distorsión excesiva, razón por la cual recientemente la UGGI (Unión Geodésica y Geofísica Internacional), dispuso que cada una de las 60 zonas debían acotar su latitud a 84 grados de latitud norte (latitud 84° N) y 80 grados de latitud sur (latitud 80°S).

Para eliminar al máximo la distorsión, cada zona sólo tiene 6° de longitud, luego el meridiano central de la zona está 3°. A ambos lados de este meridiano central la distorsión es mínima. Cada país tiene uno o más de estas zonas que cubren su territorio. Sin embargo, las áreas encerradas por los meridianos y paralelos, que son líneas curvas, dan origen a trapecios curvilíneos de diferentes tamaños y formas.

2.4 METODOLOGÍAS DESCRITAS POR AUTOR EMILIO CHUVIECO PARA IDENTIFICACIÓN DE CAMBIO DE USO DE SUELO, CONCEPTO Y ALCANCES.-

2.4.1 COMPOSICIÓN DE COLOR.-

La técnica de detección se basa en la comparación visual de los tonos o colores que ofrecen dos o más imágenes de distintas fechas. Habitualmente, se aplica previamente alguna técnica de realce del color o transformaciones, como índices de vegetación o componentes principales. Posteriormente, se realizan composiciones multitemporales en color con esas bandas. Una muy común es aplicar el cañón rojo a la primera fecha y el verde a la segunda, dejando el azul vacío. En tonos amarillos aparecerán las áreas estables, en rojo las zonas que hayan reducido su nivel digital (ND) entre fechas y en verde las que lo hayan ganado. Este método es muy ventajoso en categorías urbanas.

El análisis consiste en generar archivos de imágenes constituidas por bandas espectrales de diferentes períodos (Figura. 6). Por ejemplo:

$$\text{CCMT} = \text{B3t2 (R)}, \text{B3t1 (G)}, \text{B2t2 (B)}$$

Dónde:

- *CCMT= composición multitemporal.*
- *B3t2= banda 3 del tiempo 2.*
- *B3t1= banda 3 del tiempo 1.*
- *B2t2= banda 2 del tiempo 2.*

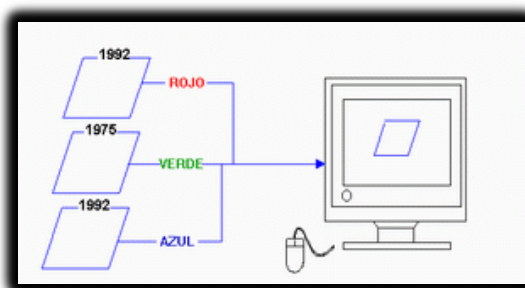


Figura No. 6 Esquema de una composición color multitemporal

Este tipo de composiciones es una de las formas más rápidas para detectar cambios ocurridos entre las fechas de estudio.

Generalmente pueden detectarse grandes tipos de cambios, del tipo bosque a arbustales abiertos bosques a pastizal y viceversa.

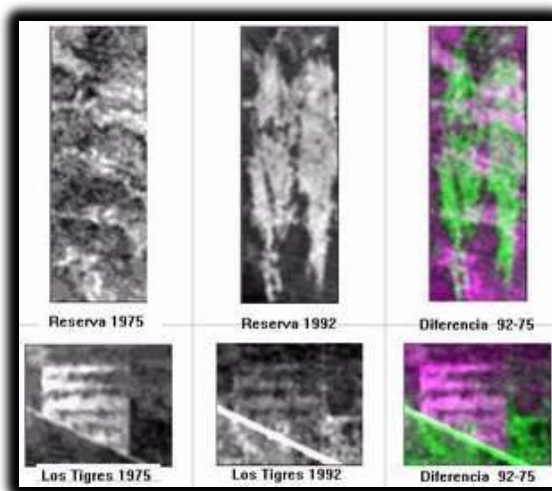


Figura No. 7 Composiciones color multitemporales de paisajes bajo diferente utilización forestal

En el ejemplo se observan típicas formas producidas por incendios, con sabanas pirógenas orientadas en dirección norte a sur, los colores verdes indican la disminución de biomasa por efecto del cambio de bosque a sabana. En el ejemplo se muestra un caso típico de explotación irracional del bosque, con rebrote de vegetación en color magenta, bosque residual en rojos muy oscuros, aquí también los colores verdes remarcan situaciones donde hubo disminución de biomasa.

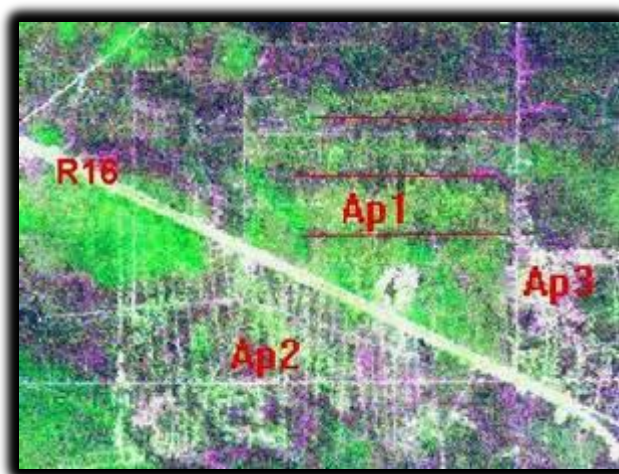


Figura No. 8 Patrones de degradación de la cobertura forestal detectadas a través de la composición multitemporal de imágenes

Ap1: Aprovechamiento iniciada en los años 70's, las líneas en rojo muestran franjas residuales del bosque original, más alejadas de las vías de aprovechamiento, con gran rebrote de la vegetación arbustiva en verde luminoso.

Ap2: Aprovechamiento de los años 80's y 90's, actualmente se continúa con la extracción de los últimos "postes" de maderas duras de menores dimensiones, que componen la regeneración y los árboles menores residuales de los primeros aprovechamientos.

Ap3: Sector de bosque hasta los años 70's, actualmente totalmente arrasado, sector muy próximo a la localidad de Los Tigres.

R16: Traza de Ruta. “Permite obtener mezclas en color de tres bandas de una Imagen, aplicando a cada una de ellas uno de los cañones de color disponibles, si la imagen resultante aparece en tonos de color es debido a que las tres bandas que se combinan presentan comportamientos espectrales diferentes. Dicho de otra manera si vemos un píxel en color es porque cuenta con un nivel digital (ND) distinto en las tres bandas que estamos utilizando (o al menos en dos de ellas), ya que de otra manera se vería en tonos grises.

Si en lugar de combinar tres bandas distintas del espectro, mezclamos tres fechas de la misma banda, estaríamos viendo en tonos de color aquellos píxeles que tuvieran distintos ND en alguna de ellas, mientras aparecerían en tonos de gris los que no hubieran cambiado entre fechas.” (Chuvienco 2002 y 2008).

2.4.2 DIFERENCIA DE IMÁGENES.-

Método que realiza una simple resta entre imágenes de dos fechas diferentes, estas imágenes se deben encontrar previamente corregidas radiométrica y geoméricamente, este proceso permite discernir las distintas áreas o regiones que han experimentado un cierto tipo de cambio entre las fechas de toma de las imágenes.

Las zonas que no han presentado ningún cambio presentarán valores de nivel digital (ND) de píxel muy cercanos a cero muy distinto a las regiones donde han experimentado un

cierto tipo de cambio donde los ND presentarán valores significativamente distintos a cero ya sean estos positivos o negativos.

En ciertos equipos de Análisis digital de imágenes (ADI) no permite visualizar valores negativos es necesario añadir al cálculo una constante para evitar éstos inconvenientes.

$$ND_c = ND_{t1} - ND_{t2} + C$$

ND_c = ND correspondiente a la Imagen resultado de cambios.

ND_{t1} = ND correspondiente a la Imagen del primer período de tiempo.

ND_{t2} = ND correspondiente a la Imagen del segundo período de tiempo.

C = Constante para evitar valores negativos.

La imagen resultante presentará valores bajos o negativos de tonos oscuros para las regiones en que su ND se ha reducido y valores altos con tonos claros las áreas donde su ND se ha incrementado, y los valores intermedios simbolizan las áreas que se han mantenido estables.

El cálculo se lo puede realizar sobre los ND de algunas de las bandas de la Imagen, ocasionalmente se ha utilizado la banda roja para realizar esta operación (Pilo *et al.*, 1988), con mayor frecuencia se suele aplicar esta operación sobre índices de vegetación, para este caso, el valor de la diferencia nos permite señalar las zonas que han perdido o ganado vigor vegetal, que han cambiado su cobertura a causas antrópicas o naturales (Coppin y Bauer, 1994; Martín y Chuvieco, 1995).

En consecuencia la Imagen de cambio que se obtiene tendrá:

- Tonos oscuros para zonas que hayan reducido su ND
- Tonos claros para zonas que hayan ganado ND
- Tonos intermedios para zonas que siguen estables.

En las Figuras No. 9, 10, se representa gráficamente un ejemplo de detección de cambios utilizando el método de diferencia de imágenes.³

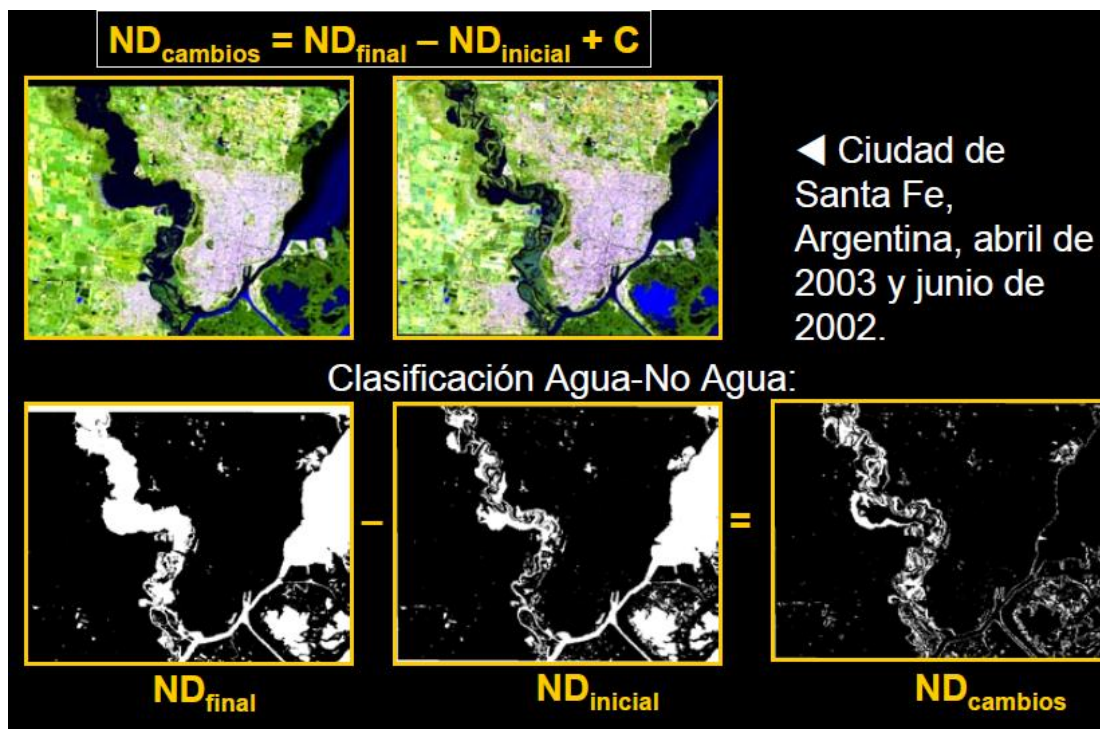


Figura No. 9 Ejemplo de diferencia de imágenes

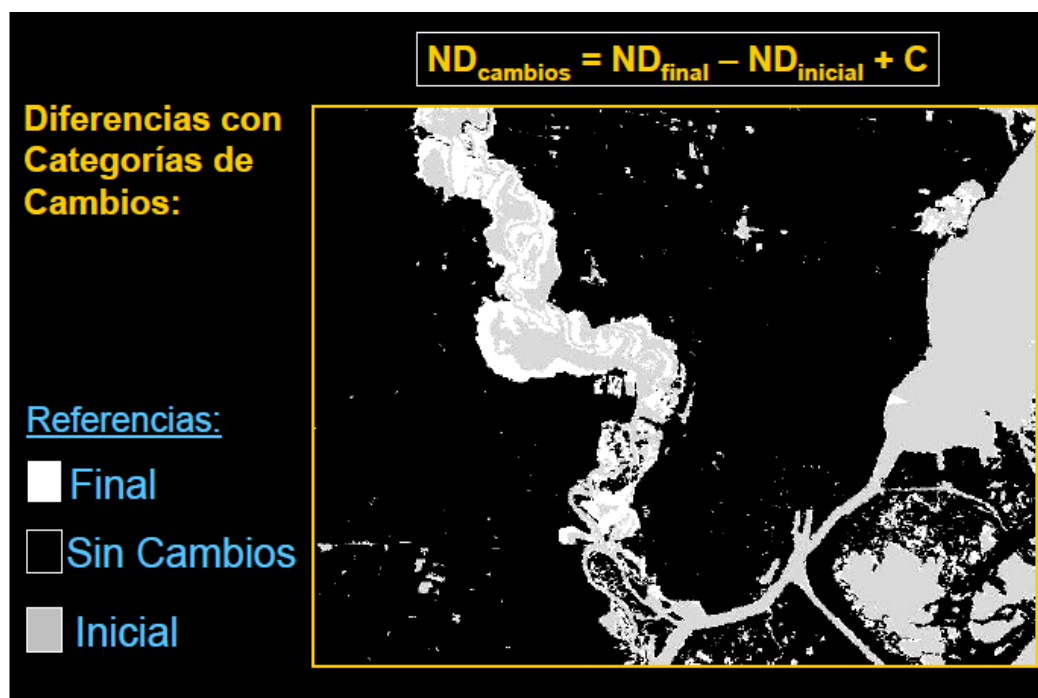


Figura No. 10 Ejemplo de diferencia de imágenes

³ Obtenido de la presentación de Detección de Cambios del Ingeniero Álvaro Soldano para el CONAE.

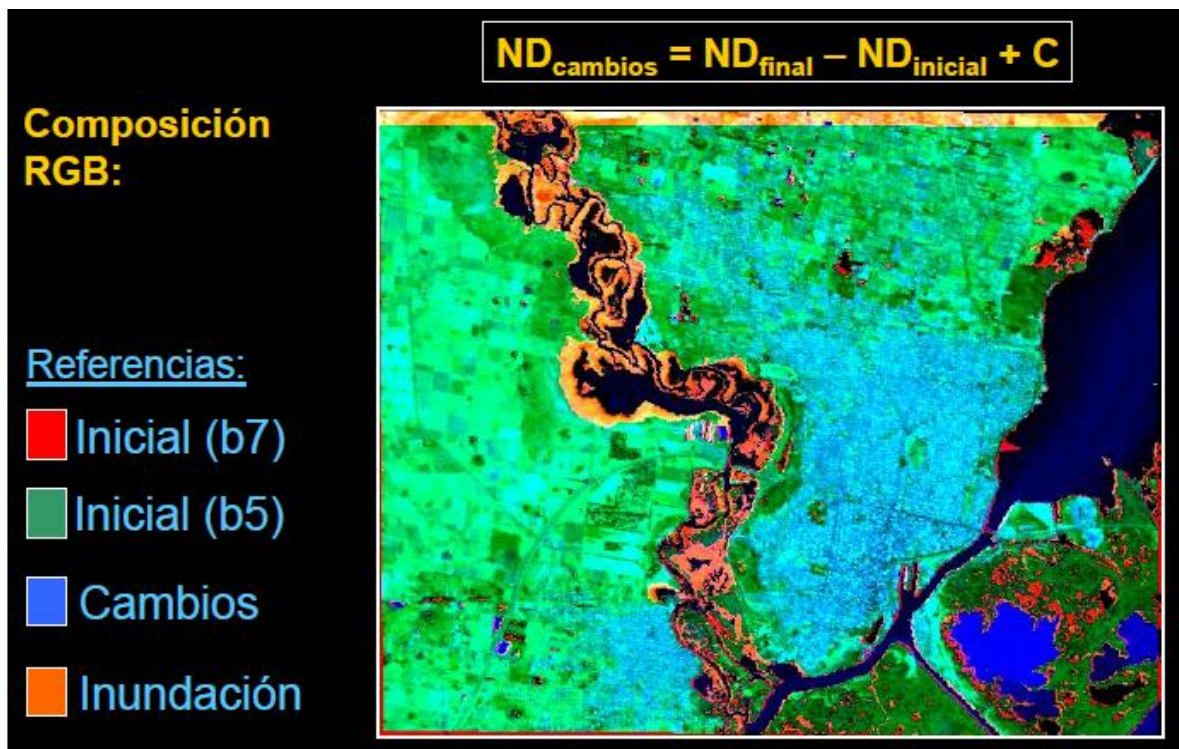


Figura No. 11 Ejemplo de diferencia de imágenes

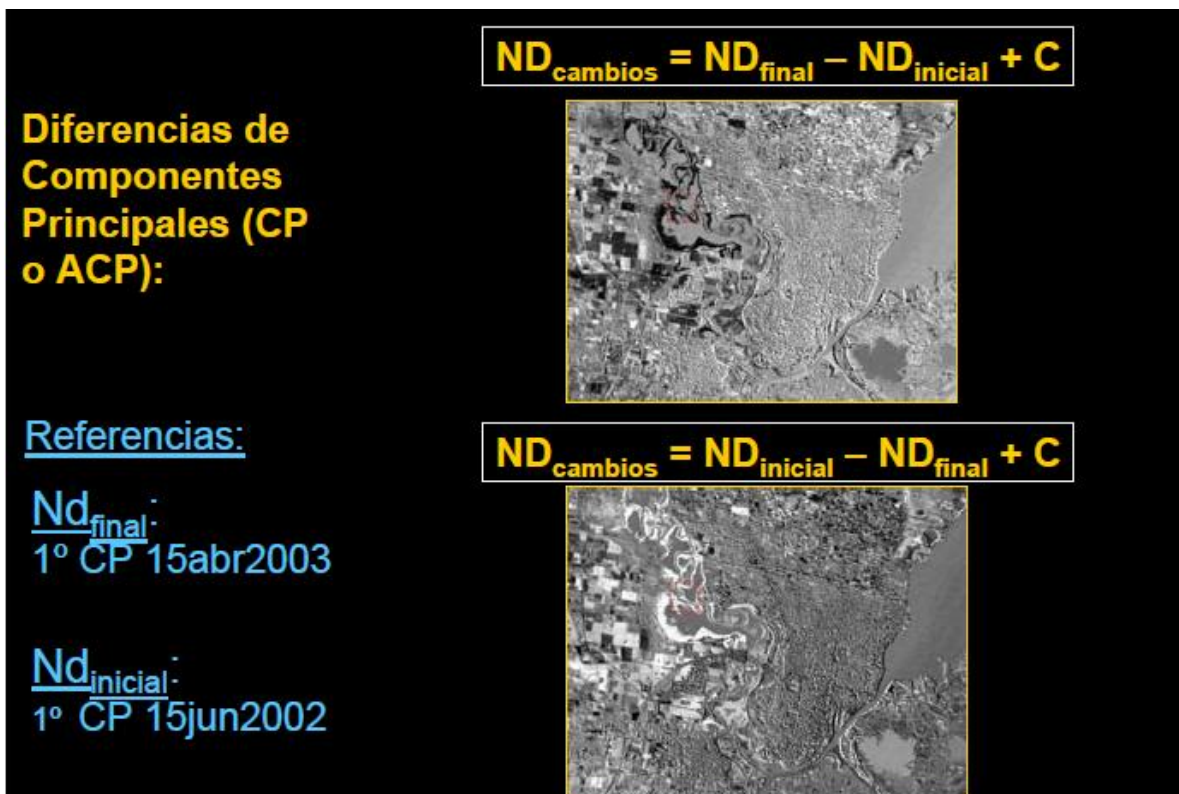


Figura No. 12 Ejemplo de diferencia de imágenes

2.4.3 COCIENTES MULTITEMPORALES.-

Los cocientes multitemporales ofrecen una significación del cambio frente a los valores originales, ya que el método de diferencia de imágenes puede resultar una técnica muy sencilla ya que no nos permiten representar una valoración relativa del cambio. Por ejemplo si el valor resultante del ND es de 20 y el ND original era de 40 puede significar una alteración importante, mientras resultaría menos importante si el ND original de la primera fecha era de 200.

$$ND_c = (ND_{t2} / ND_{t1}) \times C$$

Los índices multitemporales normalizados

$$ND_{i,j,c} = ((ND_{t2} / ND_{t1}) / (ND_{t2} / ND_{t1}) + 1) \times 127$$

Para este caso se suma al índice 1 y se multiplica el resultado por 127 para escalar el resultado entre 0 y 254.

Esta técnica ha sido utilizada en inventarios agrícolas (Lo *et al.*, 1986) y forestales (Howarth y Wickware, 1981; Singh, 1986). En aplicaciones ambientales es frecuente que ésta técnica de cocientes multitemporales se calculen a partir de los índices de vegetación, permitiendo simplificar la variación vegetal en una sola banda, bajo este contexto se han aplicado con gran éxito en estudios de deforestación (Grover *et al.*, 1995; Singh, 1986), e incendios forestales (Kasischke *et al.*, 1993; Martín y Chuvieco, 1995).

El carácter no simétrico de los cocientes multitemporales es su mayor debilidad, ya que el resultado es dependiente de la fecha en la que se elija para el numerador, implicando una transformación no lineal de las relaciones temporales, es decir si se presenta una reducción a la mitad de los ND por ejemplo de 100 a 50 esto ofrecería un valor de 2 o de 0,5 según el orden en que se introduzcan las fechas.

En las Figuras No. 13 y 14, se puede observar un ejemplo de la aplicación de la metodología de cocientes Multitemporales.⁴

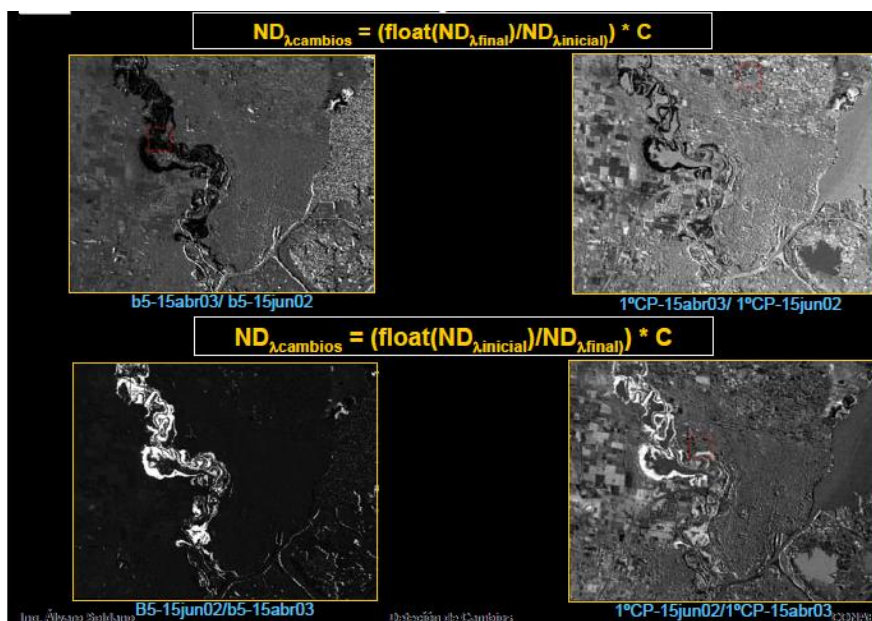


Figura No. 13 Ejemplo de Cocientes Multitemporales

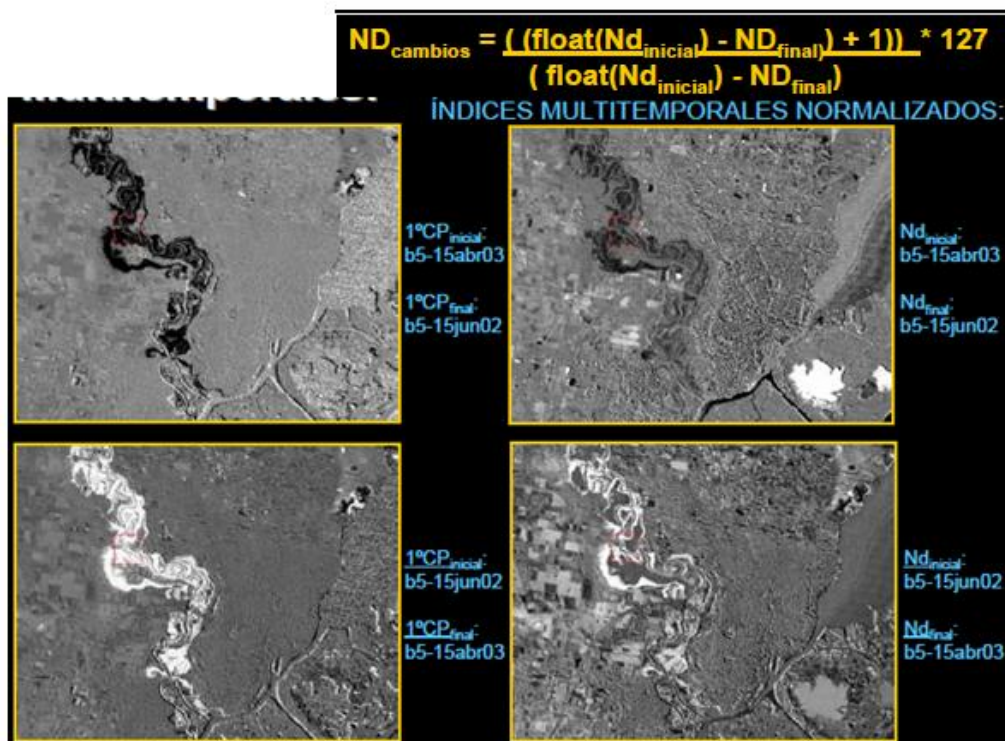


Figura No. 14 Ejemplo de Cocientes Multitemporales

⁴ Obtenido de la presentación de Detección de Cambios del Ingeniero Álvaro Soldano para el CONAE.

2.4.4 COMPONENTES PRINCIPALES.-

Es una técnica muy aplicada para ciencias sociales y naturales, donde el objetivo de esta técnica es resumir la información contenida en un grupo amplio de variables en un nuevo conjunto, más pequeño, sin perder una parte significativa de esa información.

Del campo de la sicometría parece ser el origen de esta técnica al analizar un test de inteligencia, en el que se intuía la existencia de una serie de variables subyacentes a las variables medidas que podría explicar el comportamiento común en determinados grupos de variables.

La adquisición de imágenes satelitales sobre bandas adyacentes del espectro, implica con frecuencia que detectara una información redundante, puesto que los tipos de cobertura tienden a presentar un comportamiento semejante en longitudes de onda próximas.

El análisis de componentes principales (ACP) permite sintetizar las bandas originales en nuevas bandas recogiendo la parte más relevante de la información original, lo que resulta muy conveniente cuando se pretende realizar análisis multitemporales (Maselli *et al.*, 1995), o cuando se pretende seleccionar las tres bandas más adecuadas para una composición de color (Chavez y Kwarteng, 1989, Green *et al.*, 1988), esta técnica ha sido utilizada también en la exploración geológica (Hervás, 1987).

Para la detección de cambios se genera un archivo multitemporal con las bandas correspondientes a las dos fechas de análisis, en este caso los primeros componentes resultantes del análisis no son los más interesantes, ya que recogen la dimensión de estabilidad de la imagen, los componentes secundarios ofrecen la información no común es decir el cambio, que es precisamente lo que más interesa en el contexto.

El análisis de componentes principales se ha utilizado frecuentemente en la detección de cambios.

Un problema frecuente en el análisis de imágenes multispectrales es el de la correlación existente entre ellas, es decir que contienen mucha información redundante, la misma que no

aporta nada nuevo y aumenta enormemente la carga computacional cuando dichas imágenes son sometidas a procesos matemáticos. Esto podemos apreciarlo en la Figura No 15 en la que se observan los dispersogramas típicos de los pares de bandas.

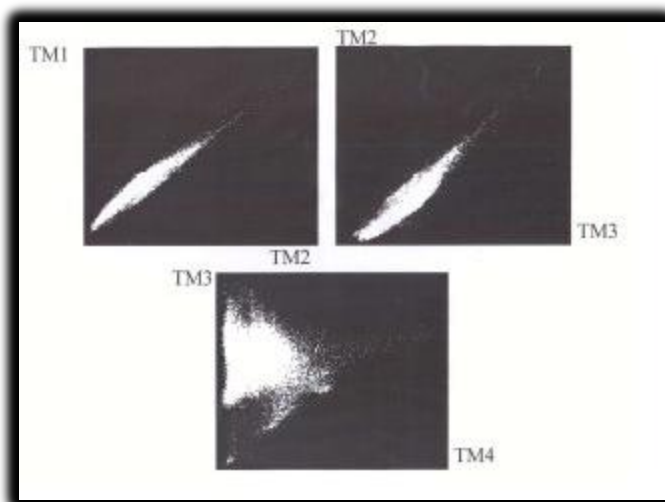


Figura No. 15 Dispersogramas típicos de bandas

La técnica de ACP es una transformación que permite reducir esta redundancia y puede ser aplicada previamente a un análisis visual o a un proceso más complejo de clasificación a través de algoritmos matemático-estadísticos.

El propósito de esta técnica es “comprimir” toda la información contenida en un conjunto original de N bandas espectrales a un conjunto menor de nuevas bandas o componentes. Sin entrar en detalles matemáticos sobre esta transformación representaremos gráficamente los conceptos involucrados. Para simplificar tomemos sólo dos bandas espectrales. Se representará por d_1 el valor del pixel en la banda 1 y por d_2 el valor del pixel en la banda 2. Podemos definir una combinación lineal de estas dos bandas:

$$d'_1 = a_{11} d_1 + a_{12} d_2$$

$$d'_2 = a_{21} d_1 + a_{22} d_2$$

Donde d'_1 y d'_2 representan los valores del pixel luego de la transformación. Esta puede ser representada gráficamente como en la Figura No 16

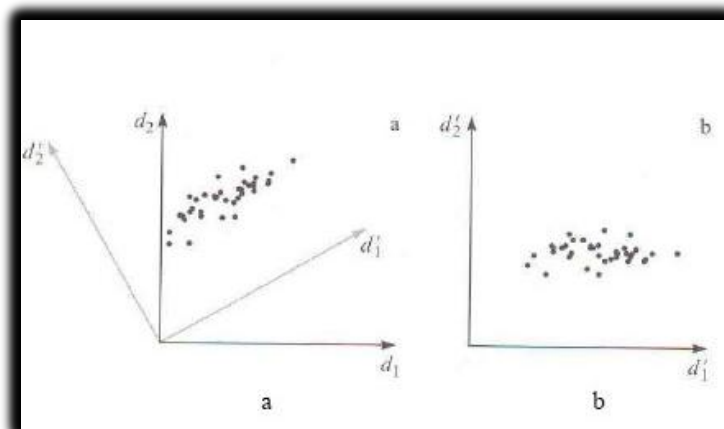


Figura No. 16 Resultado de pixeles aplicando componentes principales

Los componentes principales del conjunto de dos bandas están constituidos por el sistema de combinaciones lineales de dichas bandas, que con una adecuada selección de los coeficientes a_{ij} resultarán independientes y no correlacionados entre sí. Esto se ilustra en la Figura No.16. En (a) los valores de los pixeles graficados en el espacio bidimensional d_1 y d_2 están notoriamente correlacionados. En (b) se observa cómo, luego de una adecuada combinación lineal la correlación es removida.

