

EVALUACIÓN DE TÉCNICAS DE DETECCIÓN DE CAMBIOS DEL USO DE LA TIERRA A TRAVÉS DEL ANÁLISIS MULTITEMPORAL DE IMÁGENES SATELITALES EN EL CANTÓN DAULE

FERNANDO PATRICIO BEDÓN PÉREZ; SANTIAGO ANDRÉS PINTO ALDAZ
ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJERCITO
AVENIDA EL PROGRESO S/N
SANGOLQUÍ-PICHINCHA-ECUADOR
www.espe.edu.ec

RESUMEN

El análisis multitemporal de imágenes satelitales para la detección de cambios de la cobertura del uso del suelo, destaca como una importante técnica para la actualización de la información en forma eficiente, periódica y eficaz, a través de la evaluación de la información satelital probada en otros países.

El presente proyecto muestra la evaluación cualitativa y cuantitativa de las siguientes técnicas de detección de cambios a través del análisis multitemporal de imágenes satelitales LANDSAT *Thematic Mapper* (TM) y SPOT 5; Composición Multitemporal, Post-clasificación utilizando las bandas crudas, Diferencia de Imágenes al NDVI de cada periodo y un Enmascaramiento Binario aplicado a la Imagen de Diferencia. De este modo, de la técnica cualitativa de cambios se determinó únicamente si cambio o no la cobertura del uso de la tierra, por el contrario en las técnicas cuantitativas se determinó la magnitud y dirección de los cambios de uso de suelo establecidos para el área del cantón Daule perteneciente a la provincia del Guayas.

La técnica de detección de cambios por Post-clasificación se destacó por ser la más sencilla de aplicar. Debido al número reducido de pasos, a que depende de las clasificaciones individuales de las imágenes, y por que no es necesaria una corrección radiométrica previa de las imágenes satelitales.

La metodología de detección de cambios de Diferencia de Imágenes del NDVI presentó los mejores valores de Índice global de acierto e índice KAPPA, por lo que se presenta como la metodología cuyos resultados se presentan óptimos para detectar de mejor forma los cambios de uso de la tierra.

ABSTRACT

Multitemporal analysis of satellite imagery to detect changes in land use cover, stands out as an important technique for updating information in an efficient, timely and effectively form, through the evaluation of satellite data tested in other countries.

The present project shows the qualitative and quantitative evaluation of the following techniques to detect changes through multitemporal analysis of satellite images as LANDSAT *Thematic Mapper* (TM) and SPOT 5; Composition Multitemporal, Post-classification using raw bands, the image difference NDVI of each period and Binary Masking applied to the difference image. In this way, the qualitative technique was determined only changes if I change or cover land use, in contrast to quantitative techniques determined the magnitude and direction of changes in land use established for the area of the district Daule belonging to the province of Guayas.

The change detection technique for post-classification is noted for being the easiest to implement. Due to the small number of steps, which depends on the individual rankings of the images, and that does not require a previous correction radiometric of the satellite images.

The methodology of change detection NDVI image difference values presented the best overall index of accuracy and kappa index, so the methodology is presented as the results are optimal to better detect changes in land use.

INTRODUCCIÓN

El uso de la tierra está determinado por factores ambientales (las características del suelo, el clima, la topografía, la vegetación), y también refleja su importancia como un factor fundamental para la producción. Para entender cambios del uso de la tierra en el pasado y proyectar trayectorias futuras se requiere entender las interacciones de las fuerzas humanas que motivan la producción y el consumo (Turner *et al.*, 1993).

Un estudio de la cobertura y uso de la tierra supone analizar y clasificar los diferentes tipos de cobertura y usos asociados, que el hombre practica en una zona o región determinada (Vargas Gámez, 1992). Su importancia radica en que, a escala global, regional y local, cambios en el uso de la tierra están transformando la cobertura a un paso acelerado. El ejemplo más difundido sobre el cambio en el uso de la tierra es la deforestación tropical. Se ha estimado que la conversión en la cobertura forestal tropical ha alcanzado un promedio de 15.5 millones de hectáreas por año para el periodo de 1981-1990, lo cual se traduce en una tasa anual de deforestación del 8% (FAO, 1995, en Lambin, 1997). Este cambio es particularmente notable en el oeste del continente africano, donde los bosques han sido reducidos en un 44%; en América Latina en un 32% y en el sur y sudeste de Asia 34% (Houghton, 1994).

Con la realización de análisis multitemporales apropiados se podrán establecer, sobre un territorio dado, labores de predicción, prevención, determinación de escenarios futuros, monitorización de ciertos elementos del medio natural así como la estimación del cambio producido en las diferentes clases de uso/ocupación de la tierra.

En los últimos años se han desarrollado diversas técnicas a partir del análisis multitemporal de imágenes. Dependiendo del tipo de procesos a analizar, esporádicos (incendios) o continuos (desertificación), la selección de imágenes, las escalas de trabajo y los métodos de análisis en estudios multitemporales son muy dispares (Chuvienco, 1998).

