

**UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRES  
FACULTAD TECNICA  
CARRERA TOPOGRAFIA Y GEODESIA**



**Examen de Grado**

**AREA: SIG, FOTOGRAMETRIA Y TELEDETECCION**

**“ELABORACION DE MAPAS TEMATICOS A ESCALAS  
1:50.000 – 1:25.000 EN BASE AL ANALISIS DE IMAGENES  
SATELITALES O FOTOGRAFIAS AEREAS”**

**POSTULANTE: Edgar Ramiro Choque Flores**

**LA PAZ - BOLIVIA**

**2010**

## **DEDICATORIA:**

*A mis Padres: VÍcto Choque y Lucía Flores de Choque, por el apoyo incondicional que me brindaron, a mis hermanos Milton, Agueda y Elma, y demás familiares por el constante apoyo, siempre estaré agradecido por toda la generosidad que me brindaron durante los cinco años de estudio universitario y además durante el proceso de la investigación del presente proyecto, gracias a todos ellos de corazón.*

## **AGRADECIMIENTO:**

*Agradezco a la comunidad universitaria, por transmitirme sus conocimientos para encarar este proyecto y otros quienes fueron mis docentes en la carrera de Topografía y Geodesia, gracias por la formación académica que recibí de cada uno de ellos durante los años universitarios, y llevar los recuerdos, experiencias en mi vida profesional.*

## INDICE

<b>PARTE I: INTRODUCCION</b> .....	3
1.1 INTRODUCCIÓN.....	3
1.2 ANTECEDENTES.....	4
1.2.1 UBICACION GEOGRAFICA.....	4
1.3 OBJETIVOS.....	7
1.3.1 Objetivo General.....	7
1.3.2 Objetivos Específicos.....	7
1.4 JUSTIFICACION DE LA INVESTIGACIÓN.....	7
1.4.1 JUSTIFICACIÓN TEORICA.....	7
1.4.2 JUSTIFICACIÓN METODOLÓGICA.....	8
1.4.3 JUSTIFICACIÓN PRÁCTICA.....	8
1.5 CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES.....	8
<b>PARTE II: MARCO TEORICO</b> .....	9
2.1. PERCEPCION REMOTA.....	9
2.1.1 EL ESPECTRO ELECTROMAGNÉTICO.....	9
2.1.2 INTERACCION DE LA ATMOSFERA CON LA RADIACION ELECTROMAGNETICA.....	10
2.1.3 TIPOS DE RESOLUCION.....	12
2.1.3.1 RESOLUCIÓN ESPACIAL: .....	12
2.1.3.2 RESOLUCIÓN ESPECTRAL: .....	12
2.1.3.3 RESOLUCIÓN RADIOMÉTRICA: .....	13
2.1.3.4 RESOLUCIÓN TEMPORAL: .....	13
2.1.3.5 RESOLUCIÓN ANGULAR:.....	14
2.2 TIPOS DE SENSORES.....	15
2.3 SATÉLITES LANDSA.....	16
2.4.1 LANDSAT TM (THEMATIC MAPPER).....	16
2.4.2 SELECCIÓN DE BANDAS ESPECTRALES DE LANDSAT TM....	17
2.4 CLASIFICACIÓN DE IMÁGENES.....	20
2.4.1 CLASIFICACIÓN DIGITAL.....	21
2.4.1.1 MÉTODO NO SUPERVISADO.....	22
2.4.1.2 MÉTODO SUPERVISADO.....	24
2.5 VECTORIZACIÓN.....	25
<b>PARTE III: MATERIAL Y EQUIPOS</b> .....	27
3.1 MATERIALES.....	27

3.2 EQUIPOS.....	27
<b>PARTE IV: METODOLOGIA.....</b>	<b>28</b>
4.1 METODOLOGIA.....	28
4.1.1 PREPROCESAMIENTO.....	29
4.1.2 DEFINICIÓN DE UNA LEYENDA.....	30
4.1.3 DEFINICIÓN DE ZONAS REPRESENTATIVA DENTRO EL ÁREA DE ESTUDIO.....	30
4.1.4 CLASIFICACIÓN NO SUPERVISADA DE IMÁGENES SATELITALES.....	30
4.1.5 VECTORIZACION Y CALCULO DE AREAS.....	31
<b>PARTE V: RESULTADOS DEL PROYECTO.....</b>	<b>33</b>
5.1 RESULTADOS DEL PROYECTO.....	33
5.1.1 DESCRIPCIÓN DEL LA IMAGEN DE AÑO 2009.....	33
5.2 RESULTADOS DE PORCENTAJES.....	34
5.3 RESULTADOS DE AREAS.....	35
<b>PARTE VI: CONCLUSIONES FUNDAMENTALES.....</b>	<b>36</b>
6.1 CONCLUSIONES.....	36
<b>PARTE VII: RECOMENDACIONES.....</b>	<b>37</b>
7.2 RECOMENDACIONES.....	37
<b>PARTE VIII REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.....</b>	<b>38</b>
8.1 BIBLIOGRAFÍA.....	38
8.2 PÁGINAS WEB VISITADAS.....	39

## INDICE DE CUADROS

<b>Cuadro 1</b> Ubicación geográfica UTM.....	5
<b>Cuadro 2.</b> CRONOGRAMA DE TRABAJO.....	9
<b>Cuadro 3.</b> Características del sensor Landsat TM.....	17
<b>Cuadro 4.</b> Bandas del Landsat TM .....	17
<b>Cuadro 5.</b> Análisis de área de tres años.....	34
<b>Cuadro 6.</b> Porcentajes de tres años.....	35

## INDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Ubicación del Área de Estudio .....	5
<b>Figura 2.</b> Imagen Satelital LANDSAT TM.....	6
<b>Figura 3.</b> Espectro Electromagnético.....	9
<b>Figura 4.</b> Formas de interacción de la radiación con la materia.....	11
<b>Figura 5.</b> Consecuencias de la resolución espacial Tomado de Pinilla.....	13
<b>Figura 6.</b> Consecuencias de la resolución espectral Tomado de Pinilla.....	13
<b>Figura 7.</b> Resolución temporal.....	14
<b>Figura 8.</b> Sistemas activos y pasivos de Teledetección.....	15
<b>Figura 9.</b> combinaciones de bandas más utilizadas.....	19
<b>Figura 10.</b> Sensores RBV, MS y TM representados en una firma espectral.....	24
<b>Figura 11.</b> Diagramas de Flujo de clasificación Supervisada y no supervisada...22	
<b>Figura 12.</b> Proceso ISODATA.....	23
<b>Figura 13.</b> Conversión raster-vector. Modificado de Laurini (1992).....	26
<b>Figura 14.</b> Imágenes llegar a un solo tono.....	29
<b>Figura 15.</b> Iz. Imagen Satelital Bandas, Der. Imagen Satelital Clasificada.....	31
<b>Figura 16.</b> Iz. Imagen Clasificada, Der. Imagen Vectorizada.....	32
<b>Figura 17.</b> Análisis de aéreas.....	33
<b>Figura 18.</b> Grafico de Comparación de áreas.....	34
<b>Figura 19.</b> Porcentaje de tres años.....	35

---

---

**“ELABORACION DE MAPAS TEMATICOS A ESCALAS  
1:50.000 – 1:25.000 EN BASE AL ANALISIS DE IMAGENES  
SATELITALES O FOTOGRAFIAS AEREAS”**

***ELABORACION DE UN MAPA TEMATICO MULTITEMPORAL  
ESC 1:100000 “CUENCA DEL LAGO TITICACA”***

**PARTE I: INTRODUCCION**

**1.1 INTRODUCCIÓN**

Se ha evaluado las áreas protegidas a través de sensores remotos, con resultados muy positivos, no obstante, y se ha determinado, que los cambios detectados a través de los análisis de imágenes. Por ello, se hace necesario el análisis y detección del cambio de uso de suelo.

Para evaluar el uso de suelo en el lago Titicaca de una manera integral se considero el uso de imágenes de satélite por ser la forma más adecuada para obtener resultados más cercanos a la realidad, permitiendo evaluar áreas relativamente grandes y complejas, lo que permite ahorrar tiempo y dinero.

Es importante por la cantidad de ecosistemas que se presenta en un área relativamente grande y esto se debe a que las condiciones topográficas y geológicas son muy variables.

Los sensores remotos han sido empleados para la generación de mapas temáticos, (uso de la tierra, áreas en riesgo, tipos de suelo, zonas de vida, entre otros). Estos mapas por lo general representan la fase intermedia del análisis de un proyecto. Por otra parte la cartografía resultante del uso de los sensores remotos, representa capas de información que fácilmente se incorporan a un Sistema de Información Geográfico (SIG) y que podrán estar vigentes para análisis posteriores.

Los sensores remotos son una fuente de datos, que a través de un SIG se han convertido en la actualidad, en una herramienta de mucha utilidad y de amplia difusión hoy en día, entre las instituciones encargadas de tomar decisiones relativas al manejo de los recursos naturales.

El uso de sensores remotos, plantea la opción de realizar estudios de la dinámica del cambio de uso del suelo a través del tiempo, usando series de datos (imágenes) de distintas fechas. Existen muchos métodos para la detección del cambio de uso del suelo, metodologías propuestas que permiten estudiar esta dinámica, no obstante aún hay mucho por hacer y conocer en referencia a esta tecnología, que no está exenta de errores.

## **1.2 ANTECEDENTES**

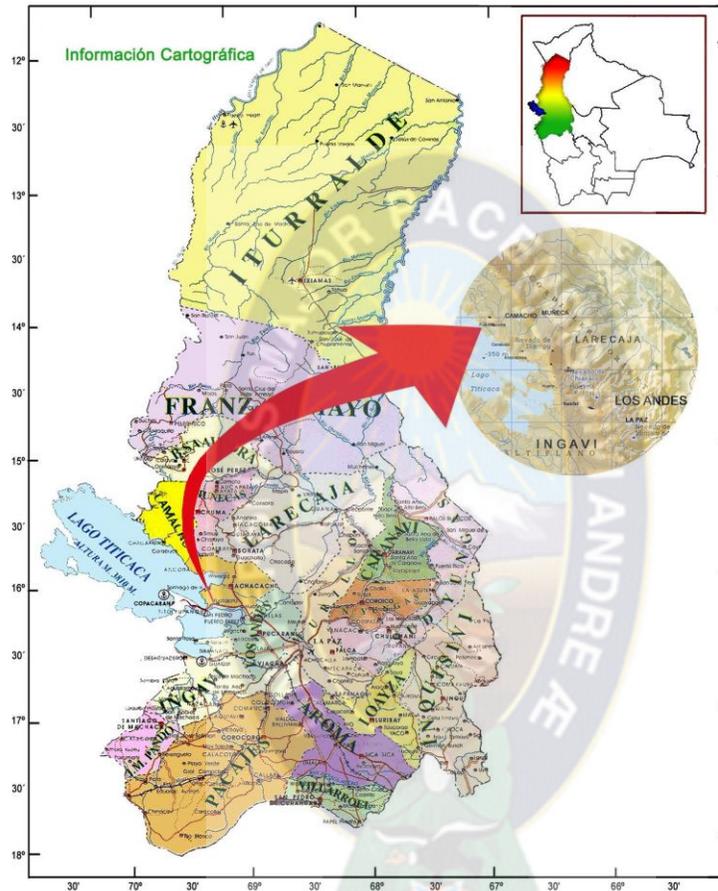
El presente trabajo de aplicación básicamente se fundamenta en la aplicación de conocimientos tanto teóricos como prácticos adquiridos durante la formación académica principalmente en lo que concierne a la ciencia de Teledetección y Sistemas de información Geográfica.

La región de estudio es el escenario de una intensa actividad humana desde el pasado precolombino, colonial y el republicano que modifico el paisaje natural para implementar diferentes tipos de estructuras (casas, carreteras, cultivos etc.), en función del aprovechamiento de los recursos naturales, como es el área de estudio, sectores que rodean el lago Titicaca lado boliviano.

### **1.2.1 UBICACION GEOGRAFICA**

El área de estudio comprende parte del departamento de La Paz (Fig. 1), ubicada entre 16° 00' a 16° 35' de latitud sur, y 68° 40' a 69° 00' de longitud oeste.