Vemos que la transformación no es sino una rotación en el espacio bidimensional de los valores de los pixeles, y el ángulo de rotación quedará determinada por la correlación entre los valores de d_1 y d_2 . El eje d'_1 define la dirección del primer componente principal, y el eje d'_2 la dirección del segundo componente principal. Puede observarse que los datos a lo largo del primer componente principal, y el eje d'_2 la dirección del segundo componente principal.

Puede observarse que los datos a lo largo del primer componente principal poseen una varianza o rango dinámico mayor que el correspondiente a cualquiera de los dos ejes originales. Por su parte los datos a lo largo del segundo componente principal (eje d'_2) poseen una varianza considerablemente menor que el correspondiente a d'_1 . Es decir que hemos volcado la mayor parte de la información al primer componente principal. El tratamiento podemos generalizarlo para un sistema de N bandas, representándolo en forma matricial.

$$\mathbf{d}' = \mathbf{A}\mathbf{d}$$

Donde d es un vector columna conteniendo los N valores originales de los pixeles de d_1 a d_N , d' es el correspondiente vector luego de la transformación y A es la matriz de los coeficientes a_{ij} . Obviamente la clave de una transformación exitosa radica en la optimización de los coeficientes a_{ij} .

Los componentes principales vendrían a ser como las variables – resumen de las medidas inicialmente: un número de dimensiones, preservando lo más sustancioso de la información original, permitiendo sintetizar las bandas originales, creando nuevas bandas, que recojan lo más relevante de la información original resultando conveniente para realizar un análisis multitemporal (Maselli et al., 1995).

Los componentes principales de una imagen se obtienen de acuerdo a la fórmula-

$$CP_j = \sum_{i=1,p} a_{i,j} ND_i + R_j$$

Donde CP_j indica el ND correspondiente al componente principal j , $a_{i,j}$ el coeficiente aplicado al ND de la banda i para generar el componente j y R , una constante para desplazar el eje del origen y evitar valores negativos, hay tantos componentes (p) como bandas, pero la forma de extraer estos componentes indica que solo los primeros tienen una información significativa. (Chuvieco, 2008).

A partir de la matriz de varianza – covarianza de las bandas que componen la imagen original, se extraen los autovalores (ξ_j) que expresan la magnitud del vector de cada uno de los nuevos componentes, y en esta última instancia, la proporción de información original que retienen. Este dato resulta de gran interés para decidir que componentes principales son más interesantes habitualmente los que mayor información original retengan, el autovalor va disminuyendo progresivamente, del primero a los últimos pues se pretende maximizar sucesivamente la varianza extraída en el análisis, junto a la magnitud del vector resulta de gran interés conocer la dirección, de cara a poder interpretar el sentido de las nuevas variables, formando la matriz de autovectores, que indican la ponderación que debe aplicarse a cada una de las bandas originales para obtener el nuevo componente principal, equivalen a los

coeficientes de regresión en una transformación lineal estándar, siendo las bandas de la imagen las variables independientes y los componentes principales las dependientes.

A partir de los autovectores, se calcula la matriz de correlación entre componentes principales y bandas de la imagen, lo que nos permite conocer el sentido espectral de estos componentes.

En las imágenes siguientes, se representan las bandas 1,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11,12,13,14 de una Imagen ASTER.

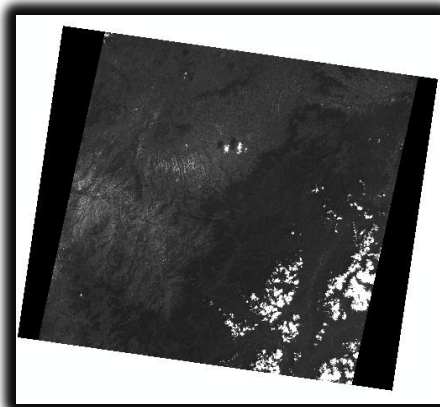


Imagen No. 1 Banda 1 Imagen ASTER

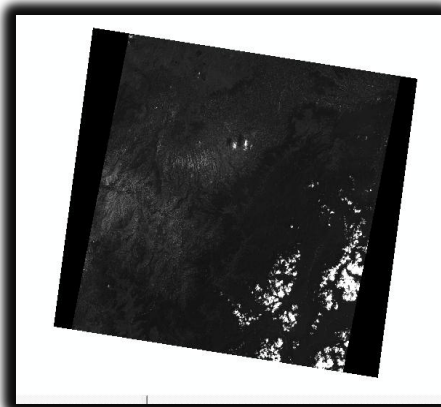


Imagen No. 2 Banda 2 Imagen ASTER

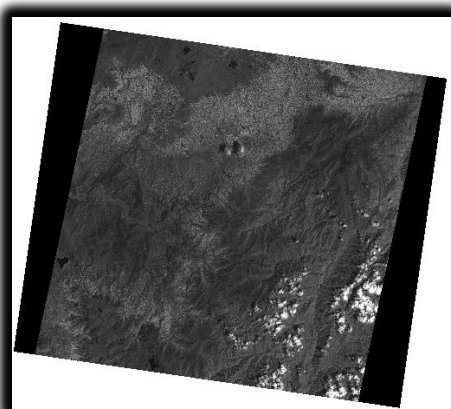


Imagen No. 3 Banda 3 Imagen ASTER

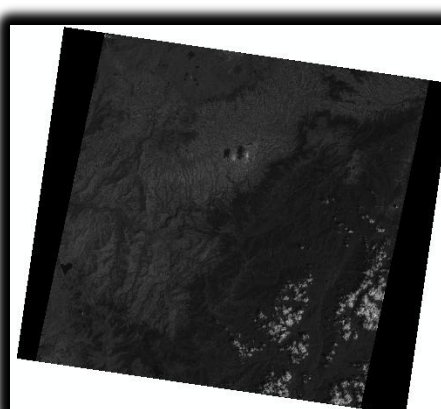


Imagen No. 4 Banda 4 Imagen ASTER

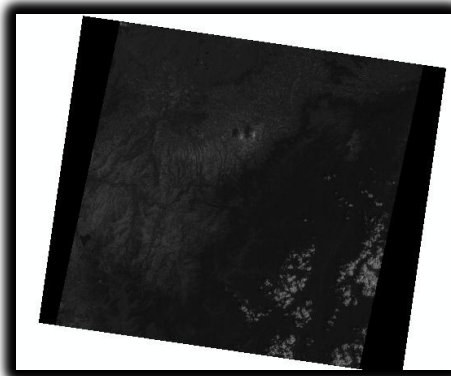


Imagen No. 5 Banda 5 Imagen ASTER

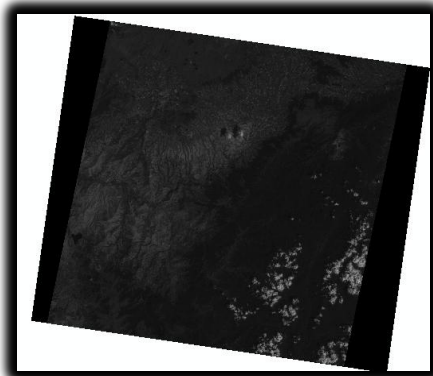


Imagen No. 6 Banda 6 Imagen ASTER

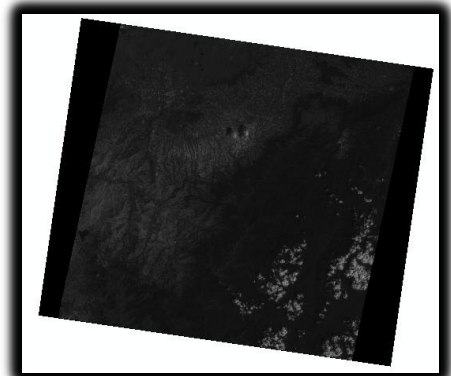


Imagen No. 7 Banda 7 Imagen ASTER

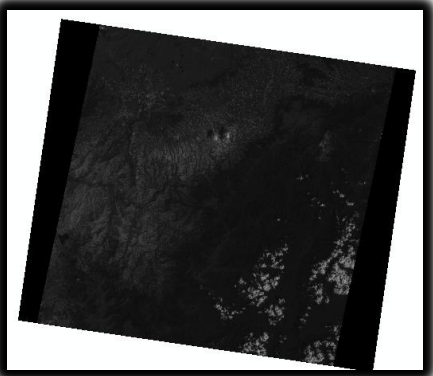


Imagen No. 8 Banda 8 Imagen ASTER

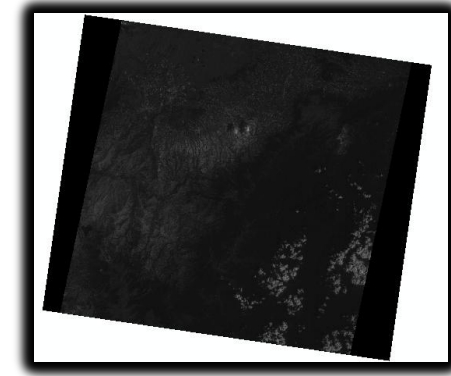


Imagen No. 9 Banda 9 Imagen ASTER

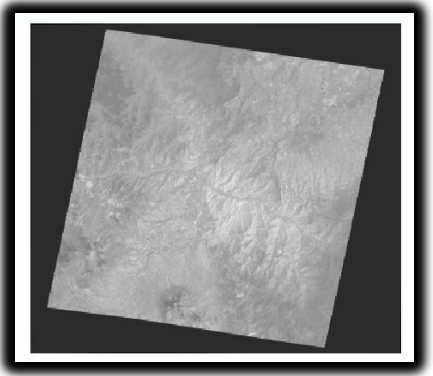


Imagen No. 10 Banda 10 Imagen ASTER

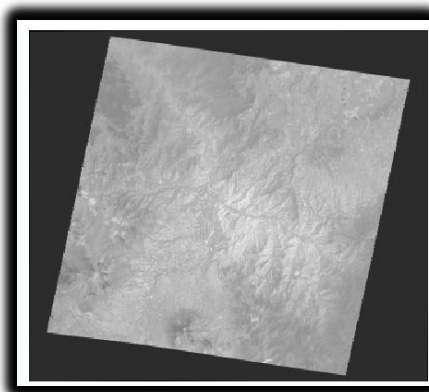


Imagen No. 11 Banda 11 Imagen ASTER

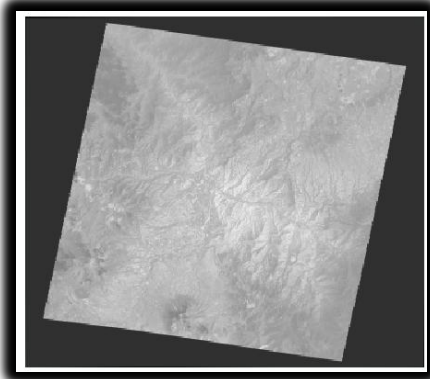


Imagen No. 12 Banda 12 Imagen ASTER

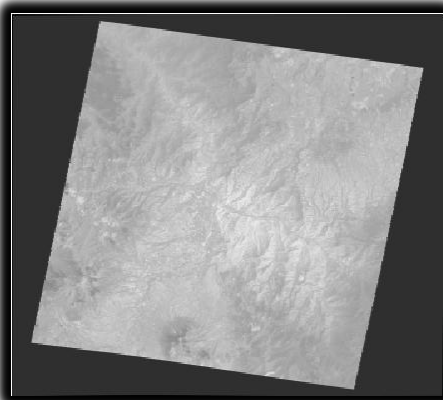


Imagen No. 13 Banda 13 Imagen ASTER

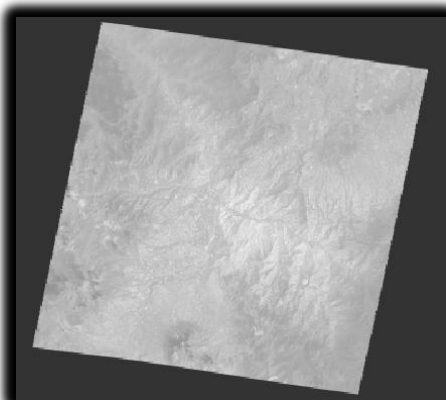


Imagen No. 14 Banda 14 Imagen ASTER

En la Figura No 17 se observa el resultado de una transformación en componentes principales.

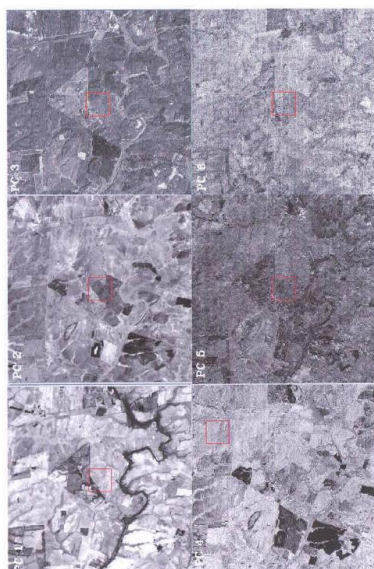


Figura No. 17 Imagen resultado con aplicación de componentes principales

En la Figura No 18 se presentan algunos dispersogramas de las bandas resultantes de la transformación, donde se puede observar la ortogonalidad de los componentes principales

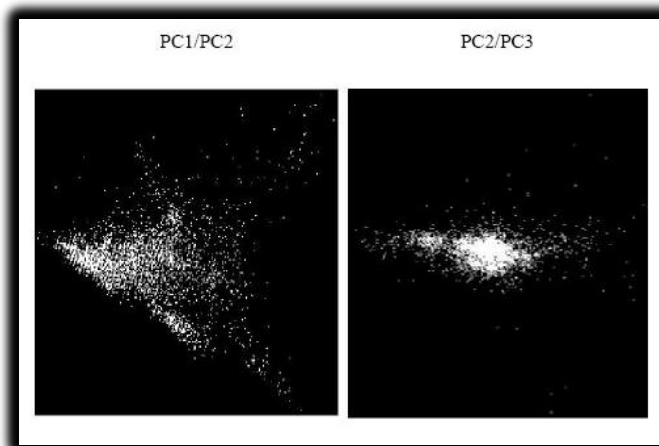


Figura No. 18 Dispersogramas de bandas resultantes mediante componentes principales

2.4.5 ANÁLISIS MULTITEMPORAL DE IMÁGENES CLASIFICADAS.-

La detección de cambios puede realizarse también empleando cualquier técnica de clasificación, para el presente caso se empleará una clasificación mixta.

La clasificación mixta es un método que combina una clasificación no supervisada y supervisada por separado sobre la misma Imagen, para luego sintetizar las medidas extraídas por ambos, considerando que las categorías deducidas por los métodos aplicados se complementan mutuamente.

La detección de cambios a partir del método de clasificación mixta se empleará mediante la comparación de imágenes clasificadas por separado, utilizando la misma leyenda temática en las dos fechas, generando una Tabla multitemporal de cambios, en donde se presentan las transiciones que se producen en los dos períodos de tiempo.

El gran interés de la Tabla es ofrecer las transiciones que se han producido, observando las zonas estables, dinámicas y las coberturas originales y actuales, lo que nos indica las tendencias de cambio en la zona de estudio.

A partir de la matriz de cambios puede calcularse algún estadístico que mida el grado de cambio entre las dos fechas, considerando el grado de asociación entre las filas y columnas, también podría analizarse el origen de los cambios acudiendo a información auxiliar almacenada en un SIG.

En las Figuras No. 19 y 20 se observa un ejemplo de Análisis Multitemporal de Imágenes Clasificadas aplicado a Detección de Cambios.⁵

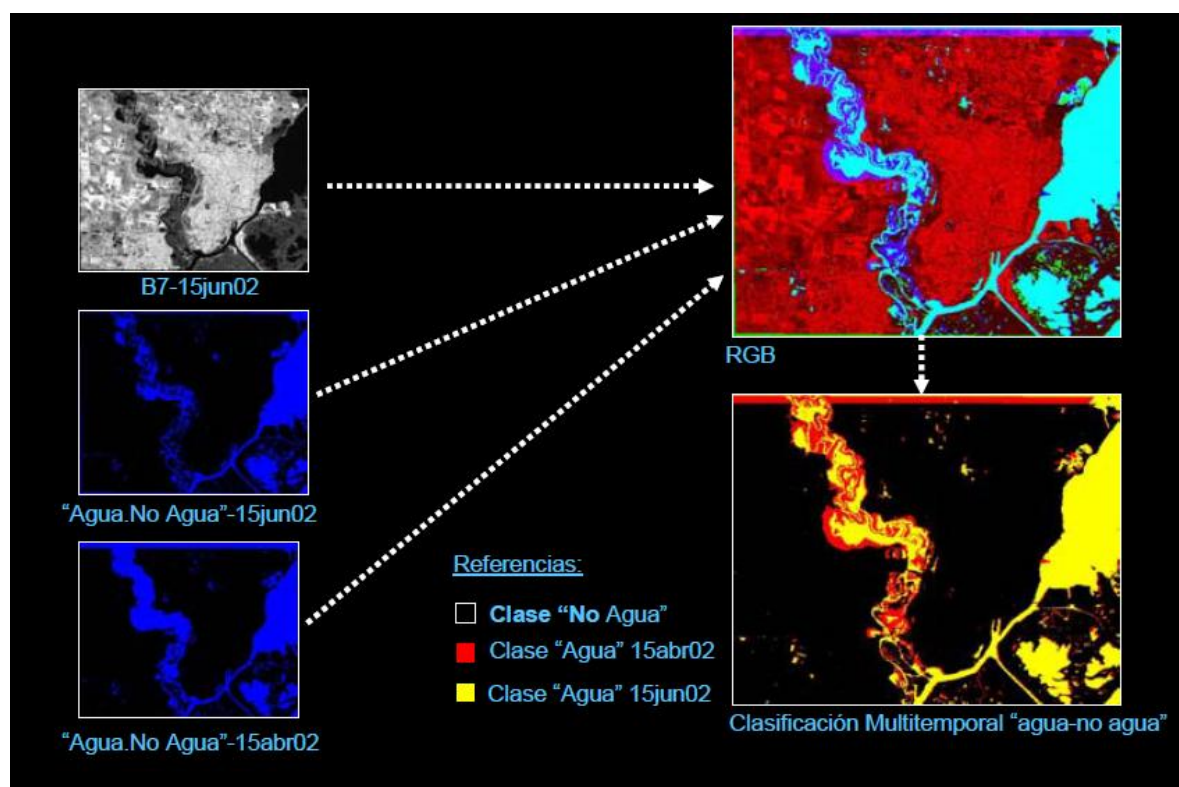


Figura No. 19 Ejemplo de Análisis Multitemporal de Imágenes Clasificadas

⁵ Obtenido de la presentación de Detección de Cambios del Ingeniero Álvaro Soldano para el CONAE.

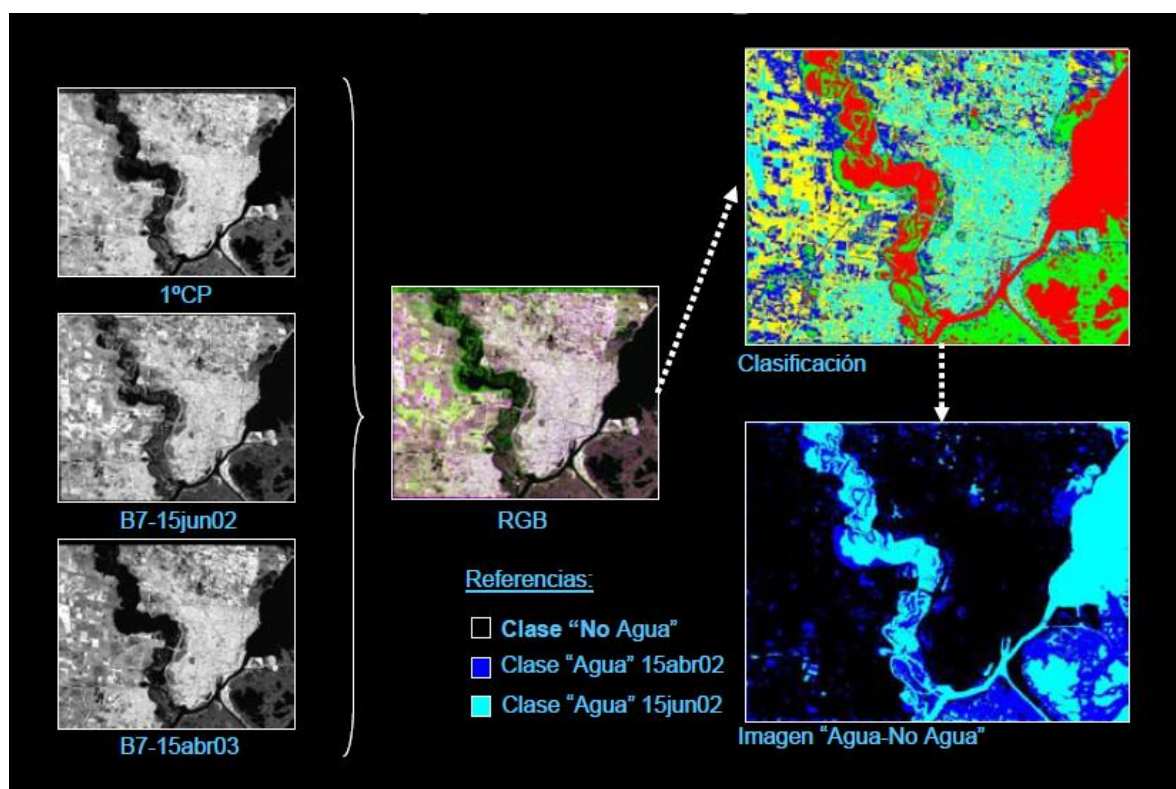


Figura No. 20 Ejemplo de Análisis Multitemporal de Imágenes Clasificadas

2.5 CORRECCIÓN RADIOMÉTRICA.-

Es un término genérico, que designa técnicas que modifican los valores originales digitales de cada píxel, a fin de acercarlos a los que habría presentes en la Imagen caso de una recepción ideal.

La respuesta radiométrica que llega al sensor del satélite desde la superficie se modifica a consecuencia de su paso por la atmósfera. Uno de los efectos más importantes de la atmósfera en las radiaciones visibles e infrarrojas próximas es debido a la dispersión producida por las moléculas de los gases (dispersión de Rayleigh). Ésta es inversamente proporcional a la cuarta potencia de la longitud de onda, por lo que afecta mucho más a las longitudes cortas (azul) que a las longitudes más largas (infrarrojo medio). Otros efectos de dispersión atmosférica pueden ser debidos a la presencia de partículas de aproximadamente el mismo tamaño que las longitudes de onda (aerosoles), pero son más esporádicos y suelen presentarse únicamente en días de atmósferas poco nítidas.

Para aproximar la respuesta recibida por el sensor a la real del objeto observado en la superficie terrestre, se suelen aplicar métodos que tiendan a eliminar la dispersión por sustracción, ya que ésta produce un efecto puramente aditivo a la radiación que procede directamente del objeto observado.

Dentro de las correcciones radiométricas tenemos aquellas derivadas del mal funcionamiento del sensor junto con la obtención de magnitudes físicas y de corrección atmosférica de los datos.

La corrección radiométrica considera las variaciones en las intensidades del píxel (números digitales que no son causadas por el objeto o la escena que está siendo escaneada). Estas variaciones incluyen:

- Diferencia de sensibilidad o mal funcionamiento de los detectores
- Efectos atmosféricos
- Efectos topográficos

2.5.1 CORRECCIÓN ATMOSFÉRICA.-

La corrección atmosférica resulta indispensable cuando se pretende aplicar modelos que tengan en cuenta parámetros físicos que son factibles de modelar, como la iluminación proveniente de la fuente de luz. Para esto se dispone de diferentes métodos y programas desarrollados para este fin. Muchas veces se requiere de información auxiliar como humedad para el día de toma, radiación neta, etc, es por eso que muchos de estos modelos asumen considerablemente estas variables, a la par se han desarrollado modelos empíricos por las asunciones que toman, pero que brindan un resultado aceptable según el tipo de trabajo que se realice, para el presente proyecto se tiene previsto la utilización del método de Transformación Tasseled Cap que ofrece el software ERDAS.

2.5.1.1 TRANSFORMACIÓN TASSELED CAP (TTC)

Es una transformación que se dirige a obtener unas nuevas bandas, por combinación lineal de las originales, con objeto de realzar algunos rasgos de interés de la escena. Ofrece

componentes de significado físico preciso, esto es, independiente del tipo de Imagen que se esté analizando.

La TTC fue ideada por Kauth y Thomas en el marco del proyecto de LACIE (Large Area Crop Inventory Experiment), desarrollado por la NASA y el Departamento de Agricultura estadounidense (USDA) en los años setenta, con objeto de mejorar la predicción de cosechas. Dentro de este proyecto, se pretendió modelar los componentes fundamentales de variación en una Imagen MSS, describiendo sus características físicas desde el punto de vista del seguimiento de cultivos en una Figura tri-dimensional, la base se define por la línea de suelos, en donde se sitúan los distintos tipos de suelo, de acuerdo a su brillo y color.

Esta transformación, llamada “Tasseled Cap”, permite resaltar los fenómenos más importantes (espectralmente observables) que ocurren durante el desarrollo de un cultivo. Esta transformación se aplica sobre las bandas de la Imagen multiespectral a excepción de la banda térmica, indica que la información de valor agronómico ocupa esencialmente tres dimensiones:

- 1 *Brillo (Brightness)*: está asociado a las variaciones de reflectancia del suelo, refleja los cambios en la reflectividad total de la escena, se trata de una suma ponderada de todos los canales, excluido el térmico.
- 2 *Verdor (Greenness)*: está correlacionado con el vigor de la vegetación, indica el contraste entre las bandas visibles y el infrarrojo cercano situado entre 0,7 y 1,3 μ m.
- 3 *Humedad (Wetness)*: está influido por las bandas en el IR medio y tiene que ver con la humedad vegetal y del suelo, se marca por el contraste entre el SWIR, en donde se manifiesta con mayor claridad la absorción del agua, y el resto de las bandas. Otros autores han propuesto denominar a este componente Maturity puesto que se han encontrado una clara relación entre él y la madurez de la cobertura vegetal.

Las tres primeras dimensiones definen dos planos: el de vegetación y el de suelos como se puede observar en la Figura No 21.

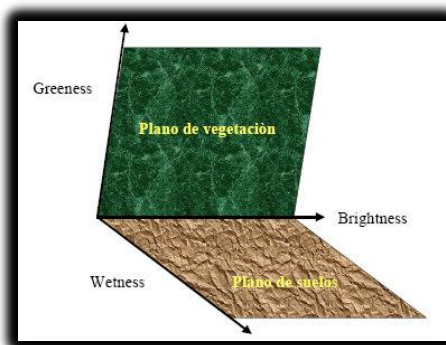


Figura No. 21 Representación tri-dimensional de Brillo, Verdor y Humedad

En el plano de vegetación se representa la evolución de un cultivo como se observa en la Figura No 22.

- 1 Suelo sin cobertura vegetal o siembra reciente
- 2 Cultivo emergente
- 3 Madurez, cosecha
- 4 Suelo sin cubierta o con rastrojo

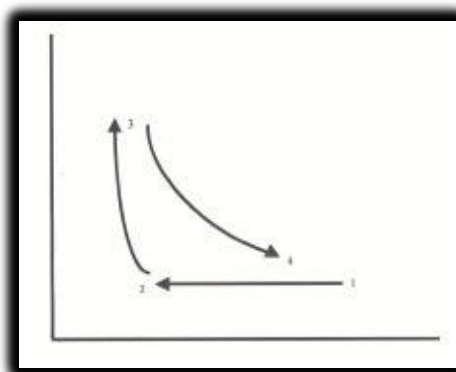


Figura No. 22 Evolución de cultivo mediante método de Análisis multitemporal de imágenes clasificadas

El dispersograma de la Imagen de un cultivo en el plano de vegetación sería aproximadamente el esquematizado según la Figura No 23.

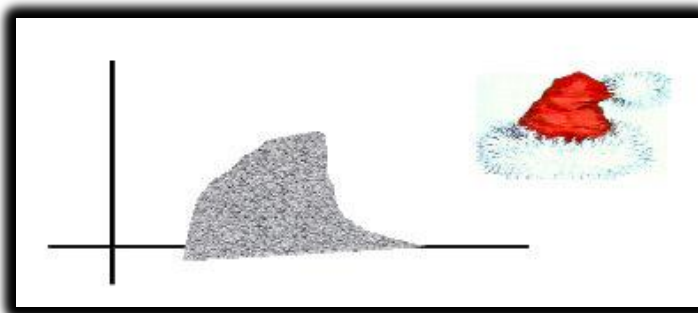


Figura No. 23 Esquema de dispersograma de un cultivo en el plano de vegetación

Su forma se parece al gorro de santa Claus (gorro con borlas) de ahí su nombre de la transformación de tasseled cap.

2.5.2 CORRECCIÓN DE SOMBREADO TOPOGRÁFICO.-

La corrección topográfica permite compensar las diferencias de iluminación solar, debidas a las variaciones altitudinales del terreno. Las zonas de umbría presentaban menos reflectividad de lo que debieran, mientras que las zonas en solana presentaban una reflectividad más alta de lo esperado. Para realizar la corrección topográfica es necesario calcular la iluminación (IL), es decir, el coseno del ángulo de incidencia (i):

$$\cos i = \cos \theta_p \cos \theta_i + \sin \theta_p \sin \theta_i \cos (\phi_a - \phi_o)$$

Dónde:

θ_p = pendiente del terreno: La inclinación del terreno con respecto a la horizontal.

θ_i = ángulo cenital solar: El ángulo complementario de la elevación solar.

ϕ_a = ángulo azimutal solar: La dirección del sol con respecto al norte.

ϕ_o = ángulo de orientación: El ángulo existente entre el vector que señala el norte y la proyección sobre el plano horizontal del vector normal a la superficie en ese punto.

Para compensar la diferencia de radiación entre vertientes se plantean diferentes métodos, entre estos cabe distinguir los que consideran las coberturas como lambertianas, y las que tienen en cuenta efectos direccionales (Itten y Meyer, 1993; Riaño *et al.*, 2003)

El modelo de reflectancia Lambertiana asume que la reflectancia de incidencia solar sobre la superficie es uniforme en todas las direcciones y las variaciones en reflectancia se deben a la cantidad de radiación incidente.

2.6 METODOLOGÍA DESARROLLADA EN EL MÓDULO DE FEATURE EXTRACTION DEL SOFTWARE ENVI.-

La extracción de coberturas es un proceso combinado de segmentación de imágenes en regiones de píxeles computando atributos para cada región de objetos creados, y una clasificación de objetos (con reglas basadas en clasificaciones supervisadas).

El módulo está diseñado para ser más provechoso e intuitivo permitiendo personalizar su uso para aplicaciones específicas, en la siguiente Figura No.24, se observa el flujo de procesamiento del módulo de Feature Extraction.

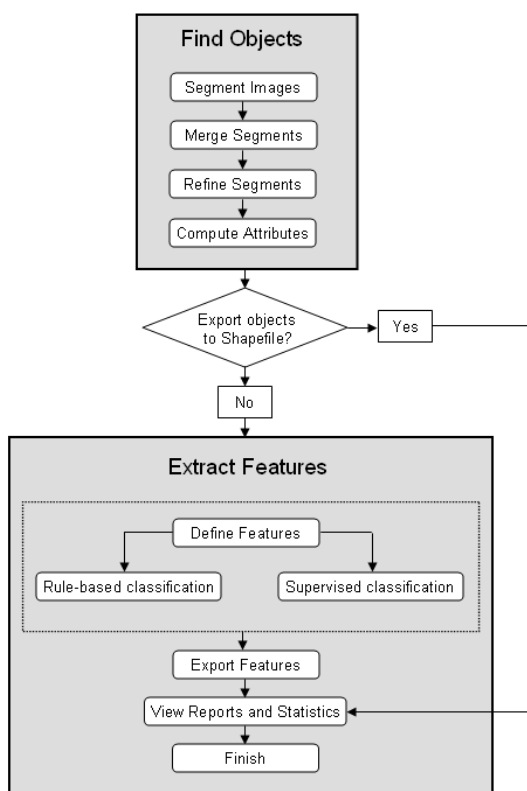


Figura No. 24 Feature Extraction Workflow

El flujo de proceso (workflow) consiste de dos pasos primarios: Hallar objetos y extraer coberturas, el paso de encontrar objetos se divide en cuatro pasos: Segmentación, unión (merge), refinamiento (Refine), y computo de atributos, en la Figura No. 25 se observa un ejemplo del proceso para el primer paso del proceso de hallar objetos.

