

ANÁLISIS Y COMPARACIÓN DE IMÁGENES DE DIFERENTES SENSORES PARA VERIFICAR SU EFICIENCIA Y UTILIDAD EN ESTUDIOS MULTITEMPORALES.

ANDREA ELIZABETH SUÁREZ MORILLO, ING. OSWALDO PADILLA E ING. PABLO PÉREZ

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMAS, Av. Gral. Rumiñahui s/n Sangolquí – Ecuador.
eliandreams3@yahoo.com.ar, ovpadi@gmail.com, pperez@espe.edu.ec.

RESUMEN

El cambio de uso de la tierra y la pérdida del recurso forestal han sido los resultados de una diversa actividad antrópica. Esta actividad, está relacionada con factores poblacionales y socioeconómicos, los cuales han sufrido grandes cambios con el pasar del tiempo, sin tomar en cuenta las consecuencias negativas que puede llevar la acelerada expansión de la frontera agrícola en áreas que por naturaleza son de bosques. El presente estudio determina los cambios de cobertura producidos en la zona de estudio entre los años 1990, 2000 y 2010 utilizando distintos métodos y técnicas de análisis multitemporal con imágenes satelitales previamente tratadas. La información basada en imágenes de satélites se emplea cada vez más con el fin de evaluar el estado forestal, cobertura vegetal, riesgos naturales y de medir tanto la sustentabilidad medioambiental como económica. Los cambios de cobertura constituyen información cuantitativa y cualitativa importante, que una vez representados en mapas y datos estadísticos, servirán como una herramienta valiosa para plantear proyectos de conservación en las zonas más intervenidas.

ABSTRACT

The change in land use and the loss of forest resources have been the results of a diverse human activity. This activity is related to the demographic and socio-economic factors, which have undergone major changes over time, regardless of the negative consequences that can take the accelerated expansion of the agricultural frontier in areas that are naturally forested. This study determines the coverage changes produced in the study area between 1990, 2000 and 2010 using different methods and techniques of multi-temporal analysis pretreated with satellite images. Information based on satellite images are increasingly used in order to assess the state forest, vegetation, natural hazards and measure both environmental sustainability and economic. Cover changes are important quantitative and qualitative information, which once represented on maps and statistical data will serve as a valuable tool for raising conservation projects in more treatment area.

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

OBJETIVO

Las imágenes de satélite muestran literalmente, mucho más de lo que el ojo humano puede observar, al desvelar detalles ocultos que de otra forma estarían fuera de su alcance.

Es importante mencionar que al trabajar con diferentes sensores, lo que se trata de lograr es homogenizar e intercambiar información buscando resultados adecuados y óptimos para los estudios que se generarán en el futuro.

La información basada en imágenes de satélites se emplea cada vez más con el fin de evaluar el estado forestal, cobertura vegetal, riesgos naturales y de medir tanto la sustentabilidad medioambiental como económica. El objetivo principal es el analizar y comparar imágenes de diferentes sensores para verificar su utilidad en estudios multitemporales.

Se utilizarán imágenes adquiridas por el Ministerio de Medio Ambiente de diferentes épocas como se indica a continuación.

Imágenes Landsat TM, ETM+ de los años 1990, 2000 y 2010

Imágenes Aster de los años 2000 y 2010

Imágenes Rapideye del año 2010

Para las imágenes Landsat se incluye las 6 bandas reflectivas. Las imágenes Aster incluyen las 9 bandas. Para las imágenes Rapideye incluyen las 5 bandas. Para cada imagen de diferente sensor incluye un documento de texto metadata con información para las respectivas correcciones.

METODOLOGÍA DE TRABAJO.

CORRECCIONES GEOMÉTRICAS Y RADIOMÉTRICAS.

Corrección Geométrica

Las imágenes Aster fueron adquiridas con un nivel de procesamiento L1B, el cual aplica coeficientes radiométricos y geométricos. De forma similar, las imágenes Landsat fueron adquiridas en niveles de procesamiento L1G o L1T que incluyen correcciones

radiométricas y geométricas sistemáticas. Para las imágenes Rapideye fueran adquiridas en un nivel 3A donde incluye ortorectificación y correcciones radiométricas.

Ortorectificación para imágenes Landsat.

Lo que hacemos es abrir la imagen LANDSAT que se desea ortorectificar utilizando ERDAS utilizando *Image Geometric Correction*, la cual nos permite escoger el modelo Landsat.

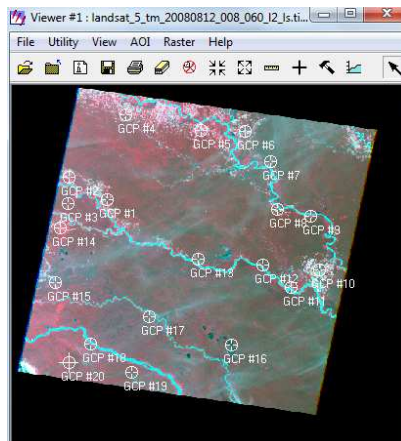


Figura 1. Ubicación de los puntos de control en la imagen a ortorectificar

Una vez seleccionado como un mínimo de 20 puntos representativos de los cambios topográficos existentes y homogéneamente distribuidos sobre la imagen se procede con el cálculo de la solución del modelo, el error no debe sobrepasar el valor de un píxel.

Ortorectificación para imágenes Aster

Para ortorectificar imágenes ASTER se utilizará como referencia la imagen LANDSAT ortorectificada de mejor calidad. Lo primero que debemos realizar es un layer stack o archivo multibanda a partir de bandas individuales a las imágenes ASTER. En ENVI se ingresan los parámetros para imágenes ASTER y los puntos de control con sus coordenadas X,Y,Z. El valor RMS no deberá exceder en el tamaño de un píxel. Una vez creados los GCPs o REPs, seleccionar puntos de control GCP y como se trabaja en una región amazónica seleccionar un mínimo de 20 puntos por imagen.

Reproyección de imágenes Rapideye

Para las imágenes de Rapideye lo que se realizó fue una reproyección ya que su sistema de referencia se encontraba en la zona 18S, para ello se procesa en ERDAS.

Corrección Radiométrica

Con las imágenes georeferenciadas se procedió a calibrarlas convirtiendo los niveles digitales a valores de reflectividad. Para este paso se planteó el diagrama en la parte inferior.

En esta metodología se realizará las correcciones radiométricas utilizando datos sacados del artículo científico “*Cartografía de áreas Quemadas a Escala Local*” (O. Padilla,2005), para imágenes Landsat y Aster. Para las imágenes de Rapideye no se realizarán correcciones radiométricas ya que tienen un nivel de procesamiento 3A que incluyen correcciones geométricas y radiométricas.

Los datos obtenidos a partir de los metadatos incluidos para imágenes Landsat y Aster son los siguientes: Fecha de adquisición, Hora, Azimut Solar y Elevación Solar.