Las técnicas basadas en la teledetección espacial adquieren un elevado potencial para este tipo de tareas, dada la periodicidad en la obtención de los datos y la variedad creciente en la resolución espacial de las imágenes disponibles, lo cual permite la identificación de los cambios desde diferentes escalas de trabajo

El presente estudio pretende entonces, evaluar distintas técnicas de detección de cambios tomando en cuenta que, la principal faceta del cambio a tratar será: el cambio de uso/ocupación de la tierra, entendiendo este cambio como fruto de la evolución natural del territorio o producido por una serie de procesos antrópicos, información que será primordial en la búsqueda de soluciones relacionada a fenómenos tales como: deforestación, apareamiento de nuevas zonas urbanas, incendios, erosión, pérdida de la cobertura vegetal y otros temas relacionados con el cambio del uso de la tierra tomados como sustento para la satisfacción de las necesidades agrícolas etc

ZONA DE ESTUDIO

El estudio se desarrollará al interior de la provincia del Guayas en el Cantón Daule cuya superficie es generalmente plana y su principal característica es el recorrido de todo su territorio por el río que lleva su nombre, su extensión actual es de 46.643,20 hectáreas y su población llega a 85.000 habitantes, de las cuales 37.000 viven en la cabecera cantonal y 48.000 en el resto del cantón. Sus centros más poblados son: Daule, Laurel, Limonal, Los Tintos, Las Lojas (Enrique Baquerizo Moreno) y La Aurora, parroquia urbana satélite de Guayaquil.

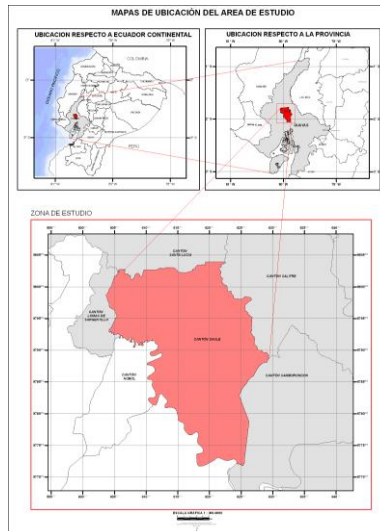
Su principal sistema hidrográfico es el río Daule de significado caudal y que nace en paraje de Santo Domingo con el nombre de Perica. Hoy su río es escasamente navegable y se accede de modo preferente a través de su antigua carretera que ha sido reparada y ampliada por el Honorable Consejo Provincial del Guayas. Sus límites por cantón son:

LÍMITES DE LA ZONA DE ESTUDIO	
NORTE	SANTA LUCIA
SUR	GUAYAQUIL
ESTE	SAMBORONDON, SALITRE
OESTE	LOMAS DE SARGENTILLO, NOBOL

Geográficamente la zona de estudio está enmarcada en las siguientes características:

PARAMETROS CARTOGRAFICOS			
COORDENADAS	ORIENTACION	Y	x
	Nor-oeste	9805000	600000
	Sur-oeste	9770000	600000
	Nor-este	9805000	630000
ESCALA	Sur-este	9770000	630000
	1:50.000		
PROYECCION CARTOGRAFICA	Universal Transversa de Mercator (UTM)		
ZONA CARTOGRAFICA	17 SUR		
DATUM	WG S84		

Figura 1. Ubicación de la zona de estudio



FUENTE DE DATOS

Las fuentes de datos utilizados en este proyecto son dos imágenes multispectrales, la una es un recorte generado por el sensor *Thematic Mapper* del satélite Landsat, y la otra es una toma completa generada por el sensor HRVNIR del satélite Spot 4. Dado que, para que un análisis de detección de cambios en la cobertura del suelo tenga sentido debe existir un lapso de tiempo significativo entre la toma de ambas imágenes para que pueda expresarse ese cambio, se ha elegido para este caso una diferencia de 7 años entre ambas adquisiciones.

La primera imagen, corresponde al satélite Landsat TM con fecha 23-11-2000 y la segunda imagen, fue adquirida por el satélite Spot 4 con fecha 17-06-2007, en los siguientes cuadros se observa las características de cada una de las imágenes:

Cuadro 1. Características del sensor TM de Landsat

BANDAS	RANGO ESPECTRAL (m)	APLICACIONES
TM		
1	0,45- 0,52 (azul-verde)	Cartografía de aguas litorales, y discriminación entre suelo y vegetación.
2	0,52- 0,60 (verde)	Estado fenológico de la vegetación.
3	0,63- 0,69 (rojo)	Discriminación de tipos de cultivos.
4	0,76- 0,90 (infrarrojo cercano)	Delimitación de masas de agua y contenido en biomasa.
5	1,55- 1,75 (infrarrojo medio)	Medida de la humedad del suelo y vegetación
7	2,08- 2,35 (infrarrojo lejano)	Rocas alteradas y suelos.
6	10,40-12,5 (infrarrojo térmico)	Medida de la humedad del suelo, estrés

Cuadro 2. Características del sensor HRVNIR de Spot

BANDAS	RANGO ESPECTRAL (m)	APLICACIONES
P	0,51- 0,73	Aumentar la resolución combinada con otras imágenes.
XS1	0,50- 0,59 (verde)	Estado fenológico de la vegetación.
XS2	0,61- 0,68 (rojo)	Discriminación de tipos de cultivo.
XS3	0,79- 0,89 (infrarrojo cercano)	Delimitación de masas de agua y contenido en biomasa.

