

## ANEXO 9 CALCULO DE TASAS DE DEFORESTACION

### 1. INTRODUCCIÓN

La metodología para caracterizar de forma espacialmente explícita las trayectorias de cambio de la cobertura y uso de la tierra a partir de la combinación de dos mapas independientes se denomina detección de cambios post – clasificación. Una de las ventajas de utilizar este método es que se minimizan los requerimientos de calibración absoluta y/o relativa de las imágenes (Lu et al., 2004). Uno de los riesgos de emplear esta metodología es sobrestimar los cambios; por lo que es recomendable realizar un análisis previo de los cambios de cobertura entre los dos mapas, que permita identificar y corregir posibles inconsistencias. La revisión de las inconsistencias se describe en la última sección el Anexo 7.

En el presente anexo se describe el proceso de cálculo de las tasas de deforestación a partir de dos mapas de cobertura y uso de la tierra de diferentes años.

### 2. CÁLCULO DE LA TASA DE DEFORESTACIÓN

Para calcular los indicadores de deforestación y regeneración se debe combinar la cobertura del año inicial con la cobertura del año final revisada, empleando la siguiente fórmula en la herramienta Raster Calculator:

$$\text{CUT\_ECUADOR\_AÑO INICIAL\_nivel2.tif} * 100 + \text{CUT\_ECUADOR\_AÑO FINAL\_nivel2.tif} = \text{UNION2\_CUT\_AÑOINICIAL\_AÑOFINAL.tif}$$

El resultado de esta operación en formato raster genera cambios pixel a pixel (30m\*30m), es decir, se identificarían cambios menores a la unidad mínima (1 hectárea), para eliminar estos cambios se emplea el comando Region Group en Arc Map, que permite separar los pixeles. El nombre del archivo será REGIONGROUP AÑO INICIAL\_ AÑO FINAL.tif.

El resultado de la función Region Group contiene en el campo VALUE el código de cada uno de las zonas generadas, el count representa el número de pixeles de cada zona y en LINK el código original del raster de cambios. En este archivo se crea el campo COD AÑO INICIAL y COD AÑO FINAL, para dividir los códigos con la herramienta Field Calculator, COD AÑO INICIAL=left(link,2) y COD AÑO FINAL=right(link,2). Además crear el campo NUEVO, para colocar los códigos revisados del año final (Figura 1).

OIP	VALUE	COUNT	LINK	COD08	COD14	NUEVO
0	1	159210	4141	41	41	41
1	2	42	1125	11	25	25
2	3	31018	1111	11	11	11
3	4	14	2811	26	11	11
4	5	367	2825	26	25	25
5	6	10	2811	26	11	99
6	7	14	4141	41	41	41
7	8	7	4151	41	51	51
8	9	135	1151	11	51	51
9	10	108	4125	41	25	25
10	11	2	4141	41	41	41
11	12	12	4141	41	41	41
12	13	57	5151	51	51	51

Figura 1. Campos generados en el archivo RegioGroup

Se seleccionan los registros que sean deforestación o regeneración con valores menores o iguales a 11 pixeles (el equivalente a 1 ha) en el campo count, estos registros no deberían mostrar un cambio de cobertura por lo que se coloca el mismo código del año inicial en el campo NUEVO.

Reclasificar el raster en función del campo NUEVO, el cual se nombra como CUT\_ECUADOR\_AÑOFINAL\_nivel2.tif, este archivo representa la cobertura definitiva que será empleada para el cálculo de la deforestación y se lo almacena en

Z:\directorioCgpig\productos\deforestacion\añogeoinformacion\raster\cobertura

A partir de este raster se genera el shapefile de cobertura de la tierra, CUT\_ECUADOR\_AÑO.shp que se almacena en Z:\directorioCgpig\productos\deforestacion\2014\geoinformacion\vectores

Para generar la matriz de transición a nivel 1 de la leyenda, se reclasifica el raster en los códigos del nivel 1 de la leyenda, el archivo se almacena como CUT\_ECUADOR\_AÑOFINAL\_nivel1.tif. Para determinar los cambios de cobertura se combina espacialmente el mapa de cobertura del año inicial a nivel 1 con el raster CUT\_ECUADOR\_AÑOFINAL\_nivel1.tif, empleando la siguiente fórmula en la herramienta Raster Calculator:

$$\text{CUT\_ECUADOR\_AÑO INICIAL\_nivel1.tif} * 100 + \text{CUT\_ECUADOR\_AÑOFINAL\_nivel1.tif} = \text{CAMBIO\_CUT\_AÑOINICIAL\_AÑOFINAL\_nivel1.tif}$$