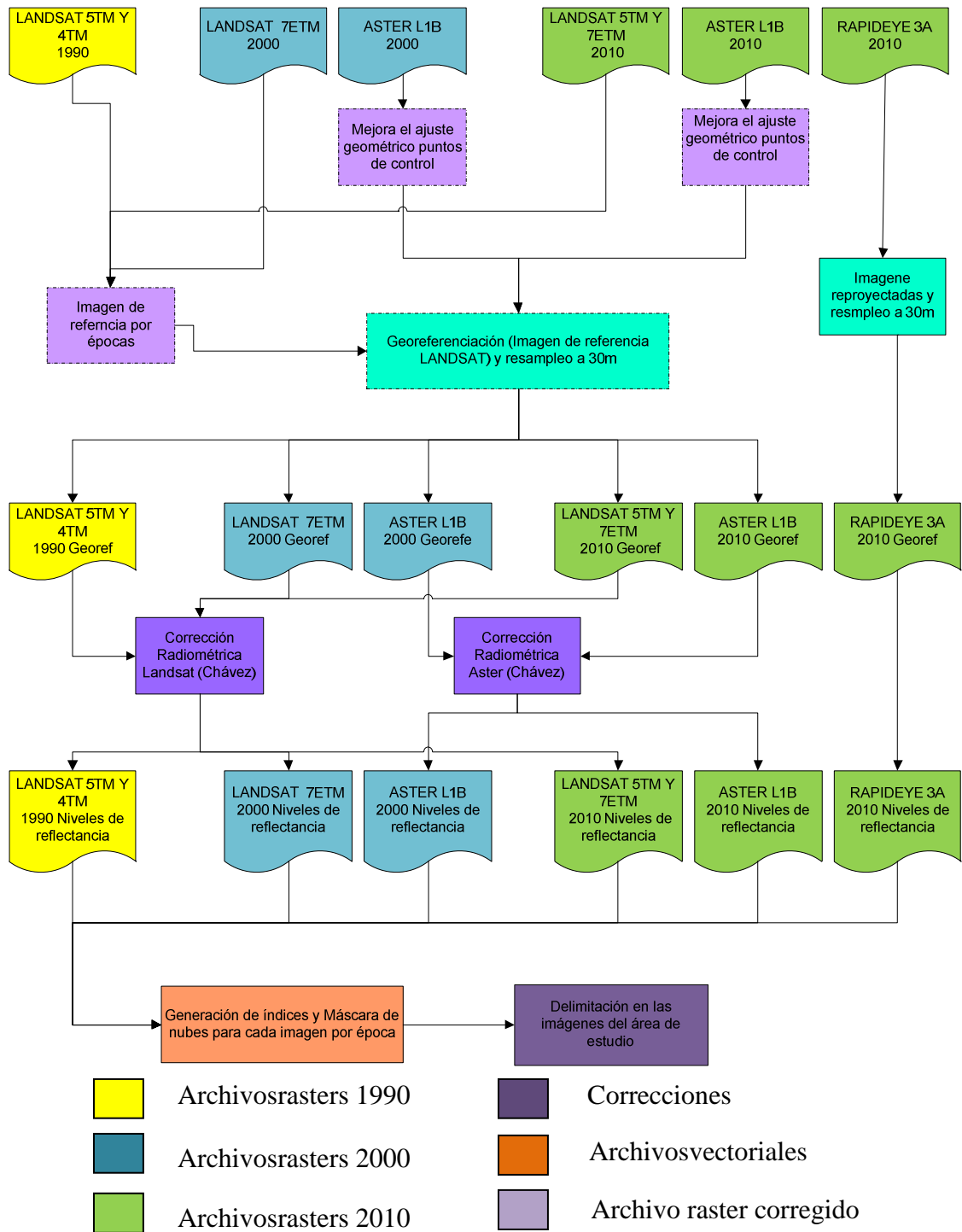


Diagrama 1. Tratamiento Digital de las Imágenes

Tabla 1. Listado de imágenes Landsat

LISTADO DE IMÁGENES LANDSAT									
SENSOR	EPOCA	PATH_ROW	CODIGO_IMAGEN	NIVEL DE PROCE.	FECHA ADQUI.	HORA	AZIMUT SOLAR	ELEVACIÓN SOLAR	ANG. CENITAL
LANDSAT	1990	8_60	lt50080601991050xxx03_ls.tif	L1T	19/02/1991	14:34:50	107,228177	48,5035855	41,496
		9_60	I5009060_06019860823_ls.tif	L1T	23/08/1986	14:41:27	71,5648909	51,2833712	38,717
			lt40090601989219xxx12_ls.tif	L1T	07/08/1989	14:53:38	62,9785223	51,8203975	38,180
		10_60	LT50100601987085XXX05_ls.tif	L1T	26/03/1987	14:48:34	86,502613	52,1174938	37,883
	2000	8_60	le70080602000243edc01_ls.tif	L1T	30/08/2000	13:48	72,5774995	59,4937563	30,506
		9_60	LE70090602002255EDC00_ls.tif	L1T	12/09/2002	13:44	81,645768	60,6605785	29,339
			LE70090602002287EDC00_ls.tif	L1T	14/10/2002	13:45	107,9301267	62,2725973	27,727
	10_60	le70100602001003edc00_ls.img	L1T	03/01/2001	15:16:41	129,5927071	52,6069166	37,393	
	2010	8_60	landsat_5_tm_20080812_008_060_l2_ls.tif	L1G	12/08/2008	14:59:43	62,765	56,0601	33,940
		9_60	le70090602007029edc00_norm.tif	Normalizada	29/01/2007				
10_60		LE70100602007036EDC00_norm.tif	Normalizada	05/02/2007					

Tabla 2. Listado de imágenes Aster

LISTADO DE IMÁGENES ASTER									
SENSOR	EPOCA	PATH_ROW	CODIGO_IMAGEN	NIVEL DE PROCE.	FECHA ADQUI.	HORA	AZIMUT SOLAR	ELEV. SOLAR	ANG. CENITAL
ASTER	2000	9_60	gonzalo_pizarro_cascales.img		18/11/2003				
	2010	8_60	AST_L1B_00305242005153056_20090708182421_12547_orto.tif	L1B	24/05/2005	15:29:17	45,413791	59,059612	30,940388
			AST_L1B_00302072007153146_20090708182421_12535_orto.tif	L1B	07/02/2007	15:26:45	121,166344	60,00729	29,99271
			AST_L1B_00302072007153137_20090708182501_13768_orto.tif	L1B	07/02/2007	15:26:45	121,98898	59,852093	30,147907
			AST_L1B_00302032008152527_20090708182511_14133_orto.tif	L1B	03/02/2008	15:22:28	122,579524	59,153558	30,846442
		8_61	AST_L1B_00302012008153748_20090813143202_25201_orto.tif	L1B	01/02/2008	15:34:34	125,496381	60,336957	29,663043
			AST_L1B_00301232004152617_20090723161600_21865_orto.tif	L1B	23/01/2004	15:22:36	127,504832	58,264721	31,735279
		9_60	AST_L1B_00311232005153644_20090708182431_12939_orto.tif	L1B	23/11/2005	15:34:21	137,721259	61,426198	28,573802
	AST_L1B_00305212007153723_20090708182451_13567_orto.tif		L1B	21/05/2007	15:36:12	44,975351	60,907045	29,092955	
	AST_L1B_00301292007153744_20090708182441_13305_orto.tif		L1B	29/01/2007	15:37:44	126,084995	58,846725	31,153275	
	10_60	AST_L1B_00302052007154358_20090813143212_25371_ORTO.tif	L1B	05/02/2007	15:43:58	123,404385	60,331024	29,668976	

Calibración:

Tabla 3. Tabla de Datos de calibración para imágenes Landsat.