Políticamente pertenece a la Provincia Ingavi, Los andes, Manco Kapac y Omasuyos del Departamento de La Paz, siendo las poblaciones más importantes: Achacachi, Tiahuanacu Ancoraimes, Puerto Suarez; San Pedro de Tiquina, Taraco y Tito Yupanqui.



**Figura 1.** Ubicación del Área de Estudio

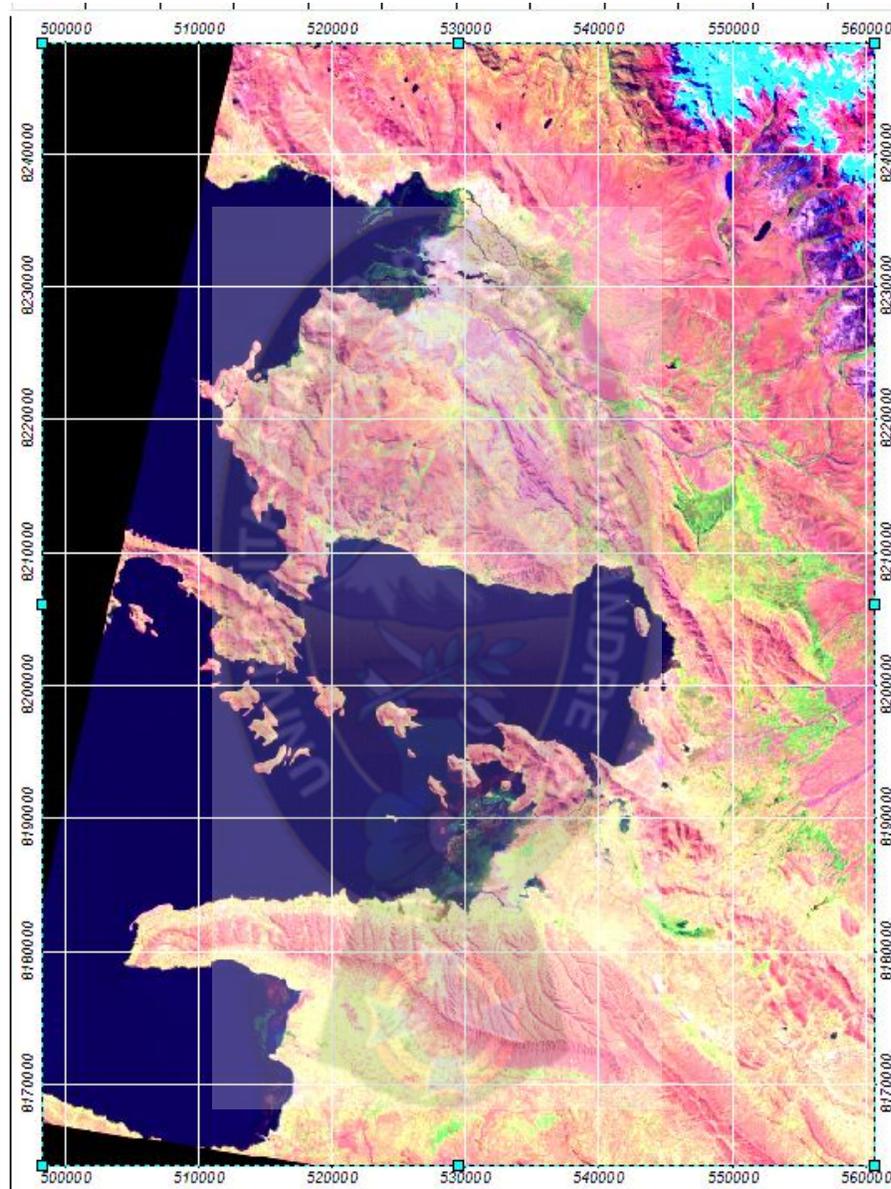
Fuente. Encarta 2009

<b>DESCRIPCION GEOGRAFICA</b>	<b>UBICACION</b>
Sistema de Proyección	UTM (Universal Transversa de Mercator)
Sistema Geodésico de Referencia	WGS-84 (Sistema Geodésico Mundial)
Zona Geográfica	19 S
Meridiano Central	69° W
<b>ESTE</b>	<b>NORTE</b>
502195.00	8243748.00
547187.00	8165904.00

**Cuadro 1.** Ubicación geográfica UTM

**Fuente:** Elaboración propia en base a la observación realizada.

Para su clasificación, fue obtenida imágenes del satélite LANDSAT TM, la imagen utilizada es del 2 de noviembre de 2002 (ver figura 2) con la banda 5,4,3.



**Figura 2.** Imagen Satelital LANSAT TM

**Fuente.** NASA sensor LANDSAT TM

La geografía de la región denota cinco serranías importantes, la Serranía de Tiahuanacu y Taraco que encierra en forma de herradura al valle de Tiahuanacu.

Hidrográficamente la región pertenece a la cuenca menor del lago Titicaca, donde echan sus aguas los principales ríos.

### **1.3 OBJETIVOS.**

#### **1.3.1 OBJETIVO GENERAL**

Realizar un mapa Temático del cambio de uso de tierra mediante imágenes de satélite LANDSAT TM, con el análisis multitemporal 2002, 2006 y 2009.

#### **1.3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Obtener la georeferencia de las imágenes satelitales
- Identificar el mayor número de clases de información considerando la diversidad de categorías de uso del suelo
- Identificar y separar áreas entre las cuales existen variaciones de suelo desnudo, vegetación, zonas rocosas, bofedales y cuerpos de agua
- Realizar análisis multitemporal de área de estudio de tres años diferentes.

### **1.4 JUSTIFICACION DE LA INVESTIGACIÓN**

#### **1.4.1 JUSTIFICACIÓN TEORICA**

Para el desarrollo del proyecto, es de vital importancia tener una buena formación académica en todas las áreas concernientes a la topografía, especialmente en las áreas de fotogrametría, teledetección y SIG (sistemas de información geográfica), para el procesamiento de las imágenes.

Para el trabajo de campo, todas las áreas referentes al levantamiento de una zona, y localización de puntos geográficos, como lo son topografía y geodesia; y para el análisis y presentación de la información, tenemos áreas como estadística,



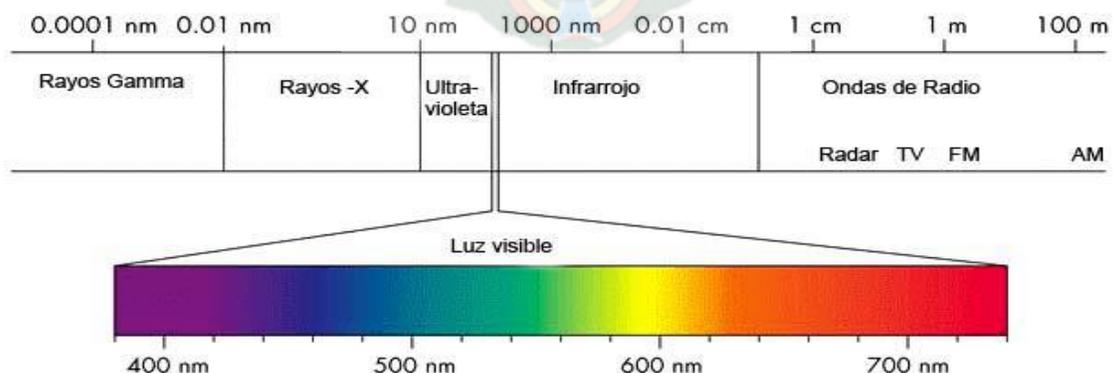
## PARTE II: MARCO TEORICO

### 2.1. PERCEPCION REMOTA

Los requerimientos de información y la disponibilidad de los datos para análisis de la misma es una importante consideración en el planeamiento de la operación y la implementación. A menudo, una variedad de recursos de datos, incluyen sensores radar, Óptico-electrónicos, fotografías aéreas, que deben ser usados donde el formato, calidad y nivel de información varían. En las últimas décadas, la Teledetección ha sido usada eficazmente como herramienta de Manejo de los Recursos Naturales, permitiendo obtener un rango más amplio de información en un lapso más corto de tiempo, que el empleado con métodos tradicionales.

#### 2.1.1 EL ESPECTRO ELECTROMAGNÉTICO

Cada tipo de energía radiante tiene parámetros que la caracterizan, como por ejemplo la frecuencia y la longitud de onda. Como se puede apreciar en la figura 1, las longitudes de onda posibles varían entre 0.01 amgstroms hasta los 10 metros aproximadamente, mientras que las frecuencias oscilan entre los  $10^{14}$  y los 10 2MHz. A toda esa gama de radiaciones con diversas características se lo denomina espectro electromagnético ver (figura 3).<sup>2</sup>



<sup>2</sup> Teledetección ambiental Emilio Chuvieco

**Figura 3.** Espectro Electromagnético  
**Fuente.** Teledetección ambiental, Emilio Chuvieco

## **2.1.2 INTERACCION DE LA ATMOSFERA CON LA RADIACION ELECTROMAGNETICA**

Hay que tener en cuenta un cuarto elemento aparte del sensor, el objeto y el flujo electromagnético: la atmósfera que hay entre medio. La energía solar incidente en nuestro planeta está cifrada en  $340 \text{ Wm}^{-2}$  (vatios/m<sup>2</sup>). De toda ella, sólo  $173 \text{ Wm}^{-2}$  llegan a la superficie terrestre, este factor de reducción o ALVEDO habrá de ser tenido en cuenta a la hora de interpretar la respuesta de los objetos. En el trayecto seguido por la radiación electromagnética ésta sufrirá tres fenómenos principales:

- Absorción
- Dispersión
- Emisión

Sus efectos se manifiestan en un emborronamiento de la imagen; se reduce el contraste y la cantidad total de radiación que llega al sensor. Existen diversas correcciones en forma de algoritmos para tratar estos efectos.

- **absorción**

Proceso por el cual las moléculas y partículas de la atmósfera absorben la energía radiante ( $65 \text{ Wm}^{-2}$ ) y la transforman en energía interna que posteriormente será emitida en el infrarrojo térmico. La atmósfera reduce así la observación espacial a ciertas bandas concretas del espectro, llamadas ventanas atmosféricas. Pero si lo que se pretende es estudiar la atmósfera (satélites meteorológicos), los sensores se diseñarán para captar la radiación precisamente en aquellos lugares donde la absorción atmosférica sea más alta.

- **dispersión**

Este fenómeno se traduce en un redireccionamiento o pequeño desvío del camino recto de propagación (ver fig. 4). Es causado por la interacción entre la radiación y los gases y partículas atmosféricas. La reflexión consiguiente a ese choque, supone un aporte adicional a la radiancia proveniente de la superficie terrestre. Se reduce por tanto la radiancia directa, aumentando la difusa. Los principales causantes son los aerosoles y el vapor de agua. Se describen tres tipos de dispersión:

**Dispersión Rayleigh.** Se produce cuando afecta a longitudes de onda menores que el tamaño de la partícula. Afecta por tanto a las longitudes de onda más cortas. Es la de mayor influencia en teledetección. Es la causante del color azul del cielo.

**Dispersión Mie.** Se produce cuando afecta a longitudes de onda de tamaño similar al tamaño de la partícula. También depende de la longitud de onda.

**Dispersión no selectiva.** Producida por las partículas de mayor tamaño. Afecta por igual a todas las longitudes de onda. Por eso las nubes y nieblas se ven de color blanco, ya que dispersan por igual toda la luz visible.