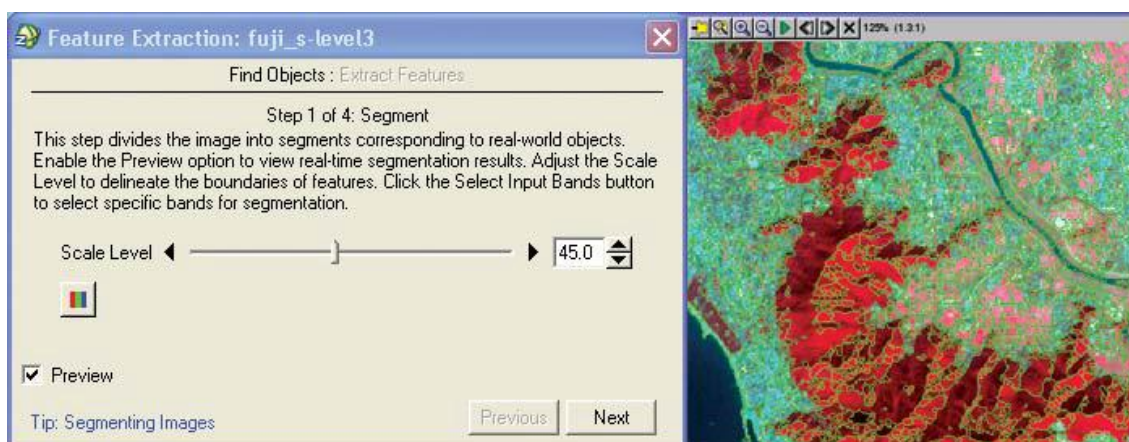


Figura No. 25 Segmentación de objetos

Finalizado los pasos de segmentación se puede afinar los resultados, mediante la generación de clasificaciones supervisadas, clasificaciones supervisadas mediante reglas establecidas, y la exportación de resultados a shapefiles o imágenes raster, en la Figura No. 26 se detalla un ejemplo de definición supervisada de segmentos generados.

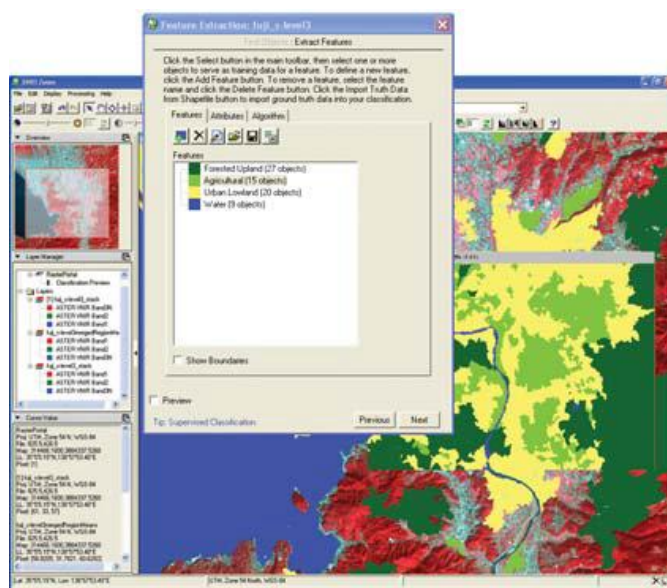


Figura No. 26 Ejemplo de definición de segmentos

CAPITULO III

METODOLOGIA

3.1 CORRECCIÓN GEOMÉTRICA.-

Para la comparación multitemporal las imágenes se ajustaron con gran nivel de detalle, con la finalidad de evitar la detección de transformaciones por falta de ajuste geométrico.

La Imagen del año 2004 sirvió de base para el ajuste de la segunda Imagen del año 2007, introduciendo coordenadas de puntos fácilmente reconocibles en la imagen como cruces de carreteras, desembocaduras de ríos, construcciones o rasgos fisiográficos que no sean demasiado dinámicos, estos puntos están bien distribuidos en la escena, evitando la linealidad en su colocación, el nivel de precisión alcanzado en la georeferencia depende en gran medida de la fuente de información geográfica utilizada es decir de la imagen del año 2004, la cantidad de puntos necesarios para una buena rectificación depende del orden del polinomio a usar, del relieve del área y del grado de precisión requerido, mientras más se usen mejor, buscando que los puntos no tengan dinamismo temporal y es importante que la distribución sea uniforme en toda la imagen y que no estén concentrados todos en un sector solamente, el polinomio utilizado para la corrección geométrica ha sido adjust del módulo de georeferencing de ArcGis de acuerdo a la Carpeta de Trabajos Prácticos de Teledetección Forestal (Reuter, 1990), para lo que se utilizaron 221 puntos de control para la georeferenciación de forma empírica de acuerdo a la aplicación de las funciones racionales (Toutin, 2004, Gurcan, 2004).

En la siguiente Imagen No. 15, se observa la distribución de los puntos utilizados para el ajuste geométrico, el mismo que se realizó en la plataforma de ArcGis.

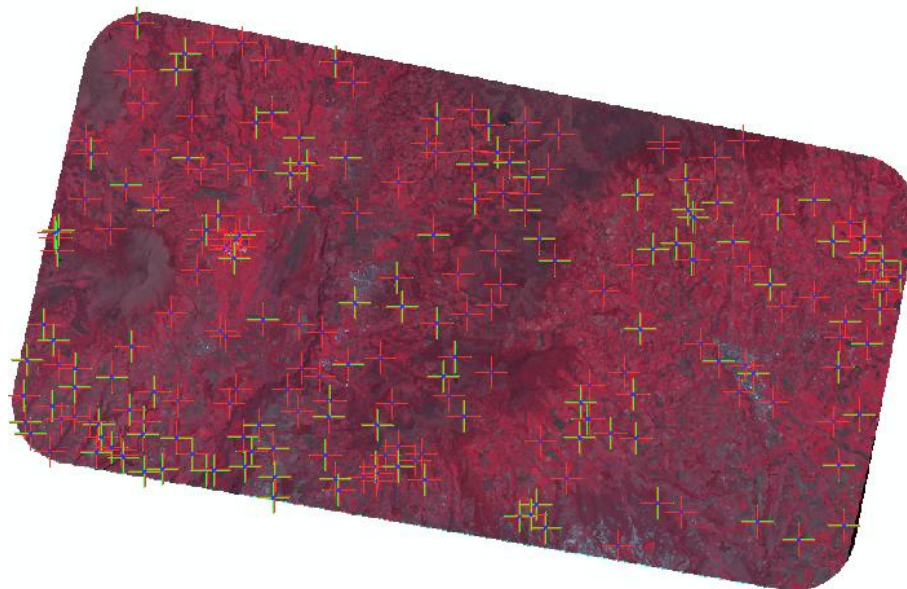


Imagen No. 15 Distribución de puntos para ajuste geométrico

3.2 OBTENCIÓN DE IMÁGENES SATELITALES DEL SENSOR ASTER.-

Agroprecisión en su calidad de auspiciante del proyecto proporcionó 2 imágenes satelitales del sensor ASTER en formato .hdf, para el análisis respectivo de metodologías para identificación de cambio de uso de suelo.

El ASTER, es el resultado del esfuerzo cooperativo entre la Agencia Espacial Norteamericana NASA y el Ministerio de Economía e Industria del Japón (METI), con la colaboración de científicos y organizaciones industriales de ambos países. El equipo científico lo componen miembros de los Estados Unidos, Japón, Francia y Australia. El instrumento ASTER opera con tres subsistemas independientes. Cada una de ellas trabaja en una región del espectro electromagnético diferente (el VNIR, SWIR y TIR), con su propio telescopio, cuya construcción y mantenimiento está a cargo de compañías japonesas diferentes.

El sensor del Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection (ASTER) va transportado por el satélite TERRA, brindando una resolución espacial de 15 m (bandas visibles e infrarrojo cercano VNIR), 30 m (infrarrojo de onda corta SWIR), y 90 m (infrarrojo térmico TIR), en la Tabla No. 6 y Figura No. 27 se observan ciertas características importantes del sensor ASTER.

Tabla No. 6 Características sensor ASTER

ASTER = Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer				
Banda	Rango (μm)	Centro	Zona	Resolucion (m)
1 (Nadir looking)	{0,52 - 0,60}	0.56	VNIR	15
2 (Nadir looking)	{0,63 - 0,69}	0.66	VNIR	15
3 (Nadir looking)	{0,76 - 0,86}	0.81	VNIR	15
3 (Backward looking)	{0,76 - 0,86}	0.81	VNIR	15
4	{1,6 - 1,7}	1.65	SWIR	30
5	{2,145 - 2,185}	2.17	SWIR	30
6	{2,185 - 2,225}	2.21	SWIR	30
7	{2,235 - 2,285}	2.26	SWIR	30
8	{2,295 - 2,365}	2.33	SWIR	30
9	{2,360 - 2,430}	2.40	SWIR	30
10	{8,125 - 8,475}	8.30	TIR	90
11	{8,475 - 8,825}	8.65	TIR	90
12	{8,925 - 9,275}	9.10	TIR	90
13	{10,25 - 10,95}	10.60	TIR	90
14	{10,95 - 11,65}	11.30	TIR	90

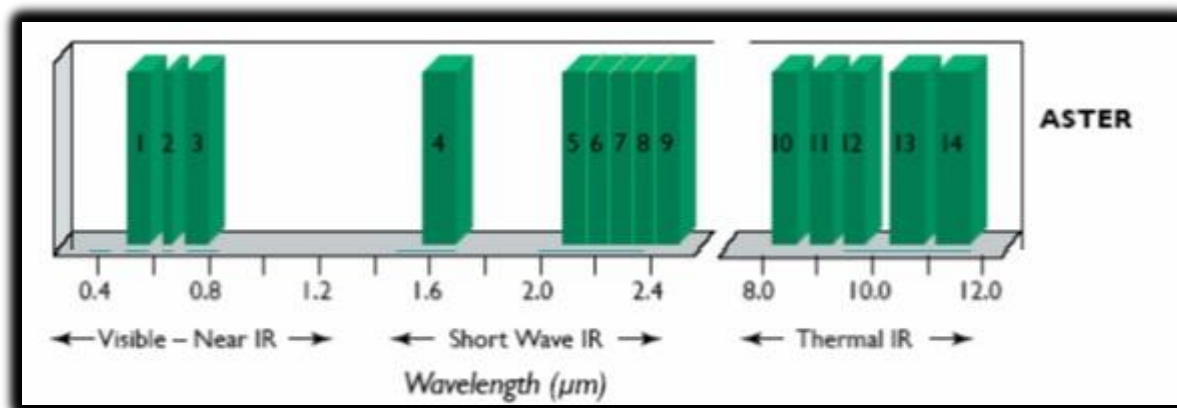


Figura No. 27 Longitud de Onda de una Imagen ASTER

En la siguiente Figura No. 28 podemos observar la diferencia entre el sensor ASTER y un sensor LANDSAT TM.

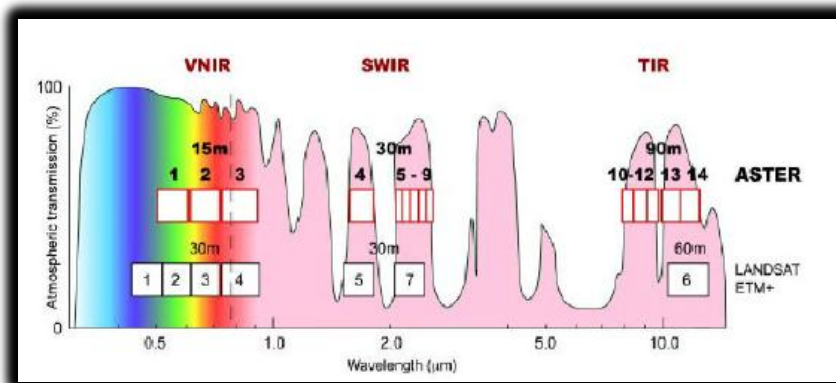


Figura No. 28 Diferencia entre sensor ASTER y LANDSAT

Las dos imágenes del sensor ASTER se hallan en formato .hdf, el que es un formato independiente de plataforma utilizada para bajar la información al segmento tierra, utiliza una estructura lógica que lo convierte en un dato auto-descriptivo, permitiendo la inclusión de grandes cantidades de información: origen, lugar de procesamiento, calibración de datos, efemérides y navegación de la Imagen, calidad de los datos, conversiones geográficas y los valores de la Imagen en sí en un mismo archivo.

Las imágenes ASTER utilizadas son:

AST_L1B_00301282004154416_20070619025342_16934.hdf del año 2004 y, AST_L1B_00302052007154349_20070320103114_15816 del año 2007, las mismas que tienen un nivel de calibración L1B.

3.3 PREPARACIÓN Y CORRECCIÓN DE IMÁGENES ASTER.-

Para la integración de la información de las imágenes ASTER se utilizó el software ENVI, donde se preparó y calibró las imágenes considerando su header file que conlleva la información de adquisición de la Imagen y el número de bandas.

En la siguiente Figura No 29, se puede observar la información que comprende el header file de la Imagen AST_L1B_00301282004154416_20070619025342_16934.

```
Global Attributes: AST_L1B_00301282004154416_20070619025342_16934.hdf
File
Attribute #1: "HDFEOSVersion"
"HDFEOS_V2.13"
Attribute #2: "StructMetadata.0"
"GROUP=SwathStructure
GROUP=SWATH_1
SwathName="VNIR_Swath"
GROUP=Dimension
OBJECT=Dimension_1
DimensionName="GeoTrack"
Size=11
END_OBJECT=Dimension_1
OBJECT=Dimension_2
DimensionName="GeoXtrack"
Size=11
END_OBJECT=Dimension_2
OBJECT=Dimension_3
DimensionName="ImageLine"
Size=4200
END_OBJECT=Dimension_3
OBJECT=Dimension_4
DimensionName="ImagePixel"
Size=4980
END_OBJECT=Dimension_4
OBJECT=Dimension_5
DimensionName="ImageLine3B"
Size=4600
END_OBJECT=Dimension_5
END_GROUP=Dimension
GROUP=DimensionMap
OBJECT=DimensionMap_1
GeoDimension="GeoTrack"
DataDimension="ImageLine"
Offset=0
Increment=420
END_OBJECT=DimensionMap_1
OBJECT=DimensionMap_2
GeoDimension="GeoXtrack"
DataDimension="ImagePixel"
```

Figura No. 29 Header File de Imagen ASTER 16934

En el gráfico No 30, se puede observar la información que comprende el header file de la Imagen AST_L1B_00302052007154349_20070320103114_15816

```
Global Attributes: AST_L1B_00302052007154349_20070320103114_15816.hdf
File
Attribute #1: "HDFEOSVersion"
"HDFEOS_V2.13"
Attribute #2: "StructMetadata.0"
"GROUP=SwathStructure
GROUP=SWATH_1
SwathName="VNIR_Swath"
GROUP=Dimension
OBJECT=Dimension_1
DimensionName="GeoTrack"
Size=11
END_OBJECT=Dimension_1
OBJECT=Dimension_2
DimensionName="GeoXtrack"
Size=11
END_OBJECT=Dimension_2
OBJECT=Dimension_3
DimensionName="ImageLine"
Size=4200
END_OBJECT=Dimension_3
OBJECT=Dimension_4
DimensionName="ImagePixel"
Size=4980
END_OBJECT=Dimension_4
OBJECT=Dimension_5
DimensionName="ImageLine3B"
Size=4600
END_OBJECT=Dimension_5
END_GROUP=Dimension
GROUP=DimensionMap
OBJECT=DimensionMap_1
GeoDimension="GeoTrack"
DataDimension="ImageLine"
Offset=0
Increment=420
END_OBJECT=DimensionMap_1
OBJECT=DimensionMap_2
```

Figura No. 30 Header File de Imagen ASTER 15816

La Imagen contiene una calibración de nivel L1B, por lo que tiene una banda extra denominada 3B, la misma que es útil para la generación de los Modelos digitales de Elevación (DEM) por sus siglas en inglés, así como podemos observar en la siguiente Figura No 31.

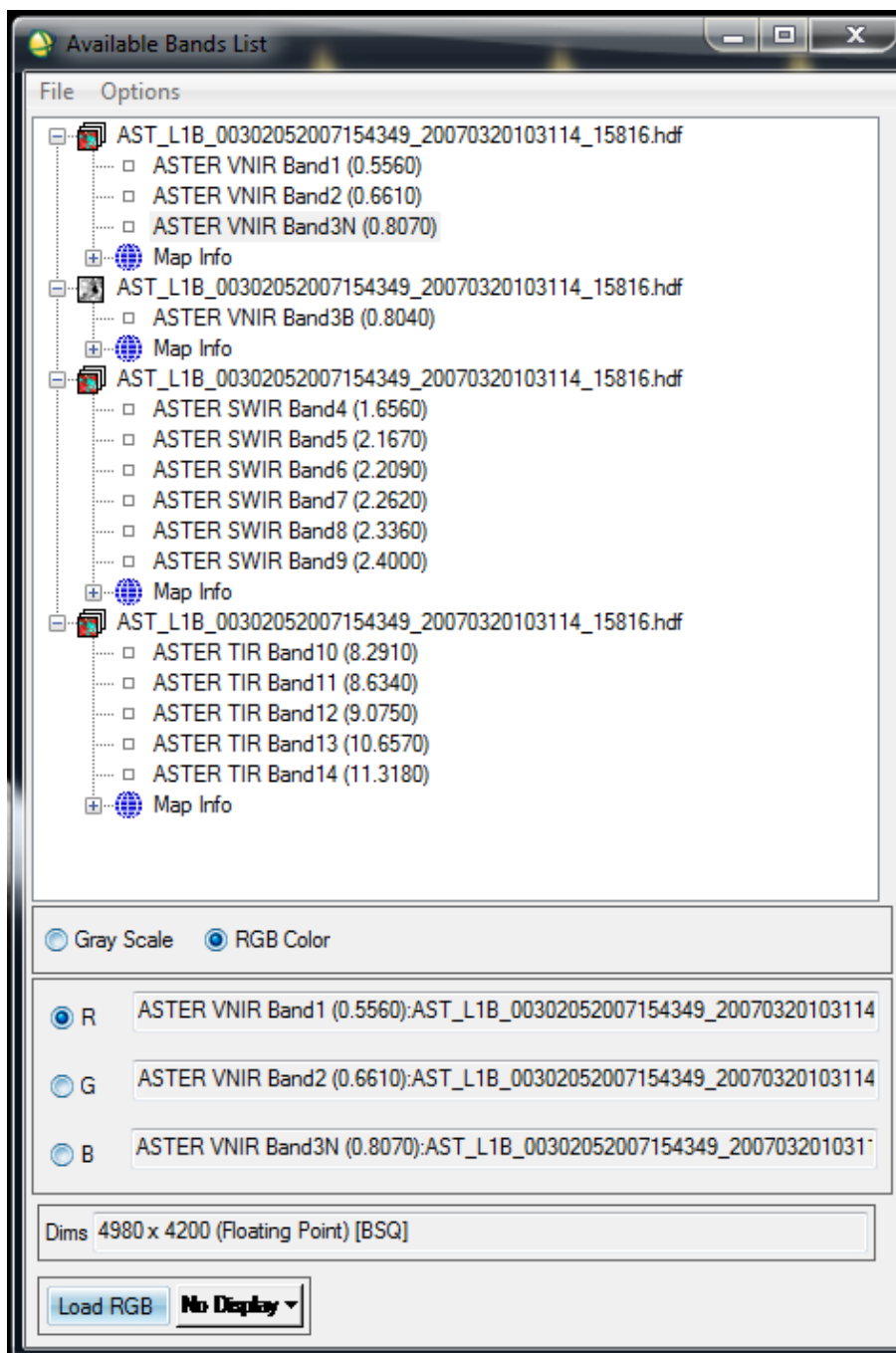


Figura No. 31 Bandas disponibles de Imagen ASTER

Con la extracción de cada una de las bandas se procede a la combinación de las bandas para dar la composición de la Imagen multiespectral, tal como se observa en la Imagen No 16.

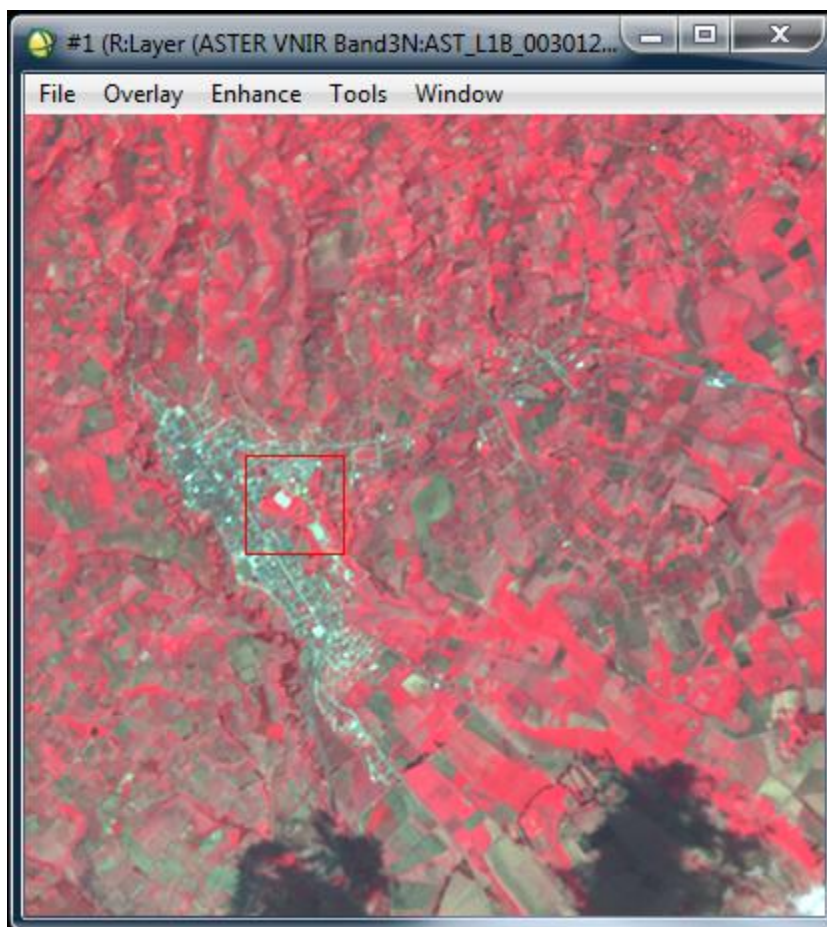


Imagen No. 16 Multiespectral ASTER bandas (3,2,1)

Cada generación de sensores muestra mejoras en la adquisición de los datos y en la calidad de la Imagen respecto a las generaciones anteriores. Sin embargo, todavía existen algunas anomalías que son inherentes a los sensores y que pueden ser corregidas aplicando fórmulas matemáticas derivadas de las distorsiones

Las dos imágenes satelitales tendrán un tamaño de 1920 x 1220 columnas x filas, estandarizando el tamaño para todo tipo de análisis estadístico posterior.

Generalmente, hay dos tipos de corrección de datos: radiométrica y geométrica. La corrección radiométrica considera las variaciones en las intensidades del píxel (números digitales que no son causadas por el objeto o la escena que está siendo escaneada). Estas variaciones incluyen:

- Diferencia de sensibilidad o mal funcionamiento de los detectores
- Efectos topográficos
- Efectos atmosféricos

La corrección geométrica considera errores en las posiciones relativas de los píxeles. Estos errores son incluidos por:

- Geometría de visión del sensor
- Variaciones del terreno

3.3.1 HOMOGENIZACIÓN DE HISTOGRAMAS.-

En este proceso se utilizó la herramienta de Histogram Match de la plataforma de ERDAS IMAGINE 2011 el cual nos permitió convertir el histograma de una Imagen con respecto a otra, es decir tener una semejanza en histogramas entre las dos imágenes satelitales.

Para este caso se procedió a homogenizar la Imagen del 2007 respecto a la Imagen del 2004.

En las siguientes Tablas No. 7 y 8, se observa el cambio en los valores de los Niveles digitales antes y después del cambio y su semejanza de acuerdo a la Imagen del 2004 en la Tabla No. 9

Tabla No. 8 Imagen 2007 previo Histogram Match

Row	1349	1350	1351	1352	1353	1354	1355	1356	1357	1358	1359	1360	1361
285	71	72	72	73	75	77	74	73	73	73	74	76	78
286	72	73	72	73	75	76	74	73	73	73	75	77	76
287	73	73	71	71	75	76	74	74	73	73	75	76	75
288	73	72	71	73	76	74	73	74	72	73	73	74	74
289	73	71	71	74	76	74	73	73	73	73	72	73	73
290	72	71	73	75	75	73	74	74	73	72	73	72	71
291	71	73	74	74	74	75	75	74	73	73	74	72	71
292	72	74	72	74	77	76	75	73	72	73	74	73	71
293	72	73	73	74	77	76	73	73	73	73	74	73	72
294	71	73	74	73	75	75	73	73	74	74	72	72	73
295	71	73	74	73	76	76	74	72	74	74	73	72	73
296	73	73	73	73	72	74	73	72	73	73	72	73	73
297	73	73	73	73	73	72	73	74	73	73	72	73	73
298	73	72	74	74	74	73	73	75	72	71	73	73	73
299	73	73	72	73	73	74	73	75	75	72	72	73	73
300	72	72	72	73	73	73	74	75	74	72	73	74	72
301	73	73	72	73	73	75	74	74	72	71	73	74	72
302	73	74	73	73	73	74	74	73	72	73	73	73	73
303	73	73	73	73	72	73	73	72	73	75	74	73	74
304	75	73	73	73	73	73	72	74	75	72	71	72	72
305	75	73	72	72	73	74	75	74	75	73	70	71	73
306	73	72	72	72	71	73	75	76	73	71	71	72	73
307	73	73	73	72	72	73	74	73	72	71	72	74	74

Tabla No. 7 Imagen 2007 ppsterior Histogram Match

Row	1349	1350	1351	1352	1353	1354	1355	1356	1357	1358	1359	1360	1361
285	66	67	67	67	69	71	68	67	67	67	68	70	72
286	67	67	67	67	69	70	68	67	67	67	69	71	70
287	67	67	66	66	69	70	68	68	67	67	69	70	69
288	67	67	66	67	70	68	67	68	67	67	67	68	68
289	67	66	66	68	70	68	67	67	67	67	67	67	67
290	67	66	67	69	69	67	68	68	67	67	67	67	66
291	66	67	68	68	68	69	69	68	67	67	68	67	66
292	67	68	67	68	71	70	69	67	67	67	68	67	66
293	67	67	67	68	71	70	67	67	67	67	68	67	67
294	66	67	68	67	69	69	67	67	68	68	67	67	67
295	66	67	68	67	70	70	68	67	68	68	67	67	67
296	67	67	67	67	67	68	67	67	67	67	67	67	67
297	67	67	67	67	67	67	67	68	67	67	67	67	67
298	67	67	68	68	68	67	67	67	69	67	66	67	67
299	67	67	67	67	67	68	67	69	69	67	67	67	67
300	67	67	67	67	67	67	68	68	68	67	67	68	67
301	67	67	67	67	67	69	68	68	67	66	67	68	67
302	67	68	67	67	67	68	68	67	67	67	67	67	67
303	67	67	67	67	67	67	67	67	67	69	68	67	68
304	69	67	67	67	67	67	67	67	68	69	67	66	67
305	69	67	67	67	67	68	69	68	69	67	66	66	67
306	67	67	67	67	66	67	69	70	67	66	66	67	67
307	67	67	67	67	67	67	68	67	67	66	67	68	68

Tabla No. 9 Niveles digitales de Imagen 2004

Row	1349	1350	1351	1352	1353	1354	1355	1356	1357	1358	1359	1360	1361
285	67	66	66	68	70	70	68	67	67	66	69	73	71
286	69	67	65	67	70	70	68	68	67	67	69	71	71
287	68	67	65	66	70	69	67	67	66	68	70	70	70
288	67	65	66	69	70	69	68	67	67	68	69	69	67
289	64	65	69	70	69	68	69	68	68	67	67	68	67
290	66	67	68	69	69	70	70	68	68	67	67	67	67
291	67	67	68	69	71	70	69	68	68	68	67	66	66
292	66	67	68	70	72	68	68	68	67	67	68	67	65
293	66	68	68	70	72	68	67	68	67	68	69	66	66
294	67	69	68	68	70	69	67	67	69	69	68	67	67
295	67	68	67	67	68	69	68	68	69	68	66	67	68
296	66	67	68	67	66	68	68	68	69	68	66	68	68
297	66	67	68	68	68	67	68	68	68	67	67	69	68
298	66	67	67	69	69	68	68	68	66	67	68	68	66
299	67	66	67	69	69	69	68	68	66	66	67	67	66
300	67	66	67	69	68	68	68	68	66	67	68	67	67
301	68	67	67	68	68	68	69	67	67	68	67	66	67
302	67	67	67	67	69	69	68	67	67	67	67	67	66
303	69	68	67	67	69	68	67	68	69	68	68	68	66
304	68	66	65	67	68	67	67	70	70	67	67	67	67
305	66	66	66	67	68	68	69	69	66	66	66	67	67
306	67	67	66	67	68	70	70	68	64	65	67	66	66
307	68	67	67	67	68	70	68	65	64	66	66	67	69

3.4 CORRECCIÓN RADIOMÉTRICA.-

La corrección atmosférica sirvió para eliminar el efecto de la dispersión de la radiación electromagnética originada los gases y partículas en suspensión de la atmósfera.

Para que las variaciones en los modelos fueran independientes de las condiciones atmosféricas. Este procedimiento se realizó de acuerdo a las recomendaciones que ofrece el United States Geological Survey USGS, sobre la plataforma ERDAS IMAGINE 2011, con la herramienta Radiometric Enhancement con el método Haze Reduction.

En la siguiente imágenes No. 17, 18, 19, 20, podemos observar la diferencia entre una Imagen con corrección radiométrica y una sin aplicar la respectiva corrección, respectivamente para cada una de las imágenes correspondientes a los años 2004 y 2007.

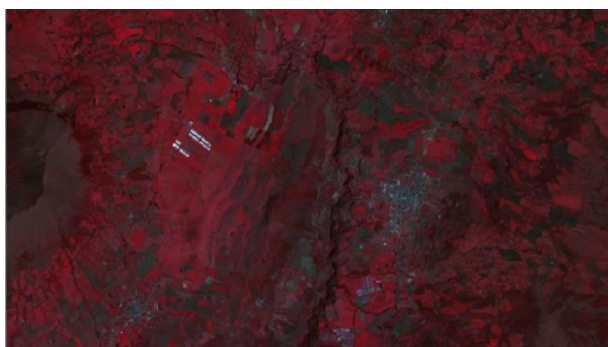


Imagen No. 17 Raster 2004 sin corrección radiométrica

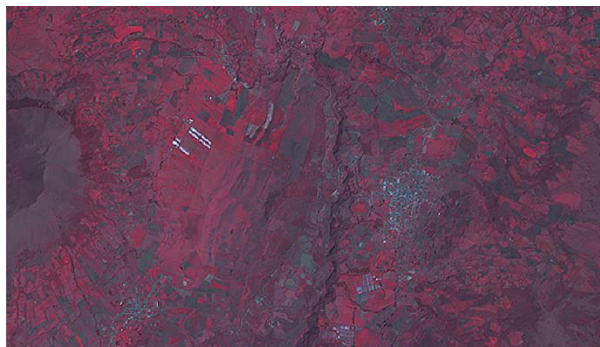


Imagen No. 18 Raster 2004 con corrección radiométrica



Imagen No. 19 Raster 2007 sin corrección radiométrica



Imagen No. 20 Raster 2007 con corrección radiométrica

3.5 CORRECCIÓN DE SOMBREADO TOPOGRÁFICO.-

Para la aplicación de este proceso de corrección se adquirió previamente el DTM del área de estudio proporcionado por el Instituto Geográfico Militar (IGM) con el cual se generó un hillshade mediante el software de ArcGis.