Banda	E0	a0 (W/m ² mm)	a1	Tk
B1	1957	-6.200	1.176	0.70
B2	1829	-6.400	1.205	0.78
B3	1557	-5.000	0.938	0.85
B4	1047	-5.100	0.965	0.91
B5	219.3	-1.000	0.191	1.00
B7	74.52	-0.350	0.066	1.00

Fuente: Cartografía de áreas Quemada a Escala Local, Ing. O.Padilla 2005.

Tabla 4. Tabla de Datos de calibración para imágenes Aster.

Banda	E0	a0 (W/m ² mm)	a1	Tk
B1	1846	-0.676000	0.676000	0.78
B2	1555	-0.708000	0.708000	0.85
B3N	1120	-0.862000	0.862000	0.91
B3B	1120	-0.862000	0.862000	0.91
B4	231	-0.217400	0.217400	1,00
B5	79.0	-0.069600	0.069600	1,00
B6	74.4	-0.062500	0.062500	1,00
B7	70.5	-0.059700	0.059700	1,00
B8	59.6	-0.041700	0.041700	1,00
B9	56.3	-0.031800	0.031800	1,00
B10	10	-0.006882	0.006882	1,00
B11	10	-0.066780	0.066780	1,00
B12	10	-0.006590	0.006590	1,00
B13	10	-0.005693	0.005693	1,00

Fuente: Cartografía de áreas Quemada a Escala Local, Ing. O.Padilla 2005.

Ya adquirida la información que se necesita de cada imagen que se va utilizar, vamos al software *PCI Geomatica*, abrimos la imagen que se encuentra en formato *tiff*, lo que se debe hacer es

cambiar de *tiff* a *pix* para que pueda ser tratada y corregida. Se escogerá las bandas correspondientes a cada sensor en este caso si es ASTER serán 9 bandas y LANDSAT con 6 bandas.

Clasificación de las Imágenes Satelitales.

Los procesos de clasificación de las imágenes combinan varios métodos a fin de obtener dentro del menor tiempo y con la utilización mínima de recursos, resultados confiables sobre el fenómeno espacial. De acuerdo a la metodología planteada por el Ministerio del Ambiente para generar mapas de cobertura vegetal está compuesto por cuatro procesos principales.

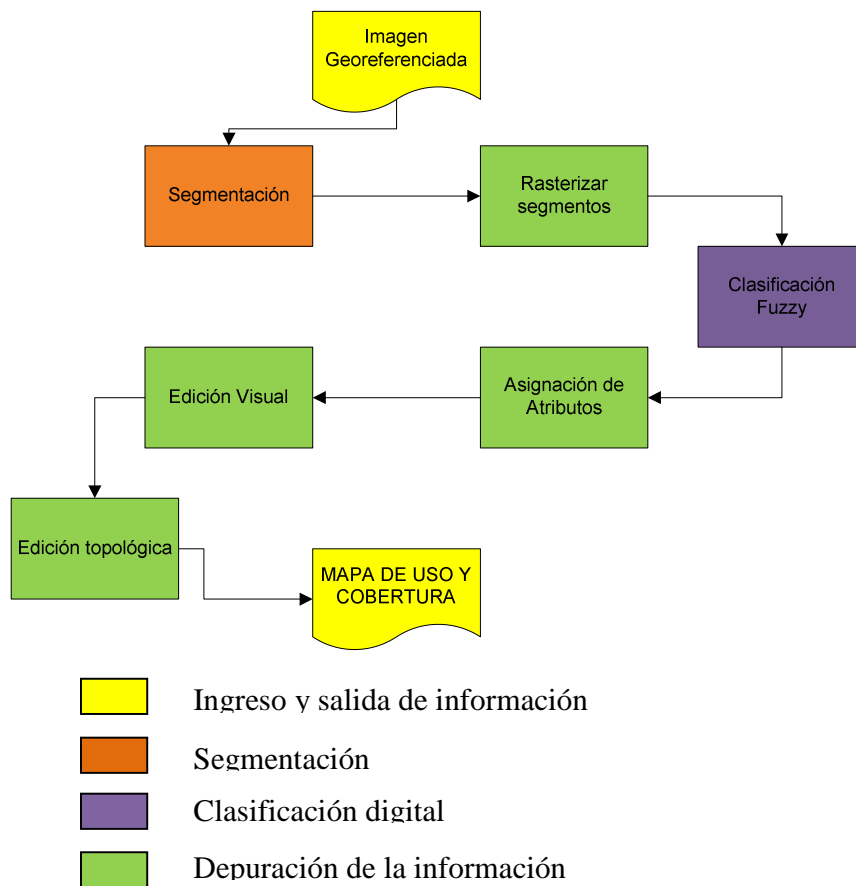
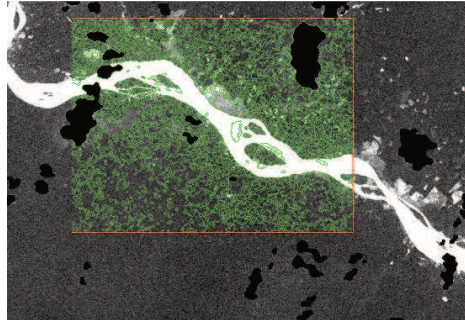


Diagrama 2. Proceso para la clasificación de imágenes satelitales.

Segmentación

El proceso de segmentación identifica conjuntos de píxeles que definen áreas geográficas homogéneas que representan algún tipo de unidad espacial. Cada uno de estos objetos geográficos es conocido como un segmento, el cual está compuesto de un conjunto de píxeles relativamente homogéneos, ya sea en sus características espectrales, espaciales y de textura.

Figura 2. Proceso de segmentación



Al terminar el proceso de segmentación se obtiene un archivo en formato vectorial, el cual se debe proceder unir polígonos que son menores a 1 ha a un polígono más grande utilizando la herramienta *eliminate* y con el área calculadase procede a seleccionar los de menor área.

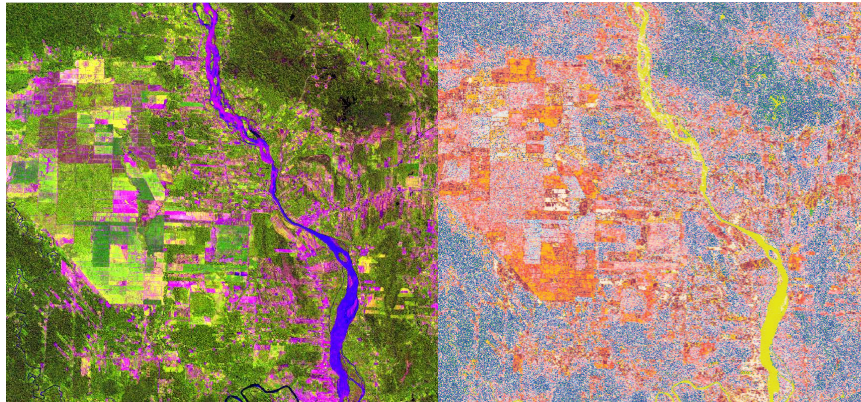
Rasterización de Segmentos

El proceso de rasterización permite obtener una imagen multibanda de los segmentos obtenidos en el proceso de segmentación, el valor asignado a cada segmento es el promedio de los valores espectrales de los píxeles que lo conforman. Se tendrá igual número de bandas que la imagen original; 6 bandas en imágenes Landsat, 9 bandas en imágenes Aster y 5 bandas en imágenes Rapideye, éstas se utilizarán para la clasificación Fussy.