**Figura 4.** Formas de interacción de la radiación con la materia  
**Fuente.** Teledetección ambiental, Emilio Chuvieco

- **Emisión**

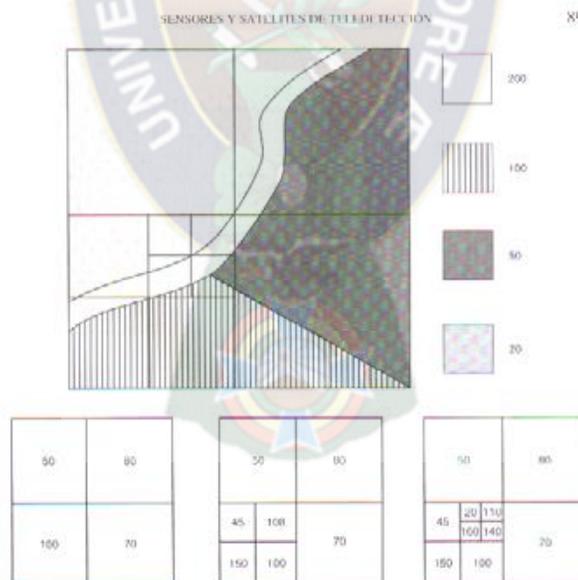
Como cualquier cuerpo con temperatura mayor que  $-273\text{ }^{\circ}\text{K}$ , emite su propia radiación, que lógicamente tiene mayor importancia en el infrarrojo térmico. Por

tanto, su efecto es fundamental si pretendemos trabajar en dicha banda del infrarrojo térmico.<sup>3</sup>

### 2.1.3 TIPOS DE RESOLUCION

**2.1.3.1 RESOLUCIÓN ESPACIAL:** Es el objeto más pequeño que puede ser distinguido sobre la imagen. Define el tamaño del pixel, que es la distancia correspondiente al tamaño de la mínima unidad de información en la imagen. En sensores de antena, la resolución depende del radio de apertura, de la altura de la plataforma, y de la longitud de la onda. A mayor radio, menor altitud y menor longitud de onda, la resolución es más detallada. Solo son discriminables en la imagen, elementos de tamaño superior a la resolución espacial (es decir, al tamaño del pixel). La resolución espacial está relacionada con la escala de trabajo y la fiabilidad de la información.

El pixel mixto es definido por una señal intermedia a las cubiertas que lo componen.

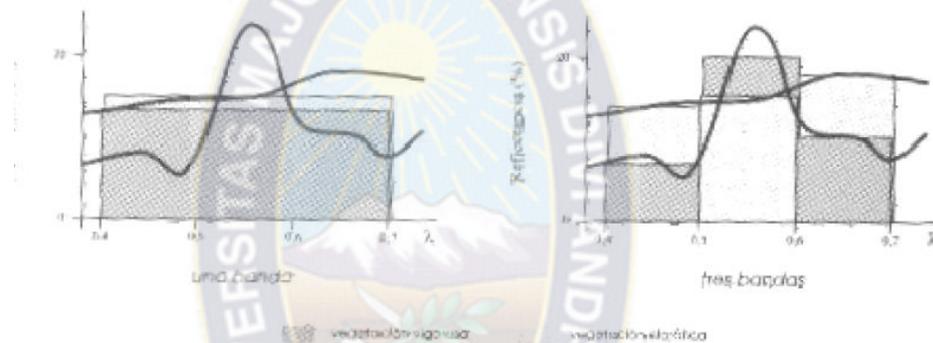


**Figura 5.** Consecuencias de la resolución espacial. Tomado de Pinilla  
**Fuente.** Teledetección Nociones y Aplicaciones Perez, G. Carlos- Muñoz N. ANGEL

<sup>3</sup> Teledetección ambiental Emilio Chuvieco

**2.1.3.2 RESOLUCIÓN ESPECTRAL:** Indica el número y anchura de las bandas espectrales que puede discriminar el sensor. En este sentido, un sensor tendrá una resolución espectral más grande cuanto mayor sea el número de bandas proporcione.

A la vez conviene que estas bandas sean suficientemente estrechas con objeto de recoger la señal sobre regiones coherentes del espectro. Bandas muy amplias suponen registrar un valor promedio que puede encubrir la diferenciación espectral entre cubiertas de interés. El siguiente gráfico deja bien aclarado este concepto.



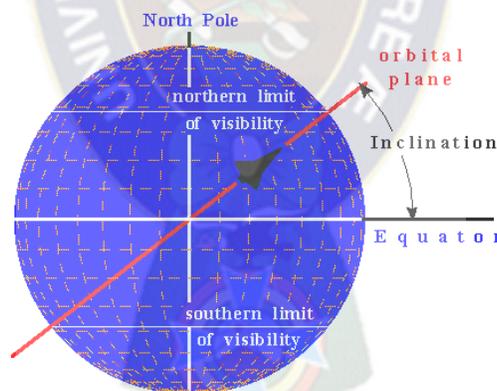
**Figura 6.** Consecuencias de la resolución espectral. Tomada de Pinilla  
**Fuente.** Teledetección Nociones y Aplicaciones Perez, G. Carlos- Muñoz N. ANGEL

**2.1.3.3 RESOLUCIÓN RADIOMÉTRICA:** Es la sensibilidad del sensor, es decir, la capacidad para detectar variaciones en la radiancia espectral que recibe. Determina el número de niveles de gris recogidos en el film, se expresa en niveles por pixel (64-128-256-1024). A mayor resolución radiométrica, mejor interpretación de la imagen. El número de niveles más adecuado, depende del método que se siga en la interpretación, el ojo humano no puede detectar más de 64 niveles de gris.

**2.1.3.4 RESOLUCIÓN TEMPORAL:** Es la frecuencia de cobertura que proporciona el sensor, es decir, la periodicidad con que este adquiere imágenes de la misma porción de la superficie terrestre. Está en función de las características orbitales de la plataforma (altura, velocidad e inclinación) y del diseño del sensor (ángulo de observación y ángulo de cobertura). A mayor resolución espacial, menor

resolución temporal, menor resolución espectral y menor resolución radiométrica. A menor resolución, aumenta el número de datos. El sensor convierte una señal analógica (la radiancia recibida), en un valor digital por ello no se habla de fotografías, sino de imágenes digitales, en razón a su estructura interna. Estos valores se traducen de nuevo en niveles de radiancia conociendo los coeficientes de calibrado del sensor y las condiciones de adquisición. La conversión de digital a analógica obtiene los valores de radiancia original detectados por el sensor. Por ello, no solo facilitan una imagen, sino una medición de la superficie.

En el sensor de apertura circular, la resolución es inversamente proporcional al diámetro de apertura y directamente a la longitud de la onda. Se utilizan longitudes de onda largas para cartografiar hielo y nieve. Una adecuada resolución, requiere una antena de grandes proporciones. Ciclo de recubrimiento: tiempo que tarda el sensor en pasar sobre la misma porción de la tierra. Periodo Orbital: Tiempo en circundar la tierra.



**Figura 7.** Resolución temporal

**Fuente.** Teledetección Nociones y Aplicaciones Perez, G. Carlos- Muñoz N. ANGEL

**2.1.3.5 RESOLUCIÓN ANGULAR:** Por ella se entiende la capacidad que tiene un sensor para tomar imágenes oblicuas. Esta propiedad permite no solamente acortar los ciclos temporales de recubrimiento, sino que posibilita la generación de imágenes estereoscópicas y por tanto la reconstrucción del relieve.

En un análisis conjunto de las diferentes resoluciones de los satélites llegaríamos a la conclusión de que un satélite no es mejor ni peor que otro debido a su resolución.

Cada misión espacial ha concebido unos sensores adaptados a unos determinados usos y eso es lo importante.<sup>4</sup>

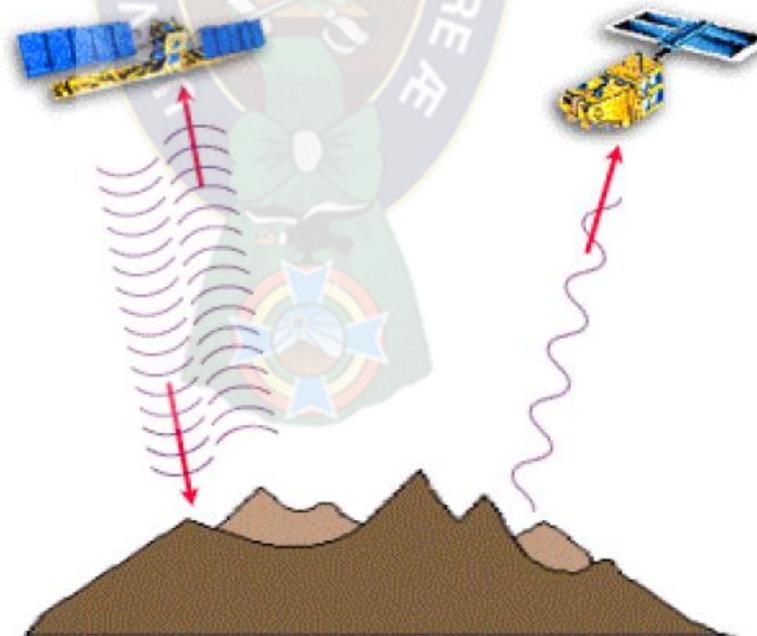
## 2.2 TIPOS DE SENSORES

En un sistema de teledetección el sensor es básico y la consecución de los objetivos propuestos a la hora de realizar cualquier tipo de proyecto de teledetección dependerá de su correcta elección en función de sus resoluciones espectral, espacial, temporal y radiométrica.

Los sensores pueden clasificarse, en primera instancia, en (ver figura 5):

**Activos:** son aquellos que emiten radiación en la longitud de onda deseada y luego reciben la porción que los objetos han reflejado.

**Pasivos:** cuando se limitan a recibir radiación electromagnética.



**Figura 8.** Sistemas activos y pasivos de Teledetección  
**Fuente.** Teledetección ambiental, Emilio Chuvieco

<sup>4</sup> Teledetección Nociones y Aplicaciones Perez, G. Carlos- Muñoz

Otro método de clasificación los diferencia en función del satélite o plataforma sobre la que van instalados:

**Satélites de órbita geoestacionaria:** "vuelan" a 300.000 kilómetros sobre la Tierra y giran con el mismo periodo de revolución que ella, de forma que el sensor está continuamente tomando imágenes (electrónicas, no fotográficas) del mismo punto.

**Satélites de órbitas polares:** orbitan a 400 km. de distancia, su tamaño de pixel será, por tanto, más reducido, y vuelven a tomar la misma escena cada cierto periodo de tiempo.<sup>5</sup>

### **2.3 SATÉLITES LANDSAT:**

Satélite norteamericano, Altitud 705 km, con imágenes disponibles de 8 bandas (última generación). Presenta tres sensores:

**Sensor MSS:** Sensor de los primeros Landsat, desde 1972 ha sido el sensor más empleado. Presenta una resolución espacial de 80m cinco bandas espectrales.

**Sensor TM:** Se incorporó a partir de 1984 en los dos últimos satélites (landsat 4 y 5). Diseñado para cartografía temática y presenta 16 detectores por banda.

**Sensor ETM:** se lanzó en abril de 1999. Consiste de un sensor multiespectral de 8 bandas. Presenta una resolución espacial de 15 m en modo pancromático y de 30 m en las bandas que van desde el visible hasta el infrarrojo medio y de 60 m en la banda térmica.

#### **2.3.1 LANDSAT TM (THEMATIC MAPPER)**

El sensor TM (Thematic Mapper) supone grandes mejoras en las resoluciones espacial, espectral y radiométrica (ver tabla 2), La resolución espectral y espacial por banda del sensor es (ver tabla 3).<sup>6</sup>

---

<sup>5</sup> Teledetección Nociones y Aplicaciones Perez, G. Carlos- Muñoz

<b>Tipo</b>	<b>sensor opto-electrónico</b>
Resolución espacial	30-120 m
Rango espectral	0.45-12.5 $\mu\text{m}$
Número de bandas	7
Resolución temporal	16 días
Tamaño de la imagen	185 x 172 km
Swath	185 km
Stereo	no

**Cuadro 3.** Características del sensor Landsat TM  
**Fuente.** Teledetección ambiental, Emilio Chuvieco

<b>Bandas</b>	<b>Bandas(<math>\mu\text{m}</math>)</b>	<b>Resolución</b>
1	0.45 - 0.53	30m
2	0.52 - 0.60	30m
3	0.63 - 0.69	30m
4	0.76 - 0.90	30m
5	1.55 - 1.75	30m
6	10.4 - 12.5	120m
7	2.08 - 2.35	30m

**Cuadro 4.** Bandas del Landsat TM  
**Fuente.** Teledetección ambiental, Emilio Chuvieco

#### **2.4.2 SELECCIÓN DE BANDAS ESPECTRALES DE LANDSAT TM**

La selección de las bandas de acuerdo a la resolución espectral, tiene mejores aplicaciones considerando una sola banda seria:

#### **BANDA 1**

---

<sup>6</sup> Teledetección ambiental Emilio Chuvieco

- Presenta gran penetración en cuerpos de agua, con elevada transparencia, permitiendo estudios batialtimétricos.
- Sufre absorción por la clorofila y pigmentos fotosintéticos auxiliares (Carotenoides).
- Presenta sensibilidad a columnas de humo originadas en fogatas o de actividades industriales.
- Puede presentar atenuación por la atmósfera.