DATOS DE REFERENCIA

Los datos de referencia empleados en este estudio se especifican a continuación: Ortofotomosaico escala 1:60.000, que cubre el área de Daule, generado en el año 2002 por el Instituto Geográfico Militar (IGM).

Mapa de Uso actual de la Tierra de Daule, escala 1:25.000, generado en el año 2009 por el Centro de Levantamientos Integrados de Recursos Naturales por Sensores Remotos (CLIRSEN)

SOFTWARE UTILIZADO

ERDAS 9.1

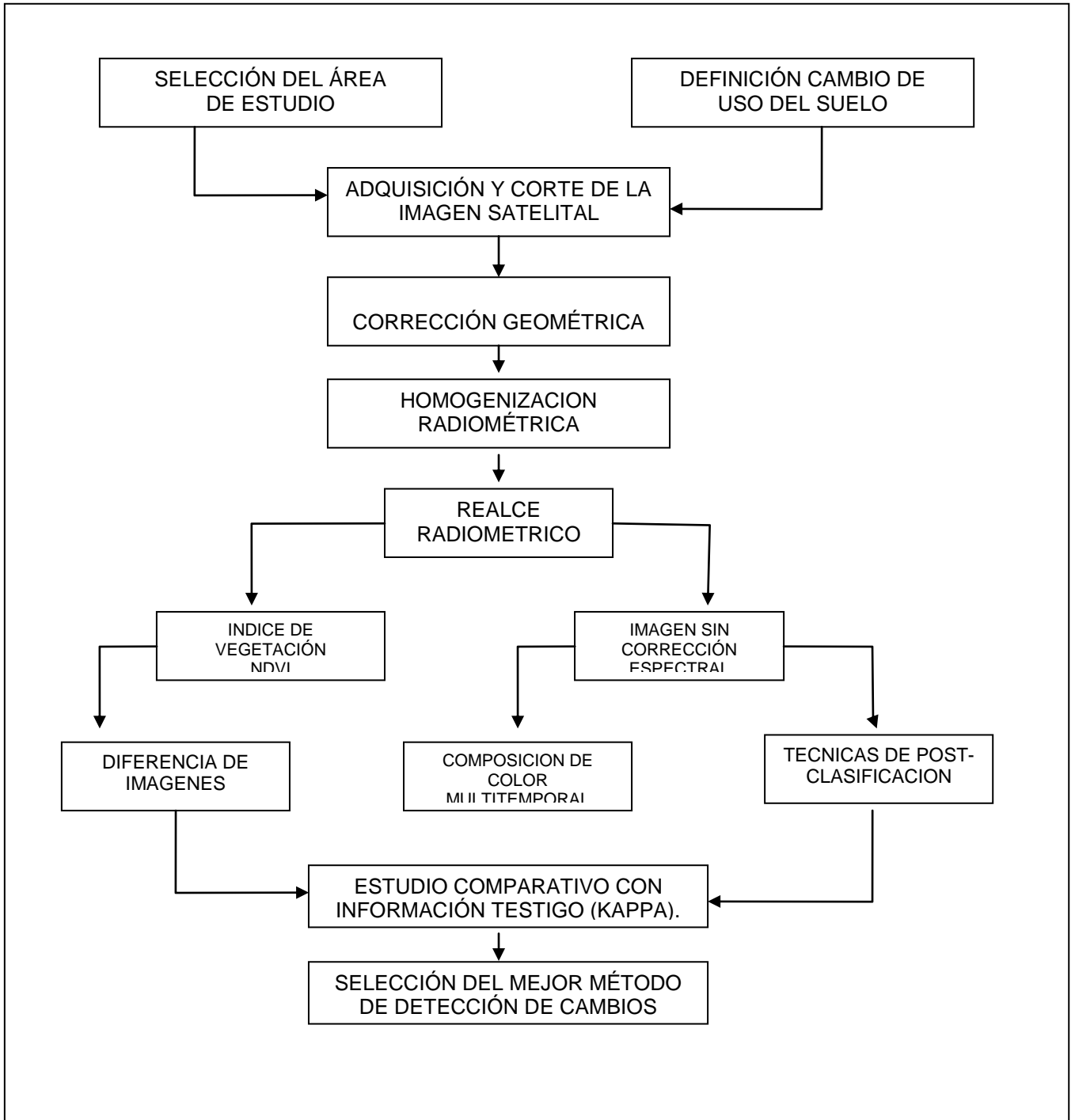
ARCGIS 9.2

MULTISPECT

METODOLOGÍA

La figura a continuación muestra el diagrama que incluye los pasos seguidos en el desarrollo de la metodología:

Figura 2. Esquema del modelo metodológico



REQUISITOS PREVIOS AL ANÁLISIS MULTITEMPORAL

A la imagen del sensor Spot HRVNIR con fecha 17-06-2007 se la georeferenció respecto a la ortofotomosaico de Daule del año 2000 escala 1:60.000 generado por el IGM, a su vez entregado por el SIGAGRO como insumo para la desarrollo de este proyecto, la razón de hacerlo de esta manera se debe a que el ortofotomosaico tiene mejor resolución espacial que las dos imágenes a emplearse en el estudio multitemporal, posteriormente a esta imagen ya georeferenciada se la utilizo como base para georeferenciar la imagen Landsat, además citando a (Chuvienco, 2008) “La mayor parte de las imágenes basan el ajuste geométrico en la localización de una serie de puntos de control imagen a mapa. Para el análisis multitemporal, los puntos se toman entre imágenes eligiendo una de estas como referencia”.