Clasificación Difusa (Fuzzy)

Para empezar a realizar la clasificación Fussy, Se abre Software PCI donde se selecciona la opción Analysis<Imagen Classification< Unsupervised, donde se ingresa la imagen a ser clasificada en este caso se está utilizando imágenes Landsat, Aster y Rapideye de diferentes épocas.

Figura 3. Clasificación fussy



Asignación de Atributos para el archivo de segmentación.

Se crean 4 nuevos campos en el shapefile de segmentos: clas_num, clas_tem, Nivel_1, Nivel_2 y Codigo_Imagen. En el campo clas_num contiene el valor digital de las clases obtenidas de la clasificación digital, el clas_tem contiene la clasificación fuzzy de acuerdo a la leyenda, el Nivel_1 y Nivel_2 es la interpretación visual y por último el Codigo_Imagen es el nombre de la imagen que se está utilizando para esa edición visual. Mediante este proceso, el shapefile está listo para la validación.

Atributos de los puntos de validación

Ubicados los puntos de validación dentro del área de estudio, es necesario asignar el tipo de uso y cobertura del suelo a cada punto. Para asegurar la calidad y reducir el sesgo, los puntos van a ser interpretados al menos tres veces por intérpretes distintos. En caso de haber discrepancias entre los analistas, una cuarta persona deberá evaluar el uso y cobertura del suelo del punto de validación. La exactitud se evaluara utilizando las siete clases Nivel 1 de la leyendatemática (IPCC 2003).

Tabla 5. Leyenda Temática

CÓDIGO NIVEL I	NIVEL I (IPCC)	CÓDIGO NIVEL II	NIVEL II
1	Bosque	8	Bosque Nativo
2	Áreas Agropecuarias	11	Cultivos Anuales
		12	Cultivos Semipermanentes
		13	Cultivos Permanentes
		14	Pasto Cultivado
		15	Mosaico Agropecuario
3	Vegetación Arbustiva y Herbácea	16	Vegetación Arbustiva
		17	Vegetación Herbácea
		18	Páramos
4	Cuerpos de Agua	19	Natural
		20	Artificial
5	Zonas Antrópicas	21	Zonas Pobladas
		22	Infraestructura
6	Otras Áreas	23	Glaciares
		24	Áreas sin cobertura vegetal
7	Plantación Forestal		

Fuente. Grupo Intergubernamental de expertos sobre cambio climático (IPCC)

Creación de Matrices de Confusión

Con la edición visual y los resultados generados en la validación por los intérpretes. Se debe tomar en cuenta si existe información en el campo denominado “CAMPO”, en validación aparecerá la clase de campo. Si existe información en “V_ORIG1, V_ORIG2 y en V_ORIG3”, en validación aparecerá la clase que más se repita de los tres campos, por ejemplo: V_ORIG1 = bosque, V_ORIG2 = vegetación arbustiva y herbácea V_ORIG3 = bosque; el resultado de este punto será que en validación aparecerá bosque.

Se da mayor importancia a la información de campo, ya que es más precisa y confiable. Con la finalidad de contabilizar las coincidencias entre las clases, realizamos un *Join* basado en la localización espacial, desde el feature class PUNTOS_VALIDACION y seleccionando el shapefile en donde se encuentra la clasificación visual para la unión de los atributos. El resultado de esta unión es un shapefile en donde se encuentran todos los puntos randómicos generados con los campos de la clasificación visual y los campos de la validación. Para el análisis de la matriz de confusión es necesario dejar los campos de VALIDACION de los puntos randómicos, el NIVEL 1 y NIVEL 2 de la clasificación de la edición visual.

Figura 4. Matriz de Confusión

MATRIZ DE CONFUSION: LT50080601991050XXX03											
		Referencia									
Cod.	Clases	Bosque	Áreas Agropecuarias	Vegetación arbustiva y herbácea	Cuerpos de agua	Zonas antrópicas	Otras áreas	Sin información	Total	Exactitud usuario	Error comisión
1	Bosque	154	0	0	0	0	0	0	154	1	0
2	Áreas Agropecuarias	0	0	0	0	0	0	0	0	#DIV/0!	#DIV/0!
3	Vegetación arbustiva y herbácea	0	0	1	0	0	0	0	1	1	0
4	Cuerpos de agua	0	0	0	5	0	0	0	5	1	0
5	Zonas antrópicas	0	0	0	0	0	0	0	0	#DIV/0!	#DIV/0!
6	Otras áreas	0	0	0	0	0	0	0	0	#DIV/0!	#DIV/0!
7	Sin información	0	0	0	0	0	0	0	0	#DIV/0!	#DIV/0!
	Total	154	0	1	5	0	0	0	160		
	Exactitud productor	1	#DIV/0!	1	1	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!			
	Error omisión	0	#DIV/0!	0	0	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!			

Clases bien estimadas	160
Total de clases	160
Fiabilidad Estimada (%)	100
Error de Muestreo	0
Fiabilidad Global (intervalo de confianza)	100
Kappa	1

Total clasificación	Total referencia	
154	154	23716
0	0	0
1	1	1
5	5	0
0	0	0
0	0	0
0	0	0
		23717

Determinación de las matrices de transición

Para permitir ajustar las áreas de cambio y permanencia de cobertura esta metodología plantea la normalización de las áreas con respecto a la época de referencia del estudio, es decir, 1990, 2000 y 2010. Para calcular las matrices se deben comparar áreas iniciales y finales, en este, para lo cual es necesario establecer matrices de cambio de cobertura entre una época y otra, las cuales nos muestren las áreas de cambio

Estas áreas de cambio deben ser ajustadas de acuerdo a las fechas de las épocas de referencia, 1 de Enero 1990, 1 de Enero 2000 y 1 de Enero 2008.

$$C_{i \rightarrow j}(90 \rightarrow 97) = C_{i \rightarrow j}(t_1 \rightarrow t_2) \times \frac{\text{no.}_\text{days}(90 \rightarrow 97)}{\text{no.}_\text{days}(t_1 \rightarrow t_2)}$$

Ecuación 1. Fórmula de normalización para coberturas que han cambiado

Fuente: Achard F., Hugh D. Eva, Stibig H-J., Mayaux P., Gallego J., Richards T., Malingreau JP. 2002.

Donde:

$C_{ij}(t1 \rightarrow t2)$, es el área de la cobertura que ha cambiado entre las fechas.

$C_{ij}(t1 \rightarrow t2)$, área normalizada de la cobertura de cambio en el período.

$\text{no_days}(90 \rightarrow 97)$, es el número de días julianos por período

$\text{no_days}(t1 \rightarrow t2)$, es el número de días julianos por fechas

$$C_{i \rightarrow i}(90 \rightarrow 97) = TA_i(t_1) + \left[(TA_i(t_1) - TA_i(t_2)) \times \frac{\text{no.}_\text{days}(t_1 \rightarrow 90)}{\text{no.}_\text{days}(t_1 \rightarrow t_2)} \right] - \sum_{k \neq i} C_{i \rightarrow k}(90 \rightarrow 97)$$

Ecuación 2. Fórmula de normalización para coberturas que se han mantenido

Fuente: Achard F., Hugh D. Eva, Stibig H-J., Mayaux P., Gallego J., Richards T., Malingreau JP. 2002.