Mediante la herramienta de Topographic Normalized de ERDAS IMAGINE 2011, se realiza la corrección por sombreado topográfico a fin de obtener un realce en las zonas que tienen sombra debido a la pendiente del sector.

En las siguientes imágenes No. 21, 22, 23,24, se observa la diferencia de las imágenes con la aplicación de sombreado topográfico y son la aplicación.

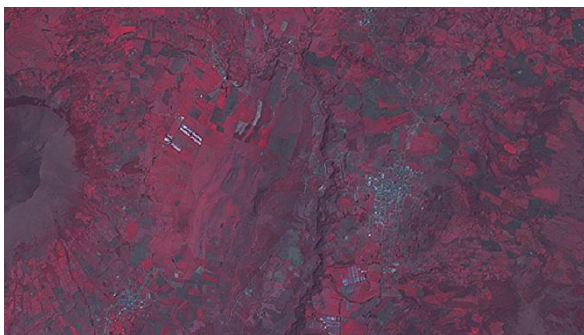


Imagen No. 21 Raster 2004 sin sombreado topográfico

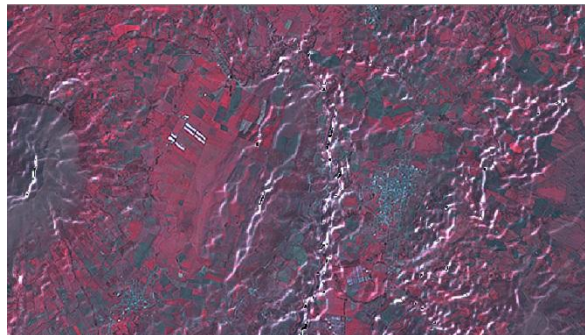


Imagen No. 22 Raster 2004 con sombreado topográfico

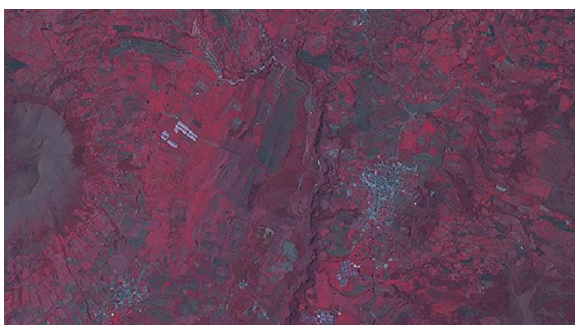


Imagen No. 23 Raster 2007 sin sombreado topográfico

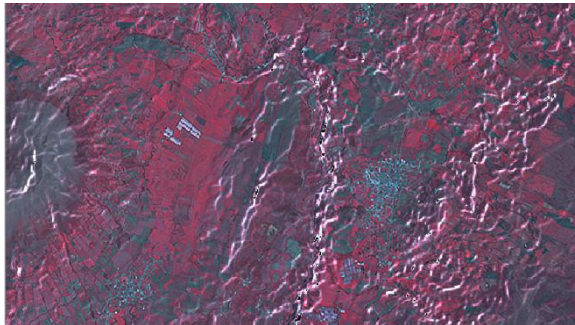


Imagen No. 24 Raster 2007 con sombreado topográfico

Esta corrección es muy útil cuando el área de análisis tiene pendientes muy pronunciadas lo que provoca una gran cantidad de sombras, sin embargo el área de estudio para el presente análisis no presenta este tipo de características al contrario es una zona con pendientes homogéneas e inferiores a un 20%, por lo que el uso de esta corrección no es útil para los siguientes análisis.

3.6 GENERACIÓN DE INFORMACIÓN PARA ANÁLISIS DE ACUERDO A METODOLOGÍAS PROPUESTAS.-

A partir de la preparación y corrección de las imágenes satelitales se ha procedido con la ejecución de cada una de las metodologías, con el uso de paquetes informáticos especializados para análisis de imágenes e información espacial tales como: ERDAS, ARCGIS, ENVI.

3.6.1 COMPOSICIÓN DE COLOR.-

Con las imágenes preparadas se procede a generar un realce radiométrico mediante la opción de extracción del Índice de Vegetación en Diferencias Normalizadas por sus siglas en inglés (NDVI), del módulo de Image Analysis del software ARCGIS v.10.0.

El NDVI constituye una medida de la actividad fisiológica de las plantas, esta función se calcula mediante los siguientes algoritmos.

$$\text{NDVI} = ((\text{IR} - \text{R}) / (\text{IR} + \text{R}))$$

Donde,

IR = banda infrarrojo

R = banda rojo

Este proceso se puede visualizar en la siguiente Figura No.32

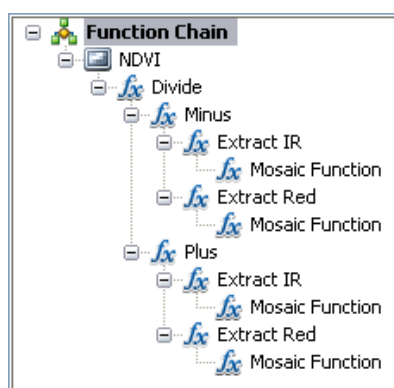


Figura No. 32 Ventana de proceso de generación de NDVI en ArcGis 10

En la Figura anterior se expresa los siguientes procesos

1. Definir el ingreso de bandas: IR and R
2. Restar una banda respecto a la otra: IR - R
3. Suma entre bandas: IR + R
4. Divide los dos procesos anteriores: (IR - R) / (IR + R)

El proceso de generación de NDVI se aplica individualmente a cada una de las imágenes satelitales, obteniendo los siguientes resultados, en la siguiente Figura No. 33 se observa el resultado de la Imagen ASTER del año 2004.

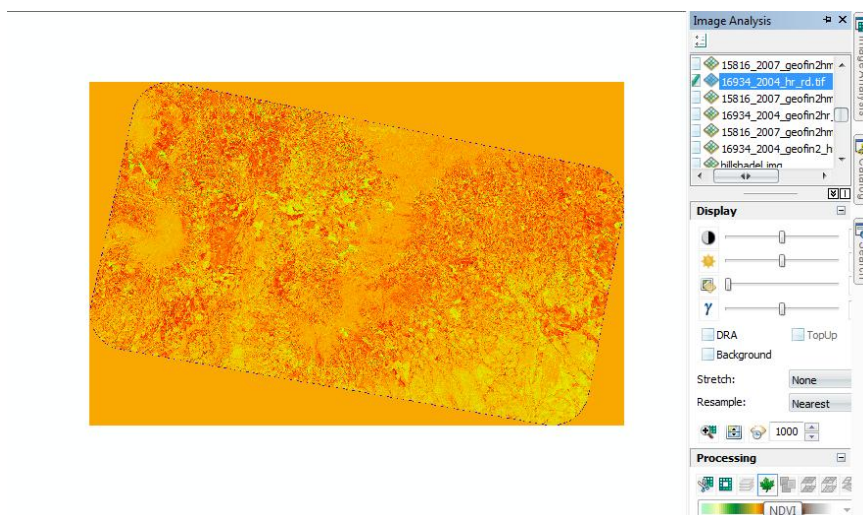


Figura No. 33 Resultado de realce radiométrico Imagen ASTER año 2004

En la Figura No. 34 se observa la extracción de NDVI en la Imagen ASTER del año 2007, mediante el módulo de Image Analysis de ArcGis 10.

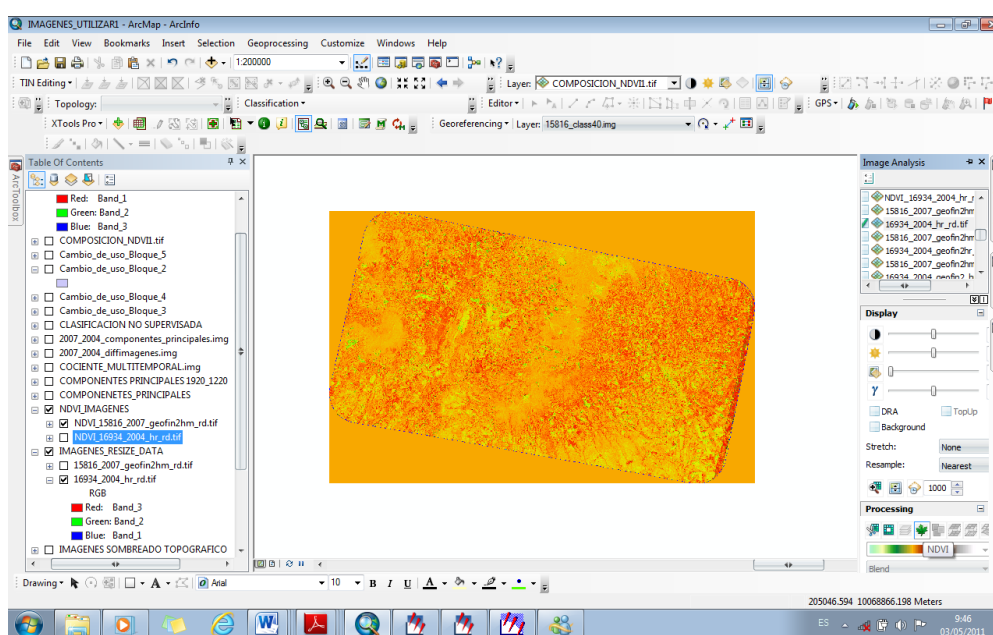


Figura No. 34 Resultado de realce radiométrico Imagen ASTER año 2007

Una vez generados los realces radiométricos mediante la extracción del NDVI, se procede a realizar una composición de bandas multitemporales de estos dos procesos obteniendo una Imagen de dos bandas las mismas que representan los NDVI de los años 2004 y 2007 de las imágenes ASTER, seleccionando la banda del año 2004 para el canal rojo, para el canal verde

la banda del año 2007, dejando vacío el canal azul como se puede ver en la Figura No. 35 las propiedades de aplicar las características indicadas.

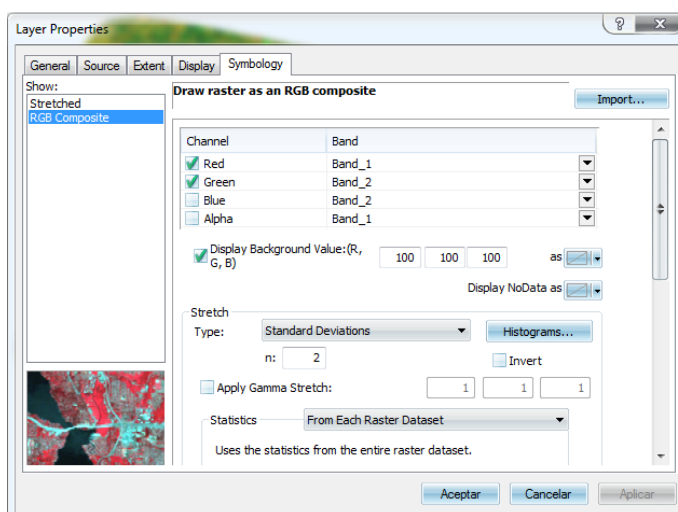


Figura No. 35 Propiedades de Composición de Colores

En la Imagen No. 25 se observa el resultado de aplicar la metodología de Composición de Colores entre las imágenes ASTER de los años 2004 y 2007.

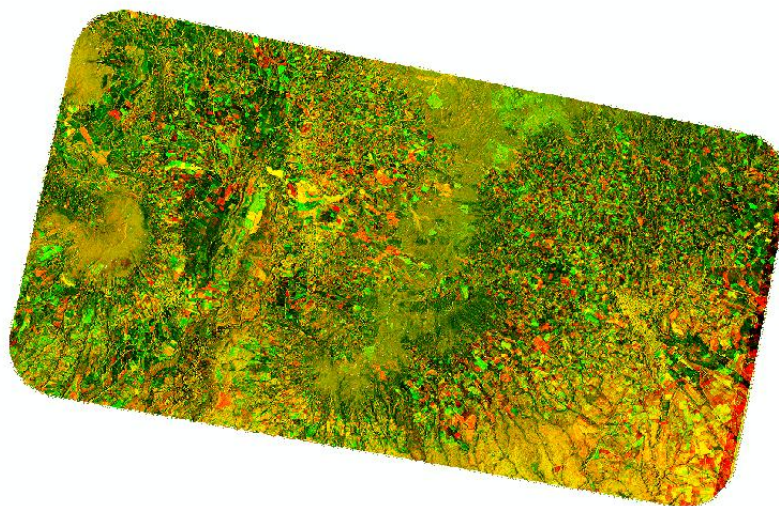


Imagen No. 25 Resultado de aplicar método de Composición de Colores

Los tonos de color amarillo representan áreas de mayor estabilidad, las zonas rojizas áreas que han reducido el nivel digital (ND) y las zonas de color verde indican un incremento en el ND.

3.6.2 DIFERENCIA DE IMÁGENES.-

El proceso de Diferencia de Imágenes se lo ha realizado mediante el módulo de Image Difference Change Detection del software ENVI 4.7, módulo que brinda un amigable interfaz en el ingreso de los datos, tal como se muestra en la Figura No. 36.

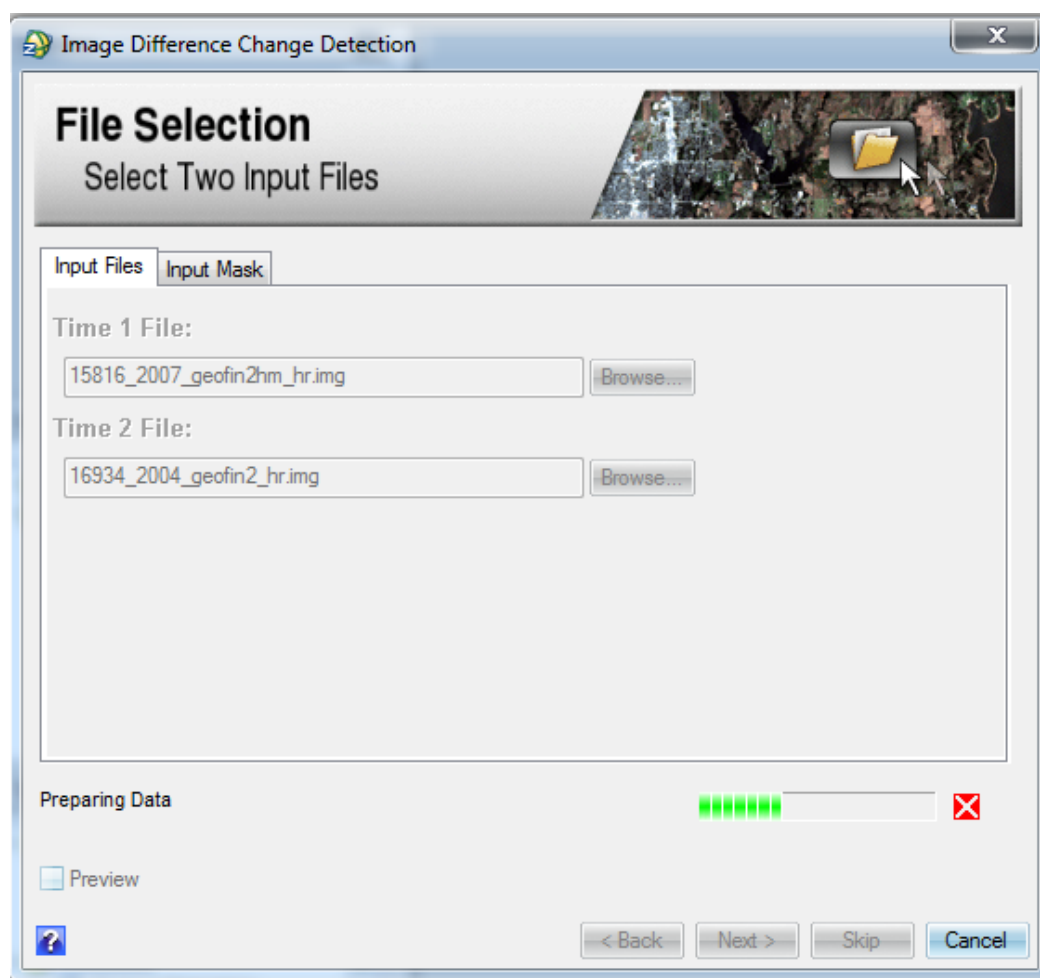


Figura No. 36 Ingreso de información para interfaz de Diferencia de Imágenes

Posterior al ingreso de las imágenes para el proceso de Diferencia de Imágenes se aplica a una determinada banda la diferencia de imágenes, para el proyecto se ha seleccionado la banda No. 3, que corresponde al canal rojo, tal como se puede visualizar en la Figura No. 37

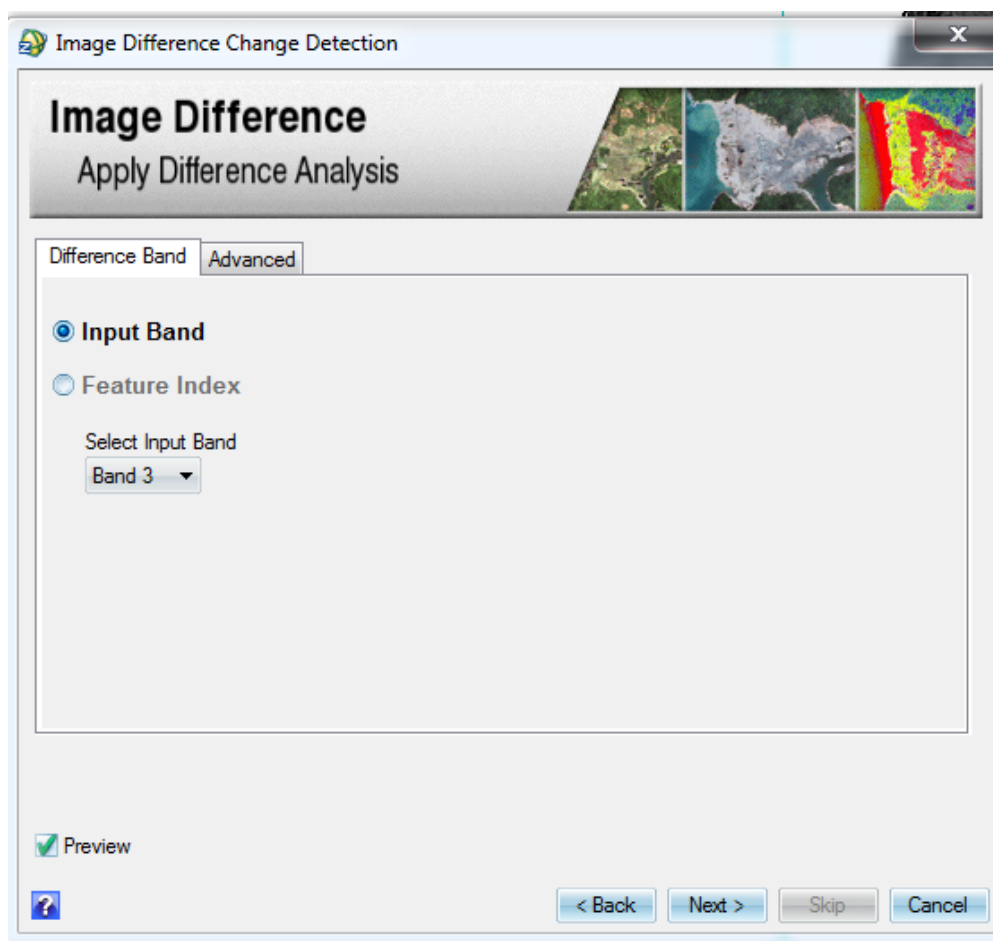


Figura No. 37 Selección de bandas para Diferencia de Imágenes

Seleccionada la banda utilizada en la Diferencia de Imágenes se procede a generar un archivo raster con el resultado del proceso aplicado de acuerdo a la Imagen No. 26.

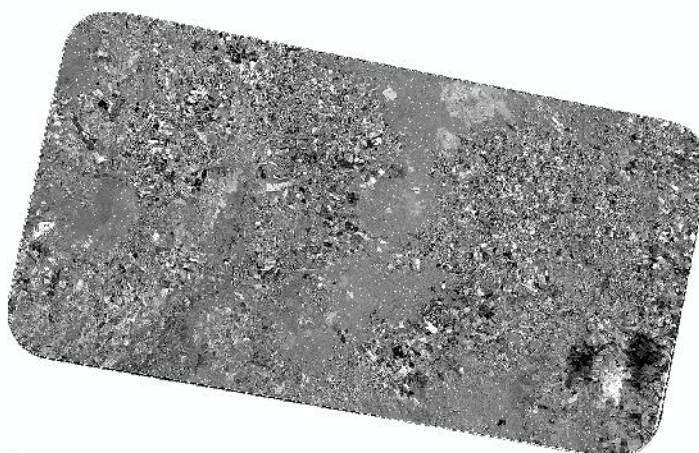


Imagen No. 26 Resultado de Proceso de Diferencia de Imágenes

Al ser una resta el producto generado, el resultado presenta píxeles con ND igual a cero para aquellos que aparecen con el mismo valor en ambas fechas de acuerdo a la banda seleccionada, también existirán valores de ND negativos o positivos interpretando valores de Incremento o Decremento al orden de ingreso de las imágenes a procesar mediante Diferencia de Imágenes, estos resultados se pueden visualizar en la Tabla No. 10 de atributos de los ND de la Imagen resultado generada mediante el software ERDAS con la opción de Metadata.

Tabla No. 10 Niveles digitales de Imagen resultado de proceso de Diferencia de Imágenes

Row	1096	1097	1098	1099	1100	1101	1102	1103	1104
1024	026.000	035.000	002.000	-037.000	-054.000	-046.000	-042.000	-052.000	-057.000
1025	035.000	027.000	-018.000	-048.000	-043.000	-037.000	-044.000	-038.000	-048.000
1026	004.000	-024.000	-027.000	-032.000	-036.000	-020.000	-013.000	-007.000	-042.000
1027	023.000	-032.000	-031.000	-022.000	-030.000	-007.000	-013.000	-016.000	-024.000
1028	095.000	016.000	-039.000	-053.000	-049.000	-020.000	-034.000	-018.000	012.000
1029	063.000	051.000	-038.000	-070.000	-066.000	-029.000	-026.000	008.000	023.000
1030	092.000	062.000	-026.000	-051.000	-057.000	-024.000	-012.000	022.000	031.000
1031	087.000	061.000	021.000	006.000	-021.000	-031.000	-043.000	001.000	054.000
1032	038.000	063.000	102.000	102.000	074.000	003.000	-086.000	-053.000	057.000
1033	034.000	052.000	077.000	089.000	110.000	045.000	-096.000	-116.000	-003.000
1034	079.000	077.000	052.000	041.000	072.000	069.000	-016.000	-076.000	-055.000
1035	078.000	067.000	051.000	049.000	059.000	097.000	073.000	005.000	-058.000
1036	068.000	058.000	058.000	077.000	087.000	131.000	097.000	015.000	-057.000
1037	017.000	048.000	052.000	068.000	079.000	097.000	091.000	051.000	-020.000
1038	-025.000	023.000	051.000	063.000	065.000	068.000	117.000	113.000	057.000
1039	-062.000	-001.000	083.000	081.000	079.000	086.000	103.000	052.000	071.000
1040	-068.000	-036.000	077.000	104.000	100.000	075.000	033.000	-016.000	059.000
1041	-058.000	-068.000	039.000	110.000	092.000	037.000	002.000	-011.000	034.000
1042	-028.000	023.000	095.000	120.000	062.000	021.000	017.000	021.000	008.000
1043	-061.000	008.000	077.000	075.000	032.000	028.000	037.000	066.000	014.000
1044	-058.000	-035.000	019.000	009.000	001.000	027.000	026.000	058.000	026.000
1045	-035.000	-038.000	-003.000	-026.000	-005.000	046.000	035.000	038.000	047.000
1046	-016.000	-025.000	-006.000	-031.000	000.000	074.000	077.000	037.000	023.000
1047	-009.000	-023.000	003.000	014.000	041.000	053.000	030.000	-019.000	-058.000
1048	010.000	-003.000	022.000	007.000	-024.000	-070.000	-089.000	-078.000	-077.000
1049	-016.000	001.000	011.000	-068.000	-113.000	-103.000	-080.000	-052.000	-059.000

3.6.3 COCIENTES MULTITEMPORALES.-

El proceso de cocientes multitemporales nos ofrece una valoración relativa al cambio ya que nos permite observar los cambios absolutos producidos en dos fechas distintas, es decir no es lo mismo que exista una reducción de 20 ND si el ND inicial es de 40 con otro que el ND sea de 250, la percepción de cambio en el primer caso sería de 50% caso contrario a la segunda opción.

Para la presente metodología se ha utilizado el software ENVI, mediante la herramienta de Band Math, tal como se muestra en la Figura No. 38.

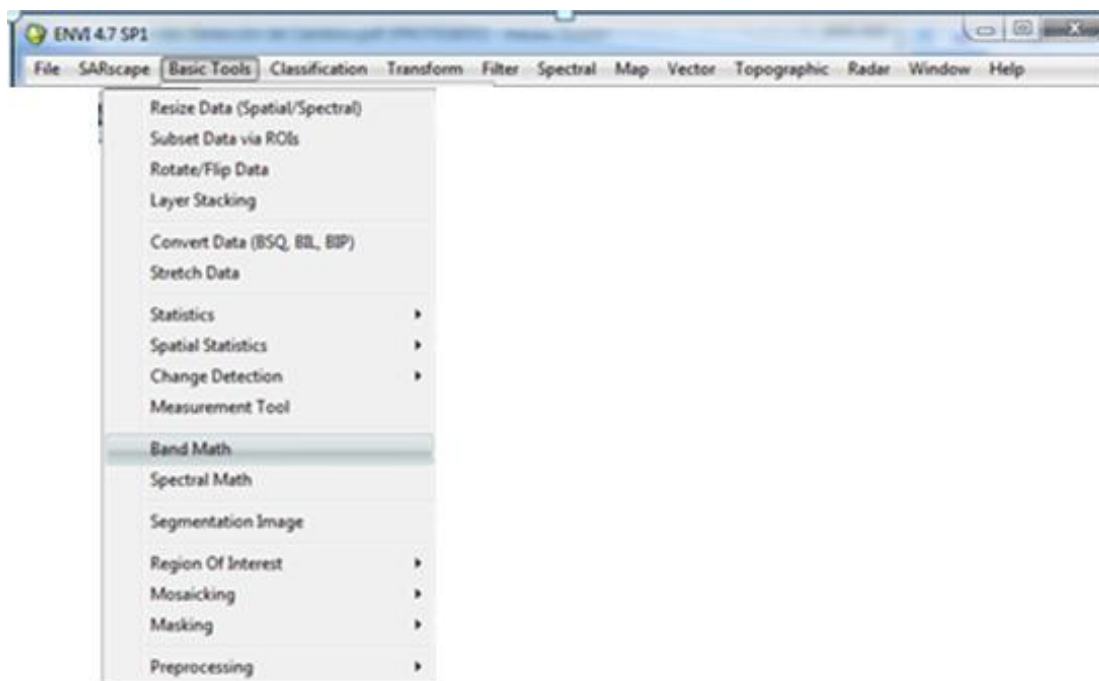


Figura No. 38 Herramienta Band Math de Envi

Se ha utilizado la fórmula indicada para índices multitemporales normalizados indicada con anterioridad en el Capítulo II.

$$ND_{i,j,c} = ((ND_{t2} / ND_{t1}) / (ND_{t2} / ND_{t1})) + 1) \times 127$$

Para el presente proceso se ha realizado el siguiente paso así como se indica en la siguiente Figura No.39.

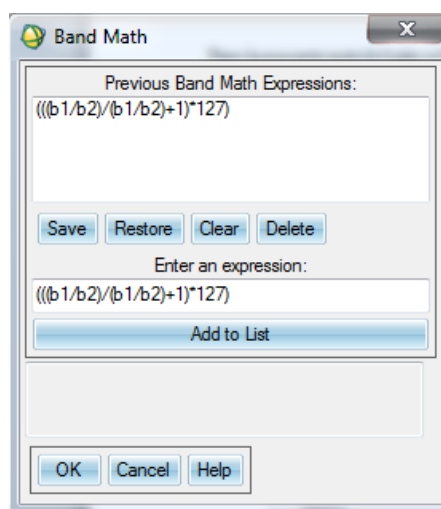


Figura No. 39 Proceso Band Math para Cocientes Multitemporales

Terminado el proceso mediante el software Envi se presenta el siguiente resultado El producto satelital resaltará las zonas con cambios ya que al generar el cociente, las zonas sin cambios presentarán un valor igual a la unidad, contrastando con los resultados en donde las zonas han presentado un cambio el ND resultado experimentará un incremento.

Para el presente proyecto únicamente se ha escogido como numerador al período del año 2007 y denominador al período del año 2004, manteniendo una secuencia similar en todas las metodologías aplicadas.

El resultado del proceso es un raster que se presenta en la siguiente Imagen No. 27.

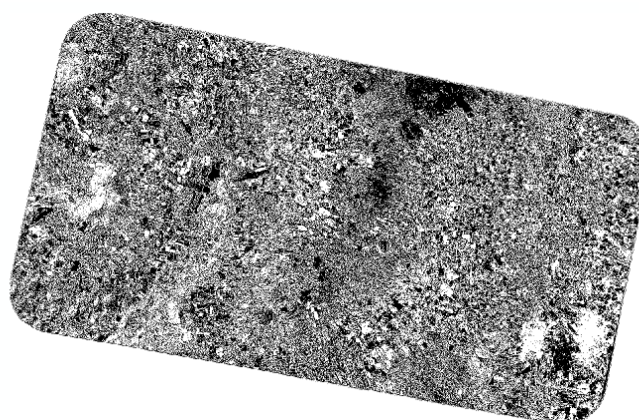


Imagen No. 27 Resultado de proceso Cocientes Multitemporales

La identificación de los ND de la Imagen resultado de la aplicación de Cocientes Multitemporales se lo puede visualizar en la Tabla No. 11.