#### **BANDA 2**

- Presenta gran sensibilidad a la presencia de sedimentos en suspensión, posibilitando su análisis en términos cualitativos y cuantitativos.
- Buena presentación en cuerpos de aguas.

#### **BANDA 3**

- La vegetación verde, densa y uniforme, presenta gran absorción, quedando oscura, permitiendo un buen contraste entre las áreas ocupadas con vegetación y aquellas sin vegetación.
- Presenta buen contraste entre diferentes tipos de cobertura vegetal.
- Permite el mapeado de drenaje a través de la visualización de mata en galería, entalle de los cursos de los ríos en regiones con poca cobertura de áreas vegetal.
- Es la banda más usada para delimitar manchas urbanas, incluida la identificación de nuevos lotes.
- Permite la identificación de áreas agrícolas.
- Los cuerpos de agua absorben mucha energía en esta banda, permitiendo el mapeado de redes de drenaje y delimitación de cuerpos de agua.
- La vegetación verde, densa y uniforme, refleja mucha energía en esta banda, apareciendo bien clara en la imagen.
- Presenta sensibilidad a las rugosidades de las copas de los arboles de selvas y bosques.
- Presenta sensibilidad a la morfología del terreno, permitiendo la obtención de informaciones sobre geomorfología Suelos y Geología.

- Sirve para el análisis y mapeado de facciones geológicas y estructurales.
- Sirve para separar áreas ocupadas con pinos o eucaliptos.
- Sirve para mapear áreas ocupadas por vegetación que fue destruida por el fuego.
- Permite la visualización de áreas ocupadas con mocrófilas acuáticas.
- Permite la identificación de áreas agrícolas.

#### **BANDA 5**

- Presenta sensibilidad tenor de humedad de las plantas, sirviendo para observar el stress en la vegetación, causados por desequilibrio hídrico.
- Esta banda sufre perturbaciones con los excesos de lluvia anteriores a la obtención de la imagen.

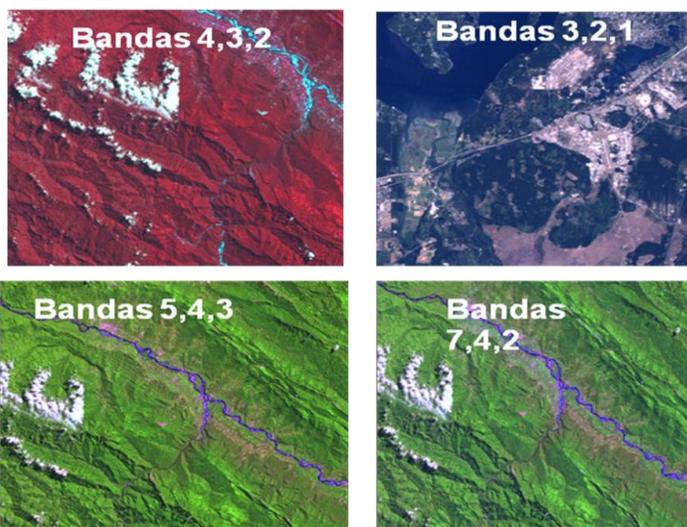
#### **BANDA 6**

- Presenta sensibilidad a los fenómenos relativos a los contrastes térmicos, sirviendo para detectar propiedades térmicas de rocas, suelos y agua.

#### **BANDA 7**

- Presenta sensibilidad a la morfología del terreno, permitiendo obtener informaciones sobre geomorfología y geología.
- Esta banda sirve para identificar minerales con iones hidroxilos.
- Potencialmente favorece la discriminación de productos de alteración hidrotermal.

Pero cuando se utiliza un imagen multispectral, mínimo se utiliza tres bandas por imagen, se toma en cuenta diferentes combinaciones de bandas mas utilizadas (ver fig. 6). Tomado en cuenta estas consideraciones en el proyecto se utilizara la

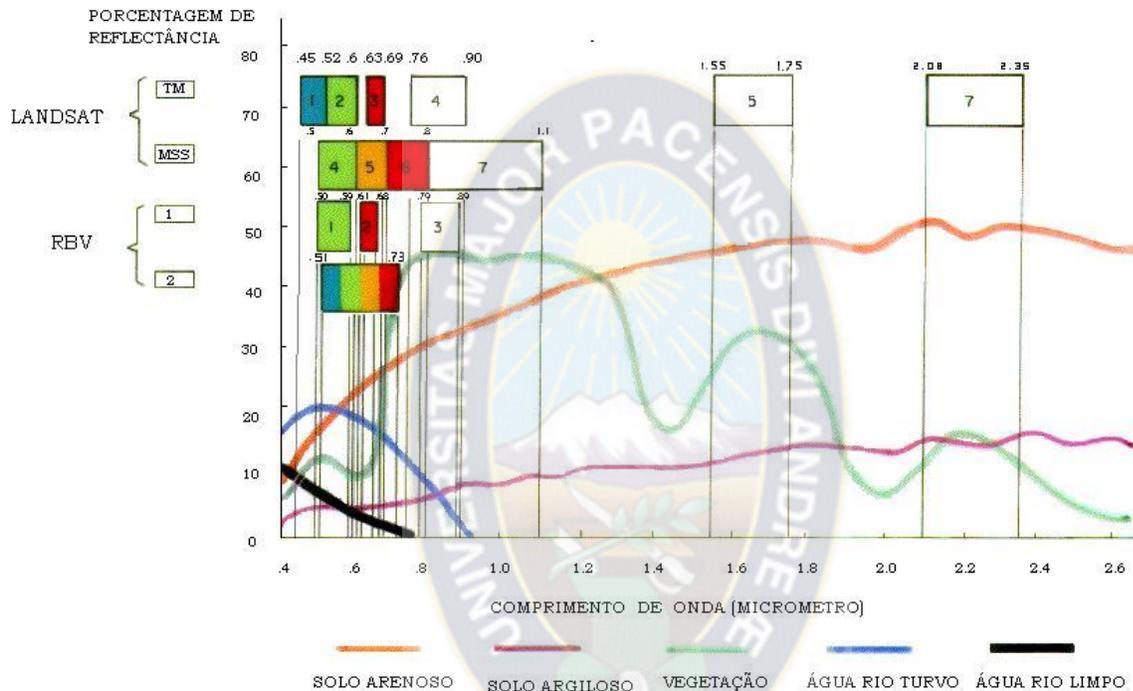


combinación de banda (5,4,3).

**Figura 9.** Combinaciones de bandas más utilizadas

Fuente. NASA sensor LANDSAT TM

La figura 6 presenta los canales de los sensores RBV, MS y TM en relación a las curvas típicas de algunos objetos de la superficie terrestre.<sup>7</sup>



**Figura 10.** sensores RBV, MS y TM representados en una firma espectral  
 Fuente. Teledetección ambiental, Emilio Chuvieco

## 2.4 CLASIFICACION DE IMAGENES

La interpretación computarizada de imágenes provenientes de sensores remotos es conocida como análisis cuantitativo, debido a la habilidad de identificar pixeles basados en sus propiedades numéricas y debido a su habilidad de agrupar pixeles para la estimación de áreas. Para llevar a cabo análisis cuantitativos se siguen procedimientos de clasificación.

<sup>7</sup> Teledetección ambiental, Emilio Chuvieco

Clasificación es un método por el cual son asignadas categorías a grupos de píxeles de acuerdo a su carácter espectral. Esta categorización es implementada por la computadora previamente entrenada para reconocer píxeles con similitudes espectrales

Según el libro de Principios de Teledetección del ITC (1999), el proceso típico de clasificación de imágenes envuelve cinco pasos:

- I. **Selección y preparación de la imagen.** De acuerdo al uso que se pretenda dar a las imágenes se debe elegir el sensor más apropiado, la fecha más indicada y se deben seleccionar las longitudes de onda de banda más apropiadas.
- II. **Definición de los clústers / clases.** En este paso existen dos opciones: clasificación supervisada, en la cual un autor define las clases por medio de muestreos y la clasificación no supervisada donde se utiliza un algoritmo para encontrar y definir un número de clases.
- III. **Selección del algoritmo clasificador.** Una vez que las clases han sido definidas in the feature space, el operador debe decidir cómo deben ser asignados los píxeles a las clases basándose en sus valores digitales (DN), para lo cual existen diferentes criterios.
- IV. **Ejecución del método clasificador.** De acuerdo a su valor digital (DN) cada píxel es asignado individualmente a una clase predefinida.
- V. **Validación de los resultados.** Este paso debe llevarse a cabo para cada juego de datos que es establecido de datos provenientes de sensores remotos.<sup>8</sup>

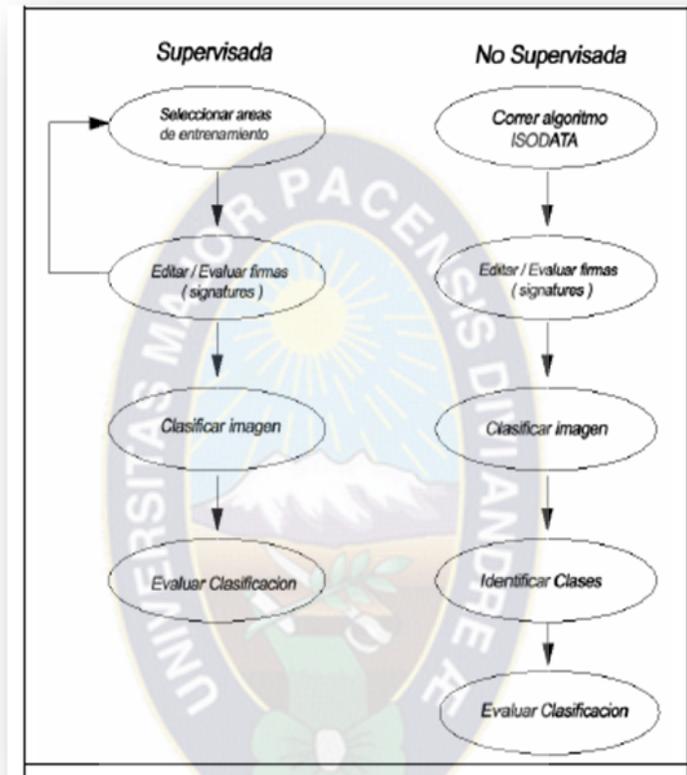
#### **2.4.1 CLASIFICACIÓN DIGITAL**

Proceso de agrupamiento de un conjunto de elementos en clases en el sentido estadístico, una clasificación pretende agrupar los elementos en clases internamente

---

<sup>8</sup> Teledetección ambiental, Emilio Chuvieco

homogéneas pero diferenciables entre ellas por los valores de una o varias variables. Existen dos tipos de supervisión (ver fig 6) de procesar en un software.