Donde:

$C_{i \rightarrow i}(90-97)$, es el área de la cobertura que se ha mantenido en el periodo.

$TA_{i(t1)}$, área de la cobertura inicial de la categoría A.

$TA_{i(t2)}$, área de la cobertura final de la categoría A.

$\text{no_days}(90 \rightarrow 97)$, número de días julianos desde la fecha inicial al período de ajuste.

$\sum_{k \neq i} C_{i \rightarrow k}(90 \rightarrow 97)$, Sumatoria de las áreas de cambio de la Cobertura A.

Estas fórmulas se deben aplicar a la matriz de áreas originales, y el resultado será una matriz con áreas ajustadas o normalizadas. La suma de todas estas matrices normalizadas, nos dará como resultado una matriz general de toda el área de estudio.

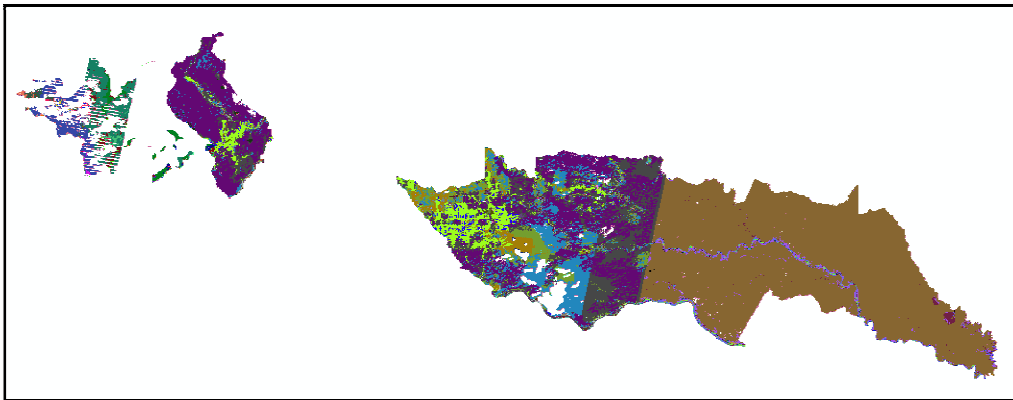
Para el cálculo de las matrices de transición se realizará de acuerdo a la determinación del cambio de coberturas dentro de cada intersección de imágenes del área de estudio, es decir, una vez establecidas las intersecciones o traslape de las imágenes en cada período de tiempo, es necesario identificar los cambios de coberturas de cada período dentro de estas intersecciones. Para esto se deberán utilizar los archivos de cambio de coberturas del año 1990-2000 y el 2000-2010 y el de traslapes de imágenes con estos dos archivos se realizará la siguiente operación que calculará el cambio de cobertura entre 1990-2000 y el 2000-2010.

(Ecuación)

Ecuación 3. Cambio de Cobertura de 1990-2000

Fuente: Achard F., Hugh D. Eva, Stibig H-J., Mayaux P., Gallego J., Richards T., Malingreau JP. 2002.

Figura 5. Cambio de Cobertura entre épocas (1990-2000)



La tabla de este raster debe ser exportada como archivo .dbf que luego será copiado en una matriz que nos facilitará el cálculo de los cambios de cobertura por periodo. Abrimos el archivo .dbf y copiamos las dos columnas de VALUE y COUNT, en la hoja de cálculo del cambio de cobertura.

Para el cálculo del cambio de coberturas por periodo se basa en una matriz general, la cual contiene áreas normalizadas con valores ajustados a las épocas de referencia, en los cuales se han aplicado una serie de fórmulas que permiten su cálculo automático. Estas matrices han sido generadas para un número máximo de 50 intersecciones que es suficiente para el área se estudio. El resultado, vendrá desplegado en la hoja de cálculo “MATRIZ FINAL”, esta recopila toda la información de las matrices de cada hoja de cálculo de cada intersección.

Figura 6. Hoja de Cálculo para la determinación del cambio de cobertura entre épocas

VALUE	COUNT	PAR DE IMAGEN	CAMBIO	AREA	PAR DE IMAGEN	PERIODO	
1101	1585275	1	11	142674.75	1	07/08/1989	12/09/2002
1102	7117	2	11	640.53	2	07/08/1989	14/10/2002
1103		3	11	4.14	3	07/08/1989	19/11/2002
1104	423746	4	11	38137.14	4	19/02/1991	12/09/2002
1105	3687688	5	11	331891.92	5	19/02/1991	30/08/2000
1106	349	6	11	31.41	6	23/08/1986	03/01/2001
1107	446639	7	11	40237.25	7	23/08/1986	12/09/2002
1108	46316	8	11	4188.44	8	23/08/1986	14/10/2002
1109	109783	9	11	9880.47	9	26/03/1987	03/01/2001
1110	159196	10	11	14327.64	10	26/03/1987	14/10/2002
1201	418796	1	12	37691.64			
1202	205	2	12	18.45			
1204	1262	4	12	1103.58			
1205	2658	5	12	239.22			
1207	237252	7	12	21352.68			
1208	8189	8	12	735.21			
1209	7791	9	12	161.19			
1210	46	10	12	4.14			
1301	62539	1	13	5628.51			
1304	31988	4	13	2878.92			
1305	85108	5	13	7659.72			
1307	8591	7	13	323.18			
1308	5542	8	13	498.78			
1309	2258	9	13	203.22			
1310	3906	10	13	351.54			
1401	30526	1	14	947.34			
1402	14	2	14	1.26			
1404	1235	4	14	111.15			
1405	98739	5	14	3486.51			
1407	2444	7	14	229.96			
1408	1166	8	14	104.94			
1409	449	9	14	40.41			
1410	490	10	14	44.1			
1501	3170	1	15	285.3			
1504	498	4	15	44.82			
1507	739	7	15	66.51			
1508	1	8	15	0.09			
1601	2861	1	16	257.49			
1604	52	4	16	4.68			
1605	560	5	16	50.4			
1607	83	7	16	7.47			
1608	259	8	16	23.31			
1609	54	9	16	4.86			
1610	135	10	16	12.15			
2101	49790	1	21	4481.1			

Figura 7. Matriz de cambio de cobertura total del periodo 1990-2000

		AREA DE ESTUDIO: SHUSHUFINDI, CUYABENO Y GONZALO PIZARRO					
		PERIODO: 1990-2000					
		AÑOS: 10					
MATRIZ NORMALIZADA							
	BOSQUE	A. AGROP.	V. ARB.Y HER	C.DE AGUA	Z.ANTROPICAS	OTRAS AREAS	TOTAL
BOSQUE	642003,3	30125,83216	15199,9793	4537,06534	256,6289609	264,893446	692387,74
A. AGROP.	5099,133	21499,82175	658,167653	206,883296	561,7884341	43,2393693	28069,033
V. ARB.Y HER	2055,499	1950,841857	3322,33247	436,672273	52,05950706	74,3865063	7891,7916
C.DE AGUA	0	300,1189291	600,51946	8183,75596	0,137436755	821,839819	9906,3716
Z.ANTROPICAS	0,798605	104,1809294	1,96678711	0,0688412	-43,8659094	0,27487351	63,424127
OTRAS AREAS	111,1729	216,8180863	438,704595	1432,5887	0	993,080028	3192,3643
TOTAL	649269,9	54197,61372	20221,6702	14797,0344	826,7484294	2197,71404	741510,72

Análisis Multitemporal de Cobertura Vegetal y Cambio de Uso de la Tierra del periodo de estudio

A través del análisis multitemporal de las imágenes de diferentes sensores de los años 1990, 2000 y 2010 se obtuvieron los valores de cambio de cobertura en el área de estudio. Los resultados obtenidos en el área de estudio se presentan a continuación:

Las categorías que cubren la mayor parte de la zona de estudio en el año 1990, son el Bosque (692380.022 ha) y Áreas Agropecuarias (28076.4679ha), estas coberturas mencionadas cubren en conjunto el 97,16% del área de estudio.