Tabla No. 11 Resultado de ND de raster resultado de cocientes multitemporales

Row	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
753	255	255	255	255	255	255	255	255	255	255	255	255	0	25
754	255	255	255	255	255	255	255	255	255	255	255	255	0	255
755	255	255	255	255	255	255	255	255	255	255	255	255	0	255
756	255	255	255	255	255	255	255	255	255	255	255	255	0	255
757	255	255	255	255	255	255	255	255	255	255	255	255	0	255
758	255	255	255	255	255	255	255	255	255	255	255	255	0	255
759	255	255	255	255	255	255	255	255	255	255	255	255	0	255
760	255	255	255	255	255	255	255	255	255	255	255	255	0	255
761	255	255	255	255	255	255	255	255	255	255	255	255	0	255
762	255	255	255	255	255	255	255	255	255	255	255	255	0	255
763	255	255	255	255	255	255	255	255	255	255	255	255	0	255
764	255	255	255	255	255	255	255	255	255	255	255	255	0	255
765	255	255	255	255	255	255	255	255	255	255	255	255	0	255
766	255	255	255	255	255	255	255	255	255	255	255	255	0	255
767	255	255	255	255	255	255	255	255	255	255	255	255	0	255
768	255	255	255	255	255	255	255	255	255	255	255	255	0	255
769	255	255	255	255	255	255	255	255	255	255	255	255	0	255
770	255	255	255	255	255	255	255	255	255	255	255	255	0	255
771	255	255	255	255	255	255	255	255	255	255	255	255	0	255
772	255	255	255	255	255	255	255	255	255	255	255	255	0	255
773	255	255	255	255	255	255	255	255	255	255	255	255	0	255
774	255	255	255	255	255	255	255	255	255	255	255	255	0	255
775	255	255	255	255	255	255	255	255	255	255	255	255	0	255
776	255	255	255	255	255	255	255	255	255	255	255	255	0	255
777	255	255	255	255	255	255	255	255	255	255	255	255	0	255
778	255	255	255	255	255	255	255	255	255	255	255	255	0	255
779	255	255	255	255	255	255	255	255	255	255	255	255	0	255
780	255	255	255	255	255	255	255	255	255	255	255	255	0	255
781	255	255	255	255	255	255	255	255	255	255	255	255	0	255
782	255	255	255	255	255	255	255	255	255	255	255	255	0	255
783	255	255	255	255	255	255	255	255	255	255	255	255	0	255
784	255	255	255	255	255	255	255	255	255	255	255	255	0	255
785	255	255	255	255	255	255	255	255	255	255	255	255	0	255
786	255	255	255	255	255	255	255	255	255	255	255	255	0	255
787	255	255	255	255	255	255	255	255	255	255	255	255	0	255
788	255	255	255	255	255	255	255	255	255	255	255	255	0	255
789	255	255	255	255	255	255	255	255	255	255	255	255	0	255
790	255	255	255	255	255	255	255	255	255	255	255	255	0	255

3.6.4 COMPONENTES PRINCIPALES.-

Mediante esta técnica se reduce la dispersión de los datos, logrando una independencia de la información de una componente respecto a la otra.

De esta manera se puede pasar de 2, 3 o más bandas a tener 1, 2 o más componentes principales, donde la información se encuentre sintetizada, esto se logra a partir de la rotación y traslación de los píxeles de todas las bandas entre sí, tomadas de a dos, hacia dos nuevos ejes ortogonales.

La capacidad de síntesis propia del análisis de componentes principales (ACP) la hacen una técnica muy apropiada como filtro previo para el análisis multitemporal, cuando se van a utilizar varias imágenes en una sola clasificación. En ese caso, el ACP sirve para retener la información más significativa de cada período, posteriormente se combinan los componentes principales de cada fecha con el objeto de facilitar una mejor discriminación de coberturas con períodos estacionales marcados (Joly et al., 1983; Maselli et al., 1995, Siljeström y Moreno, 1995). Más original resulta su aplicación para estudiar series temporales de imágenes en estudios sobre cambio global de la vegetación (Eastman y Fulk, 1993) lo que permite obtener, además de las tendencias generales de las coberturas, información residual de gran interés para detectar anomalías

Para la realización del proceso de Componentes Principales para detección de cambios genera un archivo multitemporal de las imágenes satelitales de los años 2004 y 2007 del sensor ASTER (Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer), a bordo del satélite Terra lanzado en diciembre de 1999. Este sensor no incluye, una banda pancromática sino que dispone de tres bandas espectrales en la región del visible y el infrarrojo próximo (VIRP; 0.5- 1.0 μm) con alta resolución espacial (15m), así como seis bandas en el infrarrojo medio (IRM; 1.0-2.5 μm) con resolución espacial media (30m) y cuatro bandas en el infrarrojo térmico (IRT; 8.0-12.0 μm) con baja resolución espacial (90m) (Yamaguchi et al., 1998), se combinó las bandas de la región visible de resolución de 15m, de las dos imágenes en un sólo archivo, de tal manera que se enriquezca la clasificación espectral incorporando un componente temporal (Lo, 1986), mediante la opción de layer stacking de ENVI, tal como se muestra en la Figura No. 40.

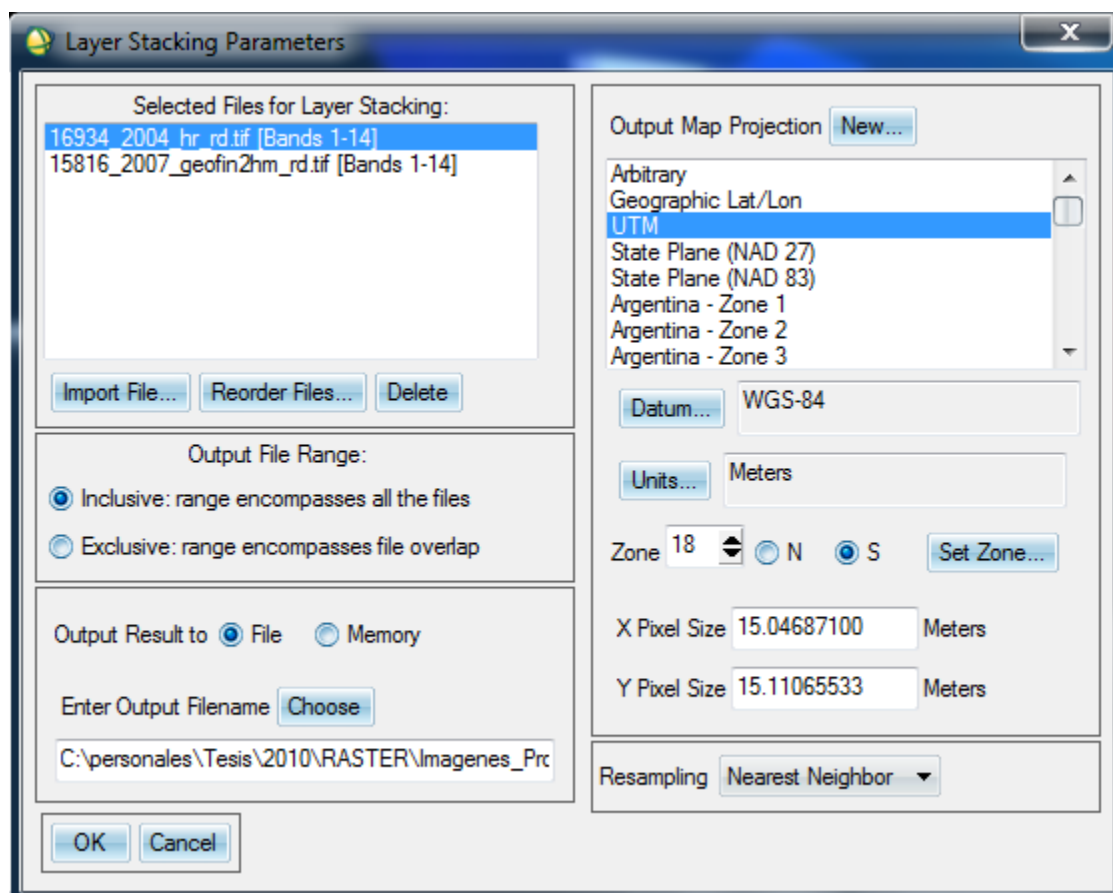


Figura No. 40 Combinación de Bandas de imágenes 16934 y 15816

Posterior al ejercicio de combinación de bandas obtenemos una imagen compuesta de 6 bandas la misma que es sometida a un proceso de componentes principales para su posterior análisis estadístico de acuerdo a los valores obtenidos de autovalores y autovectores generados (Riaño et al., 2002), el número de componentes es el mismo del total de las bandas analizadas, pero la forma de extraer estos componentes indica que solo los primeros tienen una información significativa. (Chuvieco, 2008).

Para este ejercicio se utiliza el módulo de Principal Components de ENVI 4.7 con la opción de Forward PC Rotation y Compute New Statics and Rotate, tal como se muestra en la Figura No. 41.

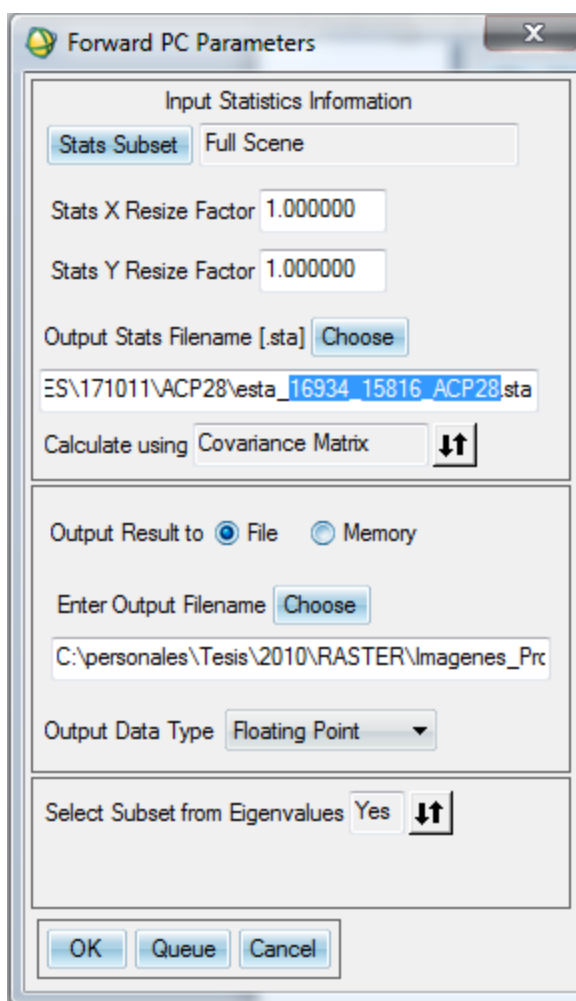


Figura No. 41 Interfaz para Componentes Principales de ENVI

Donde se obtiene un archivo raster que contiene 6 componentes principales los mismos que se someten al análisis de componentes principales (ACP) a fin de determinar cuáles son los componentes más representativos en la identificación de cambio de uso en las dos imágenes satelitales utilizadas.

Para el ACP se genera las matrices de varianza – covarianza y de autovectores que ayudan en la interpretación de la información tal como se muestra en las Tablas No. 12, 13, 14, y 15.

Tabla No. 12 Matriz de autovalores de los componentes principales de imagen multitemporal 16934_15816

Basic Stats	Min	Max	Mean	Stdev	Num	Eigenvalue
Band 1	-306.996826	315.483795	0.000001	189.297555	1	35833.564346
Band 2	-183.686829	178.295914	-0.000000	24.995089	2	624.754489
Band 3	-298.115509	292.375183	0.000000	22.909273	3	524.834799
Band 4	-178.524811	194.391449	0.000000	17.303526	4	299.412010
Band 5	-58.203999	91.117393	0.000000	3.894303	5	15.165594
Band 6	-63.268761	80.227119	-0.000000	2.899854	6	8.409153

Tabla No. 13 Matriz de varianza - covarianza de los componentes principales de imagen multitemporal 16934_15816

Covariance	Band 1	Band 2	Band 3	Band 4	Band 5	Band 6
Band 1	35833.564346	0.000003	-0.000001	0.000002	-0.000001	-0.000000
Band 2	0.000003	624.754489	0.000001	-0.000000	-0.000000	0.000000
Band 3	-0.000001	0.000001	524.834799	-0.000000	-0.000000	-0.000000
Band 4	0.000002	-0.000000	-0.000000	299.412010	-0.000000	0.000000
Band 5	-0.000001	-0.000000	-0.000000	-0.000000	15.165594	-0.000000
Band 6	-0.000000	0.000000	-0.000000	0.000000	-0.000000	8.409153

Tabla No. 14 Matriz de correlación de los componentes principales de imagen multitemporal 16934_15816

Correlation	Band 1	Band 2	Band 3	Band 4	Band 5	Band 6
Band 1	1.000000	0.000000	-0.000000	0.000000	-0.000000	-0.000000
Band 2	0.000000	1.000000	0.000000	-0.000000	-0.000000	0.000000
Band 3	-0.000000	0.000000	1.000000	-0.000000	-0.000000	-0.000000
Band 4	0.000000	-0.000000	-0.000000	1.000000	-0.000000	0.000000
Band 5	-0.000000	-0.000000	-0.000000	-0.000000	1.000000	-0.000000
Band 6	-0.000000	0.000000	-0.000000	0.000000	-0.000000	1.000000

Tabla No. 15 Matriz de autovectores de los componentes principales de imagen multitemporal 16934_15816

Eigenvector	Band 1	Band 2	Band 3	Band 4	Band 5	Band 6
Band 1	1.000000	0.000000	-0.000000	0.000000	-0.000000	-0.000000
Band 2	-0.000000	1.000000	0.000000	-0.000000	-0.000000	0.000000
Band 3	0.000000	-0.000000	1.000000	-0.000000	-0.000000	-0.000000
Band 4	0.000000	-0.000000	-0.000000	-1.000000	0.000000	-0.000000
Band 5	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	1.000000	-0.000000
Band 6	0.000000	-0.000000	0.000000	-0.000000	0.000000	1.000000

Al observar la matriz de autovalores se observa la magnitud del vector de cada uno de los nuevos componentes este valor en la matriz generada de autovalores corresponde a la varianza siendo esta el cuadrado de la desviación estándar, donde se puede determinar que los 3 primeros componentes corresponden al 99.13% de la varianza total, siendo para el primer componente 96,05% el segundo componente 1,67% y el tercer componente 1,41%, confirmando que el primer componente recoge la información común entre todas las bandas y las dos fechas, de acuerdo a la Tabla No. 16

Tabla No. 16 Autovectores de los componentes principales para las imágenes 16934 (año 2004) y 15816 (año 2007)

Eigenvector (Autovector)	Varianza	Band 1 (año 2004)	Band 2 (año 2004)	Band 3 (año 2004)	Band 4 (año 2007)	Band 5 (año 2007)	Band 6 (año 2007)
CP 1	96.05%	1.000000	0.000000	-0.000000	0.000000	-0.000000	-0.000000
CP 2	1.67%	-0.000000	1.000000	0.000000	-0.000000	-0.000000	0.000000
CP 3	1.41%	0.000000	-0.000000	1.000000	-0.000000	-0.000000	-0.000000

Obteniendo tres componentes principales en formato raster resultado del ACP generado al análisis multitemporal tal como se muestra en las Figuras No. 42, 43 y 44.

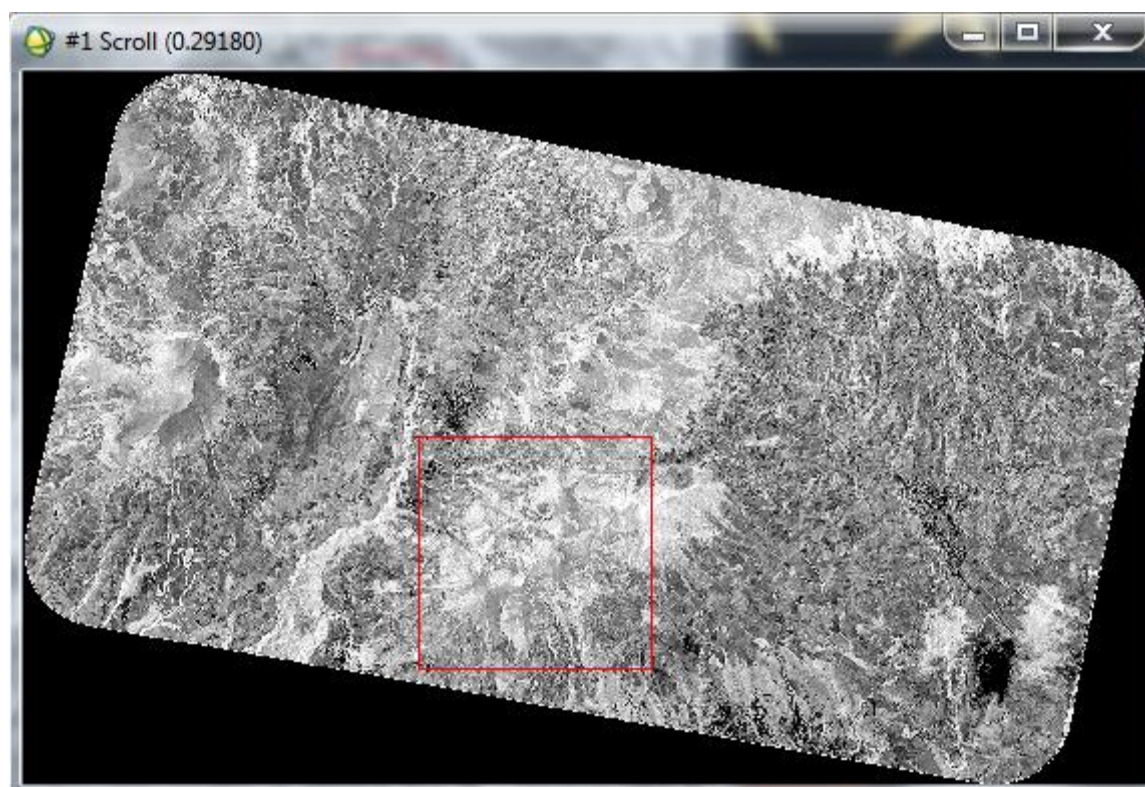


Figura No. 42 Primer componente principal

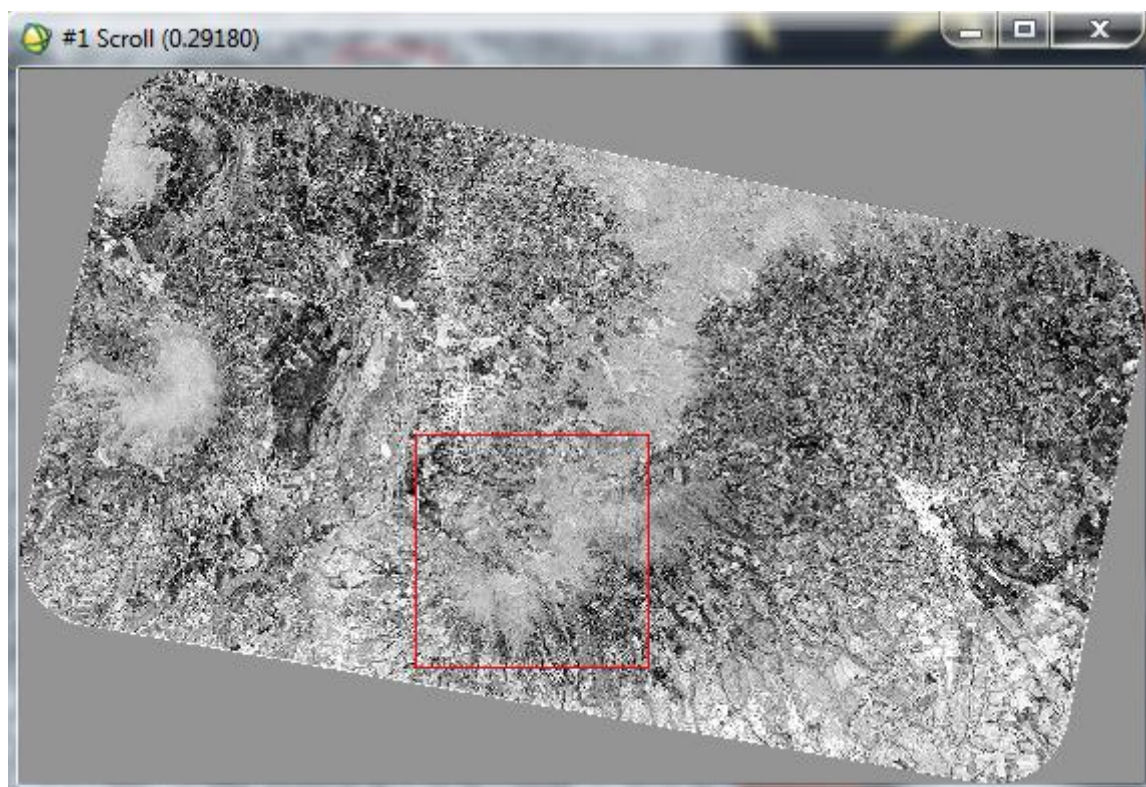


Figura No. 43 Segundo componente principal

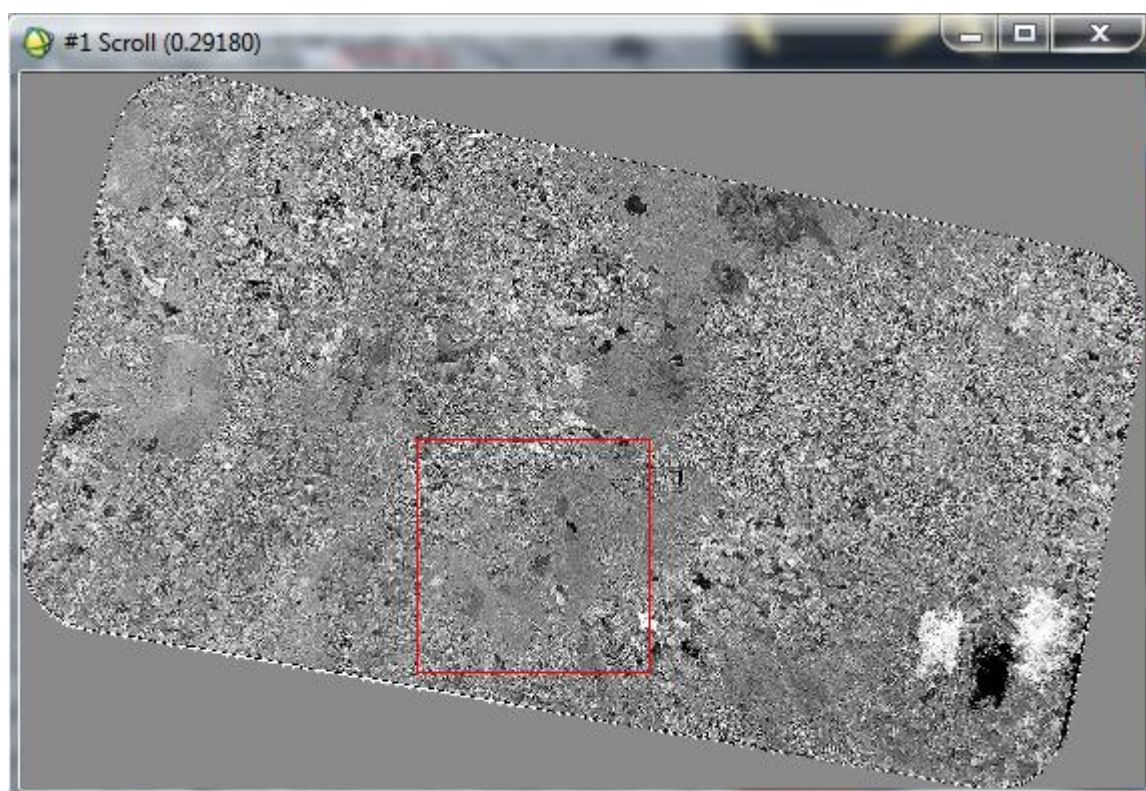


Figura No. 44 Tercer componente principal

3.6.5 ANALISIS MULTITEMPORAL DE IMÁGENES CLASIFICADAS.-

En la metodología de análisis multitemporal de imágenes clasificadas se ha utilizado el software de procesamiento digital de imágenes ENVI 4.7, realizando una clasificación no supervisada de 7 clases en cada una de las imágenes satelitales ASTER analizadas.

Para la generación de este proceso se utiliza el módulo de Classification con la opción de Unsupervised, seleccionando el algoritmo ISODATA, método que usa la fórmula de distancia espectral mínima para formar clúster promedios determinando un conjunto de firmas espectrales.

Este proceso se realiza en cada una de las imágenes satelitales a utilizar de forma independiente, como se muestra en las siguientes Figuras No. 45.

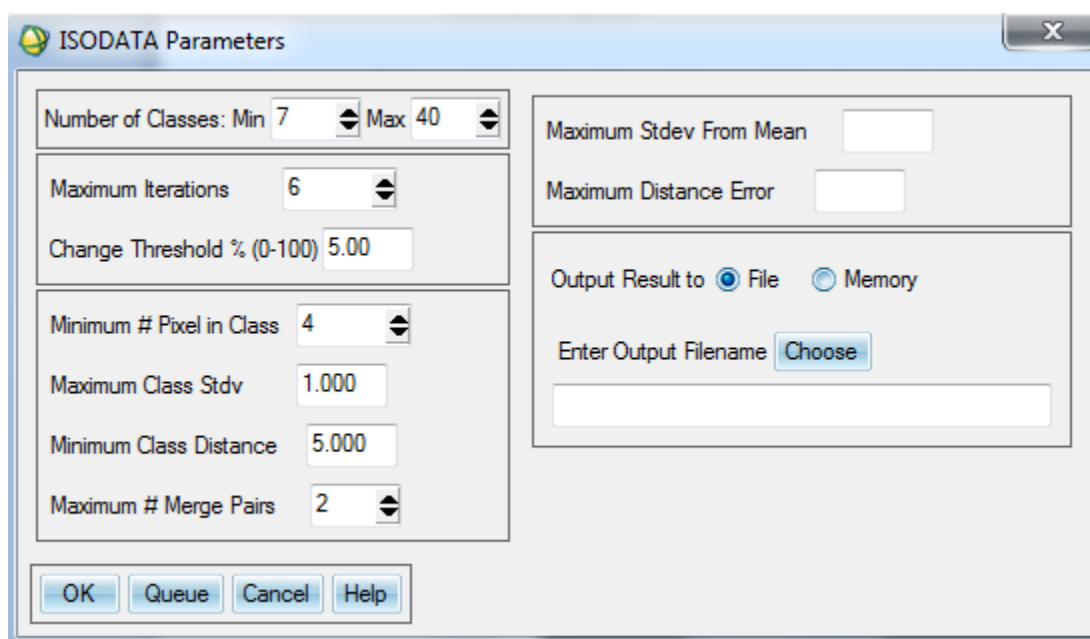


Figura No. 45 Interfaz de clasificación no supervisada

Posterior a este proceso se tienen dos imágenes clasificadas en 7 clases no supervisadas, tal como se muestra en las Imágenes No. 28 y 29, para el desarrollo de la caracterización de cada una de las clases se utiliza puntos GPS levantados en campo; la ubicación de los puntos de

control GPS han sido seleccionados de acuerdo a la accesibilidad y a la hegemonía de la cobertura.

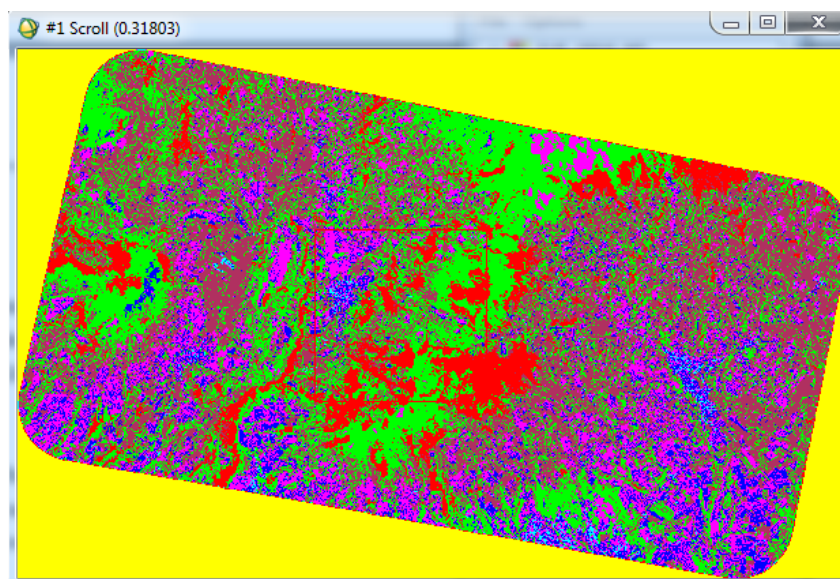


Imagen No. 28 Clasificación no supervisada 15816

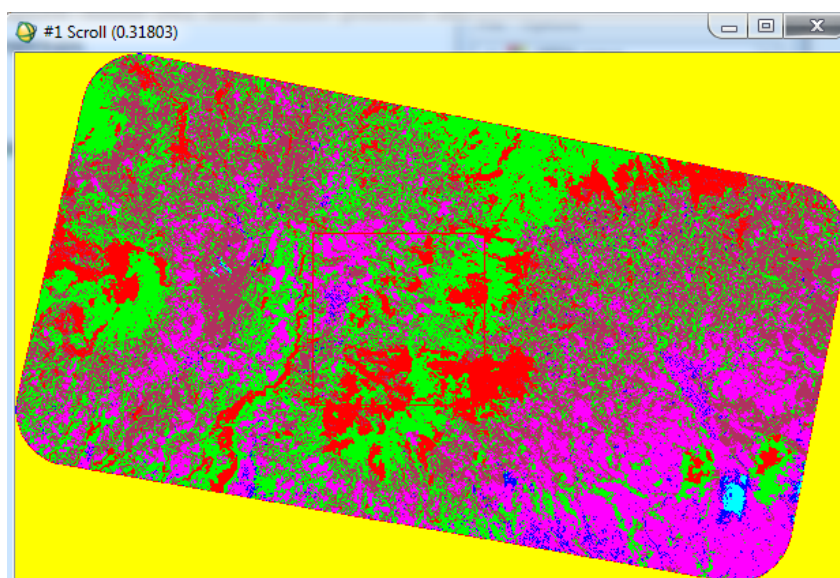
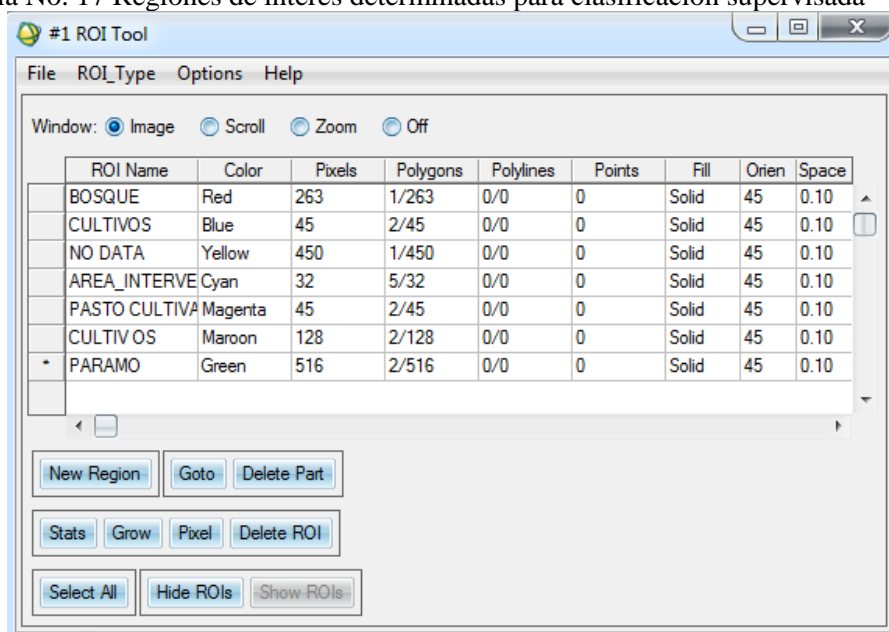


Imagen No. 29 Clasificación no supervisada 16934

Se selecciona los polígonos de entrenamiento o regiones de interés (ROI's) para ENVI a fin de proporcionar las áreas para la clasificación supervisada, las regiones de interés tienen las características de páramo, bosques, área_intervenida, pastos_cultivados, cultivos, no data, tal como se muestra en la tabla No.17.

Tabla No. 17 Regiones de interés determinadas para clasificación supervisada



ROI Name	Color	Pixels	Polygons	Polylines	Points	Fill	Orien	Space
BOSQUE	Red	263	1/263	0/0	0	Solid	45	0.10
CULTIVOS	Blue	45	2/45	0/0	0	Solid	45	0.10
NO DATA	Yellow	450	1/450	0/0	0	Solid	45	0.10
AREA_INTERVENIDA	Cyan	32	5/32	0/0	0	Solid	45	0.10
PASTO CULTIVADO	Magenta	45	2/45	0/0	0	Solid	45	0.10
CULTIVOS	Maroon	128	2/128	0/0	0	Solid	45	0.10
PARAMO	Green	516	2/516	0/0	0	Solid	45	0.10

Para la clasificación supervisada se utiliza el algoritmo de Minimum Distance (Distancia mínima), la misma que utiliza la media de las regiones de interés y calcula la distancia euclidiana de cada píxel desconocido clasificando todos los píxeles correspondientes a cada imagen satelital analizada.