**Figura 11.** Diagramas de Flujo de clasificación Supervisada y no supervisada

**Fuente.** Teledetección ambiental, Emilio Chuvieco

#### **2.4.1.1 MÉTODO NO SUPERVISADO**

Este método se dirige a definir las clases espectrales presentes en la imagen. No implica ningún conocimiento del área de estudio, por lo que la intervención humana se centra más en la interpretación, que en la consecución de los resultados. Es el proceso que se utilizó en el proyecto

En esta estrategia, se asume que los ND de la imagen forman una serie de agrupaciones o conglomerados (clusters), más o menos nítidos según los casos. Estos grupos equivaldrían a píxeles con un comportamiento espectral homogéneo y, por tanto, deberían definir clases temáticas de interés. Desgraciadamente estas

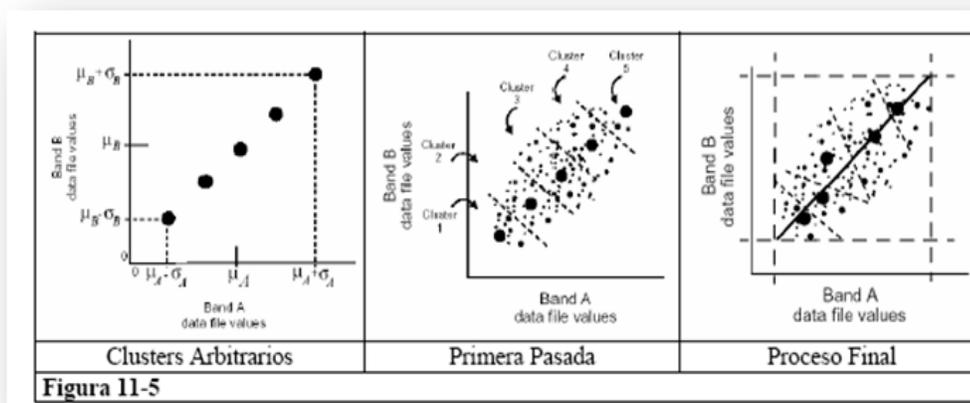
categorías espectrales no siempre pueden equipararse a las clases informacionales que el usuario pretende deducir, por lo que resta a este “dar sentido” e interpretar, el significado temático de esas categorías espectrales.

El método para definir los agrupamientos espectrales es muy similar al empleado en otras técnicas de clasificación automática de datos. Se basa en un triple proceso:

- Selección de las variables que intervienen en el análisis.
- Selección de un criterio para agrupar los casos similares.
- Selección de un criterio para medir la similitud a distancia entre casos.

En nuestro contexto, las variables son las bandas espectrales seleccionadas para la clasificación, ya sean estas originales o fruto de alguna transformación. Los casos son los píxeles que componen la imagen, cada uno de ellos definido por tantos ND como bandas intervienen en el análisis. En este espacio multivariado se trata de encontrar los grupos de píxeles con ND similares, para luego equipararlos con alguna de las clases informacionales de nuestra leyenda. En cuanto al algoritmo de agrupamiento, las opciones también son numerosas. Uno de los más extendidos es el denominado **ISODATA**. Este algoritmo procede a partir de las siguientes fases:

Se señalan una serie de centros de clase, de acuerdo al número y forma indicados por el usuario; Se asignan todos los píxeles de la imagen al centro de clase más próximo. Se calculan de nuevo los centros de clase, teniendo en cuenta los valores de todos los píxeles que se le hayan incorporado en la fase anterior. Se vuelven a asignar todos los píxeles de la imagen al centro más cercano, el cual debido al desplazamiento registrado en el primer paso, no tiene porque coincidir con la anterior asignación, vuelven a calcularse los centros de clase como en la fig. 7.



**Figura 12.** Proceso ISODATA

**Fuente.** Teledetección ambiental, Emilio Chuvieco

Desde el punto de vista estadístico, este algoritmo parece bastante adecuado para delimitar los grupos de valores homogéneos dentro de la imagen. Sin embargo, en ocasiones resulta artificioso señalar unos parámetros de control significativos, puesto que el usuario no conoce, de partida, el número de grupos espectrales presentes en la imagen, ni el valor idóneo de dispersión interna o de distancia entre grupos. De esta forma, el análisis No Supervisado se convierte en un proceso interactivo, en donde el usuario establece unos valores arbitrarios que se van modificando a la vista de los resultados.

Como en el caso del Método Supervisado, es necesario analizar los píxeles incluidos en cada grupo para obtener sus medidas estadísticas elementales: media, desviación típica, etc., que servirán para abordar la fase posterior de clasificación.

#### **2.4.1.2 MÉTODO SUPERVISADO**

El Método Supervisado parte de un cierto conocimiento de la zona de estudio, adquirido por experiencia previa o por trabajos de campo. Esta mayor familiaridad con la zona test, permite al intérprete delimitar sobre la imagen unas áreas piloto, que se consideran suficientemente representativas de las categorías que componen la leyenda. Estas áreas se denominan en la bibliografía anglosajona “training fields” (campos o áreas de entrenamiento). El término indica que tales áreas sirven para “entrenar” al ordenador en el conocimiento de las distintas categorías.

En otras palabras, a partir de ellas el ordenador calcula los ND que definen cada una de las clases, para luego asignar el resto de los píxeles de la imagen a una de esas categorías en función de sus ND.

La mayor parte de los equipos de tratamiento digital permiten localizar interactivamente los campos de entrenamiento. Con ayuda del digitalizador o ratón

electrónico, el usuario introduce sobre la pantalla los vértices que definen cada una de estas áreas, asignándolas a una de las categorías definidas previamente en la leyenda. Los trabajos de campo y otros documentos auxiliares como la fotografía aérea o la cartografía convencional pueden ser de gran ayuda para una localización más precisa de estas áreas, teniendo en la mente que debe tratarse de ejemplos suficientemente representativos y homogéneos de la clase que pretende definirse. Acabada la delimitación de un campo de entrenamiento, pueden seleccionarse otros para la misma categoría, o bien culminar con él la definición de esa clase. En general, resulta conveniente seleccionar varios campos por categoría, a fin de reflejar adecuadamente su variabilidad en la zona de estudio.

Finalizada la selección de las áreas de entrenamiento, el ordenador calcula las estadísticas elementales de cada categoría: media, rango, desviación típica, matriz de varianza, covarianza, etc., a partir de los ND de todos los píxeles incluidos en los campos de entrenamiento asignados a esa clase. Lógicamente, este cálculo se aplica a todas las bandas que intervendrán en la clasificación. En definitiva, se asume que las áreas de entrenamiento son fiel representantes de las distintas categorías, y que, por tanto, las medidas extraídas a partir de sus ND definen convenientemente a esas clases. De aquí que sea crucial la correcta selección de los campos de entrenamiento. De otra forma la clasificación estaría viciada de partida, al pretender discriminar categorías con escaso significado espectral.<sup>9</sup>

## **2.5 VECTORIZACIÓN**

El proceso de vectorización implica que pretendemos dos objetivos (Laurini 1992):

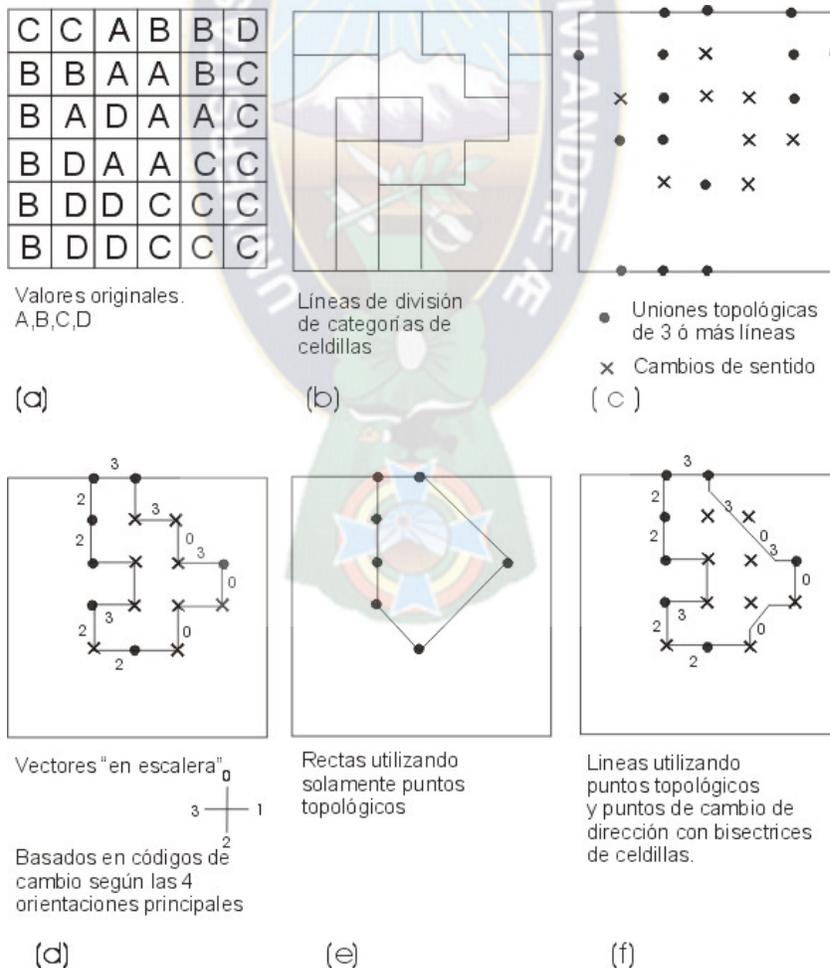
- Transferir la topología, esto es, las fronteras visibles entre clases en la representación raster y su contenido.
- Transferir un correcto perfil de los objetos (polígonos). En general se siguen los siguientes pasos (ver figura 4):

En general se siguen los siguientes pasos (ver figura 4):

---

<sup>9</sup> Teledetección ambiental, Emilio Chuvieco

- Partimos de celdillas con categorías similares. Primero se etiquetan las celdas fronteras. (a)
- Después es necesario establecer la líneas frontera identificando celdillas con distintos valores mediante un barrido de la matriz en horizontal y vertical. Las líneas deben ser almacenadas con un sentido. (b)
- Los vértices de las líneas deben ser clasificadas en dos: puntos de intersección de dos o más líneas (c)
- A partir de aquí se pueden adoptar varias estrategias: Utilizar códigos de encadenamiento basados en las cuatro orientaciones (d) o unir directamente los vértices principales con líneas rectas (e) o trazar diagonales teniendo en cuenta los puntos de inflexión. (f)<sup>10</sup>



<sup>10</sup> Teledetección Nociones y Aplicaciones Perez, G. Carlos- Muñoz N. ANGEL

**Figura 13.** Conversión raster-vector. Modificado de Laurini (1992)

**Fuente.** Teledetección Nociones y Aplicaciones Perez, G. Carlos- Muñoz N. ANGEL

## **PARTE III: MATERIAL Y EQUIPOS**

### **3.1 MATERIALES**

Como materiales para el presente estudio se debe contar con tres imágenes LANDSAT TM de los años 2002, 2006 y 2009. Correspondientes a escenas de path y row (001-071) completas de la lago Titicaca y Área Natural de. Además de contar de información tomada Sistema de Información Geográfica SIG, en Formato GDB del ArcGis (Software para el SIG), con la correspondiente descripción de la zona, También está la información referente a las firmas espectrales, (se utilizo la combinación de bandas (5,4,3), preparadas para las clasificaciones no supervisadas. Sin embargo mencionamos los siguientes Materiales a utilizar:

- Tres imágenes satelitales Landsat MT de los años 2 noviembre de 2002, 20 de marzo 2006 y 15 noviembre 2009
- Mapa topográfico
- Paquetes de instalación:
- MDE de Bolivia

### **3.2 EQUIPOS**

- Ordenador Pentium CORE (TM) i5

Con los siguientes Software específicos para el procesamiento son:

- ArcGis 9.2
- Auto CAD Land 2006
- Erdas Imagine 9.2

- ArcView 3.3

## **.PARTE IV: METODOLOGIA**

### **4.1 METODOLOGIA**

La metodología seguida en esta investigación se presenta en la Figura 1 y consiste de seis partes las cuales se detallan a continuación:

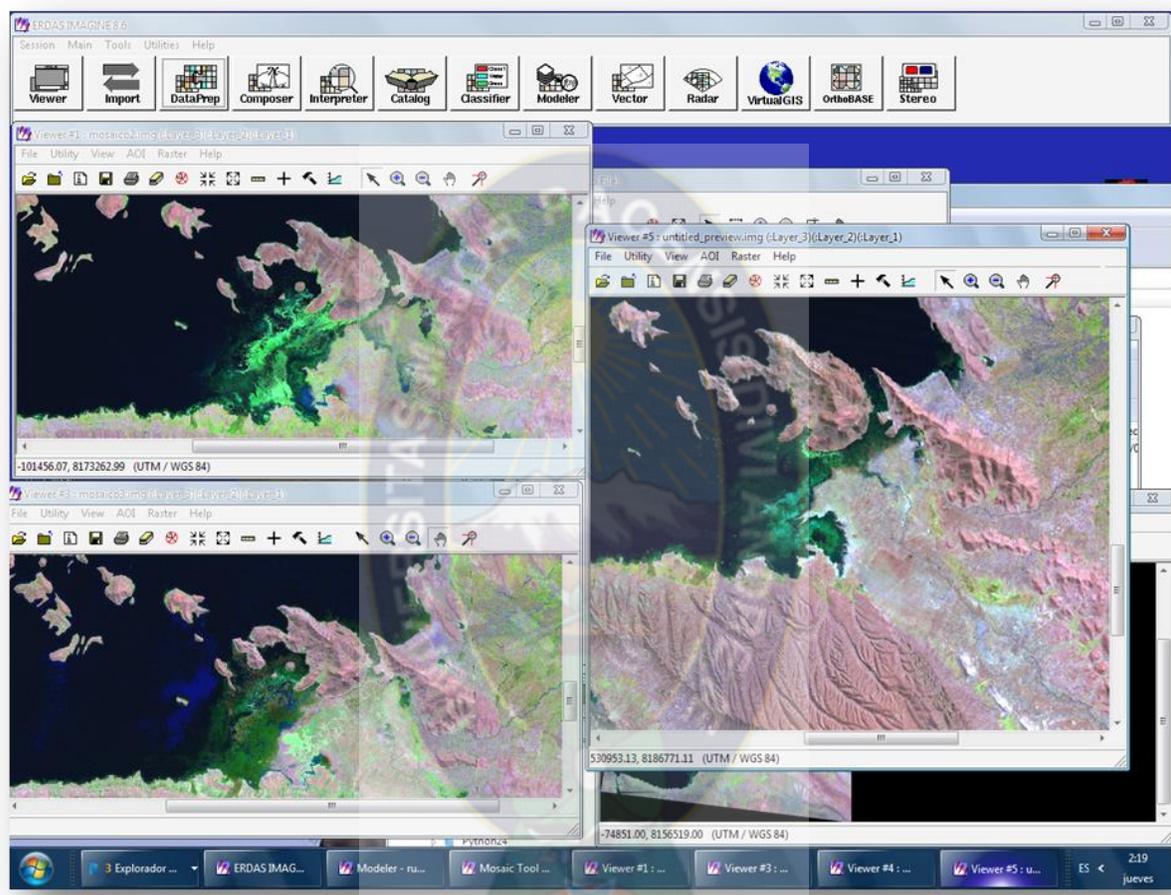
#### **4.1.1 PREPROCESAMIENTO**

Se escogió el juego de imágenes como base para georeferenciar las imágenes que no estaban rectificadas de sus mismas zonas. Estas imágenes no rectificadas ni georeferenciadas fueron remuestreadas a un tamaño de píxel de 30 m igual al tamaño de píxel de las imágenes ortorectificadas. Cortándolos Con un software especializado para el manejo de imágenes Satelitales, utilizando una proyección o re proyectando al Sistema De Referencia WGS-84. Teniendo cuidado con Error Medio Cuadrático que tiene que ser menor a 0.1 píxel.

Posteriormente fueron nuevamente remuestreadas, utilizando el algoritmo de “Vecino más Cercano”, con la georeferenciación de sus imágenes análogas ortorectificadas. Las imágenes corresponden al path and row 001\_071, era la única que no contaba con una imagen ortorectificada de su misma zona, por tal motivo ambas imágenes fueron georeferenciadas.

Las imágenes eran de diferentes fechas, por esta razón los tonos de color no correspondían y se tuvo que llevar a un solo tono (ver fig. 10) mediante la herramienta del mosaico del software.

Luego se realizo la clasificación de No Supervisada de las tres Imágenes Satelitales de los tres años pasados ya mencionados, primero se homogenizo a un solo tono de color por las fechas diferentes que el sensor realizo la toma de la imagen.



**Figura 14.** Imágenes llegar a un solo tono  
**Fuente:** Elaboración propia en base a la observación realizada.

Otro proceso fue la vectorización de las imágenes Clasificadas con otro software especializado para poder calcular el área más fácilmente en modo vector (polígonos), luego realizarla presentación de toda la información marginal del Mapa temático 1:00000.

#### **4.1.2 DEFINICIÓN DE UNA LEYENDA**

De acuerdo a los objetivos de esta investigación y a las unidades que pueden ser fácilmente identificadas tanto en el campo como en las imágenes satelitales se definió la siguiente leyenda:

1. Bofedal
2. Cuerpos de Agua
3. Lago
4. Suelo Desnudo
5. Suelo Rocoso
6. Vegetación Rala

La definición de cada una de las categorías de la leyenda se describe en el capítulo de resultados dentro de la sección 5.1.

#### **4.1.3 DEFINICIÓN DE ZONAS REPRESENTATIVA DENTRO EL ÁREA DE ESTUDIO**

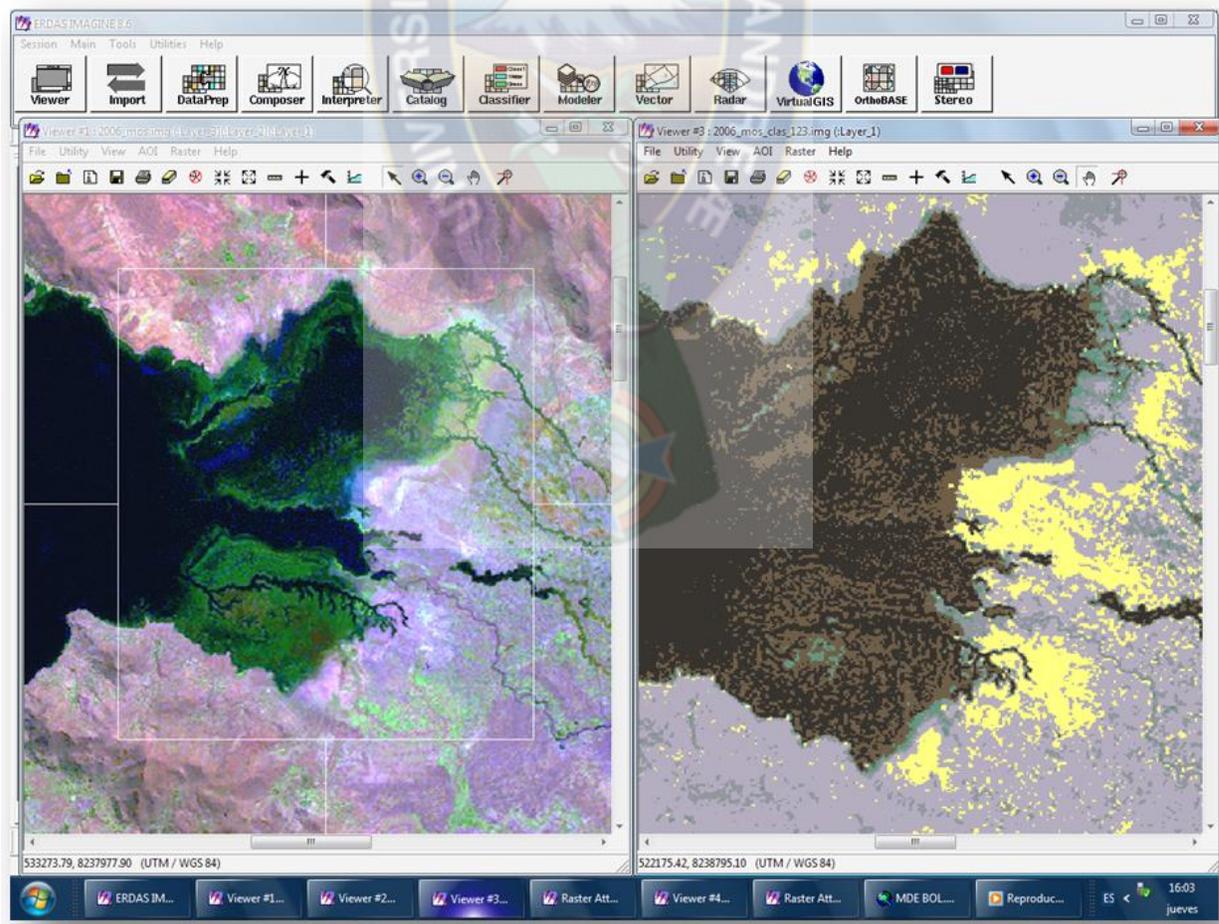
Debido a que el área de investigación es muy extensa, para aprovechar de manera eficiente los recursos (Suelo, Vegetación y cuerpos de agua), se seleccionó un área representativa para llevar a cabo el procesamiento digital de las imágenes. Esta selección se realizó de acuerdo a una interpretación visual de las imágenes y se corroboró en base a lo observado en el trabajo de campo. Los criterios para la identificación de la zona representativa fueron accesibilidad, extensión e identificación de Vegetación en las imágenes. Por las razones anteriormente mencionadas se escogió como área representativa de área de estudio.

#### **4.1.4 CLASIFICACIÓN NO SUPERVISADA DE IMÁGENES SATELITALES**

Un método utilizado para la clasificación de imágenes satelitales fue la clasificación no supervisadas. Este método clasifica los píxeles no solamente en base a su

distancia Euclidiana al centro de la clase, sino también de acuerdo a la forma, tamaño y orientación de las muestras de entrenamiento (ITC, 1999). Para esto se utilizó una combinación de bandas RGB (5, 4, 3), porque es se tiene que ver mejor el elemento que menos existe en este caso la vegetación se ve mejor con esta combinación de bandas.

Los histogramas de los mapas clasificados mediante ambas técnicas de clasificación nos permiten conocer el área ocupada por cada categoría y comparados con los histogramas pertenecientes al de sus imágenes análogas de otra fecha nos permite conocer con precisión el cambio de cada categoría a través del tiempo, mas no, donde se están dando los cambios o su ubicación geográfica de estos mismos. Donde se ve todos resultados antes la imagen satelital y despues la imagen clasificada (ver fig. 11).