Figura 8. Distribución de las superficies por categoría y por año.

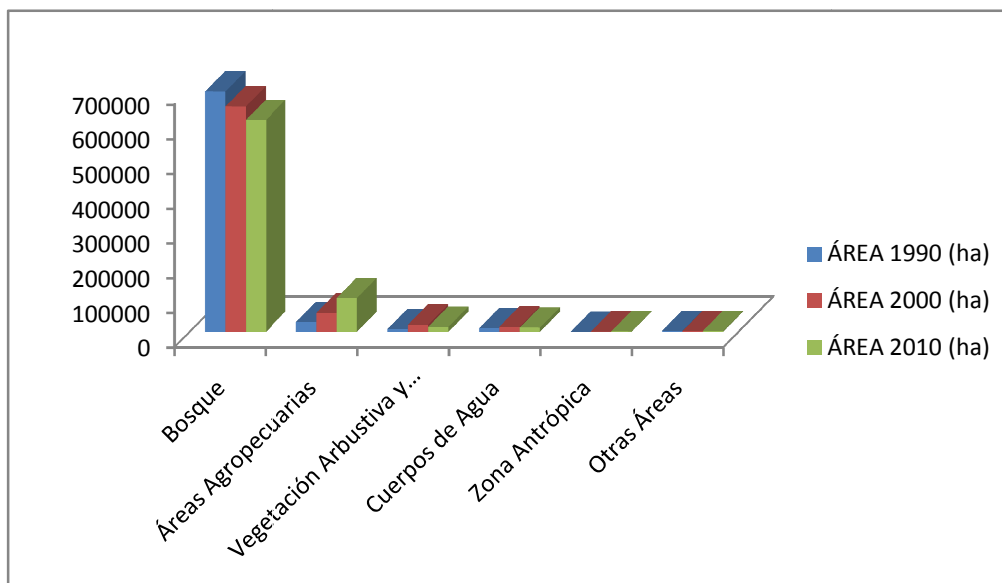


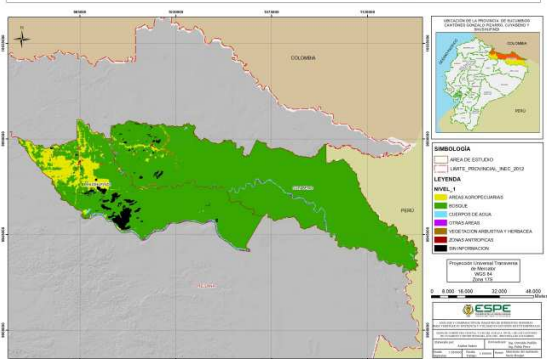
Tabla 6. Superficie de pérdida o ganancia y porcentaje de cambio por categoría de cobertura y uso del suelo entre las épocas 1990, 2000 y 2010.

USO Y COBERTURA DEL SUELO	ÁREA 1990 (ha)	ÁREA 1990 (%)	ÁREA 2000 (ha)	ÁREA 2000 (%)	ÁREA 2010 (ha)	ÁREA 2010 (%)
Bosque	692380,02	93,37	649268,60	87,56	610278,13	82,75
Áreas Agropecuarias	28076,47	3,79	54199,82	7,31	97180,56	13,18
Vegetación Arbustiva y Herbácea	7891,83	1,06	20220,91	2,73	14421,29	1,96
Cuerpos de Agua	9906,51	1,34	14796,99	2,00	12016,89	1,63
Zona Antrópica	63,51	0,01	826,68	0,11	1226,71	0,17
Otras Áreas	3192,37	0,43	2197,72	0,30	2339,85	0,32
TOTAL	741510,72	100,00	741510,72	100,00	737463,42	100,00

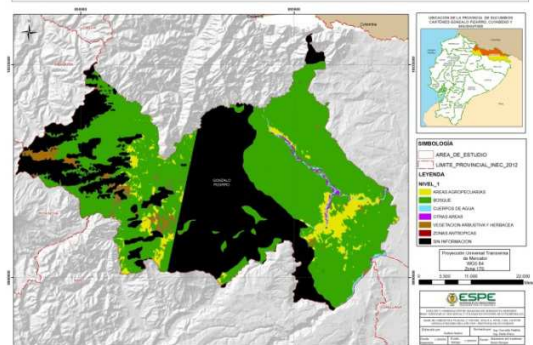
En el año 2000 las categorías que se encuentran mejor representadas en la zona es la misma que el año de 1990; y cubren el 94,87% del área de estudio. Para el año 2010 las categorías más representadas son Bosque (610278.13 ha), Áreas Agropecuarias (97180.56 ha) que en su totalidad cubren el 95,93%.

SUCUMNIOS

MAPA DE COBERTURA VEGETAL Y USO DEL SUELO A NIVEL I DE LOS CANTONES CUYABENO Y SHESHUFINI DEL AÑO 1999 - PROVINCIA DE SUCUMBIOS

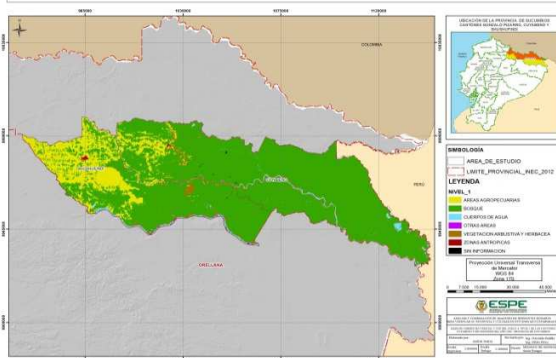


MAPA DE COBERTURA VEGETAL Y USO DEL SUELO A NIVEL I DEL CANTÓN GONZALO PIZARRO DEL AÑO 1999 - PROVINCIA DE SUCUMBIOS

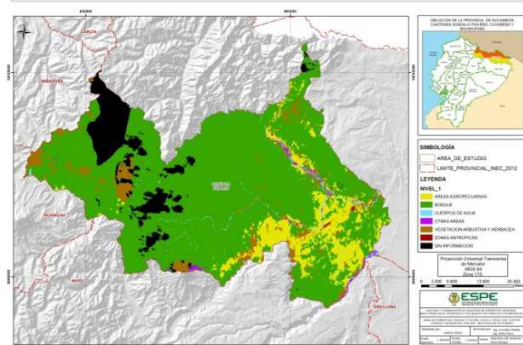


1990

MAPA DE COBERTURA VEGETAL Y USO DEL SUELO A NIVEL I DE LOS CANTONES CUYABENO Y SHESHUFINI DEL AÑO 2000 - PROVINCIA DE SUCUMBIOS