El resultado es un raster con los códigos que representan el cambio definitivo a nivel 1 de la leyenda. El nombre del archivo es CAMBIO\_CUT\_AÑOINICIAL\_AÑOFINAL\_nivel1.tif, que se almacena en la siguiente dirección

Z:\directorioCgpig\productos\deforestacion\2014\geoinformacion\raster\cambioCobertura

En este raster se crean los campos tipo short integer: COD\_AÑO INICIAL, COD\_AÑO FINAL y los campos tipo string: COBER AÑO INICIAL y COBER AÑO FINAL; que deben ser completados como se describe a continuación:

- **COD\_AÑO INICIAL (short integer):** En este campo se coloca el primer dígito del raster, para lo cual se emplea la herramienta raster calculator y la función LEFT(VALUE, 1).
- **COD\_AÑO FINAL (short integer):** En este campo se coloca el segundo dígito del raster, para lo cual se emplea la herramienta raster calculator y la función RIGHT (VALUE, 1).
- **COBER AÑOINICIAL (string):** Completar este campo de texto con la cobertura y uso de la tierra correspondientes al COD\_AÑO INICIAL, de acuerdo a los códigos de nivel1 de la leyenda.
- **COBER AÑO FINAL (string):** Completar este campo de texto con la cobertura y uso de la tierra correspondientes al COD\_AÑO FINAL, de acuerdo a los códigos de nivel1 de la leyenda.

A partir del raster CAMBIO\_CUT\_AÑOINICIAL\_AÑOFINAL\_nivel1.tif se genera la matriz de cambio de cobertura, para lo cual se abre la tabla del raster en ArcGis y se guarda como un archivo .dbf.

En Excel se abre el archivo .dbf, el cual contiene en la columna VALUE un código de 2 dígitos, el primer dígito corresponde al código de la leyenda del año inicial y el segundo dígito corresponde al año final. La segunda columna contiene el campo COUNT, que representa el número de pixeles de cada cambio de cobertura.

Crear la columna HECTAREA, en la cual se calcula el área de cada uno de los cambios en hectáreas (considerando que cada pixel es de 30\*30 metros), mediante la fórmula:

$$\text{HECTAREA} = \text{COUNT} * 900 / 10.000$$

Los datos que se encuentran en formato de columna deben ser convertidos a un formato de matriz como la que se muestra en la tabla 3, para lo cual en el archivo en Excel se genera una matriz de 7\*7 con el orden de los códigos, que servirán para organizar los datos en el siguiente paso (Tabla 4).

**Tabla 1.** Ejemplo genérico de tabulación de áreas de transición de cobertura y uso de la tierra con cuatro clases hipotéticas.

Inicial	Final				Área inicial
	A	B	C	D	
A	a1	a5			Sum Ao
B	a2	a6			Sum Bo
C	a3	a7	a8		Sum Co
D	a4		a9	a10	Sum Do
Área final	Sum Af	SumBf	SumCf	SumDf	
Cambio neto	Sum Ao-Sum Af	Sum Bo-Sum Bf	Sum Co-Sum Cf	Sum Do-Sum Df	

\*Los subíndices f y o indican el área final e inicial, respectivamente.

**Tabla 2.** Orden de los códigos de cambio de cobertura

<b>MATRIZ ORDENADA</b>							
	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>
<b>1</b>	11	12	13	14	15	16	17
<b>2</b>	21	22	23	24	25	26	27
<b>3</b>	31	32	33	34	35	36	37
<b>4</b>	41	42	43	44	45	46	47
<b>5</b>	51	52	53	54	55	56	57
<b>6</b>	61	62	63	64	65	66	67
<b>7</b>	71	72	73	74	75	76	77

Para completar la matriz con las áreas por cada tipo de cobertura se emplea la función BUSCARV, la cual permite buscar un valor dentro de una matriz (código de cambio de cobertura) y colocar el valor que se encuentra en la misma fila (valor de hectáreas) en una celda especificada. Se emplea además la función SI.ERROR, para que se coloque como 0 en caso que no encuentre ese tipo de cambio. La función se coloca de la siguiente forma:

=SI.ERROR(BUSCARV(K7;A\$2:B39;2;);0)

Donde:

K7 es la celda de la matriz ordenada

A\$2:B39 es la matriz formada por las columnas VALUE y HECTAREA

2: indica que se coloque los datos de la segunda columna de la matriz, es decir, el valor en hectáreas.