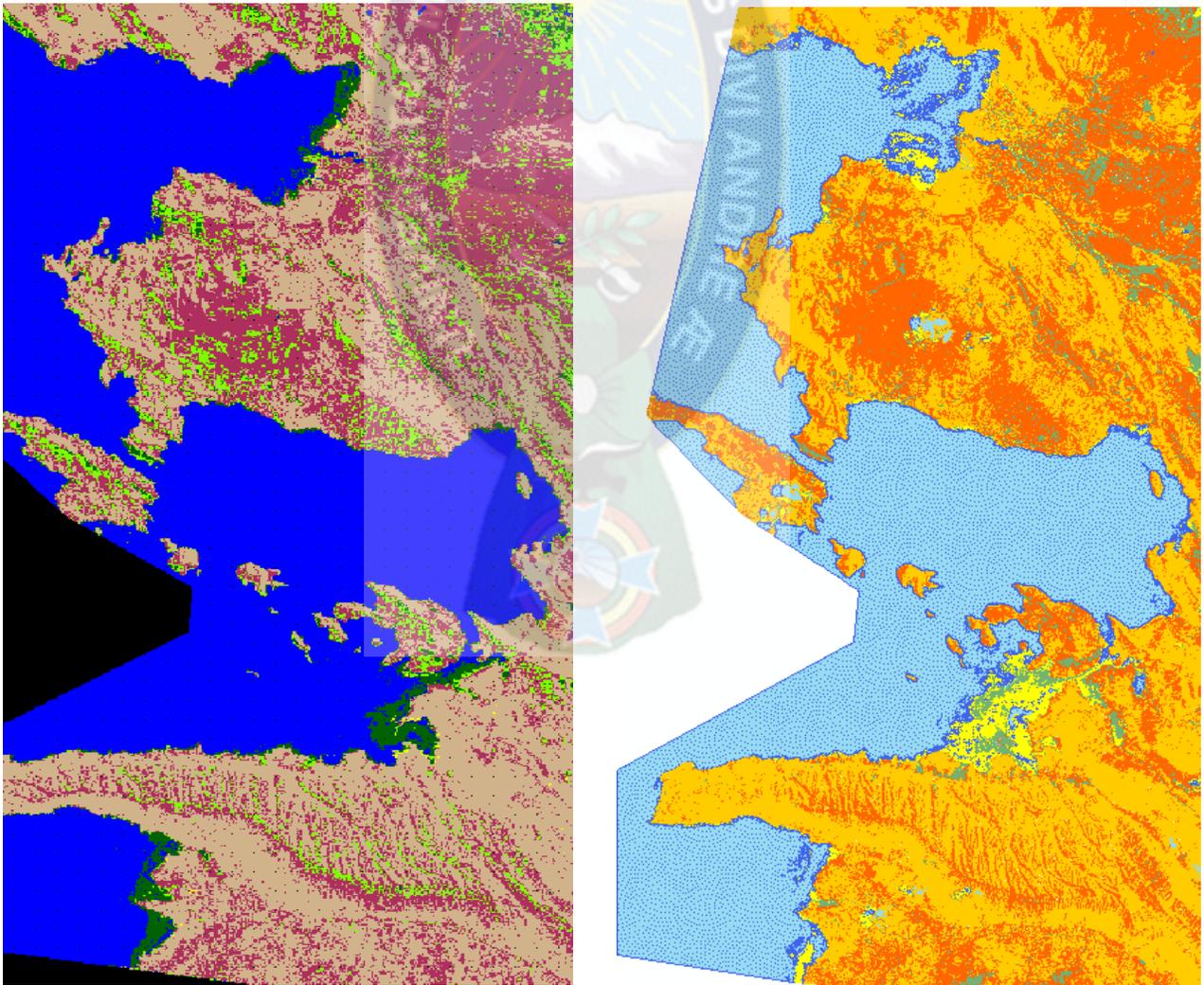


**Figura 15.**

Iz. Imagen Satelital Bandas, Der. Imagen Satelital Clasificada  
**Fuente:** Elaboración propia en base a la observación realizada.

#### 4.1.5 VECTORIZACION Y CÁLCULO DE AREAS

Después de la clasificación se tuvo que vectorizar en polígonos (ver fig. 12), para poder calcular el área de las clasificaciones de las tres imágenes satelitales por separado, donde será más fácil poder realizar el análisis multitemporal de los tres años.



**Figura 16.**

Iz. Imagen Clasificada Der. Imagen Vectorizada

**Fuente:** Elaboración propia en base al análisis realizado

**PARTE V: RESULTADOS DEL PROYECTO**

**5.1 RESULTADOS DEL PROYECTO**

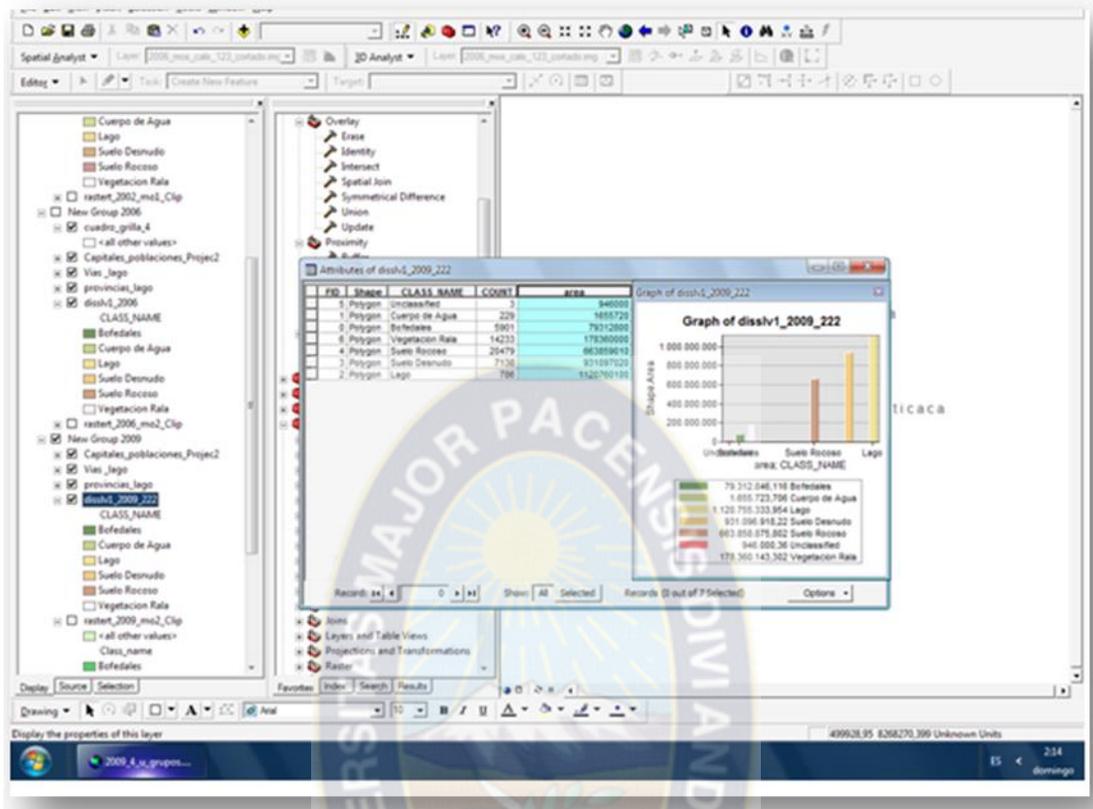
El área de estudio como se mencionó en la metodología, fue trazado de forma que cuantifica la cantidad de las diferentes clases procesadas.

Los Planos procesados a escala se adjuntan a los anexos.

**5.1.1 DESCRIPCIÓN DEL LA IMAGEN DEL AÑO 2009**

Con el fin de describir el entorno del uso de suelo se realizo el siguiente análisis multitemporal:





**Figura 17.** Análisis de áreas

**Fuente:** Elaboración propia en base al análisis realizado

## 5.2 RESULTADOS DE ÁREAS

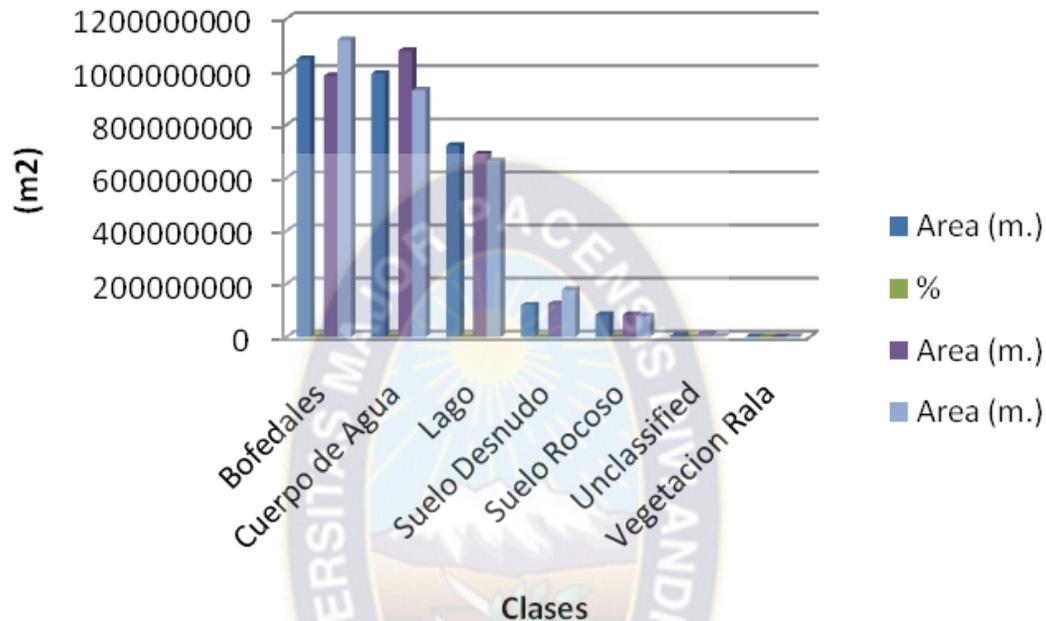
Las áreas que se obtuvieron son: ver cuadro 5 y figura 17.

	Año 2002	Año 2006	Año 2009
CLASS_NAME	Área (m2.)	Área (m2.)	Área (m2.)
Bofedales	85020600	84071600	79312800
Cuerpo de Agua	5965460	12375300	1655720
Lago	1048540000	984867000	1120760000
Suelo Desnudo	993738000	1079830000	931097000
Suelo Rocoso	721756000	689296000	663859000
Unclassified	957380	945338	946000
Vegetación Rala	120011000	124600000	178360000

**Cuadro 5.** Análisis de área de tres años

**Fuente:** Elaboración propia en base al análisis realizado

## Tabla de Analisis



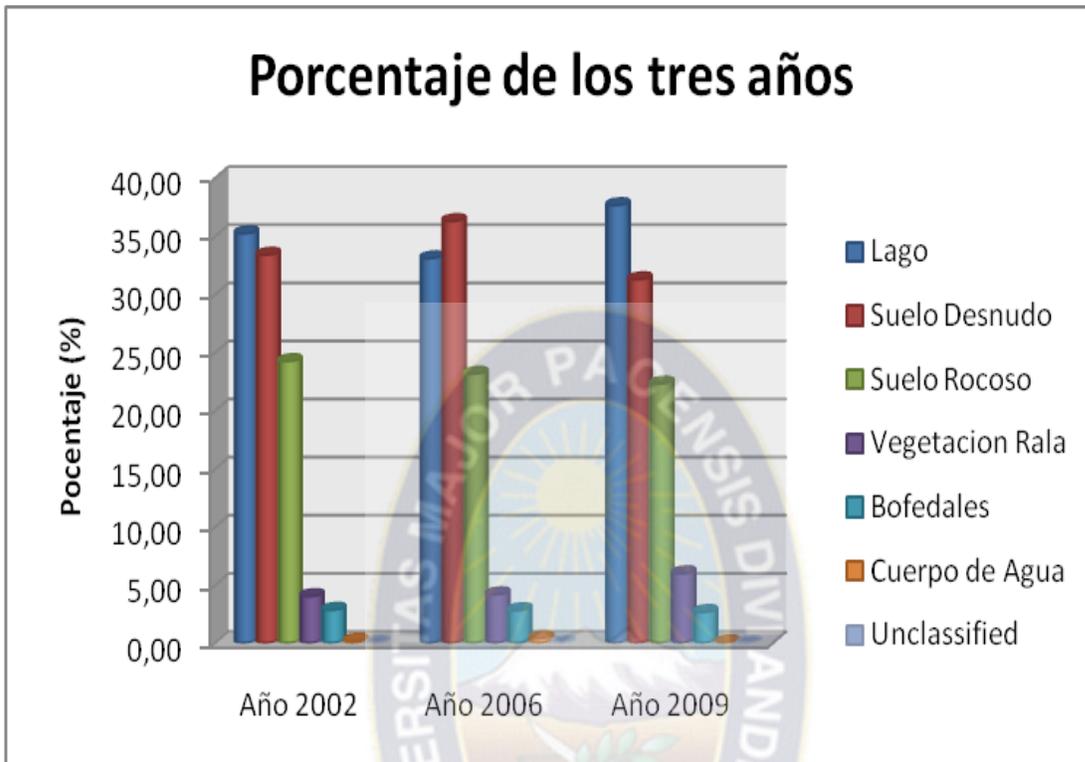
**Figura 18.** Grafico de Comparación de áreas  
**Fuente:** Elaboración propia en base al análisis realizado

### 5.3 RESULTADOS DE PORCENTAJES

Los resultados de porcentajes de las diferentes clases que se obtuvieron se detallan en el porcentaje cuadro 6 y figura 18.