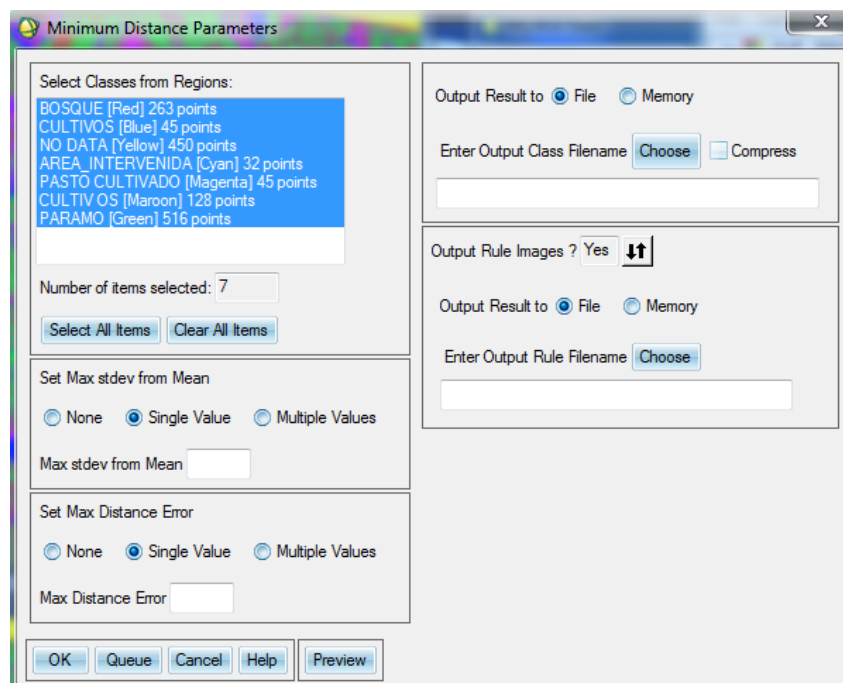


Figura No. 46 Interfaz de clasificación supervisada software ENVI

Continuando con el proceso se obtienen dos imágenes clasificadas tal como se muestra en las Imágenes No. 30 y 31.

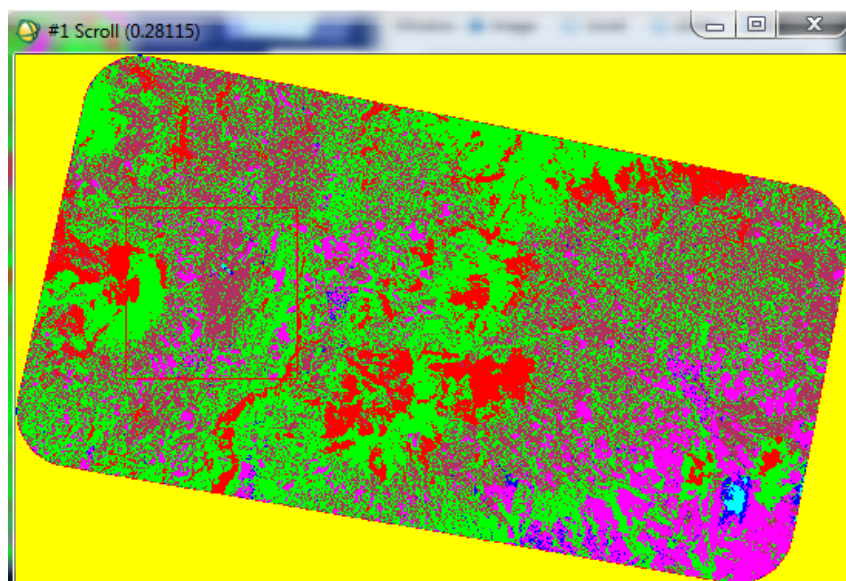


Imagen No. 30 Clasificación supervisada 16934

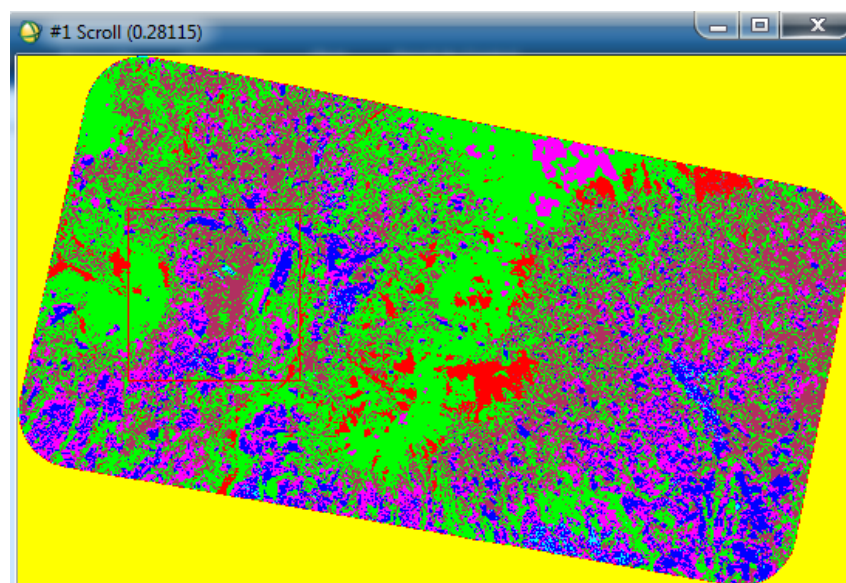


Imagen No. 31 Clasificación supervisada 15816

Posterior a la clasificación supervisada se procede a realizar una operación de filtro sobre cada una de las imágenes clasificadas mediante la opción de Majority Filter de ArcGis 10, utilizando una opción de cuatro celdas vecinas que mantendrán las esquinas de las regiones rectangulares, tal como se muestra en la Figura No. 47.

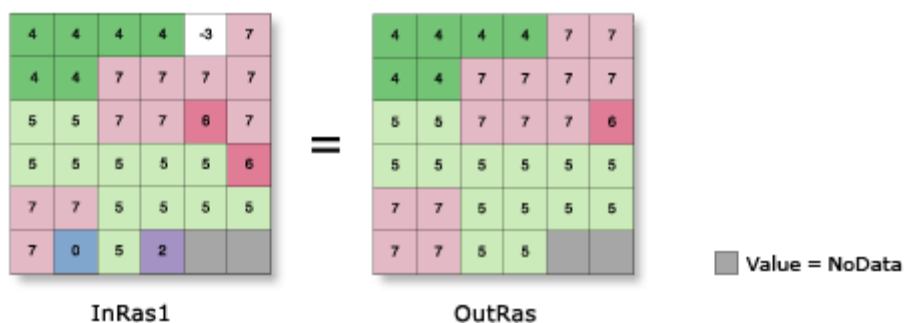


Figura No. 47 Ilustración de herramienta Majority Filter

Con el proceso de filtro aplicado sobre las imágenes clasificadas sin supervisión, se procede a transformar el formato raster un archivo shp o vector, utilizando el campo de RECLASS para asignar el valor a cada polígono a crear, tal como se muestra en las Figuras No. 48 y 49.

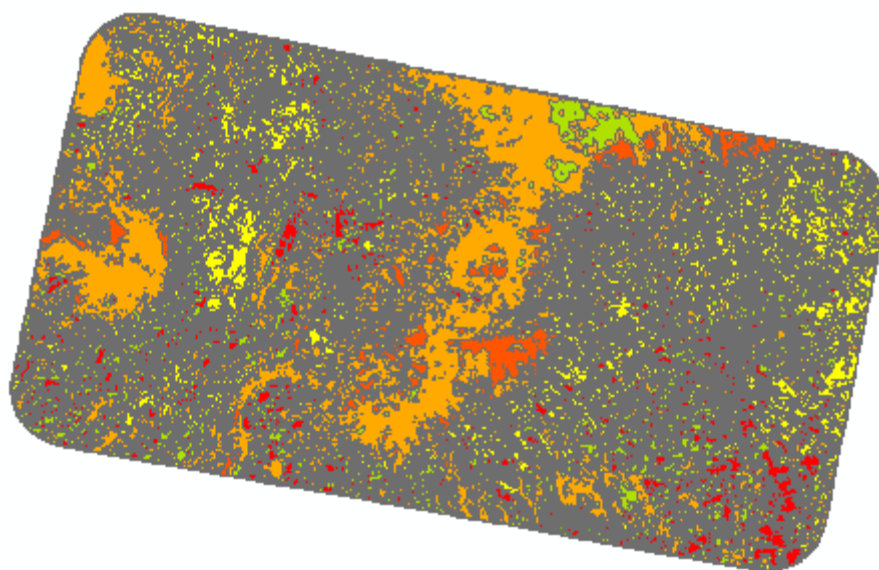


Figura No. 48 Formato Shp de raster 15816

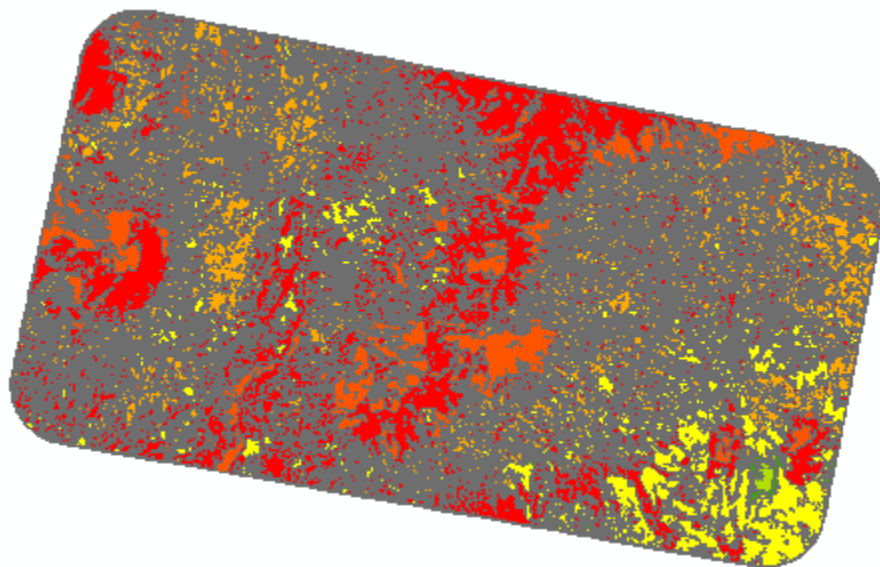


Figura No. 49 Formato Shp de raster 16934

Los archivos generados en formato shp deben ser procesados por varias herramientas propias de un software SIG como dissolve, eliminate y edición manual, tomando en cuenta siempre los puntos GPS levantados en campo. Posterior a la edición se obtienen dos archivos en formato vector tal como se muestra en las Figuras No. 50 y 51.

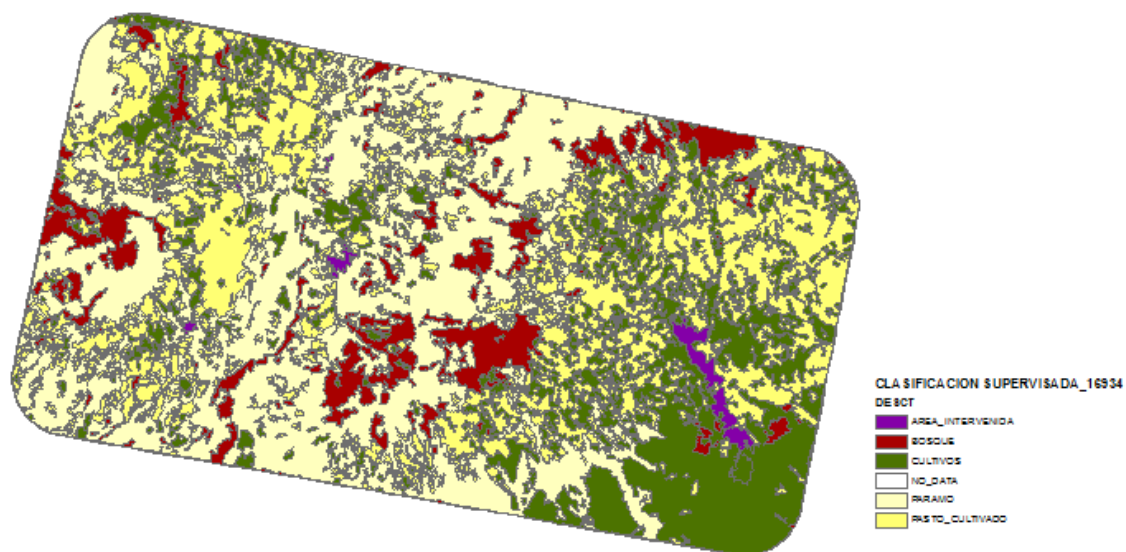


Figura No. 50 Clasificación supervisada imagen 16934

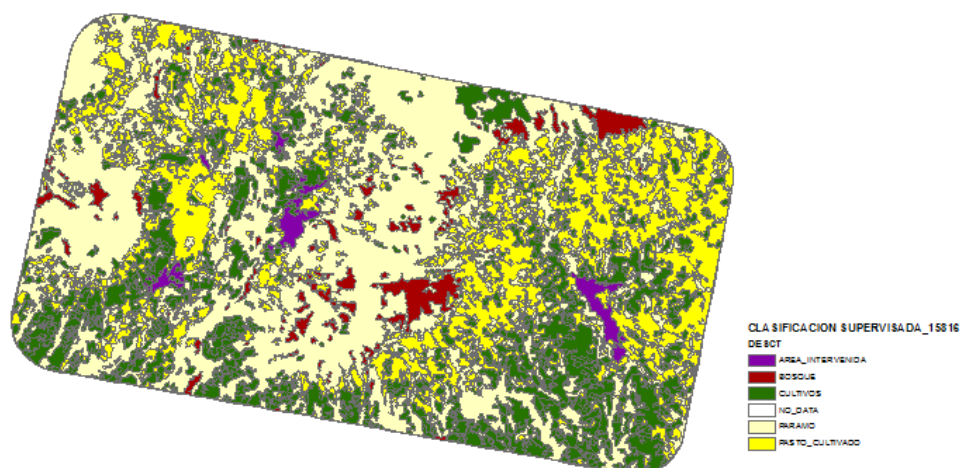


Figura No. 51 Clasificación supervisada imagen 15816

Con los dos archivos generados se realiza un ejercicio de intersección a fin de determinar las áreas que han sido sometidas a un determinado cambio en el uso de suelo respecto a las dos fechas de análisis, con el ejercicio de intersección realizado se crea un campo denominado CAMBIOS, en el que discriminará las áreas con cambio o sin cambio, tal como se muestra en la Figura No. 52.

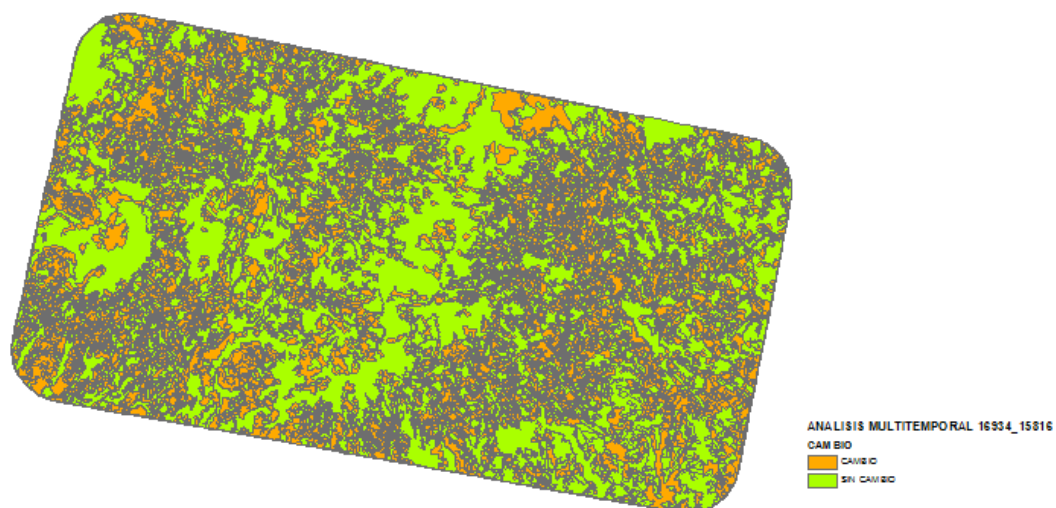


Figura No. 52 Resultado de análisis multitemporal entre imágenes 16934 y 15816

3.6.6 METODOLOGÍA DESARROLLADA EN EL MÓDULO DE FEATURE EXTRACTION DEL SOFTWARE ENVI.-

Para la presente metodología se utiliza el software ENVI 4.7 con el módulo de ENVI Zoom mediante el workflow de Feature Extraction, como se muestra en la Figura No. 53.

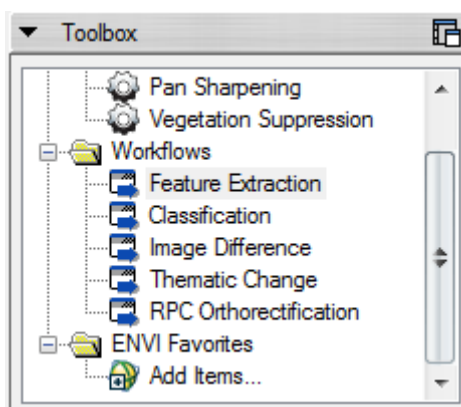


Figura No. 53 WorkFlows del Toolbox de ENVI Zoom

El módulo de Feature Extraction es una herramienta que sirve para extraer información de imágenes de alta resolución pancromática o multiespectral basado en las características espectrales, espaciales y de textura.

Para el inicio del proceso se debe abrir la imagen individualmente a procesar y posteriormente llamar al módulo Feature Extraction, tal como se ve en la Figura No.54.

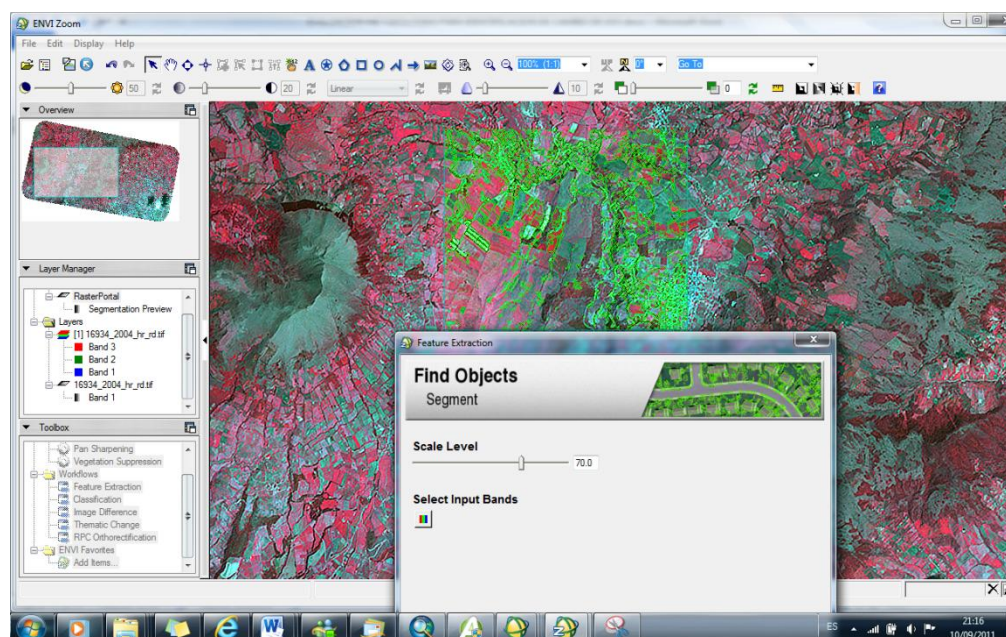


Figura No. 54 Interfaz de Segmentation para módulo Feature Extraction de imagen 16934

Inicialmente se encuentran los objetos a analizar de acuerdo a la segmentación mediante un nivel de escala, el mismo que se va interactuando hasta encontrar una escala apropiada de acuerdo a las necesidades del estudio.

El segundo paso del módulo analizado es MERGE, encargado de unir los segmentos generados en el primer paso del módulo de Feature Extraction, para este proceso también se interactúa con un nivel de escala hasta la aprobación del usuario de acuerdo a los requerimientos del estudio, como se muestra en la Figura No. 55.

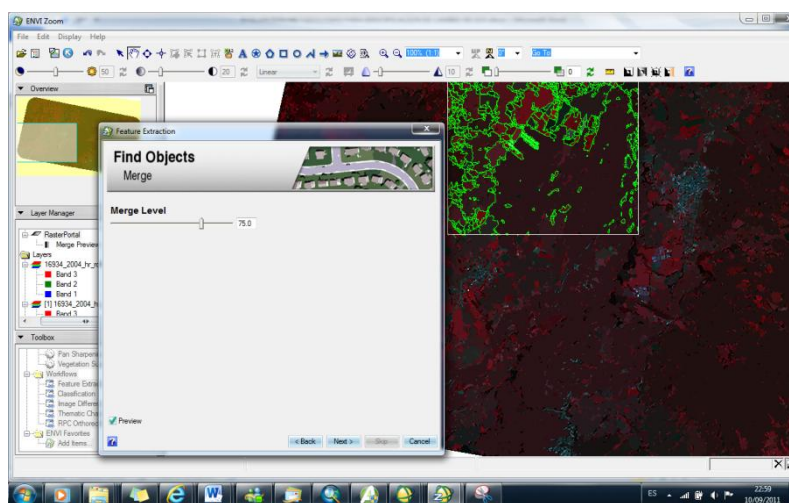


Figura No. 55 Interfaz de Merge para módulo Feature Extraction de imagen 16934

El tercer paso es un proceso de refinar, en este proceso existen dos opciones para clasificar los segmentos generados, mediante la definición o no de umbrales, para el estudio se utiliza la opción default de no seleccionar umbral alguno, así como se muestra en la siguiente Figura No. 56.

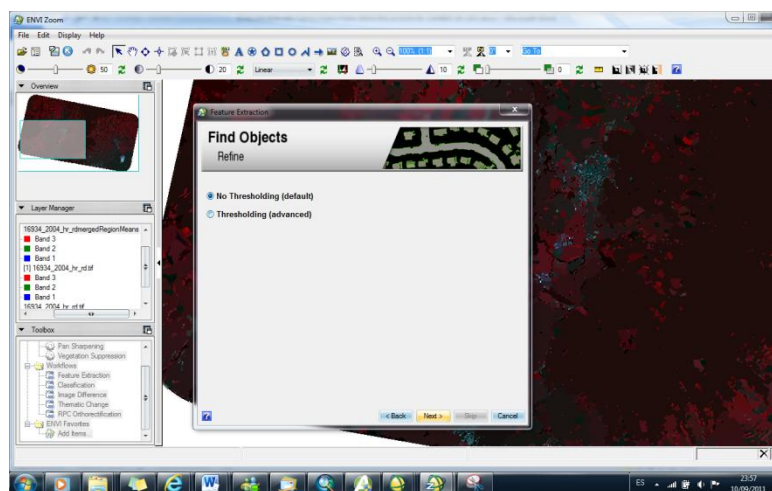


Figura No. 56 Proceso de refinar por umbrales

Posteriormente se ejecuta un cómputo de atributos de acuerdo a las características espaciales, de textura y espectrales, para seguir con una clasificación de los segmentos generados con las opciones de seleccionar por ejemplos, por reglas o solo exportar los vectores generados, tal como se muestra en la Figura No. 57.

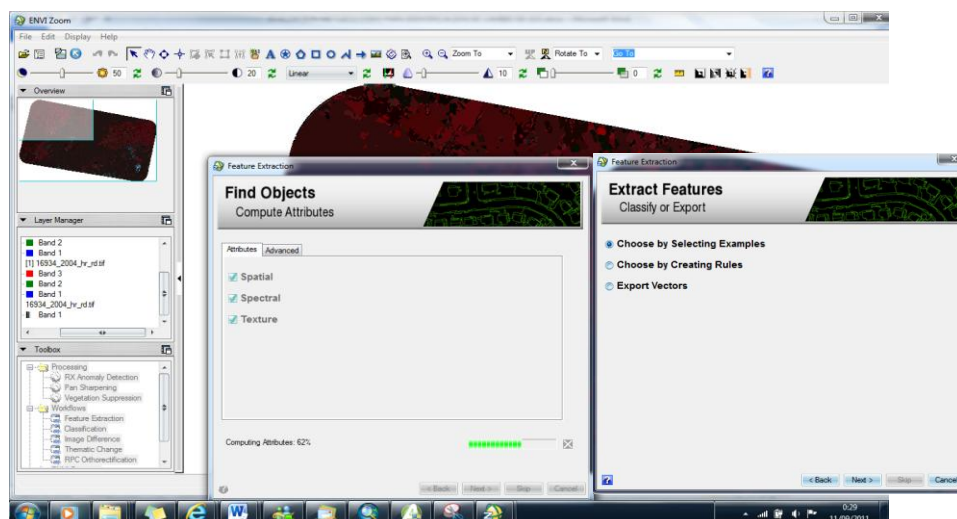


Figura No. 57 Cómputo de atributos y clasificación de vectores

Para el respectivo análisis se escoge exportación de vectores activando la exportación de atributos con la finalidad de realizar una edición posterior sobre los archivos en formato shp generado, como se muestra en la Figura No. 58.

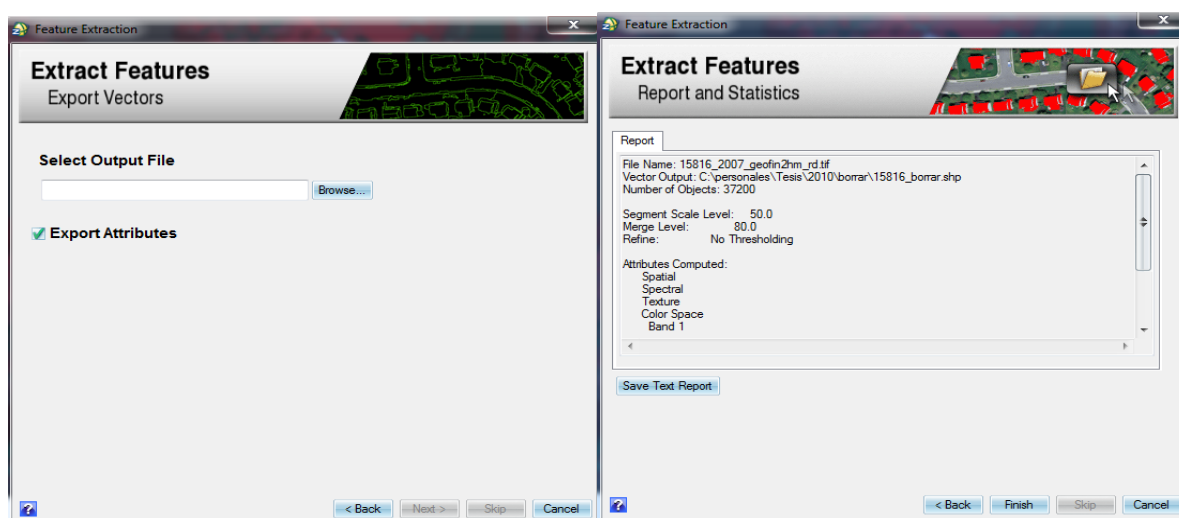


Figura No. 58 Interfaz de exportación de vectores de software ENVI Zoom

La edición de los archivos shp, se los realiza en el software ArcGis 10, para lo que se escoge la herramienta de Dissolve y se toma en cuenta el atributo de promedio de la banda 2, ya que esta banda de ASTER tiene una buena diferenciación de coberturas, posterior al ejercicio se toma en cuenta la información de los puntos GPS levantados en campo para la determinación de cada una de las coberturas obteniendo dos archivos en formato vector como se muestra en las Figuras No. 59 y 60.

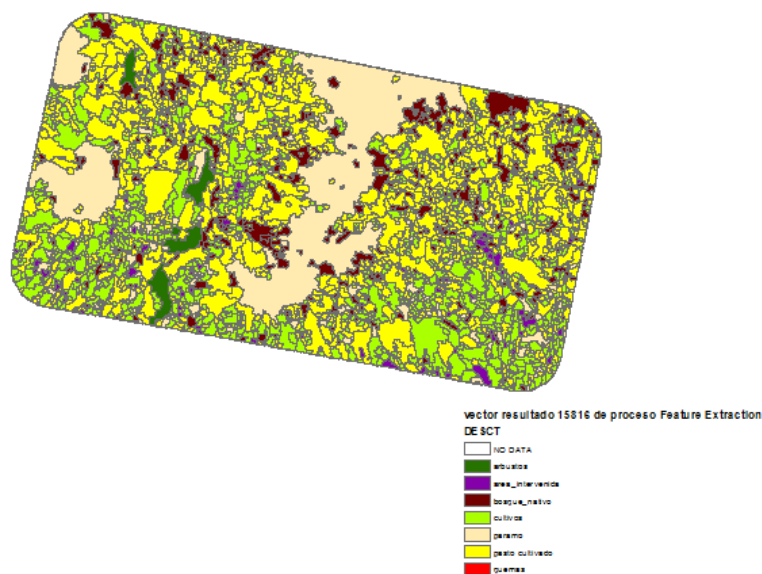


Figura No. 59 Vector resultado imagen 15816 de Feature Extraction

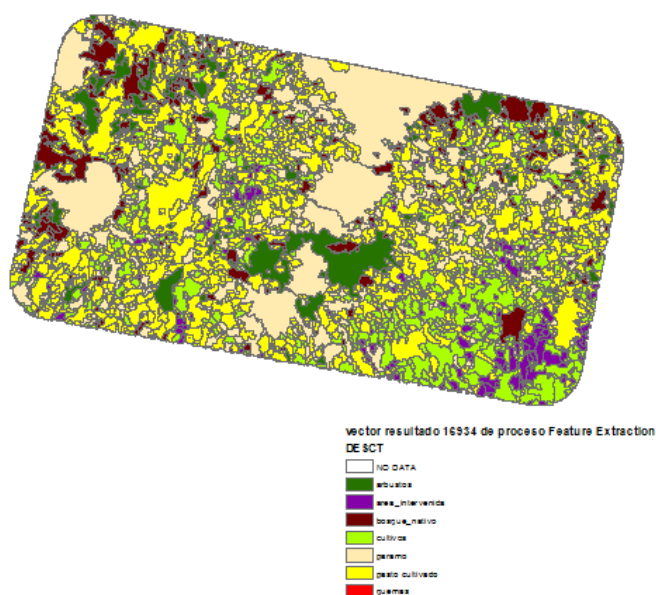


Figura No. 60 Vector resultado imagen 16934 de Feature Extraction

El proceso de Análisis de cambio concluye realizando una operación de intersección a fin de determinar las áreas que no han sufrido o no algún tipo de cambio en su cobertura, este resultado se lo observa en la Figura No. 61.