En consecuencia resulta más sencillo la selección de puntos comunes entre las dos imágenes, destacando la ventaja de poder encontrar formas características de la vegetación, el trazado parcelario o la hidrografía que son mucho mas visible entre imágenes, al contrario del mapa en el cual no son fácilmente identificables, teniendo que basarse únicamente en el trazado vial.

Los puntos considerados para el registro fueron fundamentalmente cruces de caminos o sea puntos que no varían en el tiempo. Se tomaron un mínimo de 30 puntos de control, con un nivel de error medio cuadrático inferior a 0.50. Eliminandose todos aquellos puntos de control que tuvieran un error superior al píxel. Los pares de puntos de control son empleados para calcular los coeficientes del sistema polinomial mediante el cual se realiza la transformación de coordenadas a la nueva imagen corregida.

Asimismo, cuando se realizan estudios multitemporales, es necesario eliminar las distorsiones provocadas por la interferencia de la atmósfera en la radiación reflejada por la superficie: para ello se llevan a cabo homogeneizaciones radiométricas que tratan de acercar los niveles digitales originales a los que habría en caso de una recepción ideal (Heredia Laclaustra et al., 2003). Para ello se procedió a utilizar el software ERDAS IMAGINE 9.2, en el que bajo el modulo *INTERPRETER* se escogió el submódulo *Radiometric Enhancement*, en el cual se ingresa como archivo de entrada la imagen *spot17_rep.img* de la cual se tomó en primera instancia la banda 2 (rojo visible) la cual va a ser ajustada radiométricamente con respecto a la banda equivalente en la imagen *landsat23_arespot.img*, ingresada como archivo patrón para el ajuste , que en este caso es la banda 3, seleccionada en el casillero *band to match to* (banda que servirá de ajuste). El archivo resultante (*spot17_realce_rojo.img*) es una nueva banda homogenizada radiométricamente en los cuales los niveles digitales están equiparados entre imágenes.

Como requisito previo también se tomo en cuenta el mejoramiento espectral, el que se aplicó en este estudio es el Índice de Vegetación Normalizado (NDVI), una técnica de uso habitual en teledetección y es comúnmente utilizada para mejorar la discriminación entre dos cubiertas que presenten un comportamiento reflectivo muy distinto en dos o más bandas, por ejemplo para realzar suelos y vegetación en el visible e infrarrojo cercano.

TÉCNICAS DE DETECCIÓN DE CAMBIOS

Composición Multitemporal

La primera técnica aplicada en este estudio es la de Composición Multitemporal en la que usando las bandas originales de la imagen Landsat así como de la imagen Spot, se creó una nueva imagen con 7 bandas (4 de Landsat y 3 de Spot), de la cual mediante diferentes combinaciones asignando 3 de las nuevas bandas en cada uno de los canales RGB se puede determinar el cambio de diferentes coberturas de la tierra.

Diferencia de Imágenes

Tomando como base que la diferencia de imágenes consiste en una simple resta entre las imágenes de dos fechas, que permite discriminar aquellas zonas que han experimentado cambios entre esas fechas. Las zonas estables presentarán un valor cercano a cero, mientras las que hayan experimentado cambios ofrecerán valores significativamente distintos a cero (positivos o negativos). Los resultados serán guardados en una nueva imagen de cambios. Cuando los datos de 8 – bits son analizados de esta manera, el rango potencial de valores de diferencia encontrados en la imagen de cambios es de -255 a 255, aplicando la técnica se realizó la resta de las bandas NDVI obtenidas anteriormente con el objeto de discriminar las zonas estables de las zonas dinámicas.

Enmascaramiento binario de cambio

Macleod and Congalton (1998), incorporan modificaciones al tradicional tratamiento de la imagen de diferencias con el propósito de generar una imagen de cambio que presente la dirección y magnitud de cambio del uso del suelo.

Esta modificación genera una máscara binaria de cambio que separa las zonas estables y las zonas dinámicas en ambas fechas, y así obtener la clasificación de las zonas dinámicas de la imagen del año 2007 desde de los píxeles con cambio entre ambas fechas, y la clasificación de las zonas estables de Fecha 2007 desde la clasificación de la imagen de Fecha 2000.