En la figura 2 se muestra un ejemplo del empleo de la fórmula, que debe ser arrastrada hasta formar una matriz de 7\*7.



$$R = \frac{A_1 - A_2}{t_2 - t_1} \quad \text{Eq1}$$

Donde A2 y A1 son las áreas de bosque en la fecha final (t2) e inicial (t1), respectivamente (Puyravaud, 2003). Adicionalmente, se realizó el cálculo de la tasa de cambio anual, que se obtiene comparando el área cubierta por bosque en la misma región en dos épocas diferentes y se expresa como porcentaje.

La fórmula empleada en el presente estudio (Eq. 2) resulta en una tasa porcentual anual, usada frecuentemente para cálculos de esta índole (Puyravaud, 2003).

$$q = \left( \frac{A_2}{A_1} \right)^{1/(t_2 - t_1)} - 1 \quad \text{Eq2}$$

Donde A1, A2, t1, t2 se definen como en la Eq. 1.

En base a estas dos métricas se generan tres tipos de indicadores:

**3.1 Deforestación bruta anual promedio:** Es un proceso de conversión antrópica del bosque en otra cobertura y uso de la tierra; bajo los umbrales de altura, cobertura del dosel o área establecida en la definición de bosque en un periodo de tiempo, sin considerar áreas de regeneración durante el mismo periodo. El término excluye a las zonas de plantaciones forestales removidas como resultado de cosecha o tala y a las áreas en donde los árboles fueron extraídos a causa del aprovechamiento forestal, y en donde se espera que el bosque se regenere de manera natural o con la ayuda de técnicas silvícolas, a menos que el aprovechamiento vaya seguido de una tala de los árboles restantes para introducir usos de la tierra alternativos.

Para el cálculo del indicador se suman todas las áreas de bosque nativo presentes en el año inicial que cambiaron a otra cobertura de la tierra en el año final y se divide para el número de años del periodo. En la figura 3 se muestra un ejemplo, en rojo se señalan las áreas que fueron sumadas para obtener el indicador. El resultado se obtiene en hectáreas/año.

Figura 3. Cálculo de la deforestación bruta media anual

		COBERTURA 2014 (Hectáreas)							
		BOSQUE NATIVO	TIERRA AGROPECUARIA	VEG ARB Y HERB	CUERPO DE AGUA	ZONA ANTROPICA	OTRAS TIERRAS	PLANTACION FORESTAL	TOTAL
COBERTURA 2008 (Hectáreas)	BOSQUE NATIVO	12450861	568404	0	5506	4024	4821	4750	13038367
	TIERRA AGROPECUARIA	298584	7933028	399177	46434	58154	20291	75903	8831572
	VEG ARB Y HERB	0	146316	1992609	2522	3688	6959	10870	2162964
	CUERPO DE AGUA	3941	49920	75	439561	1655	10776	223	506150
	ZONA ANTROPICA	0	0	0	0	177154	0	0	177154
	OTRAS TIERRAS	0	7683	22123	11081	1344	77377	47	119655
	PLANTACION FORESTAL	0	13806	9780	0	123	210	38278	62197
	TOTAL	12753387	8719157	2423764	505104	246142	120434	130072	24898060
Deforestación total del periodo		587506	ha						
Número de años		6	años						
Deforestación bruta anual promedio		97918	ha/año						

Para expresar este indicador en una tasa porcentual, se considera como A1 el área inicial de bosque y como A2 el área de bosque nativo que se ha mantenido constante, sin contar las nuevas áreas regeneradas y se aplica la ecuación Eq2, como se muestra en la figura 4.