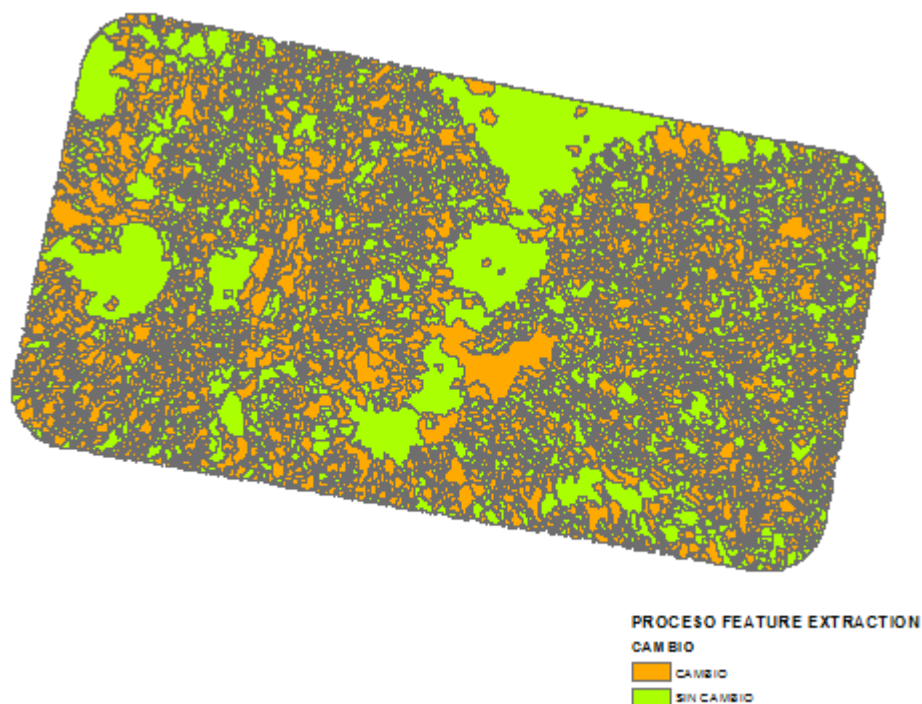


Figura No. 61 Resultado de proceso de Feature Extraction entre imágenes 15816 y 16934

CAPITULO IV

CONTROL DE CALIDAD Y LIMITACIONES DE TRABAJO

4.1 CÁLCULO DEL TAMAÑO DE MUESTRA Y MÉTODO DE MUESTREO.-

La columna vertebral de un proceso de verificación es el diseño y desarrollo del muestreo espacial, que sirve para seleccionar una parte del área de estudio, de forma tal que sea suficientemente representativo del conjunto.

La semejanza con la población de referencia debe conseguirse minimizando el tamaño de la muestra, a fin de reducir los costos de los procesos de verificación (levantamiento de la información en campo).

En el caso de clasificación de imágenes donde las variables no son cuantitativas si no categóricas, es recomendable el uso de la distribución binomial de probabilidad donde se utiliza la siguiente fórmula estadística;

$$n = \frac{z^2 pq}{L^2}$$

Donde,

n= Tamaño de la muestra.

z= La abscisa de la curva normal para un valor determinado de valor.

p= Porcentaje estimado de aciertos.

L= Intervalo de error tolerable.

q= porcentaje estimado de errores (q= 1 - p).

El cálculo de z está definido por la siguiente tabla No.18.

Tabla No. 18 Cálculo de la abscisa de la curva normal para un valor determinado valor (Z)

TABLA DE APOYO AL CALCULO DEL TAMAÑO DE UNA MUESTRA POR NIVELES DE CONFIANZA									
Certeza	95%	94%	93%	92%	91%	90%	80%	62.27%	50%
Z	1.96	1.88	1.81	1.75	1.69	1.65	1.28	1	0.6745
Z ²	3.84	3.53	3.28	3.06	2.86	2.72	1.64	1.00	0.45

Para ver como se distribuye algunas de las características de la muestra con respecto a la variable que se está midiendo, se recurre a la famosa campana de Gauss o Student que refleja la curva normal de distribución cuya característica principal es la de ser unimodal donde la media, mediana y la moda siempre coinciden, tal como se muestra en la Figura No. 62.

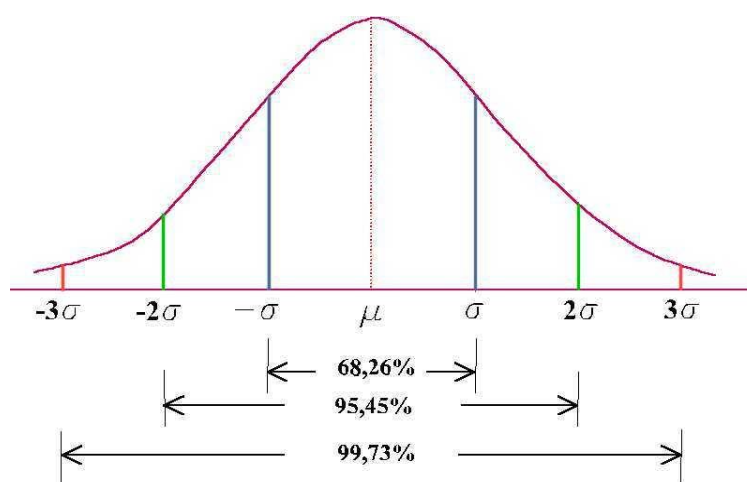


Figura No. 62 Campana de Gauss

Para el presente proyecto se ha utilizado un porcentaje de aciertos del 95% un porcentaje de errores de 5%, y un error tolerable del 5% siendo este el valor máximo a aceptar en el análisis, a menor grado de error tolerable, mayor será el tamaño de la muestra, para el valor de z de 1,96 se ha obtenido de acuerdo a la tabla de apoyo al cálculo de una muestra por niveles de confianza determinando los siguientes parámetros para determinar el tamaño de la muestra.

Para la determinación del intervalo de error tolerable se consideró los siguientes parámetros que se muestra en la Tabla No. 19, ya que se desconoce el valor de la población de cada cobertura, se planteó el total del área en píxeles es decir una matriz de 1220 x 1920, se

obtiene un supuesto de un 5% de píxeles agrupados es decir que puedan pertenecer a una misma categoría, a estos se le calcula el tamaño que tendrían de acuerdo a la resolución espectral que para el caso de imágenes ASTER es de 15 metros lo que se observa en la columna de (píxel en metros), a partir de ahí se calcula el área y se analiza si la superficie obtenida es representativa para la escala de trabajo, caso contrario el porcentaje de píxeles agrupados debe ser recalculado.

Tabla No. 19 Cálculo del intervalo de error tolerable (L)

pixeles filas x columnas	5% de píxeles agrupados (L)	pixel en metros
1220	610	91.5
1920	960	144
	metros cuadrados	hectáreas
	13176	1.3176

Para la escala de trabajo de la presente investigación de 1:50.000 se considera que el área de 1.3 hectáreas es un valor representativo y que puede ser identificado con facilidad para el ojo humano y para los trabajos de campo.

$$z= 1,96$$

$$p= 0.95 (95\%)$$

$$q= 0.05 (5\%)$$

$$L= 5\%$$

Siendo en la fórmula:

$$n = \frac{1.96^2 95.5}{5^2} = 72.99$$

El resultado obtenido nos indica que al menos se deben tomar 73 muestras para obtener los niveles de precisión marcados en el muestreo, este tamaño de muestras puede parecer pequeño si tenemos en cuenta el total de los píxeles de referencia (el total del área clasificada) es decir una matriz de filas x columnas de 1920 x 1220 píxeles , sin embargo para algunos autores se debe tomar un valor mínimo de muestras para cada clase temática (Congalton, 1991; Hay, 1979), también se aconseja realizar el muestreo para cada clase temática por separado, partiendo de las clases de menor extensión.

De acuerdo a las visitas de campo realizadas se han detectado 6 coberturas temáticas dentro del área de estudio que son: pasto cultivado, bosques, área intervenida, páramo, cultivos, y arbustos, por lo que realizar 73 muestreos representaría un gasto económico oneroso debido a la movilización, estadía y alimentación, así como el problema de levantar información que pueda provocar datos incoherentes debido a la incongruencia de los datos producido por el desfase de las imágenes analizadas con la fecha actual de levantamiento de información en campo.

Debido a esto se propuso levantar un total de 3 puntos GPS por cada categoría temática a excepción de las coberturas de cultivos y de bosques ya que dentro de estas categorías tenemos cultivos de ciclo corto y perenne, así como bosques nativos y plantados, por lo que se tomaron 2 puntos GPS por cada subcategoría de bosques y cultivos, dando un total de 20 puntos muestreados de acuerdo a la siguiente Tabla No. 20.

Tabla No. 20 Muestras de categorías levantadas en campo mediante GPS

	MUESTRAS
pasto cultivado	3
bosques	4
área intervenida	3
paramo	3
cultivos	4
arbustos	3
TOTAL	20

4.2 EVALUACIÓN DE METODO ESTADÍSTICO DE MATRIZ DE CONFUSIÓN, Y TIPO DE MUESTREO ALEATORIO SIMPLE.-

Para el análisis y validación de las metodologías generadas en el presente proyecto se aprovecha métodos estadísticos como matriz de confusión y método de muestreo aleatorio simple, teniendo en cuenta que estas metodologías estadísticas son aplicadas de acuerdo al archivo de salida sea este en formato vector o raster.

4.2.1 MUESTREO ALEATORIO SIMPLE.-

Para las metodologías generadas se ha seleccionado un tipo de muestreo conocido como Aleatorio simple, la misma que proporciona una equidad en las probabilidades de ser seleccionados, considerando que la elección no influya en la siguiente, es un método sólido estadísticamente, presentando las siguientes características:

Ventajas:

- Sencillo y de fácil comprensión.
- Cálculo rápido de medias y varianzas.

Desventajas:

- Requiere que se posea de antemano un listado completo de toda la población.
- Cuando se trabaja con muestras pequeñas es posible que no represente a la población adecuadamente.

Definido el tamaño de la muestra se procede aplicar el tipo de muestreo adoptado para el presente proyecto, para lo que se utiliza la herramienta Hawth's Tools para ArcGis, la misma que nos proporciona un módulo para generación de puntos aleatorios interactuando sobre formatos raster y vector, ayudando a escoger la cantidad de puntos a generar evitando considerar las áreas que no tienen información, tal como se muestra en la Figura No. 63.

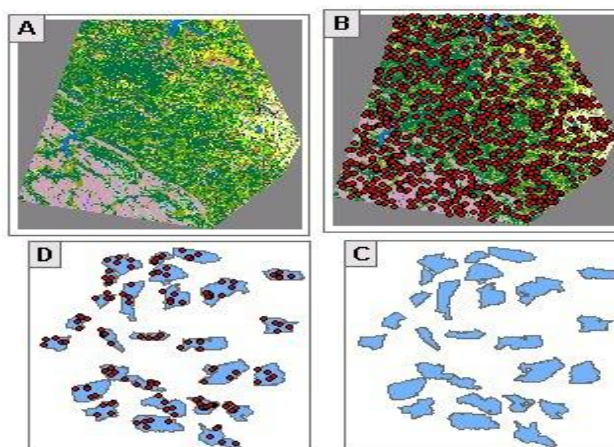


Figura No. 63 Generación de puntos aleatorios mediante software Hawth's Tools para ArcGis

El proceso se lo realiza para cada una de las metodologías generadas con una cantidad de 20 puntos distribuidos aleatoriamente, la interfaz del proceso tanto para los resultados de las metodologías en formato vector y raster se observa en las siguientes Figuras No. 64 y 65.

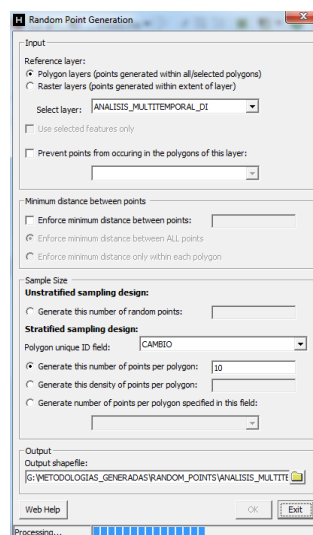


Figura No. 64 Interfaz de generación de muestras aleatorias en archivo vector

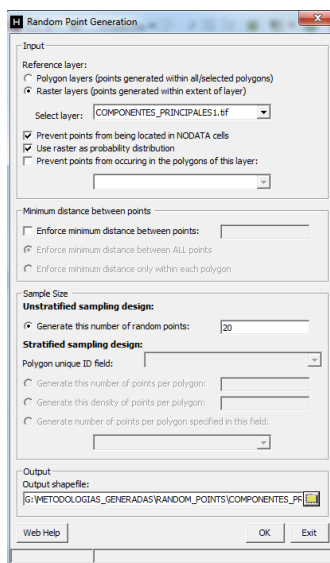


Figura No. 65 Interfaz de generación de muestras aleatorias en archivo raster

Se obtiene como resultado muestras aleatorias distribuidas sobre el área de estudio tal como se muestra en la Figura No. 66.

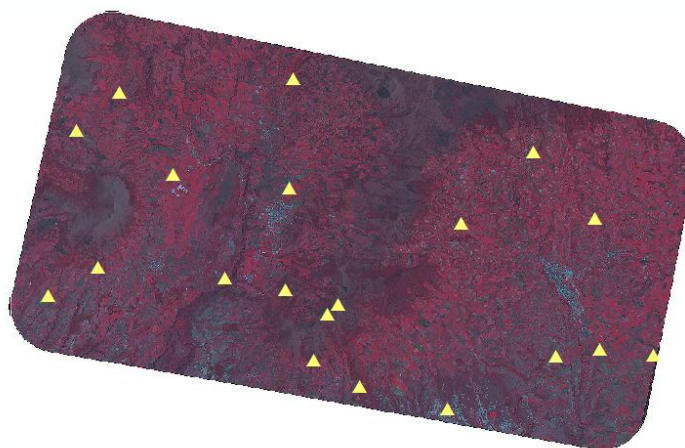


Figura No. 66 Archivo de Salida de puntos de muestreo aleatorio

4.2.2 MATRIZ DE CONFUSIÓN.-

La matriz de confusión es un instrumento usual para evaluar la exactitud de una clasificación, también llamada matriz de error o de contingencia. Es una matriz cuadrada de $n \times n$, donde n es el número de clases.

Dicha matriz muestra la relación entre dos series de medidas correspondientes al área en estudio.

La primera serie corresponde a datos de referencia adquiridos de observaciones de campo, interpretación de fotos aéreas u otras fuentes similares.

La segunda corresponde a la categorización de los píxeles realizada para cada una de las clases de interés.

En una matriz de confusión las columnas corresponden a los datos de referencia, mientras que las filas corresponden a las asignadas en la clasificación de la imagen. A partir de una matriz de confusión pueden deducirse varios índices relativos a la exactitud de la clasificación.

Sin embargo el método de evaluación de la matriz de confusión se complica convirtiéndose en una tarea nada cómoda al ser aplicada para detección de cambios, aumentando el número de categorías en la matriz de error, generando una mayor cantidad de categorías a verificar, considerando que muchos de los potenciales cambios serán infrecuentes o

imposibles, para las imágenes clasificadas en el presente proyecto se han definido seis categorías en las dos fechas de análisis, dando así 36 categorías de posibles dinámicas es decir la matriz de confusión contaría con 1296 celdas (las treinta y seis posibilidades reales cruzadas con las 36 asignadas por la interpretación, teniendo finalmente una matriz de n^4 celdas, siendo n el número de clases de partida para una determinada fecha.

El respectivo análisis se aplica únicamente sobre imágenes que han tenido un proceso de clasificación para el caso será aplicado sobre la metodología de análisis multitemporal en la que implica clasificaciones no supervisadas y supervisada de imágenes, para este proceso se utiliza la herramienta de Post Classification con la opción de Confusion Matrix de ENVI 4.7, aprovechando que los procesos de Análisis Multitemporal se los ha realizado en el mencionado software, tal como se muestra en la Figura No. 67.

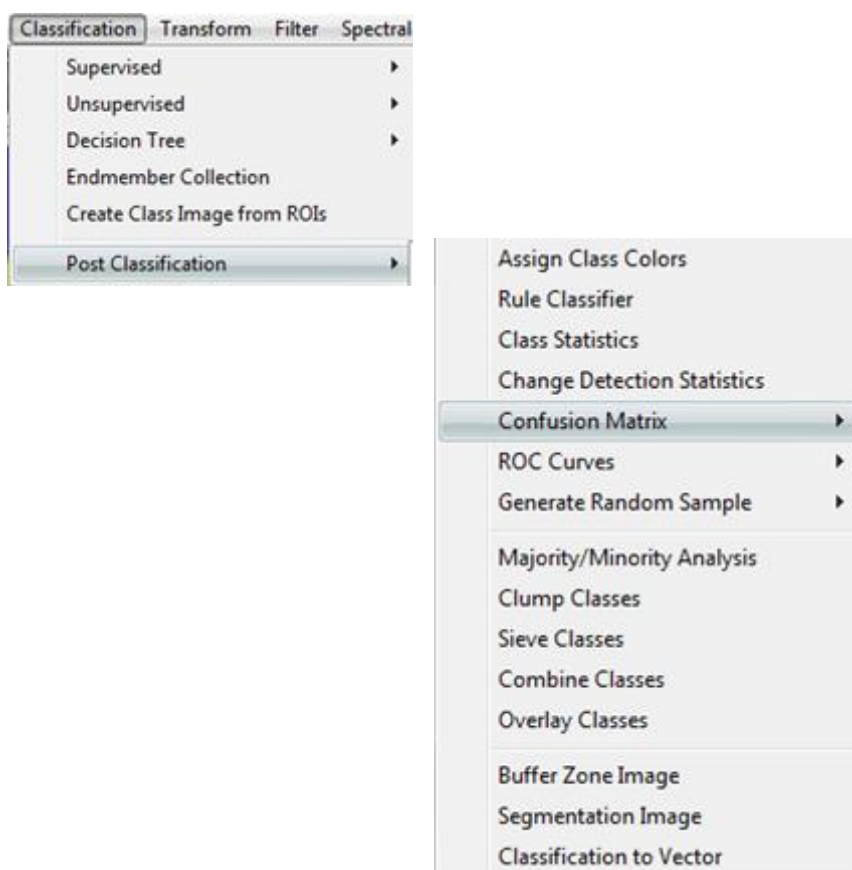


Figura No. 67 Interfaz para ejecución de matriz de confusión en software ENVI 47

4.3 VALIDACIÓN DE INFORMACIÓN GENERADA SEGÚN METODOLOGÍAS PROPUESTAS MEDIANTE SUPERVISIÓN DE CAMPO.-

Se ha realizado un muestreo de 19 puntos GPS distribuidos en toda el área de estudio abarcando las distintas coberturas encontradas, para este proceso se ha utilizado un GPS navegador, y una cámara fotográfica, a fin de determinar las siguientes coberturas: pasto cultivado, bosques, área intervenida, páramo, cultivos, arbustos, estas coberturas se pueden ver en las siguientes Fotografías No. 1, 2, 3, 4, 5, 6.



Fotografía No. 1 Pasto Cultivado (2520- 3860 msnm)



Fotografía No. 2 Cultivos de papa



Fotografía No. 3 Arbustos



Fotografía No. 4 Bosques



Fotografía No. 5 Pasto Cultivado



Fotografía No. 6 Área Intervenida Ciudad El Ángel

La supervisión de campo ha servido para identificar la cobertura de determinadas áreas y para la edición de los archivos en formato vector, sin embargo esos resultados han sido intervenidos por la interpretación y edición humana.

Las salidas de campo realizadas sirvieron para tener un acercamiento con la población y poder determinar y entender cuáles han sido los cambios que se han producido en los últimos años, principalmente de los años 2004 y 2007, fechas en las que se tiene información satelital.

4.4 LIMITACIONES DE LAS METODOLOGÍAS EN IDENTIFICACIÓN DE CAMBIO DE USO DE SUELO.-

Las limitaciones para la aplicación de las metodologías presentes en el actual proyecto vienen dadas únicamente en la adquisición de programas especializados y amigables para la generación de las diversas metodologías, existen en el mercado varios programas de libre adquisición para el proceso de archivos en formato raster y vector con herramientas robustas y específicas como ILWIS, GRASS GIS, entre otros, sin embargo la interfaz es muy técnica para usuarios no especializados ni familiarizados con lenguajes de programación.

Cada metodología generada no siempre vuelve a dar un resultado igual si este es aplicado nuevamente sobre una misma imagen, ya que la información resultado varía por los algoritmos que utiliza cada una de las metodologías para la identificación de cambio de uso de suelo.

La experiencia del técnico encargado en la identificación de cambio de uso de suelo es muy importante ya que permite hallar con mayor facilidad posibles errores que la automatización de un proceso pueda generar.

CAPITULO V

EVALUACIÓN DE METODOLOGÍAS DE IDENTIFICACIÓN DE CAMBIO DE USO PARA IMÁGENES SATELITALES

La evaluación de las metodologías de identificación de cambio de uso para imágenes satelitales se las realiza mediante un compendio de los métodos generados, organizando los resultados según el formato de salida ya sea raster o vector en el orden de ejecución de cada metodología, empezando por composición de colores, diferencia de imágenes, cocientes multitemporales, componentes principales, análisis multitemporal y metodología desarrollada en el módulo de Feature Extraction del software ENVI , a fin de observar la homogeneidad y diferencia de los archivos de salida, de esta forma la evaluación se realiza visualmente a los resultados en formato raster y para su posterior análisis estadístico, así como se muestra en las imágenes No. 32, 33, 34, 35, 36 y 37 y, Figuras No. 68 y 69.



IMAGEN ASTER 16934 AÑO 2004



IMAGEN ASTER 15816 AÑO 2007

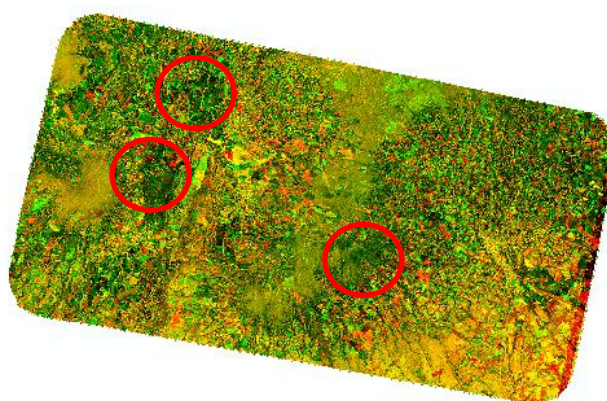


Imagen No. 32 Resultado método composición de color

Para el método de composición de color tenemos como resultado a los tonos de color amarillo que representan áreas de mayor estabilidad, las zonas rojizas áreas que han reducido el nivel digital (ND) y las zonas de color verde indican un incremento en el ND.



IMAGEN ASTER 16934 AÑO 2004



IMAGEN ASTER 15816 AÑO 2007

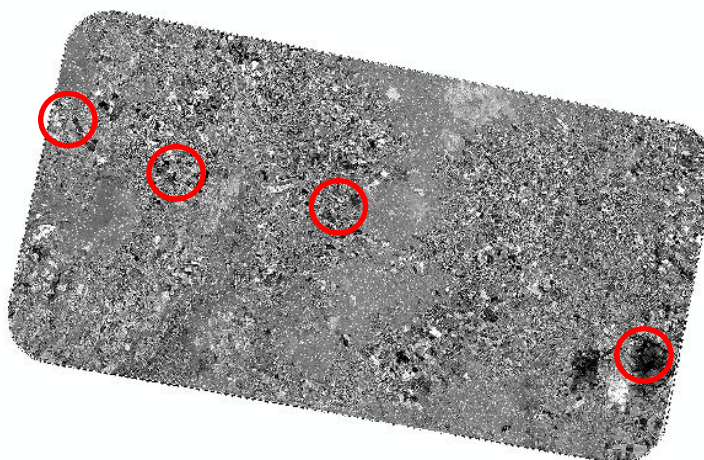


Imagen No. 33 Resultado método Diferencia de imágenes

Interpretando el resultado con ND igual a cero para aquellas áreas que no han sufrido un cambio relevante, y valores de ND negativos o positivos interpretando valores de Incremento o Decremento, representando las áreas que han sufrido un determinado cambio.



IMAGEN ASTER 16934 AÑO 2004



IMAGEN ASTER 15816 AÑO 2007

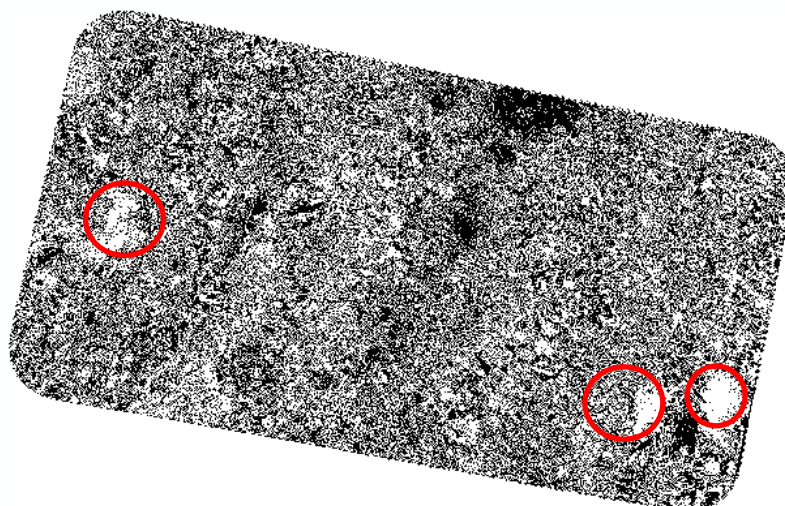


Imagen No. 34 Resultado método Cocientes multitemporales

El resultado considera las zonas con ND igual a cero como las áreas estables y las zonas de ND 255 es decir las regiones de color claro las que han sufrido algún tipo de cambio.



IMAGEN ASTER 16934 AÑO 2004



IMAGEN ASTER 15816 AÑO 2007

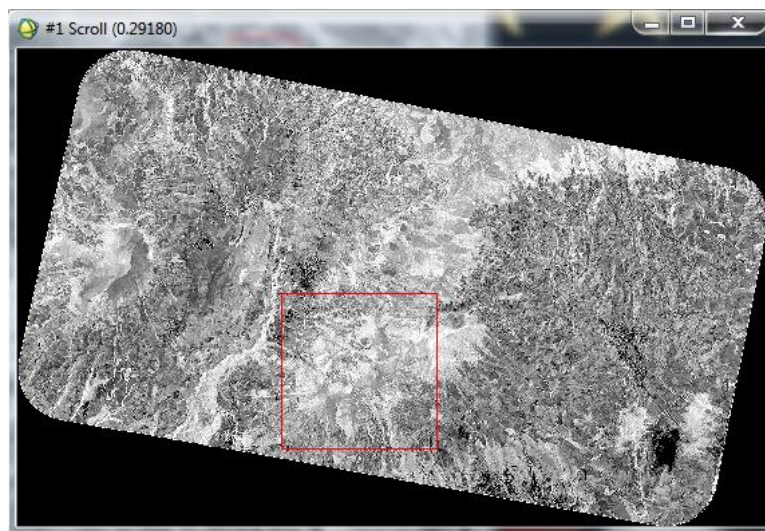


Imagen No. 35 Primer componente principal resultado

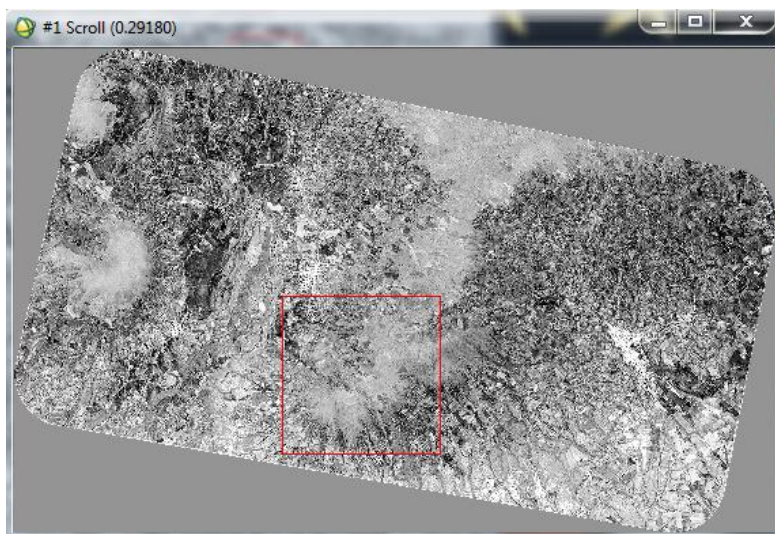


Imagen No. 36 Segundo componente principal resultado

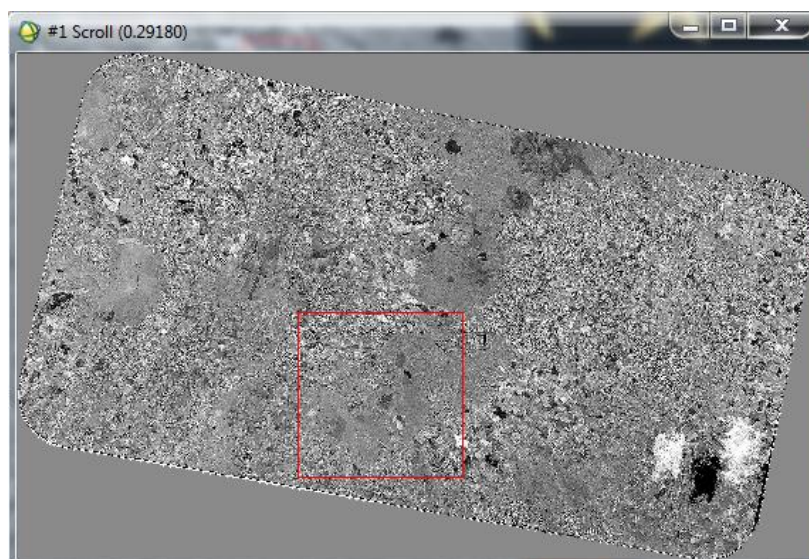


Imagen No. 37 Tercer componente principal resultado

Las imágenes ASTER utilizadas de los años 2004 y 2007 tienen las siguientes características como se muestra en la Tabla No. 21, de las cuales para el ACP se utilizaron las bandas que están en el espectro visible que son la bandas 1 y 2 así como la banda del infrarrojo cercano banda 3, con la finalidad de extraer las bandas que tienen la mejor resolución espectral.

Tabla No. 21 Características de resolución y longitud de onda de imagen ASTER

Bandas	Longitud de onda (μm)	Resolución Especial (m)
Banda 1	0,52 - 0,6	15
Banda 2	0,63 - 0,69	15
Banda 3	0,76 - 0,86	15
Banda 3b	0,76 - 0,86	15
Banda 4	1,60 - 1,70	30
Banda 5	2,14 - 2,18	30
Banda 6	2,18 - 2,22	30
Banda 7	2,23 - 2,28	30
Banda 8	2,29 - 2,36	30
Banda 9	2,36 - 2,43	30
Banda 10-15	Térmicas	90

Las mediciones de la reflectancia en diversas longitudes de onda revelan información específica de las características y rasgos del terreno. las longitudes de onda con las aplicaciones comunes se presentan a continuación, hay que tener en cuenta que las bandas rara vez se utilizan en solitario, normalmente se usan en combinaciones de tres bandas basado en “Imágenes de Satélite – Una Guía Objetiva” producida por el Business Image Group y Spot Image.

Aplicaciones en distintas longitudes de onda

Azul visible: Cartografía de aguas someras, diferenciación de suelo y vegetación.

Verde visible: Diferenciación de la vegetación por su salud.

Rojo visible: Diferenciación de la vegetación por especies.

Infrarrojo cercano: Cartografía de la vegetación cartografía del vigor/salud de la vegetación diferenciación de la vegetación por especies.

Infrarrojo medio: Diferenciación de los tipos de rocas por composición. Detección de humedad en la vegetación y suelo cartografía de la estructura geológica Trazado de límites tierra/agua.

Las imágenes del sensor ASTER no poseen la banda que representa el color azul, pero tienen una mejor resolución espacial de 15m en el visible e infrarrojo cercano, por lo que las longitudes de onda para las tres bandas de la resolución espacial están dadas por el infrarrojo cercano, rojo visible y verde visible.