Partiendo de este principio, y utilizando como insumo la imagen de diferencia por NDVI, obtenida en el paso anterior se observó los valores del histograma correspondiente a esta imagen, y se estableció los umbrales de no cambio comprendidos entre - 255 y 4.62, así como los umbrales de cambio cuyos valores se encuentran en el rango 4.62 a 255. Como se observa en los umbrales no existen valores negativos representativos, por tanto estos fueron tomados como valores estables o de no cambio, por el contrario la mayor distribución de los valores están sobre la media (4.67), por lo que se consideran como valores de cambio, de la misma manera se utilizó el criterio de análisis visual de la imagen, en la que aparecen en tonos grises las áreas estables, y en tonos blancos las áreas que han aumentado sus ND es decir que han cambiado. Una vez definidos los rangos de valores para cambio y no cambio, se realizó una reclasificación asignando el valor de cero (0) o no cambio a todos los comprendidos entre - 255 y 4.62; asimismo el valor de uno (1) al rango de cambio establecidos entre 4.62 a 255. Una vez obtenida la imagen binaria de cambios

se procedió a realizar el enmascaramiento sobre las clasificaciones individuales de cada imagen asignando los valores de no cambio (0) a la clasificación de la imagen Landsat, por el contrario los valores de cambio (1) a la clasificación de la imagen Spot.

Clasificación de imágenes satelitales

Cada imagen fue clasificada por separado aplicando el método supervisado, con la misma leyenda temática en las dos fechas, para poder compararla posteriormente. En resumen en el proceso de clasificación se realizó las siguientes fases:

- Definición digital de las categorías (fase de entrenamiento)
- Agrupación de los píxeles de la imagen en una de esas categorías (fase de asignación)
- Comprobación y verificación de resultados (índice Kappa)

Técnicas de Post-clasificación

Una vez obtenidas las clasificaciones individuales de cada imagen, se obtuvo la matriz de detección de cambios en donde la columna inicial muestra las clases de la imagen de cobertura de la tierra del año (2000). La duración del periodo de cambio se extiende hasta 2007 como se muestra en la fila horizontal de la **figura**, y su diagonal principal muestra las celdas dentro de la imagen clasificada sin modificaciones, es decir que no sufrieron cambios entre 2000 y 2007 (cuadros de color negro). Por el contrario las clases que se encuentran fuera de la diagonal principal indican las áreas que han sufrido cambio durante dicho periodo de tiempo, para lo cual se empleo la formula de (n^2-n) donde n es el numero de clases establecido para este estudio (6 en total), siendo 30 entonces, el número posible de categorías de cambio (Jensen, 2004), como resultado final de esta técnica se presentará el mapa de cambios.

Cuadro 3. Matriz de detección de cambios

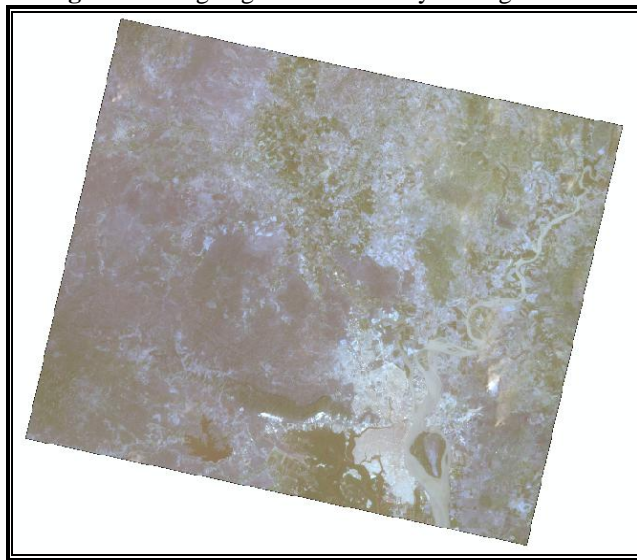
		2007					
		AREAS_ AGRICOLAS	PASTIZALES	VEGETACION_ ARBOREA	CUERPOS_ AGUA	ERIALES	ZONA_ URBANA
2000	AREAS_ AGRICOLAS	1	2	3	4	5	6
	PASTIZALES	7	8	9	10	11	12
	VEGETACION_ ARBOREA	13	14	15	16	17	18
	CUERPOS_ AGUA	19	20	21	22	23	24
	ERIALES	25	26	27	28	29	30
	ZONA_ URBANA	31	32	33	34	35	36

RESULTADOS

HOMOGENEIZACIÓN RADIOMÉTRICA Y GEOREFERENCIACIÓN DE IMÁGENES

Las imágenes Landsat y Spot fueron georeferenciadas, registradas y homogenizadas radiométricamente. En la figura 3 se representa a manera de ejemplo la georeferenciación y homogenización radiométrica de la imagen Landsat.