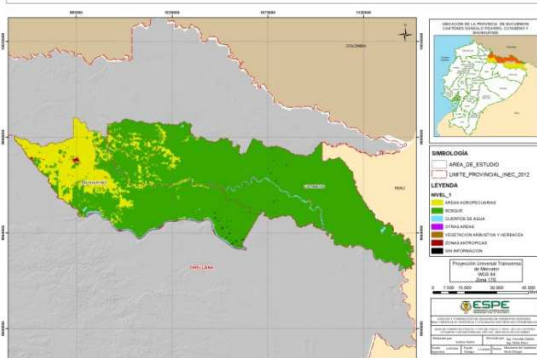


MAPA DE COBERTURA VEGETAL Y USO DEL SUELO A NIVEL I DEL CANTÓN GONZALO PIZARRO DEL AÑO 2000 - PROVINCIA DE SUCUMBIOS

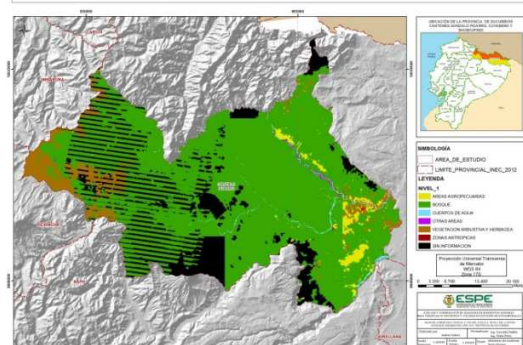


2000

MAPA DE COBERTURA VEGETAL Y USO DEL SUELO A NIVEL I DE LOS CANTONES CUYABENO Y SHESHUFINI DEL AÑO 2010 - PROVINCIA DE SUCUMBIOS



MAPA DE COBERTURA VEGETAL Y USO DEL SUELO A NIVEL I DEL CANTÓN GONZALES PIZARRO DEL AÑO 2010 - PROVINCIA DE SUCUMBIOS



2010

Análisis Comparativo de los Diferentes Índices Espectrales.

Tomando imágenes multitemporales se procedió a realizar los índices para cada imagen satelital y luego proceder a restar los resultados.

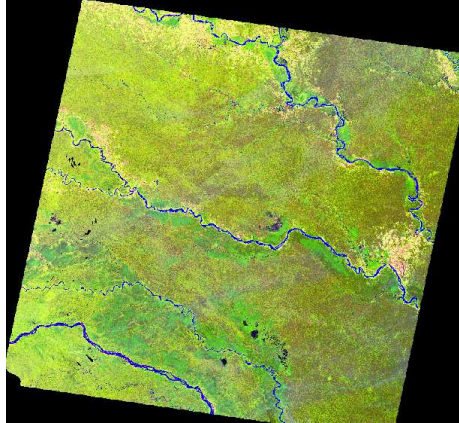


Figura 9. Imagen para el análisis del Índice NDVI.

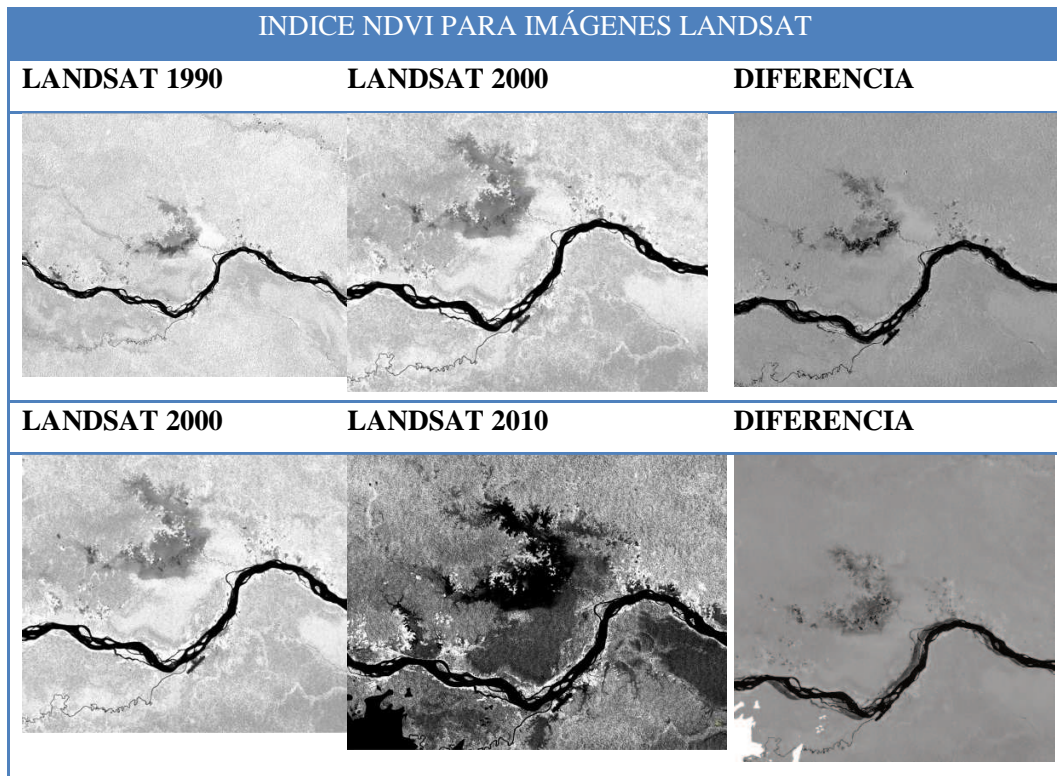
Como la imagen se encuentra en formato tif, se le exporta a formato PIX:PCIDS, a este archivo se le agrega las imágenes que se van a trabajar en conjunto, y se añade un raster layer adicional de 32 bits para obtener los resultados del NDVI, con este raster se procede a calcular los NDVI utilizando la siguiente ecuación que se describe a continuación

$$NDVI_i = \frac{\rho_{IRC} - \rho_{IR}}{\rho_{IRC} + \rho_{IR}}$$

Ecuación 4. Fórmula para calcular el NDVI entre diferentes imágenes de distintas épocas.