Clases	Año 2002 (%)	Año 2006 (%)	Año 2009 (%)
Lago	35,23	33,09	37,66
Suelo Desnudo	33,39	36,28	31,29
Suelo Rocoso	24,25	23,16	22,31
Vegetación Rala	4,03	4,19	5,99
Bofedales	2,86	2,83	2,67
Cuerpo de Agua	0,20	0,42	0,06
Unclassified	0,03	0,03	0,03

**Cuadro 6.** Cuadro de porcentajes de tres años  
**Fuente:** Elaboración propia en base al análisis realizado



**Figura 19.** Porcentaje de tres años  
**Fuente:** Elaboración propia en base al análisis realizado

## PARTE VI: CONCLUSIONES FUNDAMENTALES

### 6.1 CONCLUSIONES

- Las técnicas de clasificación permiten identificar la presencia de uso de suelos. En la zona que abarca parte del Lago Titicaca lado boliviano y parte del altiplano, mediante la técnica de la clasificación no supervisada se logró estimar la superficie actual de las 6 clases.
- Los bofedales encontrados asociados a ríos, lagunas o surgencias de agua parecen no diferenciarse entre si. Analizando sus características bio-físico-

químicas se pudo determinar que existen ligeras diferencias entre ellos; sin embargo estas no son significativas.

- Los mayores cambios de las zonas de suelo desnudo de acuerdo al método de Fusión se observaron en falta de vegetación en áreas altas de la serranía.
- El aumento del lago Titicaca ya que se pudo mostrar la modificación de la cantidad agua de acuerdo a diferentes épocas del año, también al deshielo de los glaciares.



---

## **PARTE VII: RECOMENDACIONES**

### **7.2 RECOMENDACIONES**

- Es necesario llevar a cabo un trabajo de campo para la verificación de tipo de suelo, si es posible ver en época húmeda para determinar si existen cambios severos en el comportamiento de la vegetación presente en bofedales.
- Buscar la posibilidad de trabajar con imágenes de fechas similares y si es posible introducir una cuarta imagen para cada lugar, con el objetivo de obtener mayor información acerca de cuando podrían haber empezado los cambios o detectar si algún factor externo como el calentamiento global o la disminución del régimen hidrológico esta afectando los bofedales.
- Entrevistar a comunarios cuya subsistencia depende de los diferentes suelos para tener una mayor certeza de los cambios que se están dando en estos ecosistemas.
- Realizar mas pruebas utilizando diferentes algoritmos de fusión para la identificación y cuantificación de los diferentes suelos e incrementar la precisión y confiabilidad de estas mismas.
- Actualizar la toponimia relacionada a los cuerpos de agua superficiales (ríos, lagos, lagunas, etc.), vegetación y suelos a partir de trabajo de verificación en campo lo que permitirá obtener información confiable.

---

## **PARTE VIII REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS**

### **8.1 BIBLIOGRAFÍA**

**ANDERSON, J.** 2000. Examining Urban and Agricultural Change in Phoenix, Arizona: A Comparison of Four Change Detection Techniques.  
<http://www.geo.wvu.edu/geog655/spring2001/07/project.html>

**ARONOFF, S.** 1995. Geographic Information Systems: A Management Perspective. WDL Publications. Ottawa, Canada. 294p.

**CHUVIECO, S. E.,** (2002) "Teledetección Ambiental", Barcelona, Ariel.

**CHUVIECO, E.** 1996. Fundamentos de Teledetección Espacial. 2 da Ed. Ediciones Rialp, S.A. Madrid, España. 453p.

**ERDAS.** 1990. Field Guide. Erdas Inc., Atlanta, USA, 410p.

**MINISTERIO DE DESARROLLO SOSTENIBLE Y PLANIFICACIÓN.** Manual Fundamentos De Teledetección. Proyecto BID ATR 929/SF-BO de Fortalecimiento Institucional al MDSP.

**PADILLA, F.** 2001. Assessing Land Use Changes In The Central Valley Of Cochabamba (Bolivia), Using Feature-Based Land Use Classification And Image Fusion Techniques. Enschede, The Netherlands. 72p.

**PINILLA, C.:** "*Elementos de Teledetección espacial*". Ed. RA-MA 1995.

**PEREZ, G. CARLOS- MUÑOZ NIETO ANGEL L.** 2006. Teledetección Nociones y Aplicaciones, universidad de Salamanca

**SUPER INTENDENCIA AGRARIA.** 2002. Programa De Accion Nacional De Lucha Contra La Desertificacion Y La Sequia (PAN-LCD). La Paz, Bolivia.

**RICHARDS, J.** 1993. Remote Sensing Digit Image Análisis: an Introduction. 2<sup>nd</sup> Ed. Springer – Verlag. Berlin Heidelberg, Germany. 340p.

**SCHULTZ, G. y ENGMAN , E.** 2000. Remote Sensing in Hydrology and Water

## 8.2 PÁGINAS WEB VISITADAS

- <ftp://ftp.glcf.umd.edu/glcf/SRTM/>
- <http://www.landsat.org/>
- <http://www.dpi.inpe.br/terraview/dow/terraView340.exe>
- [http://essm.tamu.edu/bolivia/http://essm.tamu.edu/bolivia/cambio\\_climatico\\_es](http://essm.tamu.edu/bolivia/http://essm.tamu.edu/bolivia/cambio_climatico_es)



# MAPA TEMATICO DE USO DE SUELO

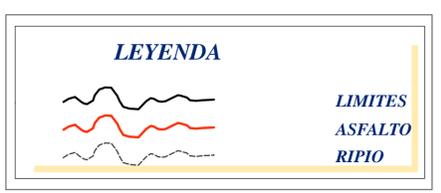
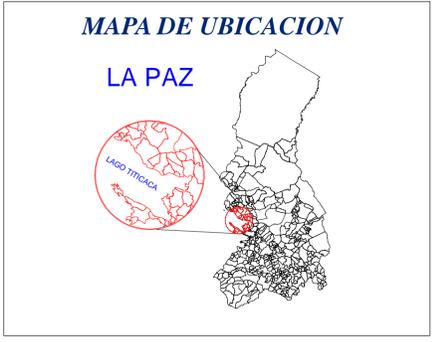


**UMSA**  
**FACULTAD TECNICA**  
**TOPOGRAFIA Y GEODESIA**

**ANALISIS MULTITEMPORAL**

ELABORADO POR:  
 EDGAR R. CHOQUE FLORES

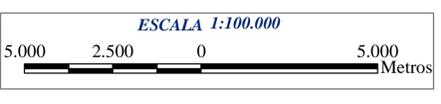
PAIS: BOLIVIA  
 DEPARTAMENTO: LA PAZ  
 LAGO TITICACA  
 IMAGENES: LANDSAT TM  
 AÑO DE TOMA: 2009



CAPITAL DE POBLACION		PROVINCIAS	
H	Achacachi		Ingavi
H	Ancoraimes		Lago Titicaca
H	Puerto Perez		Larecaja
H	San Pedro de Tiquina		Los Andes
H	Taraco		Manco Kapac
H	Tiahuanacu		Omasuyos
H	Tito Yupanki		

**REFERENCIAS**

	Bofedales
	Cuerpo de Agua
	Lago
	Suelo Desnudo
	Suelo Rocososo
	Vegetacion Rala



**ANALISIS MULTITEMPORAL DE TRES AÑOS**

Año 2009

CLASS_NAME	COUNT	Area (m.)	Perimetro (m.)
Bofedales	5901	79312800	2269780
Cuerpo de Agua	229	1655720	72470
Lago	786	1120760000	1016850
Suelo Desnudo	7138	931097000	9418580
Suelo Rocososo	20479	663859000	13753700
Unclassified	3	946000	86042
Vegetacion Rala	14233	178360000	5941770

# MAPA TEMATICO DE USO DE SUELO

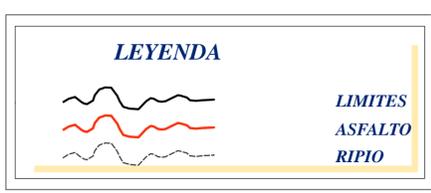
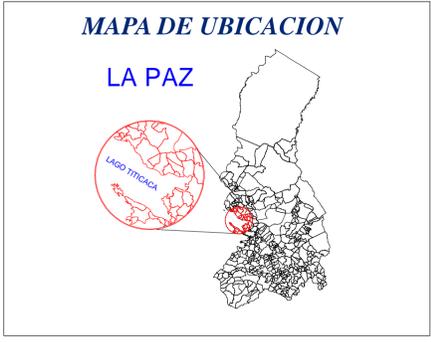


**UMSA**  
**FACULTAD TECNICA**  
**TOPOGRAFIA Y GEODESIA**

## ANALISIS MULTITEMPORAL

ELABORADO POR:  
 EDGAR R. CHOQUE FLORES

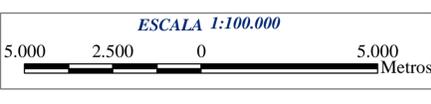
PAIS: BOLIVIA  
 DEPARTAMENTO: LA PAZ  
 LAGO TITICACA  
 IMAGENES: LANDSAT TM  
 AÑO DE TOMA: 2006



CAPITAL DE POBLACION		PROVINCIAS	
H	Achacachi		Ingavi
H	Ancoraimes		Lago Titicaca
H	Puerto Perez		Larecaja
H	San Pedro de Tiquina		Los Andes
H	Taraco		Manco Kapac
H	Tiahuanacu		Omasuyos
H	Tito Yupanki		

### REFERENCIAS

	Bofedales
	Cuerpo de Agua
	Lago
	Suelo Desnudo
	Suelo Rocoso
	Vegetacion Rala



## ANALISIS MULTITEMPORAL DE TRES AÑOS

Año 2006

CLASS_NAME	COUNT	Area (m.)	Perimetro (m.)
Bofedales	17216	84071600	4411880
Cuerpo de Agua	2150	12375300	529826
Lago	2194	984867000	4004750
Suelo Desnudo	13194	1079830000	14919800
Suelo Rocoso	33683	689296000	19304200
Unclassified	2	945338	85883
Vegetacion Rala	22447	124600000	6420410

MAPA TEMATICO DE USO DE SUELO

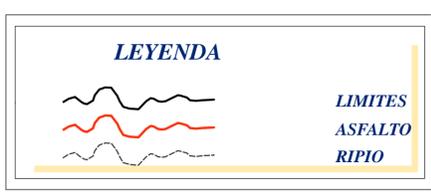
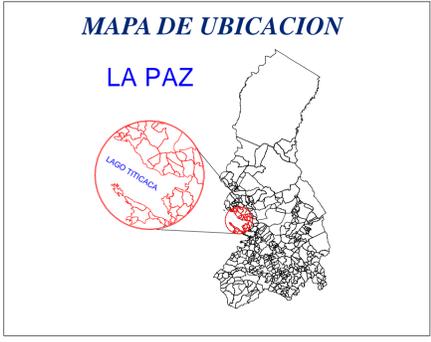


UMSA  
FACULTAD TECNICA  
TOPOGRAFIA Y GEODESIA

ANALISIS MULTITEMPORAL

ELABORADO POR:  
EDGAR R. CHOQUE FLORES

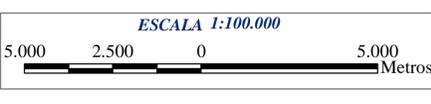
PAIS: BOLIVIA  
DEPARTAMENTO: LA PAZ  
LAGO TITICACA  
IMAGENES: LANDSAT TM  
AÑO DE TOMA: 2002



CAPITAL DE POBLACION	PROVINCIAS
H Achacachi	Ingavi
H Acoraimes	Lago Titicaca
H Puerto Perez	Larecaja
H San Pedro de Tiquina	Los Andes
H Taraco	Manco Kapac
H Tiahuanacu	Omasuyos
H Tito Yupanki	

REFERENCIAS

	Bofedales
	Cuerpo de Agua
	Lago
	Suelo Desnudo
	Suelo Rocoso
	Vegetacion Rala



ANALISIS MULTITEMPORAL DE TRES AÑOS

Año 2002

CLASS_NAME	COUNT	Area (m.)	Perimetro (m.)
Bofedales	7141	85020600	2701090
Cuerpo de Agua	244	5965460	108807
Lago	1680	1048540000	1652160
Suelo Desnudo	15719	993738000	13517600
Suelo Rocoso	30230	721756000	16966400
Unclassified	2	957380	89900
Vegetacion Rala	18924	120011000	5432080