Figura 2. Imagen georeferenciada y homogeneizada



CLASIFICACIÓN DIGITAL

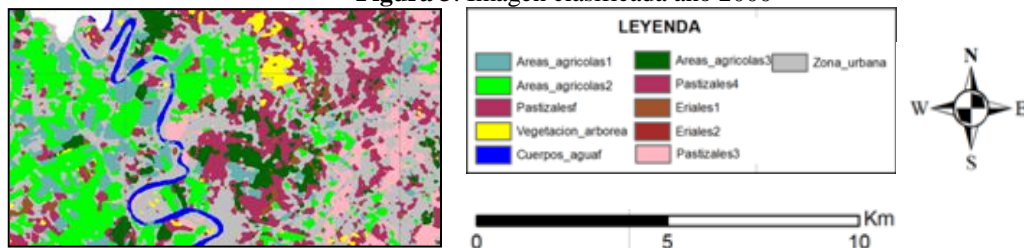
A las imágenes Landsat y Spot usadas en este estudio, se les aplicó una clasificación no supervisada utilizando el algoritmo de cluster isodata con el objeto de determinar a manera rápida la distribución de las clases en el área de estudio, posteriormente a esto se aplicó una clasificación supervisada empleando la opción de “máxima similitud”, que asigna cada píxel a la clase con mayor probabilidad de pertenecer a esta. Las clases consideradas para la clasificación supervisada se muestra en la siguiente figura, resaltando que esta bajo el nivel de grupo:

Cuadro 4. Categorías de cobertura y uso

COBERTURA		USO
GRUPO	CLASE	
VEGETACION ARBOREA	Bosque Nativo	Conservación y Protección
VEGETACION ARBUSTIVA	Vegetación Arbustiva	Conservación y Protección
PASTIZALES	Pasto Cultivado	Pecuario
	Pasto Natural	Pecuario
AREAS AGRICOLAS	Cultivos anuales	Agrícola
	Cultivos semipermanentes	Agrícola
	Cultivos permanentes	Agrícola
	Mosaico agropecuario (asociaciones)	Agropecuario Mixto
CUERPOS DE AGUA	Natural	Agua
	Artificial	Agua
ZONAS URBANAS	Centros poblados	Antropico
	Infraestructura	Antropico
ERIALES (Otras Areas)	Sin cobertura vegetal	Tierras Improductivas

La Figura 3 muestra el resultado de la clasificación aplicada a la imagen Landsat, año 2000.

Figura 3. Imagen clasificada año 2000



En el cuadro 5 se presentan los resultados de la evaluación de la precisión de la clasificación de la imagen Landsat del año 2000.. El coeficiente Kappa así como el índice global de acierto obtenido a partir del resultado de la clasificación total del área de estudio fueron de 0,9203 y 0,9371 respectivamente.

Cuadro 4. Evaluación de la precisión de la clasificación, imagen Landsat, año 2000

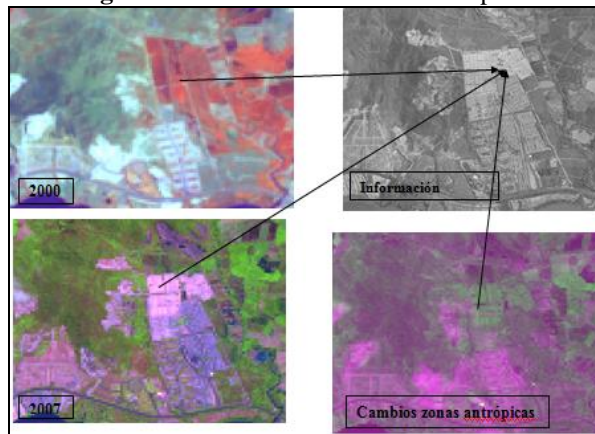
Classified	Reference Data										Row Total		
	Areas_agricolas1	Areas_agricolas2	Pastizales3	Areas_agricolas3	Pastizales4	Eriales1	Eriales2	Zona_urbana	Cuerpos_agua	Pastizalesf		Vegetacion_arbores	
Areas_agricolas1	131	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	4	137
Areas_agricolas2	0	208	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	208
Pastizales3	0	0	1435	0	4	0	0	0	4	0	6	2	1451
Areas_agricolas3	0	0	0	434	0	0	0	0	28	0	12	4	478
Pastizales4	0	0	0	0	491	0	0	0	1	0	15	0	507
Eriales1	0	0	0	1	1	293	14	43	0	2	0	0	354
Eriales2	0	0	0	0	0	56	139	2	0	0	0	0	197
Zona_urbana	0	0	5	20	3	21	0	1381	0	26	0	7	1453
Cuerpos_agua	0	0	7	6	3	0	0	0	245	0	0	0	243
Pastizalesf	0	0	7	6	3	3	2	137	0	709	0	127	993
Vegetacion_arbores	0	0	0	0	0	0	0	0	0	42	3606	0	3648
Column Total	131	208	1447	460	502	373	155	1596	245	812	3750	9679	

TÉCNICAS DE DETECCIÓN DE CAMBIOS

Composición Multitemporal

La Técnica de composición de color multitemporal al ser una técnica cualitativa se verifico mediante análisis visual de la imagen resultante, mediante la observación de sitios de interés en donde se determina el cambio y su verificación con la información testigo (ortofotomosaico, mapa de uso actual).

Figura 4. Verificación de zonas antrópicas



Enmascaramiento binario de cambio y Post-clasificación

Para la verificación de resultados de las Técnicas de Detección de Cambios cuantitativas de Diferencia de Imágenes y Técnicas de Post-Clasificación se realiza un procedimiento técnico que nos permite relacionar las áreas clasificadas vs. Los puntos de comprobación y de muestreo para lo cual se empieza obteniendo las categorías de cambio que son producto de la matriz de detección de cambios, que como resumen se obtuvieron 23 categorías de cambio para la técnica de Post-clasificación y 9 categorías para el enmascaramiento binario de cambio, una vez establecidas las categorías de cambio se establecen el numero de muestras testigo que se relacionan directamente con la superficie de cada una de las clases.