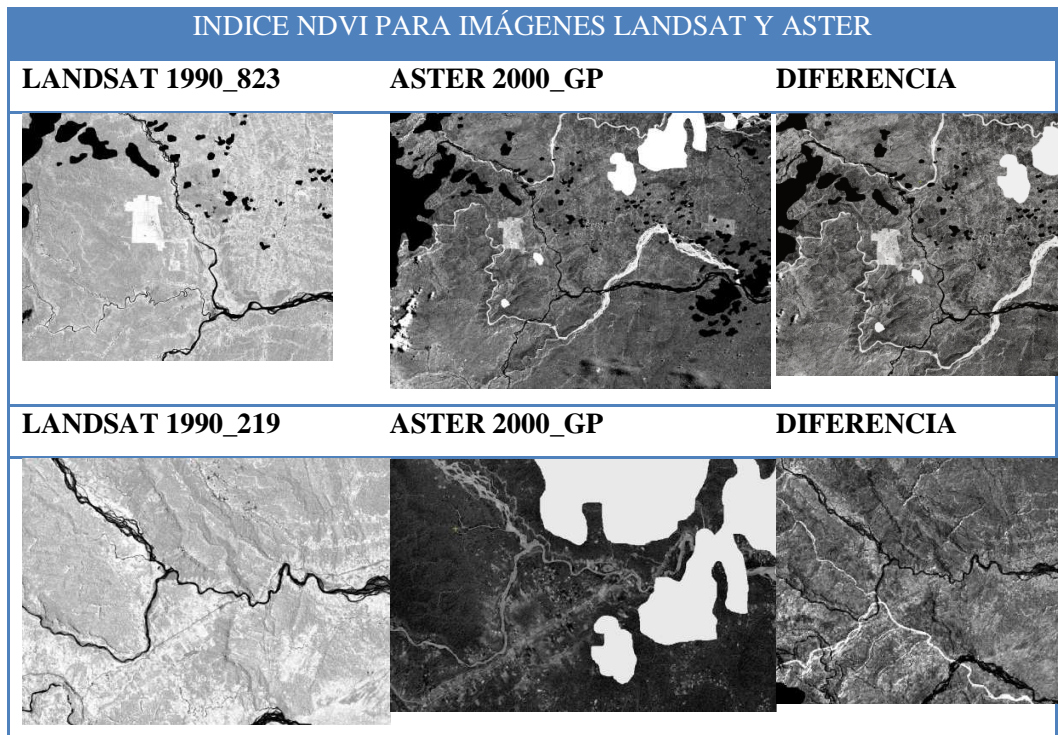
La aplicación del índice a imágenes del mismo sensor de diferentes años podemos identificar que para el año 1990 no se puede discriminar las áreas ya que su reflectividad no varía, pero cuando se obtiene la diferencia se observa áreas definidas las cuales dan una mejor interpretación, se puede identificar que en las áreas de Bosque no se ha presentado ningún cambio por eso se visualiza en tonalidades grises, Bosque Inundado ya que presenta una capa fina de tonalidad oscuro , y claramente se ven las parcelas Agrícolas.

Figura 10. Índice NDVI para imágenes Landsat.



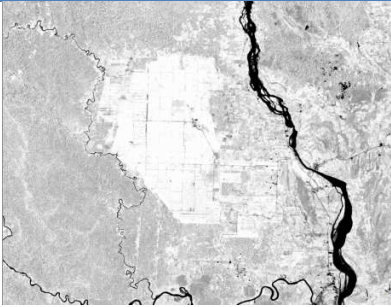
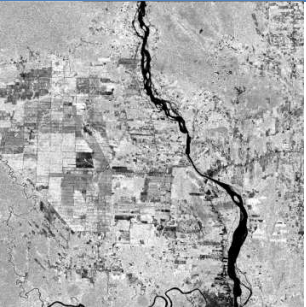
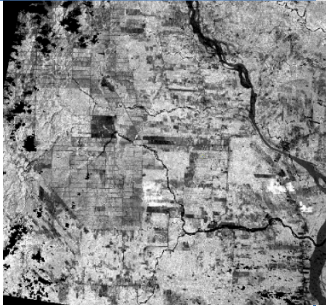



Si aplicamos imágenes de sensores diferentes, en este caso Landsat y Aster observamos que los resultados de la diferencia, discrimina extensas áreas de actividad agrícola, pero actividades menores se hace más difícil de detectar contrastes y hasta se puede llegar a confundir con los que puede ser Vegetación Arbustiva.

Figura 11. Índice NDVI para imágenes Landsat y Aster.



Aplicando el índice para imágenes Landsat y Rapideye proporciona una buena discriminación entre áreas de actividad agrícola con áreas urbanas e infraestructura (carreteras), cuerpos de agua hasta los bosquecillos que se encuentran entre un cultivo a otro. Aunque se puede llegar a confundir los cultivos que tengan mucha reflectancia con áreas descubiertas.

Figura 12. Índice NDVI para imágenes Landsat y Rapideye.

INDICE NDVI PARA IMÁGENES LANDSAT Y RAPIDEYE		
LANDSAT 2000_287	RAPIDEYE 2010_905	DIFERENCIA
		
LANDSAT 2000_287	RAPIDEYE 2010_906	DIFERENCIA
		

CONCLUSIONES

- ❖ En el método de segmentación utilizado para la clasificación e interpretación de una imagen es necesario, que los segmentos vayan acorde con el cambio de transición de coberturas vegetales, mientras mayor sea la discriminación de clases, los resultados de la interpretación irán acorde con la realidad.
- ❖ El método de diferencia multitemporal, obtuvo excelentes resultados combinando imágenes Landsat y RapidEye, discriminando, delimitando áreas de cobertura vegetal, útil para la interpretación de estudio multitemporal. En imágenes Landsat sus resultados fueron favorables y aún mayor en zonas donde no han tenido una variación en su cobertura vegetal. En imágenes Landsat, Aster sus resultados fueron aceptables ya que ofrece una discriminación pero que tiende a confundir al momento de interpretar de una cobertura a otra.

REFERENCIAS

- Ambiente, M. d. (2010). Aprovechamiento de los recursos forestales. *Aprovechamiento de los recursos forestales*. Quito, Pichincha, Ecuador.
- Ambrosio, G., González, J., & Arévalo, V. (s.f.). *Detección de Cambios urbanos mediante comparación de imágenes multitemporales*. Obtenido de <http://www.ceafiac.es/actividades/jornadas/XXIV/documentos/viar/96.pdf>
- Change, I. P. (2003). Good Practice Guidance for Land Use, Land Use Change and Forestry Projects. Geneva, Switzerland.
- Chuvieco. (1990). *Fundamentos de Teledetección Espacial*. Madrid.
- Chuvieco. (2007). *Teledetección Ambiental*. Barcelona: Ariel.
- Congalton, R. G. (1991). *A Review of Assessing the Accuracy of classifications of Remotely Sensed Data. Remote Sensing of Environment*.
- Congalton, R. G., Oderwald, R. G., & Mead, R. A. (1983). *Assessing Landsat classification accuracy using discrete multivariate statistical techniques Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*.
- Corrección Atmosférica y Topográfica, Información Multitemporal y auxiliar aplicadas a la cartografía de modelos de combustibles con imágenes Landsat TM*. (s.f.). Obtenido de http://age.ieg.csic.es/metodos/docs/IX_2/Riano_David.PDF
- Gilabert, M A; González, Piqueras; García Haro, F J;. (1997). Acerca de los índices de vegetación. *Revista de Teledetección*.
- Padilla, O. A. (2005). Cartografía de áreas quemadas a Escala Local.
- Sacristán, R. F. (2006). La Teledetección satelital y los sistemas de protección ambiental. *Revista científica de la Sociedad Española de Acuicultura*.
- Soria, R. C., Ortiz, F. I., & Volke, V. (1998). Sensores remotos, principios y aplicaciones en la evaluación de los recursos naturales. *Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo*.
- Teledetección, A. E. (s.f.). *Fusión de imágenes multiespectrales y pancromáticas: nuevas alternativas metodológicas basadas en las transformaciones wavelet discreta empleando el algoritmo Mallat*. Obtenido de <http://www.aet.org.es/revistas/revista18/AET18-06.pdf>