Figura 4. Cálculo en porcentaje de la deforestación bruta media anual

		COBERTURA 2014 (Hectáreas)							
		BOSQUE NATIVO	TIERRA AGROPECUARIA	VEG ARB Y HERB	CUERPO DE AGUA	ZONA ANTROPICA	OTRAS TIERRAS	PLANTACION FORESTAL	TOTAL
COBERTURA 2008 (Hectáreas)	BOSQUE NATIVO	12450861	568404	0	5506	4024	4821	4750	13038367
	TIERRA AGROPECUARIA	298584	7933028	399177	46434	58154	20291	75903	8831572
	VEG ARB Y HERB	0	146316	1992609	2522	3688	6959	10870	2162964
	CUERPO DE AGUA	3941	49920	75	439561	1655	10776	223	506150
	ZONA ANTROPICA	0	0	0	0	177154	0	0	177154
	OTRAS TIERRAS	0	7683	22123	11081	1344	77377	47	119655
	PLANTACION FORESTAL	0	13806	9780	0	123	210	38278	62197
	TOTAL	12753387	8719157	2423764	505104	246142	120434	130072	24898060
Tasa de cambio		$= \frac{(A2 - A1) \times 100}{A1 \times (1/6 - 1)}$							
		-0,77%							

**3.2 Regeneración anual promedio:** Es la recuperación del bosque nativo luego del abandono de un uso (generalmente agropecuario) del suelo. Como resultado de la regeneración natural se presentan bosques secundarios en diferentes estados de desarrollo.

Para el cálculo del indicador se suman todas las áreas que tenían diferentes coberturas de la tierra en el año inicial y cambiaron a bosque nativo en el año final. En la figura 5 se muestra un ejemplo, en verde se señalan las áreas que fueron sumadas para obtener el indicador. El resultado se obtiene en hectáreas/año.

Figura 5. Cálculo de la regeneración media anual

	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	
16				COBERTURA 2014 (Hectáreas)								
				BOSQUE NATIVO	TIERRA AGROPECUARIA	VEG ARB Y HERB	CUERPO DE AGUA	ZONA ANTROPICA	OTRAS TIERRAS	PLANTACION FORESTAL	TOTAL	
17												
18				BOSQUE NATIVO	12450861	568404	0	5506	4024	4821	4750	13038367
19				TIERRA AGROPECUARIA	298584	7933028	399177	46434	58154	20291	75903	8831572
20				VEG ARB Y HERB	0	146316	1992609	2522	3688	6959	10870	2162964
21				CUERPO DE AGUA	3941	49920	75	439561	1655	10776	223	506150
22				ZONA ANTROPICA	0	0	0	0	177154	0	0	177154
23				OTRAS TIERRAS	0	7683	22123	11081	1344	77377	47	119655
24				PLANTACION FORESTAL	0	13806	9780	0	123	210	38278	62197
25				TOTAL	12753387	8719157	2423764	505104	246142	120434	130072	24898060
26												
27				Regeneración total del periodo	302525	ha						
28				Número de años	6	años						
29				Regeneración anual promedio	50421	ha/año						

**3.3 Deforestación neta anual promedio:** Es la diferencia entre la pérdida y ganancia de la superficie del bosque en un periodo de tiempo. El indicador se obtiene restando la deforestación bruta menos la regeneración, o aplicando la Eq1, considerando como A1 el área de bosque inicial y A2 el área de bosque final (considerando el bosque que se mantiene constante y las áreas de regeneración). Para obtener como una tasa porcentual se emplea la Eq2. En la figura 6 se muestra un ejemplo del cálculo.

Figura 6. Cálculo de la deforestación neta anual promedio

	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	
16				COBERTURA 2014 (Hectáreas)										
				BOSQUE NATIVO	TIERRA AGROPECUARIA	VEG ARB Y HERB	CUERPO DE AGUA	ZONA ANTROPICA	OTRAS TIERRAS	PLANTACION FORESTAL	TOTAL			
17														
18				BOSQUE NATIVO	12450861	568404	0	5506	4024	4821	4750	13038367	A1	
19				TIERRA AGROPECUARIA	298584	7933028	399177	46434	58154	20291	75903	8831572		
20				VEG ARB Y HERB	0	146316	1992609	2522	3688	6959	10870	2162964		
21				CUERPO DE AGUA	3941	49920	75	439561	1655	10776	223	506150		
22				ZONA ANTROPICA	0	0	0	0	177154	0	0	177154		
23				OTRAS TIERRAS	0	7683	22123	11081	1344	77377	47	119655		
24				PLANTACION FORESTAL	0	13806	9780	0	123	210	38278	62197		
25				TOTAL	12753387	8719157	2423764	505104	246142	120434	130072	24898060		
26														
27														
28														
29				Deforestación neta total del periodo	284980	ha								
30				Número de años	6	años								
31				Deforestación bruta anual promedio	47497	ha/año								
32					=(POTENCIA(K25/R18;1/6)-1)*100									
33				Tasa de cambio anual										