Figura 4. Ejemplo de categorías de cambio y numero de muestras testigo

No de Categoría	Categoría de cambio	Clasificación Landsat 2000	Clasificación Spot 2007	Evolución
1	1-1	Áreas Agrícolas	Áreas Agrícolas	Sin cambio
2	1-2	Áreas Agrícolas	Pastizales	Cambio
3	1-5	Áreas Agrícolas	Eriales	Cambio
4	1-6	Áreas Agrícolas	Zona Urbana	Cambio
5	2-2	Pastizales	Pastizales	Sin cambio
6	3-3	Vegetación Arborea	Vegetación Arborea	Sin cambio
7	4-4	Cuerpos Agua	Cuerpos Agua	Sin cambio
8	5-5	Eriales	Eriales	Sin cambio
9	6-6	Zona Urbana	Zona Urbana	Sin cambio

No de Categoría	Categoría de cambio	No de Muestras Testigo
1	1-1	30
2	1-2	30
3	1-5	5
4	1-6	15
5	2-2	30
6	3-3	30
7	4-4	15
8	5-5	30
9	6-6	30
	TOTAL	215

La verificación de los resultados obtenidos, en la aplicación de las diferentes metodologías cuantitativas de detección de cambios analizadas, se realizó en base a dos matrices de error que contraponen la información generada por la clasificación de las imágenes satelitales y la información testigo. Estas matrices de “error de detección de cambios” y “error de cambio y sin cambio”.

Para cada matriz de error se determinó la exactitud global del método de detección de cambios correspondiente y el índice KAPPA, cuyos resultados se resumen en los siguientes cuadros:

Cuadro 4. Porcentaje Global de acierto e índice KAPPA de la “Matriz de Error de Detección de Cambio” para las dos metodologías de detección de cambios analizadas en este estudio.

Metodología de detección de cambio	Exactitud Global	Índice Kappa
Post-Clasificación sin mejoramiento espectral	68	0,67
Diferencia de Imágenes por NDVI	87	0,86

Cuadro 5. Porcentaje Global de acierto e índice KAPPA de la “Matriz de Error de cambio y sin cambio” para las dos metodologías de detección de cambios analizadas en este estudio.

Metodología de detección de cambio	Exactitud Global	Índice Kappa
Post-Clasificación sin mejoramiento espectral	72	0,56
Diferencia de Imágenes por NDVI	93	0,77

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Las dos metodologías cuantitativas de detección de cambios revisados en este estudio entregan en líneas generales buenos indicadores de precisión en la discriminación de píxeles de cambio, es decir, su acierto oscila entre moderado a muy bueno en la identificación de aquellos píxeles que modificaron su respuesta espectral entre 2000 y 2007, esto se evidencia en sus valores de kappa tomando como referencia márgenes para valorar el grado de acuerdo, en función del índice kappa, propuestos por Landis y Koch que establecen los siguientes valores.

kappa	grado de acuerdo
< 0	sin acuerdo
0 - 0,2	insignificante
0,2 - 0,4	bajo
0,4 - 0,6	moderado
0,6 - 0,8	bueno
0,8 - 1	muy bueno

La Post-clasificación sin mejoramiento espectral obtuvo menor porcentaje global de acierto con valores de 68 y 72, al igual que menor valor de índice Kappa, en ambas matrices de error con 0.67 y 0.56, que según los valores analizados en el punto anterior no superan el rango de moderado y apenas bueno.

El método de detección de cambio que presentó los mayores valores de porcentaje global de acierto e índice Kappa, para las matrices de “error de detección de cambio” y “error de cambio y sin cambio”, fue la Diferencia de Imágenes por NDVI aplicando el Enmascaramiento Binario de cambio, siendo 87 y 93 para el primero y valores 0.86 y 0.77 para el segundo es decir para el índice Kappa, lo que da como resultado un rango de acuerdo de entre bueno a muy bueno.

Por lo tanto, la incorporación del NDVI como mejoramiento espectral en el proceso de detección de cambios a través de la máscara binaria de cambios a la Imagen de Diferencia se justifica al entregar mejores resultados que la utilización de las bandas crudas o sin mejoramiento espectral, dando como resultado final que la mejor técnica empleada en este estudio fue la metodología de detección de cambios por Diferencia de Imágenes por medio del cálculo de NDVI.

Es recomendable en lo posible que al momento de aplicar Técnicas de detección de cambios se cuente con información extraída del mismo sensor, ya que esto facilita el tratamiento digital previo que se les da a las imágenes, para obtener resultados homogéneos y de mayor precisión.

Para detectar cambios en general, y más aun en el caso del uso de la tierra es necesario que las imágenes mantengan la misma temporalidad, es decir que hayan sido captadas en la misma época estacional para evitar la confusión de categorías de cambio con estadio de cultivos que generan supuestos cambios sin que lo sean en la realidad

Un punto importante a tomar en cuenta al momento de adquirir las imágenes es contar con toda la información necesaria del sensor con que fueron captadas, en muchos casos contenidas en los metadatos y que vienen explícitas en la cabecera de las imágenes, cabe recalcar que esta información resulta de gran utilidad al momento de establecer parámetros de corrección.