Con las aclaraciones de cada banda seleccionada para las imágenes ASTER la interpretación para los componentes principales está dada por las siguientes características: Banda 1 correspondiente al verde visible, Banda 2 correspondiente al rojo visible y la Banda 3 al infrarrojo cercano. Por lo que de acuerdo a la Tabla No. 22.

Tabla No. 22 Resumen de Autovectores correspondientes a los tres componentes principales

Eigenvector (Autovector)	Varianza	Banda 1 (año 2004)	Banda 2 (año 2004)	Banda 3 (año 2004)	Banda 1 (año 2007)	Banda 2 (año 2007)	Banda 3 (año 2007)
CP 1	96.05%	1.000000	0.000000	-0.000000	0.000000	-0.000000	-0.000000
CP 2	1.67%	-0.000000	1.000000	0.000000	-0.000000	-0.000000	0.000000
CP 3	1.41%	0.000000	-0.000000	1.000000	-0.000000	-0.000000	-0.000000

Como se indica por la varianza del primer componente este abarca la información común entre las dos fechas, el segundo componente indica que existe una disminución de la vegetación por especies así como el tercer componente indica que existe una disminución del vigor de la vegetación, pudiendo expresar áreas de vegetación vigorosa a seca, sin embargo la interpretación de este componente resulta un tanto confusa.



IMAGEN ASTER 16934 AÑO 2004



IMAGEN ASTER 15816 AÑO 2007

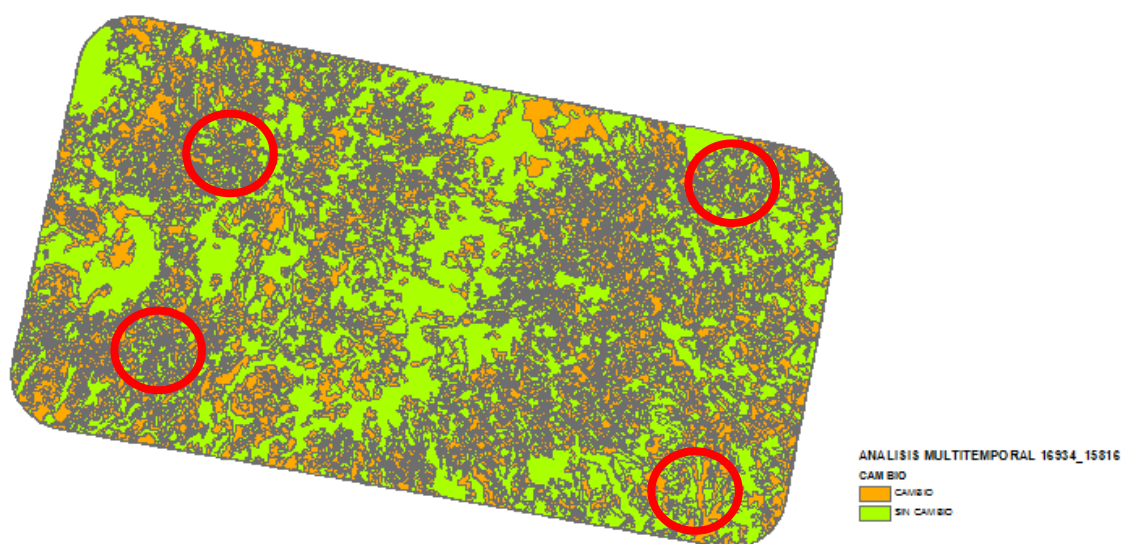


Figura No. 68 Resultado método Análisis Multitemporal

Las áreas de tonos verdes son aquellas que no presentan cambio, de acuerdo a la metodología aplicada de Análisis Multitemporal.



IMAGEN ASTER 16934 AÑO 2004



IMAGEN ASTER 15816 AÑO 2007

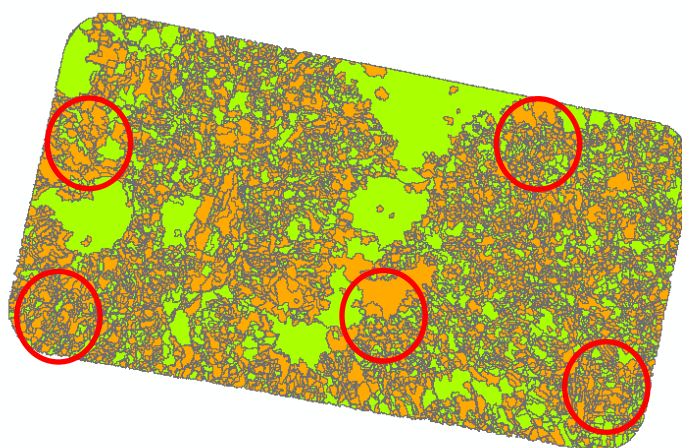


Figura No. 69 Resultado método Feature Extraction

Para la interpretación de los resultados de la metodología desarrollada en el módulo de Feature Extraction del software ENVI, se consideraron que para las zonas sin cambio las regiones tendrán un color verde a diferencia de los tonos de color naranja de las áreas que si han presentado algún tipo de cambio.

Los métodos analizados en la presente investigación brindan diferentes resultados en la identificación de cambios, por lo que la interpretación del analista y los requisitos del proyecto son indispensables al momento de seleccionar un proceso idóneo.

La evaluación de las metodologías cuyo resultado es un archivo en formato raster se lo realiza interpretando visualmente y verificando con visitas de campo y levantamientos de información in situ, es decir con una evaluación cualitativa.

La metodología de componentes principales brinda la oportunidad de la interpretación mediante valores estadísticos ayudando con el discernimiento de la información para el análisis multitemporal, sin embargo la facilidad para la generación e interpretación de la información no es amigable en su totalidad.

La metodología de análisis multitemporal permite al analista realizar una clasificación previa y una posterior con sus respectivas categorizaciones de acuerdo a la información proporcionada en campo, brindando la oportunidad de evaluar cuantitativamente el resultado obtenido.

La técnica de Feature Extraction permite al analista realizar varios ejercicios en la extracción de la información determinando que el usuario debe tener un alto conocimiento en el manejo del software, de las imágenes a utilizar, y especialmente en teledetección, con lo que es un método poco amigable para usuarios de poca experticia, con todo es una metodología que generaría mejores resultados en imágenes de alta resolución, brindando la oportunidad de identificar objetos más puntuales y no áreas de cambio.

5.1 REPORTE DE ESTADÍSTICO DE RESULTADOS DE ANÁLISIS DE METODOLOGÍAS.-

En las Tablas No. 23 y 24 se presentan los reportes estadísticos del análisis de post-proceso al generar la matriz de confusión para cada una de las clasificaciones aplicadas en las imágenes satelitales utilizadas.

Tabla No. 23 Matriz de Confusión clasificación imagen 15816

Confusion Matrix : C:\personal es\Tesis\2 010\RASTER\agenes_Procesa das\envi\clasif_sup\15816\SUP_15816_MD								
Overall Accuracy	0.193500739	19.35%						
Kappa Coefficient	t = 0.0534							
	Ground Trut	h (Pixels)				Ground Trut	h (Pixels)	
Class	Region #1	Region #2	Region #3	Region #4	Region #5	Region #6	Region #7	Total
Unclassified	0	0	0	0	0	0	0	0
BOSQUE [Red]	194	0	0	0	0	0	0	194
CULTIVOS [Blu	0	1	15	0	67	76	0	159
NO DATA [Yell	0	0	0	141	0	0	0	141
AREA INTERVEN	0	0	0	0	4	0	0	4
PASTO CULTIVA	0	0	0	0	21	30	38	89
CULTIV OS [Ma	0	0	12	0	5	39	126	182
PARAMO [Green	54	479	9	0	3	33	7	585
Total	248	480	36	141	100	178	171	1354
	Ground Truth	(Percent)				Ground Truth	(Percent)	
Class	Region #1	Region #2	Region #3	Region #4	Region #5	Region #6	Region #7	Total
Unclassified	0	0	0	0	0	0	0	0
BOSQUE [Red]	78.23	0	0	0	0	0	0	14.33
CULTIVOS [Blu	0	0.21	41.67	0	67	42.7	0	11.74
NO DATA [Yell	0	0	0	100	0	0	0	10.41
AREA INTERVEN	0	0	0	0	4	0	0	0.3
PASTO CULTIVA	0	0	0	0	21	16.85	22.22	6.57
CULTIV OS [Ma	0	0	33.33	0	5	21.91	73.68	13.44
PARAMO [Green	21.77	99.79	25	0	3	18.54	4.09	43.21
Total	100	100	100	100	100	100	100	100
Class	Commission	Omission	Comission	Omission				
	(Percent)	(Percent)	(Pixels)	(Pixels)				
BOSQUE [Red]	0	21.77	0/194	54/248				
CULTIVOS [Blu	99.37	99.79	158/159	479/480				
NO DATA [Yell	100	100	141/141	36/36				
AREA INTERVEN	100	100	4/4	141/141				
PASTO CULTIVA	76.4	79	68/89	79/100				
CULTIV OS [Ma	78.57	78.09	143/182	139/178				
PARAMO [Green	98.8	95.91	578/585	164/171				
Class	Prod. Acc.	User Acc.	Prod. Acc.	User Acc.				
	(Percent)	(Percent)	(Pixels)	(Pixels)				
BOSQUE [Red]	78.23	100	194/248	194/194				
CULTIVOS [Blu	0.21	0.63	1/480	1/159				
NO DATA [Yell	0	0	0/36	0/141				
AREA INTERVEN	0	0	0/141	0/4				
PASTO CULTIVA	21	23.6	21/100	21/89				
CULTIV OS [Ma	21.91	21.43	39/178	39/182				
PARAMO [Green	4.09	1.2	7/171	7/585				

Tabla No. 24 Matriz de Confusión clasificación imagen 16934

Confusion Matrix : C:\personales\Tesis\2010\RASTER\Imagenes_Proc\das\envi\clasif_sup\16934\16934_sup								
Overall Accuracy	0.993353028	99.34%						
Kappa Coefficient	t = 0.9916							
	Ground Truth	(Pixels)				Ground Truth	(Pixels)	
Class	Region #1	Region #2	Region #3	Region #4	Region #5	Region #6	Region #7	Total
Unclassified	0	0	0	0	0	0	0	0
Region #1 [Re	248	2	0	0	1	0	0	251
Region #2 [Gr	0	478	0	0	1	0	0	479
Region #3 [Bl	0	0	35	0	1	0	0	36
Region #4 [Ye	0	0	0	141	0	0	0	141
Region #5 [Cy	0	0	0	0	94	0	0	94
Region #6 [Ma	0	0	1	0	3	178	0	182
Region #7 [Ma	0	0	0	0	0	0	171	171
Total	248	480	36	141	100	178	171	1354
	Ground Truth	(Percent)				Ground Truth	(Percent)	
Class	Region #1	Region #2	Region #3	Region #4	Region #5	Region #6	Region #7	Total
Unclassified	0	0	0	0	0	0	0	0
Region #1 [Re	100	0.42	0	0	1	0	0	18.54
Region #2 [Gr	0	99.58	0	0	1	0	0	35.38
Region #3 [Bl	0	0	97.22	0	1	0	0	2.66
Region #4 [Ye	0	0	0	100	0	0	0	10.41
Region #5 [Cy	0	0	0	0	94	0	0	6.94
Region #6 [Ma	0	0	2.78	0	3	100	0	13.44
Region #7 [Ma	0	0	0	0	0	0	100	12.63
Total	100	100	100	100	100	100	100	100
Class	Commission	Omission	Commission	Omission				
	(Percent)	(Percent)	(Pixels)	(Pixels)				
Region #1 [Re	1.2	0	3/251	0/248				
Region #2 [Gr	0.21	0.42	1/479	2/480				
Region #3 [Bl	2.78	2.78	1/36	1/36				
Region #4 [Ye	0	0	0/141	0/141				
Region #5 [Cy	0	6	0/94	6/100				
Region #6 [Ma	2.2	0	4/182	0/178				
Region #7 [Ma	0	0	0/171	0/171				
Class	Prod. Acc.	User Acc.	Prod. Acc.	User Acc.				
	(Percent)	(Percent)	(Pixels)	(Pixels)				
Region #1 [Re	100	98.8	248/248	248/251				
Region #2 [Gr	99.58	99.79	478/480	478/479				
Region #3 [Bl	97.22	97.22	35/36	35/36				
Region #4 [Ye	100	100	141/141	141/141				
Region #5 [Cy	94	100	94/100	94/94				
Region #6 [Ma	100	97.8	178/178	178/182				
Region #7 [Ma	100	100	171/171	171/171				

5.2 RESULTADO DE COMPARACIÓN DE METODOLOGÍAS.-

Se puede obtener los siguientes resultados de las matrices generadas a cada una de las clasificaciones supervisadas realizadas tal como se muestra en la Tabla No. 25.

Tabla No. 25 Resumen resultado de matriz de confusión a imágenes clasificadas 15816 y 16934

IMAGEN 15816		
Precisión Global	0.193500739	19.35%
Kappa Coeficiente	k = 0.0534	
IMAGEN 16934		
Precisión Global	0.993353028	99.34%
Kappa Coeficiente	k = 0.9916	

La precisión global o fiabilidad global es la relación de los elementos de la diagonal con el total de píxeles con categoría (puntos muestreados) dada por la siguiente fórmula:

$$\text{Precisión Global} = \frac{\text{sumatoria de la Diagonal}}{\text{total de puntos muestreados}}$$

Para la imagen satelital 15816 los siguientes valores:

$$\text{Precisión Global} = \frac{194+1+0+0+21+39+7}{1354} = 0.193500739$$

Para la imagen satelital 16934 los siguientes parámetros:

$$\text{Precisión Global} = \frac{248+478+35+141+94+178+171}{1354} = 0.993353028$$

Las Estadística Kappa es otro medio para tener acceso a la exactitud del clasificador y es el método más completo para expresar el valor de exactitud de cada clase.

La estadística Kappa es calculada mediante la siguiente formula:

$$K = \frac{N \sum_{i=1}^r x_{ii} - \sum_{i=1}^r (x_{i+} x_{+i})}{N^2 - \sum_{i=1}^r (x_{i+} x_{+i})}$$

Donde r es el número de filas en la matriz de confusión, x_{ii} es el número de observaciones en la fila i y columna i, x_{i+} y x_{+i} son los totales de la fila i y columna i, respectivamente, y N es el número total de observaciones.

El estadístico Kappa mide la diferencia entre el acuerdo mapa-realidad observado y el que cabría esperar simplemente por azar, es decir intenta delimitar el grado de ajuste debido sólo a la exactitud de la clasificación, prescindiendo del causado por factores aleatorios. Este índice pretende evaluar si la clasificación ha discriminado las categorías de interés con precisión significativamente mayor a la que se hubiera obtenido con una asignación aleatoria.

Para la imagen 15816 del año 2007 el valor estimado de Kappa es de 0.0534 y para la imagen 16934 del año 2004 el valor k=0.9916 lo que significa que las clasificaciones son entre un 5.3% y un 99% mejores que lo esperable al azar, respectivamente.

Un valor de k igual a 1 o al 100% indica un acuerdo pleno entre la realidad y el mapa, mientras que un valor cercano a 0 sugiere que el acuerdo observado es puramente al azar.

Se determina que la clasificación de la imagen 16934 del año 2004 tiene una precisión global superior respecto a la imagen 15816 del año 2007, y también el coeficiente Kappa de la imagen del año 2004 es 99% mejor que una clasificación al azar mejor que el valor 5.3% de la imagen del año 2007, con lo que se podría suponer que las áreas observadas en campo han presentado un cambio de uso con una periodicidad de 3 a 4 años, de acuerdo a los puntos levantados en campo que coinciden con el proceso de clasificación de la imagen del año 2004.

CAPITULO VI

PRODUCTOS

6.1 PRESENTACIÓN DE METODOLOGÍA, RESULTADOS Y VALIDACIÓN.-

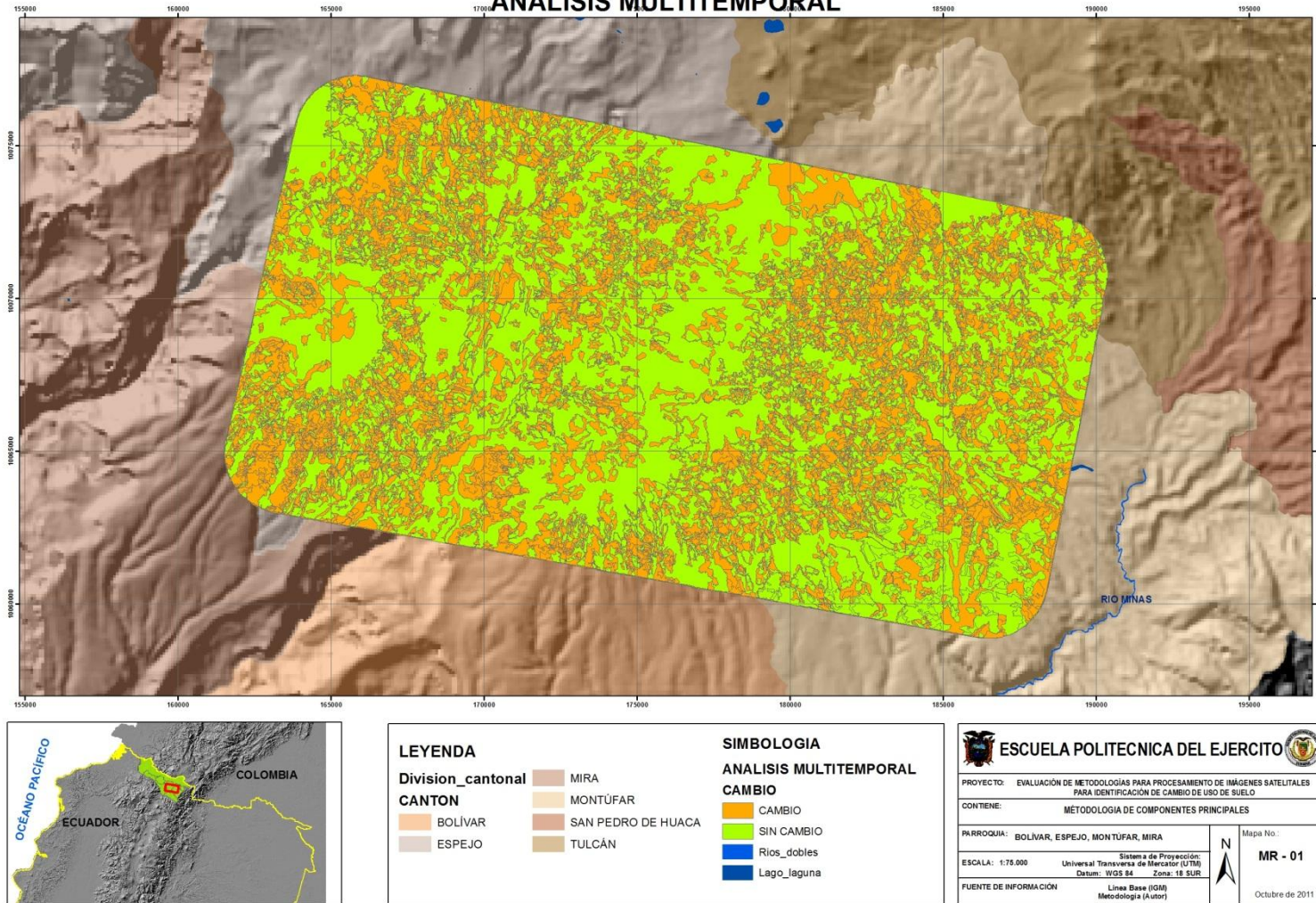
Como producto final obtenemos dos metodologías que ofrecen un resultado interesante para la identificación de cambio de uso de suelo, la primera metodología aplicada es Componentes Principales que brinda un resultado en formato Raster, con una interpretación estadística que ayuda en el discernimiento de la información.

La segunda metodología es un Análisis Multitemporal mediante el módulo de Clasificación de ENVI, software que permite ediciones post – clasificación de una manera amigable y de fácil entendimiento de resultados, así como permite una evaluación estadística de las clasificaciones realizadas.

Como resultados podemos afirmar que las metodologías estudiadas en el presente proyecto brindan una agradable aceptación para la zona de estudio sin embargo se debe considerar que las condiciones topográficas, de radiancia, vegetación entre otras, pueden afectar los resultados que generen estas metodologías en áreas de estudio distintas a la analizada en la presente investigación.

Sin embargo la metodología de Análisis de componentes principales es poco amigable al momento de la interpretación de la información generada por lo que esta metodología no es considerada como un método óptimo de automatización de procesos a pesar de los resultados que genera.

6.2. MAPA TEMÁTICO DE CAMBIO DE USO DE SUELO ESCALA 1:50.000.- METODOLOGIA PARA IDENTIFICACION DE CAMBIO DE USO DE SUELO ANALISIS MULTITEMPORAL



Mapa No. 3 Metodología de Análisis Multitemporal

CAPITULO VII

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

7.1. CONCLUSIONES.-

- De los seis métodos de detección de cambios estudiados en esta investigación, se puede destacar 1 método sencillo de aplicar por la menor cantidad de procesos y por la facilidad en la interpretación de resultados como es el proceso de Análisis Multitemporal.
- La metodología desarrollada en el Módulo de Feature Extraction del software ENVI 4.7 utiliza varios parámetros interesantes para la interpretación como texturas, color, radiancia, entre otros, lo que exige una mayor experticia del analista, sin embargo se podría obtener mejores resultados con imágenes de alta resolución espectral.
- La metodología de Análisis de componentes principales brinda la oportunidad de interpretar la información mediante datos estadísticos que ayudan con la discriminación de los resultados sin embargo es un método poco amigable en la generación e interpretación de la información.
- La evaluación para procesos cuyo resultado son archivos en formato raster se lo hace de forma visual y con visitas de campo a fin de comprobar los productos obtenidos.
- El tamaño de la muestra ideal será siempre el obtenido por procesos matemáticos o estadísticos, sin embargo se debe considerar dentro del área de estudio la cantidad de coberturas a analizar, el presupuesto para salidas de campo así como el tiempo y dificultad que llevaría la movilización a determinados puntos que no necesariamente requieren de un muestreo.

7.2. RECOMENDACIONES.-

- Para la aplicación de las metodologías estudiadas en la presente investigación es importante revisar el tamaño de celdas y columnas de los resultados ya que suelen cambiar en cada proceso lo que al momento de realizar la operación para

detectar los cambios podría dar resultados erróneos si no se ha tomado en cuenta lo indicado.

- Se recomienda utilizar varios programas que puedan ayudar con los procesos, ya que no siempre se llega a conocer un determinado software y el máximo de potencialidades que pueda brindar al analista, de igual forma también se puede interactuar, mantenerse actualizado y aprender el manejo de los procesos en distintos paquetes informáticos.
- Se debe tener en cuenta que el análisis de identificación de cambio de uso de suelo puede brindarnos una buena aproximación a la realidad, pero no evita la verificación en campo y el entendimiento in situ del comportamiento de determinadas coberturas.

7.3. BIBLIOGRAFÍA.-

- A. Velásquez, J.F. Mas, J.R. Díaz – Gallegos, R. Mayorga – Saucedo, P.C. Alcántara, R. Castro, T. Fernández y J.L.Palacio, Instituto de Geografía, Universidad Nacional Autónoma de México.
- Berry, M.W., R.O. Flamm, B.C. Hazen, y R.L.MacIntyre, 1996 “The Land – Use Change and Analysis System (LUCAS) for Evaluating Landscape Management Decisions” IEEE Computational Science & Engineering 3 (1):24-35.
- Cincotta, R.P., J. Winsnewski, y R. Engelman 200, “Human population in the biodiversity hotspots” Nature, 404: 990-991.
- Congalton, R.B.(1991):”A review of assessing the accuracy of classifications of remotely sensed data” Remote Sensing of Environment, 37:35-46.
- Coppin, P.R. and Bauer M.E. (1994). Processing of multitemporal Landsat TM imagery to optimize extraction of forest cover change features. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing 32 (4):918-927.
- Chavez, P.S. y Kwarteng, A. Y. (1989): “Extracting spectral contrast in Landsat Thematic Mapper image data using selective principal component analysis”, Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 55:339-348.

- Chuvieco E.S.,2008, Teledetección Ambiental, la observación de la Tierra desde el Espacio, 3° edición actualizada.
- Grover, K.D.; Quegan, S.; Yanasse, C.C.F. y Dutra, L.V. (1995):”Potencial Use of ERS-1 in Tropical Forest Monitoring. A study of the Tepajos National Forest, Brazil”, Earth Observation Quarterly, 48:12-15.
- Hay, A.M. (1988):”The derivation of global estimates from a confusion matrix”, International Journal of Remote Sensing, 9:1385-1398.
- Hervás, J. (1987). “La utilidad de análisis de componentes principales en cartografía litológica. Su aplicación a imágenes Landsat-TM y MSS del macizo ultrabásico de Ronda”, II Reunión Nac. Grupo trabajo Teledetección, Valencia:50-52.
- Howarth,P.J. y Wickware, G.M. (1981) “Procedures for change detection using Landsat digital data”, International Journal of Remote Sensing, 2:277-291.
- Itten, K.I. y Meyer, P. (1993):”Geometric and Radiometric Correction of TM Data of Mountainous Forested Areas”, IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing,31:764-770.
- IEEE Transactions on Image Processing, 16(2), 463–478. Internet Remote Sensing of Environment, 112(3), 1025–1036.
- Kasischke, E.S.; French, N.H.F.;Harrell, P.;Christensen, N.L.;Ustin, S.L.; Ustin, S.L. y Barry, D. (1993): “Monitoring of wildfires in Boreal Forests using large area AVHRR NDVI composite image data” Remote Sensing of Environment, 45:61-75.
- Lambin, Eric F., B.L. Turner, Helmut J. Geist, Samuel B. Agbola, Arild Angelsen, John W. Bruce, Oliver T. Coomes, Rodolfo Dirzo, Gunther Fischer, Carl Folke, P.S. George, Katherine Homewood, Jacques Imbernon, Rik Leemas, Xiubin Li, Emilio F. Moran, Michael Mortimore, P.S. Ramakrishnan, John F. Richars, Helle Skanes, Will Steffen, Glenn D. Stone, Uno Svedin, Tom A. Veldkamp, Coleen Vogel y Jianchu Xu, 2011. “The causes of land use and land cover change moving beyond the myths” Global Environmental Change 11:261-269.
- Lo, C.P. (1986): Applied Remote Sensing, Nueva York, Longman Scientific and Thecnical.
- Martín, M.P.;Chuvieco, E. (1995): “Mapping and evaluation of burned land from multitemporal analysis of AVHRR NDVI images”, EARSeL Advances in Remote Sensing, 4(3):7-13.

- Martín, M.P., and Chuvieco, E. (1995), Cartografía y evaluación superficial de grandes incendios forestales a partir de imágenes de satélite” *ecología*, vol. 9, pp.9-21.
- Masselli, F.; Conese, C.; De Filippis, T. y Norcini, S. (1995):”Estimation of forest parameters through fuzzy classification of TM data”, *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 33:77-84.
- Mercuri, P., Frulla, L., Rebella, C., & Gagliardini, A, “Estimacion de Areas Sembradas Utilizando Imagenes LANDSAT-5/TM Y ERS-1/SAR EN EL Sudeste Bonaerense Argentino” *The Use and Applications of ERS in Latin America, Proceedings of an International seminar held in Vina del Mar, Chile, 25-29 November 1996. Edited by T.-D. Guyenne. ESA SP-405. Paris: European Space Agency, 1997, p.29*
- Noble, U. R. y R. Dirzo 1997, “Forest as human dominated ecosystem”. *Science* 277:522-525.
- Rajesh Acharya. Comparison of change detection techniques in Chitwan District of Nepal.
- Revelo y Palacios, Diagnóstico Situacional de la Cobertura vegetal En las zonas de Trabajo del Proyecto costas y Bosques Sostenibles: Pág # 3.
- Reuter, F. Facultad de ciencias forestales UNSE, Teledetección forestal 1990
- Riaño, O.M. “Colombia Forestal- Consideraciones y métodos para la detección de cambios empleando imágenes de satélite en el municipio de Paipa”, 2002-11-00 vol:7 nro:15 pág:41-62
- Singh, A. (1986): “Change detection in the tropical forest environment of Northeastern India using Landsat”, en *Remote Sensing and Tropical Land Management* (editado por M.J. Eden y J.T. Parry). Chichester, John Wiley:237-254.
- Técnicas en detección de cambios del Centro especial Teófilo Tabanera del Ingeniero Álvaro Soldano, septiembre 2009.
- Turner, B.L. y W.B. Meyer 1994 “Global Land use and land cover change: an overview” En Meyer, W.B. y B.L. Turner II 1994. *Changes in land use and land cover: a global perspective*. Cambridge University Press.
- Vitousek, P.M., H.A. Mooney, J. Lubchenco y J.M. Melillo 1997 “Human domination of Earth’s ecosystems” *Science* 277: 494-499.

- Yamaguchi, Y., Kahle, A., Tsu, H., Kawakami, T., Pniel, M. 1998. Overview of Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer (ASTER). IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 36(5): 1062-1071.

7.3.1. WEBGRAFÍA.-

- <http://www.imm.dtu.dk/pubdb/p.php?5362>.
- <http://www.oocities.com/hzerda/monitoreo/monitor.htm>
- <http://earthobservatory.nasa.gov/Observatory/Datasets/ndvi.fasir.html>)
- <http://www.ine.gob.mx/publicaciones/gacetitas/62/velasquez.html>
- <http://www.a-a-r-s.org/acrs/proceeding/ACRS2002/Papers/HDA02-4.pdf>
- <http://www.imm.dtu.dk/pubdb/p.php?4695>
- http://nitkk.academia.edu/MaheshPal/Papers/528242/Factors_influencing_the_accuracy_of_remote_sensing_classifications_a_comparative_study
- <http://www.un.org/esa/population/publications/longrange2/WorldPop2300final.pdf>
- <http://www.spssfree.com/spss/analisis2.html>
- http://www.ine.gob.mx/publicaciones-libros-508-percepcion_pdf
- <http://www.srgis.cl>
- <http://www.isprs.org/istanbul2004/comm1/papers/34.pdf>
- http://www.science.aster.ersdac.or.jp/en/documnts/users_guide/part1/pdf/Part2_4E.pdf
- http://descartes.cnice.mec.es/materiales_didacticos/Muestreo_Inferencia_Estadistica/estimacion_intervalos.html
- <http://revistas.udistrital.edu.co/ojs/index.php/colfor/article/view/3306/4808>
- <http://natres.psu.ac.th/Link/SoilCongress/bdd/symp35/2200-t..pdf>
- http://www.srgis.cl/pdf/guia_basica_imagenes_satelitales.pdf

CARRERA DE INGENIERÍA GEOGRÁFICA Y DEL MEDIO AMBIENTE

DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD

Yo, Santiago Rafael Rojas Unda

DECLARO QUE:

El proyecto de grado titulado “EVALUACIÓN DE METODOLOGÍAS PARA PROCESAMIENTO DE IMÁGENES SATELITALES PARA IDENTIFICACIÓN DE CAMBIO DE USO DE SUELO”, ha sido desarrollado con base a una investigación exhaustiva, respetando derechos intelectuales de terceros, conforme las citas que constan al pie de las páginas correspondientes, cuyas fuentes se incorporan en la bibliografía. Consecuentemente este trabajo es de mi autoría.

En virtud de esta declaración, me responsabilizo del contenido, veracidad y alcance científico del proyecto de grado en mención.

Sangolquí, 28 Octubre de 2011

Santiago Rafael Rojas Unda

PIE DE FIRMAS

FECHA DE ENTREGA: 28 DE OCTUBRE DE 2011

AUTOR
SANTIAGO RAFAEL ROJAS UNDA

**COORDINADOR DE LA CARRERA DE
INGENIERIA GEOGRAFICA
Y DEL MEDIO AMBIENTE**

SECRETARIO ACADEMICO

ING. FRANCISCO LEON

DR. MARCELO MEJIA