BIBLIOGRAFÍA

Chuvienco, Emilio, *Teledetección ambiental “La observación de la Tierra desde el espacio”*, Tercera Edición, Editorial Ariel S. A, Barcelona - España 2008.

Jensen, Jens Fink, *Introductory Digital Image Processing A Remote Sensing Perspective*, third Ed, New Jersey: Prentice Hall, 2004.

Lillesand, T. and R. Kiefer, *Remote Sensing and Image Interpretation*, 3ª Edición John Wiley & Sons. Inc, 1994.

Congalton, R. and Green, K, *Assessing the Accuracy of Remotely Sensed Data: Principles and Practices*, Lewis Publishers, 1999.

Towers, Pedro C, *Conceptos Iniciales sobre Teledetección y su Aplicación al Agro*, Primera Edición, 2002

Instituto Geográfico “Agustín Codazzi”, *Revista CIAF*, volumen 13, Santa Fe de Bogota, D.C, 1992

Instituto Geográfico “Agustín Codazzi”, *EL ABC DE LOS SUELOS “Para no expertos”*, Imprenta Nacional de Colombia, Bogotá, D.C, 2010

Instituto Geográfico “Agustín Codazzi”, *Análisis y Clasificación del Uso y cobertura de la Tierra con Interpretación de Imágenes*, Santa Fe de Bogotá, D.C, 1992

Programa de Regularización y Administración de Tierras Rurales (PRAT), *Metodología de Valoración de Tierras Rurales*, UNIMARKET, Quito – Ecuador, 2008.

Gondard, Pierre, *Inventario y Cartografía del Uso Actual del Suelo en Los Andes Ecuatorianos*, Primera Edición, EDIGUIAS C. LTDA, Quito, 1984.

Medina, Juan Edgardo, *Tesis de Grado “Evaluación de metodologías de detección de cambios del uso del suelo a través del análisis digital multitemporal de imágenes satelitales Landsat TM en la IX Región, Chile.”*, Temuco – Chile, 2001

Centro de Levantamientos Integrados de Recursos Naturales por Sensores Remotos (CLIRSEN), *Revista de Teledetección*, Primera Edición, IMPREMEDIOS S.A, Quito – Ecuador, 2010

Instituto Geográfico Militar (IGM) Departamento de Normalización, *Especificaciones Técnicas Generales para la realización de cartografía Topográfica a cualquier escala*, Primera Edición, IGM, Quito 2006.

Vázquez, Eduardo, *Tesis de Maestría en Ciencias de la Tierra “La plaga de la mosca en el cultivo de la guayaba, un aplicación de la percepción remota en la prospección agrícola.”*, Unam – México, 2010

Rodríguez, Johnny, *Tesis de Maestría Internacional SIG “Comparación de Métodos para la detección del cambio de la Tierra, con imágenes de satélite en el Área Conservación Cordillera Volcánica Central de Costa Rica”*, Girona – España, 2003.

“*Mapping the forest types and landcover of Puerto Rico*”,
www.uprm.edu/biology/profs/chinea/.../cl10precis.ppt - Puerto Rico, Agosto 2011.

Antes, M. E., Peri, J. A. y Serafíni, M. C., “*Detección de cambios a través del análisis multitemporal de imágenes satelitales en un sector de la provincia de San Luis*”,
http://www.geogra.uah.es/inicio/web_11_confibsig/PONENCIAS/Antes-Peri-Serafini.pdf, Buenos Aires – Argentina.

Mendoza, Fernando, “*Análisis Multitemporal del Cambio de Uso del Suelo en base a Imágenes Satelitales de los territorios indígenas de Mayangna Sauni As, Mayangna Sauni Bas, Sikilta, MatungBak/Sauni Arungka, SIPBAA, Layasiksa y el área afectada por el Huracán Félix en 2007 para el período de tiempo 2005 – 2007/08 en los Departamentos de Jinotega y la RAAN, Nicaragua*”, Managua – Nicaragua, 2010.

Parimbelli, Matías, “*Detección de cambios con Multispec*”, www.caece.edu.ar/tea, Universidad CAECE, Junio 2005.

Parimbelli, Matías, “Cálculo de NDVI con Multispec”, www.caece.edu.ar/tea, Universidad CAECE, Junio 2005.

Fabregat, Vicente, “*FUNDAMENTOS TEÓRICOS DEL CONTROL DE LAS EXTRACCIONES MEDIANTE TELEDETECCIÓN*”, Instituto Técnico Geológico Español, Río Rosas – España, 2003

SIGMUR SIG y Teledetección en la Universidad de Murcia, <http://www.um.es/geograf/sigmur/index.html>, Murcia – España, 2006

Leica Geosystem (ERDAS), “*Tour Guide™ Seventh Edition*”, 1997 - 2001.

Environmental Systems Research Institute (ESRI), “*User Guide Arc GIS, Version 9.2*”, California – Estados Unidos, 1999.